

การลดกลิ่นฉุนเพื่อปรับปรุงคุณภาพแป้งถั่วดาวอินคาและ
การใช้เป็นส่วนผสมในผลิตภัณฑ์อาหารเพื่อสุขภาพ

ปณิดา ชัยบัน

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีอาหาร
คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา
มิถุนายน 2561
ลิขสิทธิ์เป็นของมหาวิทยาลัยบูรพา

คณะกรรมการควบคุมวิทยานิพนธ์และคณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ได้พิจารณา
วิทยานิพนธ์ของ ปณิดา ชัยปิ่น ฉบับนี้แล้ว เห็นสมควรรับเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตาม
หลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีอาหาร ของมหาวิทยาลัยบูรพาได้


คณะกรรมการควบคุมวิทยานิพนธ์


..... อาจารย์ที่ปรึกษาหลัก
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วิชมนี ยืนยงพุทธกาล)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์


..... ประธาน
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.รัชনী เจริญ)


..... กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วิชมนี ยืนยงพุทธกาล)


..... กรรมการ
(ดร.นิตานารถ กระแสร์ชล)


..... กรรมการ
(ดร.ศศิธร มั่นเจริญ)

คณะวิทยาศาสตร์อนุมัติให้รับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตาม
หลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีอาหารของมหาวิทยาลัยบูรพา


.....คณบดีคณะวิทยาศาสตร์
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.เอกรัฐ ศรีสุข)

วันที่ 4 เดือน มิถุนายน พ.ศ. 2561

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลงได้ด้วยความช่วยเหลือจาก ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วิชมณี ยืนยงพุทธกาล อาจารย์ที่ปรึกษาหลัก ที่กรุณาให้คำปรึกษาแนะนำแนวทางที่ถูกต้อง ตลอดจนแก้ไขข้อบกพร่องต่าง ๆ ด้วยความละเอียดถี่ถ้วนและเอาใจใส่ด้วยดีเสมอมา ผู้วิจัยรู้สึกซาบซึ้งเป็นอย่างยิ่งจึงขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูงไว้ ณ โอกาสนี้

ขอขอบพระคุณ คณะกรรมการสอบปากเปล่าวิทยานิพนธ์ทุกท่าน ได้แก่ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. รัชนี เจริญ ดร. นิสานารถ กระแสร์ชล และดร. ศศิธร มั่นเจริญ ที่ได้กรุณาให้ความรู้ คำแนะนำในการปรับปรุงแก้ไขวิทยานิพนธ์ จนทำให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ถูกต้องและสมบูรณ์ยิ่งขึ้น

ขอขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. วิชัย ใจวิสุทธิ์หรรษา และบริษัท โอเมกา 3, 6, 9 แอนด์ โลโคปีน จำกัด ประเทศไทย สำหรับการให้ข้อมูลและให้ความอนุเคราะห์แบ่งถั่วดาวอินคา สำหรับเป็นวัตถุดิบใช้ทำวิทยานิพนธ์

ขอขอบพระคุณ ดร. ปณิตา บรรจงสินศิริ นางสาวกฤตลักษณ์ ปะสะกะวี และสถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย (วว.) สำหรับการให้ข้อมูลและให้ความอนุเคราะห์ใช้เครื่องมือ Electronic nose

ขอขอบคุณ ทูสนับสนุนค่าธรรมเนียมการศึกษาสำหรับนิติระดับปริญญาโท หลักสูตรหมาจ่าขัย แบบเต็มเวลา คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา

ขอขอบคุณ ทูอุดหนุนวิทยานิพนธ์และคุณฐิณีพนธ์สำหรับนิติระดับบัณฑิตศึกษา มหาวิทยาลัยบูรพา

ขอขอบคุณ ทูผู้ช่วยวิจัยสำหรับงานวิจัยเรื่อง “การศึกษาสัถยภาพการใช้ผลิตผลพลอยได้จากสกัดน้ำมันถั่วดาวอินคาในการพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหารเพื่อสุขภาพ” ทูอุดหนุนการวิจัยงบประมาณเงินรายได้จากรัฐบาล ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2560

ขอกราบขอบพระคุณ คุณพ่ออินจันทร์ ชัยปັນ และคุณแม่ดี ชัยปັນ ตลอดจน พี่ ๆ น้อง ๆ เพื่อน ๆ ทุกคนที่ให้กำลังใจ และสนับสนุนผู้วิจัยเสมอมา

คุณค่าและประโยชน์ของวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ผู้วิจัยขอมอบเป็นกตัญญูคุณเวทิตาแต่บุพการี บูรพาจารย์ และผู้มีพระคุณทุกท่านทั้งในอดีตและปัจจุบัน ที่ทำให้ข้าพเจ้าเป็นผู้มีการศึกษาและประสบความสำเร็จมาจนตราบนานเท่านานนี้

ปณิตา ชัยปັນ

58910010: สาขาวิชา: วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีอาหาร; วท.ม. (วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีอาหาร)

คำสำคัญ: แป้งถั่วดาวอินคา/ การลดกลิ่นถั่ว/ ผลิตภัณฑ์อาหารเพื่อสุขภาพ

ปณิศา ชัยปิ่น: การลดกลิ่นถั่วเพื่อปรับปรุงคุณภาพแป้งถั่วดาวอินคาและการใช้เป็นส่วนผสมในผลิตภัณฑ์อาหารเพื่อสุขภาพ (REDUCTION OF BEANY FLAVOR FOR SACHA INCHI FLOUR QUALITY IMPROVEMENT AND UTILIZATION AS INGREDIENT IN FUNCTIONAL FOOD PRODUCT)

คณะกรรมการควบคุมวิทยานิพนธ์: วิษมณี ยืนยงพุทธกาล, ปร.ศ. 304 หน้า. ปี พ.ศ. 2561.

งานวิจัยนี้มีจุดมุ่งหมายเพื่อศึกษาการลดกลิ่นถั่วจากแป้งถั่วดาวอินคาและศึกษาความเป็นไปได้ในการใช้เป็นส่วนผสมในผลิตภัณฑ์อาหารเพื่อสุขภาพ จากการศึกษาผลของการลดกลิ่นถั่วโดยการใช้ความร้อนด้วยไมโครเวฟและตู้อบลมร้อนโดยช่วงของสภาวะที่ศึกษา ได้แก่ ปัจจัยที่ 1 เวลาการให้ความร้อนด้วยไมโครเวฟ 0 - 180 วินาที ปัจจัยที่ 2 อุณหภูมิการให้ความร้อนด้วยตู้อบลมร้อน 65 - 95°C และปัจจัยที่ 3 เวลาการให้ความร้อนด้วยตู้อบลมร้อน 5 - 15 นาที จัดตั้งทดลองแบบ Central composite design พบว่า สมการความสัมพันธ์ระหว่างคุณภาพของแป้งถั่วดาวอินคากับสภาวะการให้ความร้อนมีความน่าเชื่อถือ (R^2 75.39%-98.44%) ผลจากการใช้เทคนิคการซ้อนทับกราฟ Response Surface Plot สามารถหาสภาวะที่เหมาะสมในการให้ความร้อนได้ คือ การใช้เวลาการให้ความร้อนด้วยไมโครเวฟ 180 วินาที ร่วมกับการใช้อุณหภูมิการให้ความร้อนด้วยตู้อบลมร้อน 65°C และเวลาการให้ความร้อนด้วยตู้อบลมร้อน 10 นาที ได้แป้งถั่วดาวอินคาที่มีปริมาณความชื้น 3.31% มีค่า Whiteness 76.27 มีกิจกรรมของเอนไซม์ Lipoxygenase 70.00 Unit/ml และได้รับคะแนนความเข้มกลิ่นถั่ว 1.70 จากการศึกษาผลของการลดกลิ่นถั่วโดยการใช้สารเคมี ได้แก่ 1) สารละลาย EDTA ความเข้มข้น 100 120 และ 140 mmol/L 2) สารละลาย Citric acid ความเข้มข้น 0.1 0.3 และ 0.5% 3) สารละลาย Propyl gallate ความเข้มข้น 0.1 0.3 และ 0.5% พบว่า ชนิดและความเข้มข้นของสารละลายที่ใช้แช่แป้งถั่วดาวอินคา มีผลทำให้ค่าปริมาณความชื้น ค่าสี L^* a^* และ b^* ค่า Whiteness กิจกรรมของเอนไซม์ Lipoxygenase และความเข้มกลิ่นถั่วแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) โดยสภาวะที่เหมาะสมที่สุด คือ การแช่แป้งถั่วดาวอินคาในสารละลาย Citric acid ความเข้มข้น 0.5% เป็นเวลา 60 นาที ได้แป้งถั่วดาวอินคาที่มีปริมาณความชื้น 7.37% มีค่า Whiteness 75.67 มีกิจกรรมของเอนไซม์ Lipoxygenase 43.33 Unit/ml และได้รับคะแนนความเข้มกลิ่นถั่ว 0.30 ผลการวิเคราะห์คุณภาพ พบว่า แป้งถั่วดาวอินคาที่ผ่านการให้ความร้อนมีปริมาณใยอาหารทั้งหมด ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด สมบัติการต้านอนุมูลอิสระ (DPPH และ FRAP) มากกว่าแป้งถั่วดาวอินคาที่ผ่านการใช้สารเคมีอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) แป้งถั่วดาวอินคาที่ไม่ผ่านและผ่านการลดกลิ่นถั่วที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิแช่เย็น ($4 \pm 1^\circ\text{C}$) และที่อุณหภูมิห้อง ($30 \pm 1^\circ\text{C}$) เป็นเวลา 21 วัน มีปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด น้อยกว่า 1.0×10^4 โคลิฟอร์มต่อกรัม ปริมาณยีสต์และรา น้อยกว่า 1.0×10^1 โคลิฟอร์มต่อกรัม ซึ่งอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานที่ปลอดภัยต่อการบริโภค จากการศึกษาความเป็นไปได้ในการใช้แป้งถั่วดาวอินคาเป็นส่วนผสมในผลิตภัณฑ์อาหารเพื่อสุขภาพต้นแบบ พบว่า เครื่องดื่มน้ำนมถั่วดาวอินคาสูตรน้ำตาลต่ำ และถั่วดาวอินคาสเปรดสูตรที่ใช้แป้งถั่วดาวอินคาที่ผ่านการลดกลิ่นถั่วด้วยวิธีการให้ความร้อน ได้รับคะแนนความชอบโดยรวม (8.03 และ 7.73 ตามลำดับ) มากกว่าสูตรที่ใช้แป้งถั่วดาวอินคาที่ไม่ผ่านการลดกลิ่นถั่ว ที่ได้รับคะแนนความชอบโดยรวมเท่ากับ 4.80 และ 4.93 ตามลำดับ

58910010: MAJOR: FOOD SCIENCE AND TECHNOLOGY; M.Sc. (FOOD SCIENCE AND TECHNOLOGY)

KEYWORDS: SACHA INCHI FLOUR/ REDUCTION OF BEANY FLAVOR/ FUNCTIONAL FOOD PRODUCT

PANIDA CHAI PAN: REDUCTION OF BEANY FLAVOR FOR SACHA INCHI FLOUR QUALITY IMPROVEMENT AND UTILIZATION AS INGREDIENT IN FUNCTIONAL FOOD PRODUCT.

ADVISORY COMMITTEE: WICHAMANEE YUENYONGPUTTAKAL, Ph.D. 304 P. 2018.

This research aimed to study the reduction of beany flavor in Sacha inchi flour and to explore its' application as an ingredient in functional food products. The effects on the reduction of beany flavor by heat treatment using microwave and hot air ovens were investigated over a range of conditions including 1) microwave heating time for 0-180 sec, 2) hot air oven heating temperatures of 65 - 95°C and 3) hot air oven heating times of 5-15 min. Central composite design experiments were carried out. The result showed that the relation equations between Sacha inchi flour qualities and heating condition were satisfied (R^2 75.39%-98.44%). The super impose technique of response surface plots were carried out and the optimization heating conditions found were microwave heating for 180 sec combined with hot air drying at 65°C for 10 min. Sacha inchi flour contained 3.31% moisture content, 76.27 whiteness value, 70.00 Unit/ml lipoxygenase activity and 1.70 beany flavor intensity score. The effects of reduction beany flavor by using chemical treatment were investigated as follows; 1) EDTA solution (100 120 and 140 mmol/L) 2) citric acid solution (0.1 0.3 and 0.5%) and 3) propyl gallate solution (0.1 0.3 and 0.5%). The results showed that the type and concentration of the soaking solution had effect on the moisture content, L^* , a^* and b^* , whiteness values, lipoxygenase activity and beany flavor intensity ($p < 0.05$). The optimum condition was soaking Sacha inchi flour in 0.5% Citric acid solution for 60 min which produced treated Sacha inchi flour contained 5.41% moisture content, 75.67 whiteness value, 43.33 Unit/ml lipoxygenase activity and 0.30 beany flavor intensity score. Quality analysis results indicated that the heated Sacha inchi flour had total dietary fiber content, total phenolic content, and antioxidant activity (DPPH and FRAP) values greater than chemically treated Sacha inchi flour ($p < 0.05$). Untreated and treated Sacha inchi flour were stored at both a cold temperature ($4 \pm 1^\circ\text{C}$) and room temperature ($30 \pm 1^\circ\text{C}$) for 21 days. It was found that the total plate counts were less than 1.0×10^4 CFU/g and that yeast and mold were less than 1.0×10^1 CFU/g which is considered a safe level for human consumption. The possibility of using Sacha inchi flour as an ingredient in functional food prototype products was investigated. The results showed that low sugar Sacha inchi milk beverage and Sacha inchi spread produced from heated Sacha inchi flour obtained a greater overall acceptance score (8.03 and 7.73 respectively) than the product from untreated Sacha inchi flour which obtained overall acceptance scores of 4.80 and 4.93 respectively.

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
สารบัญ.....	ฉ
สารบัญตาราง.....	ฉ
สารบัญภาพ.....	ด
บทที่	
1 บทนำ.....	1
ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
วัตถุประสงค์.....	5
ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	5
ขอบเขตของการวิจัย.....	5
2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	6
ถั่วดาวอินคา.....	6
กลั่นถั่ว.....	15
วิธีการกำจัดกลิ่นถั่วจากแป้งที่ได้จากพืชตระกูลถั่ว.....	21
การทำแห้งด้วยไมโครเวฟ.....	30
สารเคมีที่ใช้ในงานวิจัยเพื่อการยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ Lipoxygenase....	31
ทิศทางการพัฒนาอุตสาหกรรมอาหารในปี 2015.....	34
ผลิตภัณฑ์อาหารเพื่อสุขภาพที่ใช้เป็นผลิตภัณฑ์ต้นแบบในงานวิจัย.....	37
3 วิธีดำเนินการวิจัย.....	41
วัตถุดิบและสารเคมี.....	41
เครื่องมือและอุปกรณ์.....	41

สารบัญ (ต่อ)

บทที่	หน้า
วิธีดำเนินการวิจัย.....	42
3.1 การศึกษาหาวิธีการลดกลิ่นตัวของแป้งถั่วดาวอินคาที่เหมาะสม.....	42
3.1.1 การศึกษาผลของการลดกลิ่นถั่วโดยการใช้ความร้อนด้วยไมโครเวฟ ร่วมกับตู้อบลมร้อนต่อคุณภาพของแป้งถั่วดาวอินคา.....	42
3.1.2 การศึกษาผลของการลดกลิ่นถั่วโดยการใช้สารเคมีต่อคุณภาพของ แป้งถั่วดาวอินคา.....	47
3.2 การวิเคราะห์คุณภาพและสมบัติเชิงหน้าที่ของแป้งถั่วดาวอินคาที่ไม่ผ่าน และผ่านการลดกลิ่นถั่ว.....	50
3.3 การศึกษาการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของแป้งถั่วดาวอินคาที่ไม่ผ่านและ ผ่านการลดกลิ่นถั่วระหว่างการเก็บ.....	52
3.4 การศึกษาการนำแป้งถั่วดาวอินคาไปใช้เป็นส่วนผสมในผลิตภัณฑ์อาหาร เพื่อสุขภาพต้นแบบ.....	54
3.4.1 การศึกษาผลของปริมาณแป้งถั่วดาวอินคาที่ผ่านการลดกลิ่นถั่วต่อ คุณภาพของเครื่องดื่มน้ำนมถั่วดาวอินคาสูตรน้ำตาลต่ำ.....	54
3.4.2 การศึกษาผลของปริมาณแป้งถั่วดาวอินคาที่ผ่านการลดกลิ่นถั่วต่อ คุณภาพของถั่วดาวอินคาสเปรด.....	56
3.5 การวิเคราะห์คุณภาพผลิตภัณฑ์อาหารเพื่อสุขภาพต้นแบบที่มีการใช้แป้ง ถั่วดาวอินคาที่ผ่านการลดกลิ่นถั่วเปรียบเทียบกับการใช้แป้งถั่วดาวอินคา ที่ไม่ผ่านการลดกลิ่นถั่ว.....	58
4 ผลการวิจัย.....	60
4.1 ผลการหาวิธีการลดกลิ่นตัวของแป้งถั่วดาวอินคาที่เหมาะสม.....	60

สารบัญ (ต่อ)

บทที่	หน้า
4.1.1 ผลของการลดกลิ่นฉุนโดยการใช้ความร้อนด้วยไมโครเวฟร่วมกับ ตู้อบลมร้อนต่อคุณภาพของแป้งถั่วดาวอินคา.....	60
4.1.2 ผลของการลดกลิ่นฉุนโดยการใช้สารเคมีต่อคุณภาพของแป้งถั่ว ดาวอินคา.....	81
4.2 ผลการวิเคราะห์คุณภาพและสมบัติเชิงหน้าที่ของแป้งถั่วดาวอินคาที่ ไม่ผ่านและผ่านการลดกลิ่นฉุน.....	85
4.3 ผลการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของแป้งถั่วดาวอินคาที่ไม่ผ่านและผ่านการ ลดกลิ่นฉุนระหว่างการเก็บ.....	97
4.4 ผลของการนำแป้งถั่วดาวอินคาไปใช้เป็นส่วนผสมในผลิตภัณฑ์อาหาร เพื่อสุขภาพต้นแบบ.....	107
4.4.1 ผลของปริมาณแป้งถั่วดาวอินคาที่ผ่านการลดกลิ่นฉุนต่อคุณภาพ ของเครื่องดื่มน้ำนมถั่วดาวอินคาสูตรน้ำตาลต่ำ.....	107
4.4.2 ผลของปริมาณแป้งถั่วดาวอินคาที่ผ่านการลดกลิ่นฉุนต่อคุณภาพ ของถั่วดาวอินคาสด.....	111
4.5 ผลการวิเคราะห์คุณภาพผลิตภัณฑ์อาหารเพื่อสุขภาพต้นแบบที่มีการใช้ แป้งถั่วดาวอินคาที่ผ่านการลดกลิ่นฉุนเปรียบเทียบกับการใช้แป้งถั่ว ดาวอินคาที่ไม่ผ่านการลดกลิ่นฉุน.....	114
4.5.1 ผลการวิเคราะห์คุณภาพเครื่องดื่มน้ำนมถั่วดาวอินคาสูตรน้ำตาลต่ำ ที่มีการใช้แป้งถั่วดาวอินคาที่ผ่านการลดกลิ่นฉุนเปรียบเทียบกับ การใช้แป้งถั่วดาวอินคาที่ไม่ผ่านการลดกลิ่นฉุน.....	114

สารบัญ (ต่อ)

บทที่	หน้า
4.5.2 ผลการวิเคราะห์คุณภาพถั่วดาวอินคาสเปรคที่มีการใช้แป้งถั่วดาวอินคาที่ผ่านการลคคกั้่นถั่วเปรียบเทียบกับการใช้แป้งถั่วดาวอินคาที่ไม่ผ่านการลคคกั้่นถั่ว.....	119
5 อภิปราชและสรุปล.....	124
5.1 ผลการหาวิธีการลคคกั้่นถั่วของแป้งถั่วดาวอินคาที่เหมาะสม.....	124
5.1.1 ผลของการลคคกั้่นถั่วโดยการใช้ความร้อนด้วยไมโครเวฟร่วมกับตัวบลมาร้อนต่อคุณภาพของแป้งถั่วดาวอินคา.....	124
5.1.2 ผลของการลคคกั้่นถั่วโดยการใช้สารเคมีต่อคุณภาพของแป้งถั่วดาวอินคา.....	132
5.2 ผลการวิเคราะห์คุณภาพและสมบัติเชิงหน้าที่ของแป้งถั่วดาวอินคาที่ไม่ผ่านและผ่านการลคคกั้่นถั่ว.....	138
5.3 ผลการเปลี่นเปลลงคุณภาพของแป้งถั่วดาวอินคาที่ไม่ผ่านและผ่านการลคคกั้่นถั่วระหว่งการเก็บ.....	154
5.4 ผลของการนำแป้งถั่วดาวอินคามาใช้เป็นส่วนผสมในผลิตภัณฑ์อาหารเพื่อสุขภาพต้นแบบ.....	160
5.4.1 ผลของปริมาณแป้งถั่วดาวอินคาที่ผ่านการลคคกั้่นถั่วต่อคุณภาพของเครื่องดื่มน้ำนมถั่วดาวอินคาสูตรน้ำตาลต่ำ.....	160
5.4.2 ผลของปริมาณแป้งถั่วดาวอินคาที่ผ่านการลคคกั้่นถั่วต่อคุณภาพของถั่วดาวอินคาสเปรค.....	164
5.5 ผลการวิเคราะห์คุณภาพผลิตภัณฑ์อาหารเพื่อสุขภาพต้นแบบที่มีการใช้แป้งถั่วดาวอินคาที่ผ่านการลคคกั้่นถั่วเปรียบเทียบกับการใช้แป้งถั่วดาวอินคาที่ไม่ผ่านการลคคกั้่นถั่ว.....	167

สารบัญ (ต่อ)

บทที่	หน้า
5.5.1 ผลการวิเคราะห์คุณภาพเครื่องดีมน้ำนมถั่วดาวอินคาสูตรน้ำตาลต่ำ ที่มีการใช้แป้งถั่วดาวอินคาที่ผ่านการลดกลั่นถั่วเปรียบเทียบกับการ ใช้แป้งถั่วดาวอินคาที่ไม่ผ่านการลดกลั่นถั่ว.....	167
5.5.2 ผลการวิเคราะห์คุณภาพถั่วดาวอินคาสเปรดที่มีการใช้แป้งถั่ว ดาวอินคาที่ผ่านการลดกลั่นถั่วเปรียบเทียบกับการใช้แป้งถั่ว ดาวอินคาที่ไม่ผ่านการลดกลั่นถั่ว.....	171
สรุปผลการวิจัย.....	174
ข้อเสนอแนะ.....	176
บรรณานุกรม.....	177
ภาคผนวก.....	192
ภาคผนวก ก.....	193
ภาคผนวก ข.....	223
ภาคผนวก ค.....	231
ภาคผนวก ง.....	244
ภาคผนวก จ.....	248
ภาคผนวก ฉ.....	297
ภาคผนวก ช.....	300
ประวัติย่อของผู้วิจัย.....	304

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
2-1	องค์ประกอบทางเคมีของเมล็ดถั่วดาวอินคา.....	9
2-2	องค์ประกอบด้านปริมาณแร่ธาตุของเมล็ดถั่วดาวอินคา.....	9
2-3	ระดับปฏิกิริยาของเอนไซม์ Lipoxygenase ในพืชต่าง ๆ.....	16
2-4	องค์ประกอบของสารระเหยให้กลิ่นในนมถั่วเหลืองจำนวน 6 ยี่ห้อ (A-F) โดยใช้ SPME-GC-MS.....	20
3-1	สิ่งทดลองเพื่อการศึกษาผลของการใช้ไมโครเวฟร่วมกับการใช้ตู้อบลมร้อนต่อคุณภาพของแป้งถั่วดาวอินคาจากการจัดสิ่งทดลองแบบ CCD แบบหุ่นกำลังสองมาตรฐาน.....	44
3-2	สิ่งทดลองเพื่อการศึกษาผลของการใช้สารเคมีต่อคุณภาพของแป้งถั่วดาวอินคา.....	49
3-3	ส่วนผสมเครื่องคั้นนมถั่วดาวอินคาสูตรน้ำตาลต่ำ.....	55
3-4	สูตรถั่วดาวอินคาสเปรด.....	57
4-1	ปริมาณความชื้นของแป้งถั่วดาวอินคาที่ผ่านการลดกลิ่นถั่วด้วยวิธีการใช้ไมโครเวฟร่วมกับตู้อบลมร้อนที่สภาวะต่าง ๆ.....	62
4-2	ค่าสี L* a* b* และค่า Whiteness ของแป้งถั่วดาวอินคาที่ผ่านการลดกลิ่นถั่วด้วยวิธีการใช้ไมโครเวฟร่วมกับตู้อบลมร้อนที่สภาวะต่าง ๆ.....	64
4-3	กิจกรรมของเอนไซม์ Lipoxygenase (LOX) และคะแนนความเข้มกลิ่นถั่วของแป้งถั่วดาวอินคาที่ผ่านการลดกลิ่นถั่วด้วยวิธีการใช้ไมโครเวฟร่วมกับตู้อบลมร้อน.....	66
4-4	สมการถดถอยแบบพหุ แสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณความชื้น (Y ₁) ค่า Whiteness (Y ₂) กิจกรรมของเอนไซม์ Lipoxygenase (Y ₃) และความเข้มกลิ่นถั่ว (Y ₄) กับเวลาในการให้ความร้อนด้วยไมโครเวฟ (X ₁) อุณหภูมิการให้ความร้อนด้วยตู้อบลมร้อน (X ₂) และเวลาการให้ความร้อนด้วยตู้อบลมร้อน.....	68

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่		หน้า
4-5	สภาวะเวลาการให้ความร้อนด้วยไมโครเวฟ อุณหภูมิการให้ความร้อนด้วยตู้อบลมร้อน และเวลาการให้ความร้อนด้วยตู้อบลมร้อนทั้งค่าที่ได้จากกราฟและค่าที่ใช้จริงที่จุดมุม (สิ่งทดลองที่ 1-4) และจุดกึ่งกลาง (สิ่งทดลองที่ 5) ของพื้นที่ที่ได้จากการซ้อนทับกราฟพื้นที่ผิวการตอบสนอง เมื่อกำหนดให้แป้งถั่วดาวอินคา มีคุณภาพตามที่กำหนดไว้.....	76
4-6	ค่าคุณภาพปริมาณความชื้น ค่า Whiteness กิจกรรมของเอนไซม์Lipoxygenase (LOX) และความเข้มกลิ่นถั่ว ของแป้งถั่วดาวอินคาที่ไม่ผ่านและผ่านการลดกลิ่นถั่วโดยการใช้ความร้อนตามสภาวะที่เลือกไว้.....	77
4-7	ผลการทวนสอบความแม่นยำของสมการจากการพิจารณาค่าตอบสนองที่ได้จากการทดลอง (Yex) ค่าตอบสนองที่ได้จากการทำนาย (Ypred) และผลการคำนวณค่า Root Mean Square (RMS) ด้านปริมาณความชื้นของแป้งถั่วดาวอินคา.....	78
4-8	ผลการทวนสอบความแม่นยำของสมการจากการพิจารณาค่าตอบสนองที่ได้จากการทดลอง (Yex) ค่าตอบสนองที่ได้จากการทำนาย (Ypred) และผลการคำนวณค่า Root Mean Square (RMS) ด้านค่า Whiteness ของแป้งถั่วดาวอินคา.....	78
4-9	ผลการทวนสอบความแม่นยำของสมการจากการพิจารณาค่าตอบสนองที่ได้จากการทดลอง (Yex) ค่าตอบสนองที่ได้จากการทำนาย (Ypred) และผลการคำนวณค่า Root Mean Square (RMS) ด้านกิจกรรมของเอนไซม์ Lipoxygenase (LOX) ของแป้งถั่วดาวอินคา.....	79
4-10	ผลการทวนสอบความแม่นยำของสมการจากการพิจารณาค่าตอบสนองที่ได้จากการทดลอง (Yex) ค่าตอบสนองที่ได้จากการทำนาย (Ypred) และผลการคำนวณค่า Root Mean Square (RMS) ด้านความเข้มกลิ่นถั่วของแป้งถั่วดาวอินคา.....	79

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่		หน้า
4-11	ปริมาณความชื้นของแป้งถั่วดาวอินคาที่ไม่ผ่านและผ่านการลดกลิ่นถั่ว โดยการ ใช้สารเคมี.....	81
4-12	ค่าสี L* a* b* และค่า Whiteness ของแป้งถั่วดาวอินคาที่ไม่ผ่านและผ่านการลด กลิ่นถั่วโดยการ ใช้สารเคมี.....	83
4-13	ค่ากิจกรรมของเอนไซม์ไลพอกซีจีเนส (ค่า LOX) และความเข้มกลิ่นถั่วของ แป้งถั่วดาวอินคาที่ไม่ผ่านและผ่านการลดกลิ่นถั่วโดยการ ใช้สารเคมี.....	84
4-14	องค์ประกอบทางเคมีโดยประมาณของแป้งถั่วดาวอินคาที่ไม่ผ่าน (Control) และผ่านการลดกลิ่นถั่วโดยการให้ความร้อนด้วยไมโครเวฟร่วมกับตู้อบ ลมร้อน (MW+Hot air) และการแช่ในสารละลายกรดซิตริก 0.5% (Citric acid 0.5%).....	86
4-15	องค์ประกอบของสารระเหยให้กลิ่นของแป้งถั่วดาวอินคาที่ไม่ผ่าน (Control) และ ผ่านการลดกลิ่นถั่วโดยการให้ความร้อนด้วยไมโครเวฟร่วมกับตู้อบ ลมร้อน (MW+Hot air) และการแช่ในสารละลายกรดซิตริก 0.5% (Citric acid 0.5%) จากการวิเคราะห์องค์ประกอบของสารระเหยให้กลิ่น โดยใช้ SPME- GC/MS.....	87
4-16	ปริมาณเส้นใยอาหารทั้งหมดของแป้งถั่วดาวอินคาที่ไม่ผ่าน (Control) และผ่าน การลดกลิ่นถั่วโดยการให้ความร้อนด้วยไมโครเวฟร่วมกับตู้อบลมร้อน (MW+Hot air) และการแช่ในสารละลายกรดซิตริก 0.5% (Citric acid 0.5%)....	91
4-17	ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด สมบัติการต้านอนุมูลอิสระ (DPPH และ FRAP) ของแป้งถั่วดาวอินคาที่ไม่ผ่าน (Control) และผ่านการลดกลิ่นถั่วโดย การให้ความร้อนด้วยไมโครเวฟร่วมกับตู้อบลมร้อน (MW+Hot air) และการ แช่ในสารละลายกรดซิตริก 0.5% (Citric acid 0.5%).....	92

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่		หน้า
4-18	ค่าสี L* a* b* และค่า Whiteness ของแป้งถั่วดาวอินคาที่ไม่ผ่าน (Control) และผ่านการลดกลิ่นถั่วโดยการให้ความร้อนด้วยไมโครเวฟร่วมกับตู้อบลมร้อน (MW+Hot air) และการแช่ในสารละลายกรดซิตริก 0.5% (Citric acid 0.5%)	95
4-19	สมบัติเชิงหน้าที่ของแป้งถั่วดาวอินคาที่ไม่ผ่าน (Control) และผ่านการลดกลิ่นถั่วโดยการให้ความร้อนด้วยไมโครเวฟร่วมกับตู้อบลมร้อน (MW+Hot air) และการแช่ในสารละลายกรดซิตริก 0.5% (Citric acid 0.5%).....	96
4-20	ปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด (CFU/g) ของแป้งถั่วดาวอินคาที่ไม่ผ่าน (Control) และผ่านการลดกลิ่นถั่วโดยวิธีการให้ความร้อนด้วยไมโครเวฟร่วมกับตู้อบลมร้อน (MW+Hot air) และการแช่ในสารละลาย Citric acid 0.5% (Citric acid 0.5%) ระหว่างการเก็บที่อุณหภูมิแช่เย็นและอุณหภูมิห้อง.....	106
4-21	ปริมาณยีสต์และรา (CFU/g) ของแป้งถั่วดาวอินคาที่ไม่ผ่าน (Control) และผ่านการลดกลิ่นถั่วโดยวิธีการให้ความร้อนด้วยไมโครเวฟร่วมกับตู้อบลมร้อน (MW+Hot air) และการแช่ในสารละลาย Citric acid 0.5% (Citric acid 0.5%) ระหว่างการเก็บที่อุณหภูมิแช่เย็นและอุณหภูมิห้อง.....	106
4-22	ค่าสีของเครื่องดื่มน้ำนมถั่วดาวอินคาสูตรน้ำตาลต่ำที่แปรปริมาณแป้งถั่วดาวอินคาที่ผ่านการลดกลิ่นถั่วโดยการใช้ความร้อน.....	108
4-23	ค่าความหนืด ค่าการแยกตัวของเหลว และปริมาณของแข็งที่ละลายได้ของเครื่องดื่มน้ำนมถั่วดาวอินคาสูตรน้ำตาลต่ำที่แปรปริมาณแป้งถั่วดาวอินคาที่ผ่านการลดกลิ่นถั่วโดยการใช้ความร้อน.....	109
4-24	ความชอบทางประสาทสัมผัสของเครื่องดื่มน้ำนมถั่วดาวอินคาสูตรน้ำตาลต่ำที่แปรปริมาณแป้งถั่วดาวอินคาที่ผ่านการลดกลิ่นถั่วโดยการใช้ความร้อน.....	110
4-25	ค่าสีของถั่วดาวอินคาสเปรดที่แปรสัดส่วนระหว่างแป้งถั่วดาวอินคาที่ผ่านการลดกลิ่นถั่วโดยการใช้ความร้อนกับน้ำมันมะพร้าว.....	111

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่		หน้า
4-26	ลักษณะเนื้อสัมผัสของถั่วดาวอินคาสเปรดที่แปรสัสด่วนระหว่างแป้งถั่วดาวอินคาที่ผ่านการลวกถั่วโดยการให้ความร้อนกับน้ำมันมะพร้าว.....	112
4-27	ความชอบทางประสาทสัมผัสของถั่วดาวอินคาสเปรดที่แปรสัสด่วนระหว่างแป้งถั่วดาวอินคาที่ผ่านการลวกถั่วโดยการให้ความร้อนกับน้ำมันมะพร้าว...	113
4-28	องค์ประกอบทางเคมีของเครื่องดื่มน้ำนมถั่วดาวอินคาสูตรน้ำตาลต่ำที่เติมแป้งถั่วดาวอินคาที่ผ่านการลวกถั่วโดยการให้ความร้อนและไม่ผ่านการลวกถั่ว.....	115
4-29	ปริมาณเส้นใยอาหารทั้งหมด ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด สมบัติการต้านอนุมูลอิสระ (DPPH และ FRAP) ของเครื่องดื่มน้ำนมถั่วดาวอินคาสูตรน้ำตาลต่ำที่เติมแป้งถั่วดาวอินคาที่ผ่านการลวกถั่วโดยการให้ความร้อนและไม่ผ่านการลวกถั่ว.....	116
4-30	ค่าสีของเครื่องดื่มน้ำนมถั่วดาวอินคาสูตรน้ำตาลต่ำที่เติมแป้งถั่วดาวอินคาที่ผ่านการลวกถั่วโดยการให้ความร้อนและไม่ผ่านการลวกถั่ว.....	117
4-31	ความหนืดของเครื่องดื่มน้ำนมถั่วดาวอินคาสูตรน้ำตาลต่ำที่เติมแป้งถั่วดาวอินคาที่ผ่านการลวกถั่วโดยการให้ความร้อนและไม่ผ่านการลวกถั่ว..	117
4-32	ความชอบทางประสาทสัมผัสของเครื่องดื่มน้ำนมถั่วดาวอินคาสูตรน้ำตาลต่ำที่เติมแป้งถั่วดาวอินคาที่ผ่านการลวกถั่วโดยการให้ความร้อนและไม่ผ่านการลวกถั่ว.....	118
4-33	องค์ประกอบทางเคมีของถั่วดาวอินคาสเปรดที่เติมแป้งถั่วดาวอินคาที่ผ่านการลวกถั่วโดยการให้ความร้อนและไม่ผ่านการลวกถั่ว.....	120
4-34	ปริมาณใยอาหารทั้งหมด ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด สมบัติการต้านอนุมูลอิสระ (DPPH และ FRAP) ของถั่วดาวอินคาสเปรดที่เติมแป้งถั่วดาวอินคาที่ผ่านการลวกถั่วโดยการให้ความร้อนและไม่ผ่านการลวกถั่ว..	121

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่		หน้า
4-35	ค่าสีของถั่วดาวอินคาสเปรคที่เติมแป้งถั่วดาวอินคาที่ผ่านการลดกลั่นถั่วโดยการใช้ความร้อนและไม่ผ่านการลดกลั่นถั่ว.....	122
4-36	ลักษณะเนื้อสัมผัสของถั่วดาวอินคาสเปรคที่เติมแป้งถั่วดาวอินคาที่ผ่านการลดกลั่นถั่วโดยการใช้ความร้อนและไม่ผ่านการลดกลั่นถั่ว.....	122
4-37	ความชอบทางประสาทสัมผัสของถั่วดาวอินคาสเปรคที่เติมแป้งถั่วดาวอินคาที่ผ่านการลดกลั่นถั่วโดยการใช้ความร้อนและไม่ผ่านการลดกลั่นถั่ว.....	123

สารบัญญภาพ

ภาพที่		หน้า
2-1	ลักษณะต้นถั่วดาวอินคา.....	6
2-2	ลักษณะผลของถั่วดาวอินคา.....	7
2-3	ลักษณะเมล็ดของถั่วดาวอินคา.....	7
2-4	การผลิตแป้งถั่วดาวอินคาที่เป็นผลิตภัณฑ์ลอยได้จากการสกัดน้ำมัน.....	14
2-5	ปฏิกิริยาออกซิเดชันของเอนไซม์ Lipoxygenase.....	15
2-6	โครงสร้างภายนอกของเมล็ดถั่วเหลือง.....	17
2-7	การทำงานของเอนไซม์ Lipoxygenase (LOX) ในปฏิกิริยาออกซิเดชันของกรดไขมัน.....	17
2-8	โครงสร้างของกรดลิโนเลอิก กรดลิโนเลนิก และกรดอะแรคิโดนิก ที่เป็นสารตั้งต้นในการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน.....	18
2-9	ปฏิกิริยาออกซิเดชันจากการทำงานของเอนไซม์ Lipoxygenase จากกรดไขมันไม่อิ่มตัว (ก) กรดลิโนเลอิก และ (ข) กรดลิโนเลนิก.....	19
2-10	โครงสร้างของ (ก) Pentanal และ (ข) Hexanal.....	19
2-11	Gas chromatograms ของสารระเหยให้กลิ่นในนมถั่วเหลืองจำนวน 6 ยี่ห้อ (A-F)..	21
2-12	การเปลี่ยนรูปจาก Fe^{3+} เป็น Fe^{2+} ซึ่งเป็นรูปที่เอนไซม์ Lipoxygenase ไม่ทำงาน.....	24
2-13	โครงสร้างของ EDTA.....	31
2-14	โครงสร้างของ Propyl gallate.....	33
2-15	โครงสร้างของ Citric acid.....	34
3-1	แป้งถั่วดาวอินคาที่เป็นผลิตภัณฑ์ลอยได้จากการสกัดน้ำมันที่ใช้ในงานวิจัย.....	42

สารบัญญภาพ (ต่อ)

ภาพที่	หน้า
<p>4-1 พื้นผิวการตอบสนองแสดงความสัมพันธ์ของค่าปริมาณความชื้นกับเวลาการให้ความร้อนด้วยไมโครเวฟและอุณหภูมิการให้ความร้อนด้วยตู้อบลมร้อน เมื่อกำหนดให้เวลาการให้ความร้อนด้วยตู้อบลมร้อนที่ระดับต่ำ ($X_3 = -1.682$) กึ่งกลาง ($X_3 = 0$) และระดับสูง ($X_3 = 1.682$).....</p>	69
<p>4-2 พื้นผิวการตอบสนองแสดงความสัมพันธ์ของค่า Whiteness กับเวลาการให้ความร้อนด้วยไมโครเวฟและอุณหภูมิการให้ความร้อนด้วยตู้อบลมร้อน เมื่อกำหนดให้เวลาการให้ความร้อนด้วยตู้อบลมร้อนที่ระดับต่ำ ($X_3 = -1.682$) กึ่งกลาง ($X_3 = 0$) และระดับสูง ($X_3 = 1.682$).....</p>	70
<p>4-3 พื้นผิวการตอบสนองแสดงความสัมพันธ์ของค่ากิจกรรมของเอนไซม์ Lipoxygenase (LOX) กับเวลาการให้ความร้อนด้วยไมโครเวฟและอุณหภูมิการให้ความร้อนด้วยตู้อบลมร้อน เมื่อกำหนดให้เวลาการให้ความร้อนด้วยตู้อบลมร้อนที่ระดับต่ำ ($X_3 = -1.682$) กึ่งกลาง ($X_3 = 0$) และระดับสูง ($X_3 = 1.682$).....</p>	71
<p>4-4 พื้นผิวการตอบสนองแสดงความสัมพันธ์ของความเข้มกลิ่นถั่วกับเวลาการให้ความร้อนด้วยไมโครเวฟและอุณหภูมิการให้ความร้อนด้วยตู้อบลมร้อน เมื่อกำหนดให้เวลาการให้ความร้อนด้วยตู้อบลมร้อนที่ระดับต่ำ ($X_3 = -1.682$) กึ่งกลาง ($X_3 = 0$) และระดับสูง ($X_3 = 1.682$).....</p>	72
<p>4-5 พื้นผิวการตอบสนองแสดงความสัมพันธ์ของปริมาณความชื้นของแป้งถั่วควาวินคาบเวลาการให้ความร้อนด้วยไมโครเวฟ และอุณหภูมิการให้ความร้อนด้วยตู้อบลมร้อน เมื่อกำหนดเวลาการให้ความร้อนด้วยตู้อบลมร้อนที่จุดกึ่งกลาง (ค่ารหัส = 0, ค่าจริง = 10 นาที) โดยส่วนที่แรก หมายถึงปริมาณความชื้นตามที่กำหนดไว้ คือ ต่ำกว่า 8%.....</p>	73

สารบัญญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
4-6	<p>พื้นผิวการตอบสนองแสดงความสัมพันธ์ของค่า Whiteness ของแป้งถั่วดาวอินคา กับเวลาการให้ความร้อนด้วยไมโครเวฟ และอุณหภูมิการให้ความร้อนด้วยตู้อบลมร้อนเมื่อกำหนดเวลาการให้ความร้อนด้วยตู้อบลมร้อนที่จุดกึ่งกลาง (ค่ารหัส = 0, ค่าจริง = 10 นาที) โดยส่วนที่แรเงา หมายถึงค่า Whiteness ตามที่กำหนดไว้คือ มากกว่าหรือเท่ากับ 74.81.....</p>	73
4-7	<p>พื้นผิวการตอบสนองแสดงความสัมพันธ์ของกิจกรรมเอนไซม์ Lipoxygenase ของแป้งถั่วดาวอินคา กับเวลาการให้ความร้อนด้วยไมโครเวฟ และอุณหภูมิการให้ความร้อนด้วย ตู้อบลมร้อนเมื่อกำหนดเวลาการให้ความร้อนด้วยตู้อบลมร้อนที่จุดกึ่งกลาง (ค่ารหัส = 0, ค่าจริง = 10 นาที) โดยส่วนที่แรเงา หมายถึง กิจกรรมเอนไซม์ Lipoxygenase ตามที่กำหนดไว้คือ ต่ำกว่าหรือเท่ากับ 143 Unit/ml.....</p>	74
4-8	<p>พื้นผิวการตอบสนองแสดงความสัมพันธ์ของความเข้มข้นของแป้งถั่วดาวอินคา กับเวลาการให้ความร้อนด้วยไมโครเวฟ และอุณหภูมิการให้ความร้อนด้วยตู้อบลมร้อนเมื่อกำหนดเวลาการให้ความร้อนด้วยตู้อบลมร้อนที่จุดกึ่งกลาง (ค่ารหัส = 0, ค่าจริง = 10 นาที) โดยส่วนที่แรเงา หมายถึงได้รับคะแนนความเข้มข้นถั่วตามที่กำหนดไว้ คือ น้อยกว่าหรือเท่ากับ 2 คะแนน.....</p>	74
4-9	<p>การซ้อนทับของพื้นที่การตอบสนองที่ทำให้ได้ค่าคุณภาพของแป้งถั่วดาวอินคาที่ได้กำหนดไว้ โดยจุดที่ 1-4 แสดงจุดมุม และจุดที่ 5 แสดงจุดกึ่งกลางของพื้นที่ที่ได้จากการซ้อนทับกัน.....</p>	75
4-10	<p>ผลการวิเคราะห์ฟังก์ชันความพึงพอใจ (Desirability Function) เพื่อหาสภาวะการลดกลิ่นถั่วที่เหมาะสมที่สุดโดยการใช้ความร้อนด้วยไมโครเวฟร่วมกับตู้อบลมร้อน โดย X_1 คือ เวลาการให้ความร้อนด้วยไมโครเวฟ X_2 คือ อุณหภูมิการให้ความร้อนด้วยตู้อบลมร้อน และ X_3 คือ เวลาการให้ความร้อนด้วยตู้อบลมร้อน.....</p>	80

สารบัญญภาพ (ต่อ)

ภาพที่	หน้า	
4-11	ลักษณะปรากฏของแป้งถั่วดาวอินคาที่ไม่ผ่านการลดกลิ่นถั่ว (ก) ผ่านการลดกลิ่นถั่วด้วยวิธีการแช่สารละลาย EDTA (ข-ง) Citric acid (จ-ช) และ Propyl gallate (ช-ญ).....	82
4-12	GC-MS profile ของแป้งถั่วดาวอินคาที่ไม่ผ่านการลดกลิ่นถั่ว (Control).....	89
4-13	GC-MS profile ของแป้งถั่วดาวอินคาที่ผ่านการลดกลิ่นถั่วโดยการให้ความร้อนด้วยไมโครเวฟร่วมกับตู้อบลมร้อน (MW+Hot air).....	89
4-14	GC-MS profile ของแป้งถั่วดาวอินคาที่ผ่านการลดกลิ่นถั่วโดยการแช่ในสารละลายกรดซิตริก 0.5% (Citric acid 0.5%).....	90
4-15	กราฟไฟแมงมุมแสดงความสัมพันธ์ระหว่างการตอบสนองของเซ็นเซอร์ต่อแป้งถั่วดาวอินคาที่ไม่ผ่าน (Control) และผ่านการลดกลิ่นถั่วโดยการให้ความร้อนด้วยไมโครเวฟร่วมกับตู้อบลมร้อน (MW+Hot air) และการแช่ในสารละลายกรดซิตริก 0.5% (Citric acid 0.5%) แต่ละชนิดจากการวิเคราะห์เค้าโครงคุณภาพกลิ่น โดยใช้ Electronic nose.....	90
4-16	องค์ประกอบหลัก (PCA) ของเค้าโครงคุณภาพกลิ่นของแป้งถั่วดาวอินคาที่ไม่ผ่าน (Control) และผ่านการลดกลิ่นถั่วโดยการให้ความร้อนด้วยไมโครเวฟร่วมกับตู้อบลมร้อน (MW+Hot air) และการแช่ในสารละลายกรดซิตริก 0.5% (Citric acid 0.5%) แต่ละชนิดจากการวิเคราะห์โดยใช้ Electronic nose.....	91
4-17	ลักษณะโครงสร้างทางจุลภาคที่กำลังขยาย 20 X ของแป้งถั่วดาวอินคาที่ไม่ผ่าน (Control) (ก,ข) และผ่านการลดกลิ่นถั่วโดยการให้ความร้อนด้วยไมโครเวฟร่วมกับตู้อบลมร้อน (MW+Hot air) (ค, ง) และการแช่ในสารละลายกรดซิตริก 0.5% (Citric acid 0.5%) (จ, ฉ) สำหรับภาพ ข, ง และ ฉ ปิดด้วยแสงโพลาไรส์.....	93

สารบัญญภาพ (ต่อ)

ภาพที่	หน้า	
4-18	ลักษณะของแป้งถั่วดาวอินคาที่ไม่ผ่าน (Control) (ก) และผ่านการลดกลั่นถั่วโดยการให้ความร้อนด้วยไมโครเวฟร่วมกับตู้อบลมร้อน (ข) และการแช่ในสารละลายกรดซิตริก 0.5% (ค).....	94
4-19	ปริมาณความชื้นของแป้งถั่วดาวอินคาที่ไม่ผ่าน (Control) และผ่านการลดกลั่นถั่วโดยวิธีการให้ความร้อนด้วยไมโครเวฟร่วมกับตู้อบลมร้อน (MW+Hot air) และการแช่ในสารละลาย Citric acid 0.5% (Citric acid 0.5%) ระหว่างการเก็บที่อุณหภูมิแช่เย็น (ก) และอุณหภูมิห้อง (ข).....	98
4-20	กิจกรรมของเอนไซม์ Lipoxxygenase ของแป้งถั่วดาวอินคาที่ไม่ผ่าน (Control) และผ่านการลดกลั่นถั่วโดยวิธีการให้ความร้อนด้วยไมโครเวฟร่วมกับตู้อบลมร้อน (MW+Hot air) และการแช่ในสารละลาย Citric acid 0.5% (Citric acid 0.5%) ระหว่างการเก็บที่อุณหภูมิแช่เย็น (ก) และอุณหภูมิห้อง (ข).....	99
4-21	ค่า Peroxide value ของแป้งถั่วดาวอินคาที่ไม่ผ่าน (Control) และผ่านการลดกลั่นถั่วโดยวิธีการให้ความร้อนด้วยไมโครเวฟร่วมกับตู้อบลมร้อน (MW+Hot air) และการแช่ในสารละลาย Citric acid 0.5% (Citric acid 0.5%) ระหว่างการเก็บที่อุณหภูมิแช่เย็น (ก) และอุณหภูมิห้อง (ข).....	100
4-22	ค่า TBARS ของแป้งถั่วดาวอินคาที่ไม่ผ่าน (Control) และผ่านการลดกลั่นถั่วโดยวิธีการให้ความร้อนด้วยไมโครเวฟร่วมกับตู้อบลมร้อน (MW+Hot air) และการแช่ในสารละลาย Citric acid 0.5% (Citric acid 0.5%) ระหว่างการเก็บที่อุณหภูมิแช่เย็น (ก) และอุณหภูมิห้อง (ข).....	101
4-23	ค่า a_w ของแป้งถั่วดาวอินคาที่ไม่ผ่าน (Control) และผ่านการลดกลั่นถั่วโดยวิธีการให้ความร้อนด้วยไมโครเวฟร่วมกับตู้อบลมร้อน (MW+Hot air) และการแช่ในสารละลาย Citric acid 0.5% (Citric acid 0.5%) ระหว่างการเก็บที่อุณหภูมิแช่เย็น (ก) และอุณหภูมิห้อง (ข).....	102

สารบัญญภาพ (ต่อ)

ภาพที่	หน้า	
4-24	ค่า Whiteness ของแป้งถั่วดาวอินคาที่ไม่ผ่าน (Control) และผ่านการลดกลิ่นถั่ว โดยวิธีการให้ความร้อนด้วยไมโครเวฟร่วมกับตู้อบลมร้อน (MW+Hot air) และการแช่ในสารละลาย Citric acid 0.5% (Citric acid 0.5%) ระหว่างการเก็บที่ อุณหภูมิแช่เย็น (ก) และอุณหภูมิห้อง (ข).....	103
4-25	คะแนนความเข้มกลิ่นถั่วของแป้งถั่วดาวอินคาที่ไม่ผ่าน (Control) และผ่านการลด กลิ่นถั่วโดยวิธีการให้ความร้อนด้วยไมโครเวฟร่วมกับตู้อบลมร้อน (MW+Hot air) และการแช่ในสารละลาย Citric acid 0.5% (Citric acid 0.5%) ระหว่างการเก็บที่ อุณหภูมิแช่เย็น (ก) และอุณหภูมิห้อง (ข).....	104
4-26	คะแนนความเข้มกลิ่นหืนของแป้งถั่วดาวอินคาที่ไม่ผ่าน (Control) และผ่านการลด กลิ่นถั่วโดยวิธีการให้ความร้อนด้วยไมโครเวฟร่วมกับตู้อบลมร้อน (MW+Hot air) และการแช่ในสารละลาย Citric acid 0.5% (Citric acid 0.5%) ระหว่างการเก็บที่ อุณหภูมิแช่เย็น (ก) และอุณหภูมิห้อง (ข).....	105
4-27	ลักษณะเครื่องคัมน้ำมันถั่วดาวอินคาสูตรน้ำตาลต่ำเมื่อเติมแป้งถั่วดาวอินคาที่ผ่าน การลดกลิ่นถั่วโดยการใช้ความร้อนระดับต่าง ๆ (ก) 1% (ข) 2% (ค) 3% และ (ง) 4%.....	108
4-28	ลักษณะถั่วดาวอินคาสเปรคที่แปรสัคส่วนระหว่างแป้งถั่วดาวอินคาที่ผ่านการลด กลิ่นถั่วโดยการใช้ความร้อนกับน้ำมันมะพร้าวที่ระดับต่าง ๆ (ก) 40:60% (ข) 45:55% และ (ค) 50:50%.....	112

บทที่ 1

บทนำ

ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ถั่วดาวอินคา หรือ Sacha inchi (*Plukenetia volubilis* Linneo) มีถิ่นกำเนิดในป่าอเมซอน ประเทศเปรู เมล็ดถั่วดาวอินคาอุดมไปด้วยน้ำมันและโปรตีน ซึ่งมีปริมาณน้ำมันอยู่ในช่วง 35-60% โดยมีองค์ประกอบหลักเป็นกรดไขมันไม่อิ่มตัว ที่จัดเป็นกรดไขมันจำเป็น และปริมาณโปรตีนอยู่ในช่วง 25-30% โดยมีองค์ประกอบของกรดอะมิโนปริมาณมาก โดยเฉพาะซิสเตอีน (Cysteine) ไทโรซีน (Tyrosine) ทรีโอนีน (Threonine) และทริปโตเฟน (Tryptophan) (Fanali et al., 2011; Maurer, Hatta-Sakoda, Pascual-Chagman, & Rodrigues-Saona, 2012; Chirinos et al., 2013; Souza et al., 2013)

น้ำมันถั่วดาวอินคา ได้รับความสนใจอย่างมากในกลุ่มคนที่รักสุขภาพและสนใจบริโภคอาหารสุขภาพ เนื่องจากน้ำมันถั่วดาวอินคา มีองค์ประกอบของกรดไขมันไม่อิ่มตัวปริมาณมาก (82-90%) ประกอบไปด้วยกรดไขมัน โอเมก้า 3 (ω -3) หรือ แอลฟา-ลิโนเลนิก (α -Linolenic) เท่ากับ 44-51% กรดไขมัน โอเมก้า 6 (ω -6) หรือ แอลฟา-ลิโนเลอิก (α -Linoleic) เท่ากับ 33-36% และกรดไขมัน โอเมก้า 9 (ω -9) หรือ โอเลอิก (Oleic acid) เท่ากับ 6-10% โดยกรดไขมัน ω -3 และ ω -6 จัดเป็นกรดไขมันจำเป็นที่มีประโยชน์ต่อสุขภาพและคุณค่าทางโภชนาการ รวมถึงช่วยป้องกันโรค เช่น ช่วยป้องกันการเกิดโรคหัวใจและหลอดเลือด ช่วยป้องกันการเกิดโรคไขข้ออักเสบ มะเร็ง และป้องกันการติดเชื้อไวรัส (Gullen et al., 2003; Maurer et al., 2012; Chirinos et al., 2013; Chalajit et al., 2015) นอกจากนี้ น้ำมันถั่วดาวอินคายังมีโทโคฟีรอล (Tocopherol) อยู่ในช่วง 78.6-137.0 mg/100g สารประกอบฟีนอลิก อยู่ในช่วง 64.6-80.0 mg GAE/100g และไฟโตสเตอรอล (Phytosterol) อยู่ในช่วง 75.7-86.2 mg/100g ซึ่งมีรายงานว่าทั้งโทโคฟีรอลและสารประกอบฟีนอลิก มีคุณสมบัติเป็นสารต้านอนุมูลอิสระ ช่วยป้องกันการเกิดปฏิกิริยาเปอร์ออกซิเดชันของกรดไขมัน ส่วนไฟโตสเตอรอล มีรายงานว่า ช่วยลดคอเลสเตอรอลในเลือด และลดความเสี่ยงของการเกิดโรคมะเร็ง (Chalajit et al., 2015; Chirinos et al., 2013)

จากศักยภาพที่ดีด้านคุณภาพน้ำมันของเมล็ดถั่วดาวอินคา การปลูกถั่วดาวอินคาจึงได้รับการส่งเสริมให้มีการปลูกกันมากในประเทศไทย โดยเป็นอีกทางเลือกหนึ่งที่น่าสนใจของเกษตรกร เพื่อช่วยเกษตรกรที่มักประสบปัญหาเศรษฐกิจในเรื่องของราคาผลผลิตตกต่ำ การค้นหาพืชชนิดใหม่ที่มีศักยภาพทางการตลาด จึงอาจเป็นโอกาสที่ดีของเกษตรกรได้ การปลูกถั่วดาวอินคาจึงเป็นที่

สนใจของเกษตรกร เนื่องจากถั่วดาวอินคาเป็นพืชที่ปลูกได้ทั่วไป ทั้งในเขตร้อนและกึ่งหนาว โดยราคาจำหน่ายเมล็ดที่ยังไม่กะเทาะเปลือก คือ ประมาณ 35 บาท/กิโลกรัม และราคาจำหน่ายเมล็ดที่กะเทาะเปลือกแล้ว คือ ประมาณ 80 บาท/กิโลกรัม โดยผลผลิตส่วนใหญ่เกษตรกรจะนำส่งเข้าสู่กระบวนการสกัดน้ำมัน (อุดมวิทย์ ไทยการ และคณะ, 2557)

ในกระบวนการสกัดน้ำมันถั่วดาวอินคา มักดำเนินการโดยการบีบอัดด้วยกระบวนการสกัดเย็น (Cold pressing) ซึ่งน้ำมันที่ได้จากการสกัดด้วยวิธีนี้จะมีคุณภาพสูงกว่าวิธีอื่น ผลพลอยได้จากกระบวนการสกัดน้ำมันที่สำคัญคือ กากถั่วดาวอินคาที่ได้หลังการสกัดน้ำมันออก หรือเรียกว่า Press-cake (Eldridge, Fridrich, Warner, & Kwolek, 1986; Wang, 2011; Rawdkuen et al., 2016) Rawdkuen et al. (2016) รายงานว่า Press cake ที่เป็นผลพลอยได้จากกระบวนการสกัดน้ำมันถั่วดาวอินคาด้วยกระบวนการสกัดเย็น มีปริมาณโปรตีนสูง เท่ากับ 62.07% โดยมีองค์ประกอบของกรดอะมิโนจำเป็น เช่น ไลซีน (Lysine) ลิวซีน (Leucine) ฮิสติดีน (Histidine) ทรีโอนีน (Threonine) และทริปโตเฟน (Tryptophan) รวมทั้งกรดอะมิโนไม่จำเป็น เช่น ไทโรซีน (Tyrosine) กลูตามิกเอซิด (Glutamic acid) เอสพาร์ติกเอซิด (Aspartic acid) และไกลซีน (Glycine) และยังคงมีกรดไขมันไม่อิ่มตัว ประกอบด้วยกรดไขมัน ω -3 ω -6 และ ω -9 เท่ากับ 2656.13 2439.64 และ 552.61 mg/100g ตามลำดับ นอกจากนี้ Press cake ยังมีแร่ธาตุอีกหลายชนิด ได้แก่ โพแทสเซียม (Potassium) ฟอสฟอรัส (Phosphorus) แคลเซียม (Calcium) และแมกนีเซียม (Magnesium) จึงมีการนำส่วน Press cake นี้มาบีบน้ำมันออกอีก แล้วทำเป็นผงแห้ง จนได้เป็นแป้งถั่วดาวอินคา (Jagersberger, 2013; วิชัย ใจวิสุทธิหรรษา, สัมภาษณ์, 30 สิงหาคม 2558) ดังนั้นการนำแป้งถั่วดาวอินคาที่เป็นผลพลอยได้จากกระบวนการสกัดน้ำมันในระดับอุตสาหกรรมมาใช้ประโยชน์ให้เหมาะสมกับศักยภาพ จึงเป็นการเพิ่มมูลค่าถั่วดาวอินคาได้อีกทางหนึ่ง

ผู้บริโภคมีพฤติกรรมการบริโภคอาหารเพื่อสุขภาพมากขึ้น โดยเลือกบริโภคอาหารที่ก่อให้เกิดประโยชน์ต่อร่างกาย เช่น ด้านโภชนาการ สนับสนุนการทำงานของระบบต่าง ๆ ในร่างกาย เสริมสร้างภูมิคุ้มกันการเสี่ยงต่อโรค และอาจบรรเทาอาการของโรคที่เกิดขึ้น (ธีรวิรวรรษาไพบูลย์, 2557) สำหรับแนวทางการคิดค้นและพัฒนาสูตรผลิตภัณฑ์เพื่อตอบสนองต่อผู้บริโภคที่ต้องการดูแลสุขภาพ พบว่า มีการให้ความสนใจกับการเพิ่มสารอาหารที่ให้คุณค่าทางโภชนาการและเป็นประโยชน์ต่อร่างกาย เช่น โปรตีน วิตามิน และเส้นใยอาหาร เป็นต้น สถาบันอาหาร (2558) รายงานว่า ในที่ประชุม Global Food Forum ที่ประเทศสหรัฐอเมริกา ซึ่งเป็นการประชุมระดับนานาชาติ ได้มีการนำเสนอทิศทางการพัฒนาอุตสาหกรรมอาหารในปี 2015 และให้ข้อมูลแนวโน้มอาหารที่เป็นที่ต้องการของผู้บริโภค พบว่า การพัฒนาอาหารหรือส่วนผสมอาหารที่เป็นแหล่งของโปรตีน (More in store for protein) เป็นแนวโน้มหนึ่งที่น่าสนใจ ซึ่งอุตสาหกรรม

อาหารต่าง ๆ ทั้งผู้จำหน่ายส่วนผสม ผู้ผลิตอาหาร หรือแม้กระทั่งผู้บริโภค จะให้ความสำคัญกับการค้นหาส่วนผสมอาหารที่มีโปรตีนสูงมากขึ้น โดยโปรตีนจากถั่วเป็นวัตถุดิบแหล่งหนึ่งที่น่าสนใจ ดังนั้นแป้งถั่วดาวอินคาที่เป็นผลพลอยได้จากกระบวนการสกัดน้ำมันในระดับอุตสาหกรรม จึงน่าจะเป็นวัตถุดิบที่สอดคล้องกับแนวโน้มการพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหารได้ โดยเป็นแป้งที่มีโปรตีนสูงถึง 56.63% นอกจากนี้ยังมีปริมาณสารประกอบฟีนอลิก 155.41 mg/100g และเส้นใยอาหารทั้งหมด 25.27% (Jagersberger, 2013) อย่างไรก็ตามการนำแป้งถั่วดาวอินคามาใช้ประโยชน์เป็นส่วนผสมในอาหาร ยังมีข้อจำกัดสำคัญคือ แป้งถั่วดาวอินคามีกลิ่นถั่ว (Beany flavor) หรือกลิ่นเหม็นเขียว (Grassy flavor) ซึ่งเป็นกลิ่นที่ไม่พึงประสงค์ โดยมีผลต่อการยอมรับของผู้บริโภค (Swamylingappa & Srinivas, 1994; Jagersberger, 2013) Swamylingappa and Srinivas (1994) กล่าวว่าแป้งจากพืชตระกูลถั่วจัดเป็นแหล่งที่ดีของสารอาหาร โดยเฉพาะโปรตีน และแร่ธาตุ แต่ข้อจำกัดสำคัญของการนำแป้งถั่วมาใช้ประโยชน์คือการมีกลิ่นถั่วซึ่งเป็นกลิ่นที่ผู้บริโภคไม่ยอมรับ ดังนั้นการกำจัดกลิ่นถั่ว หรือการทำให้กลิ่นถั่วลดลง จะทำให้ง่ายต่อการเติมลงในอาหารต่างๆ ทำให้คุณภาพด้านกลิ่นของอาหารนั้น ๆ ไม่เปลี่ยนไป สามารถขยายขอบเขตการใช้แป้งจากพืชตระกูลถั่วได้มากขึ้น (สุมาลี ปัญญาจิรวุฒิ, 2554; Shin et al., 2013)

กลิ่นถั่ว เป็นลักษณะของกลิ่นเฉพาะตัวที่มักพบในผลิตภัณฑ์จากพืชตระกูลถั่ว (Legumes) ชนิดต่าง ๆ กลิ่นถั่ว เกิดจากปฏิกิริยาออกซิเดชันของกรดไขมันไม่อิ่มตัว (Polyunsaturated fatty acid) ที่มีองค์ประกอบของ 1,4-cis, cis-pentadiene ในสภาวะที่มีการทำงานของเอนไซม์ไลพอกซิจีเนส (Lipoxygenase) ซึ่งทำหน้าที่ดึงอะตอมไฮโดรเจนจากกรดไขมัน และเติมออกซิเจนให้กับกรดไขมัน เกิดเป็นไฮโดรเปอร์ออกไซด์ (Hydro peroxide) ซึ่งสามารถเกิดปฏิกิริยาต่อจนได้สารที่ระเหยได้ จำพวกอัลดีไฮด์ (Aldehyde) คีโตน (Ketone) และแอลกอฮอล์ (Alcohol) ซึ่งเป็นสารที่ทำให้เกิดกลิ่นถั่ว โดยสารสำคัญที่มักใช้เป็นดัชนีชี้วัดการมีกลิ่นถั่ว ได้แก่ เพนทานอล (Pentanal) และเฮกซานอล (Hexanal) (Halliwell et al., 1995; Shin et al., 2013; Kudre & Benjakul, 2013; Baysal & Demirdoven, 2007)

งานวิจัยนี้สนใจลดกลิ่นถั่วจากแป้งถั่วดาวอินคาด้วยวิธีการใช้ความร้อนและสารเคมีเพื่อยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ Lipoxygenase โดย Marston et al. (2016) กล่าวว่า การให้ความร้อนกับแป้งเป็นวิธีอย่างง่ายที่มีศักยภาพและนิยมใช้ในการปรับปรุงคุณภาพของผลิตภัณฑ์ที่ต่ำกว่ามาตรฐาน โดยเฉพาะการลดความชื้นและการกำจัดกลิ่นที่ไม่พึงประสงค์ในแป้ง ในการลดกลิ่นถั่วของแป้งโดยการให้ความร้อนเพื่อยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ Lipoxygenase ต้องใช้ความร้อนที่เพียงพอที่จะสามารถยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ Lipoxygenase ได้ โดยควรใช้อุณหภูมิตั้งแต่ 60°C ขึ้นไป (Baysal & Demirdoven, 2007; Shin et al., 2013) แต่อย่างไรก็ตามการใช้ความร้อนสูง

อาจมีผลต่อการสูญเสียสมบัติเชิงหน้าที่และการคงอยู่ของสารพฤกษเคมี และคุณค่าทางโภชนาการที่สำคัญของแป้งได้ (Xu & Chang, 2009; Campbell et al., 2008; Aparicio-Fernandez et al., 2005; Damodaran, 1996) ดังนั้นจึงควรใช้สภาวะที่รุนแรงน้อยที่สุดเพื่อรักษาสมบัติเชิงหน้าที่และการคงอยู่ของสารพฤกษเคมี และคุณค่าทางโภชนาการที่สำคัญของแป้งได้ โดยอาจใช้วิธีการให้ความร้อนหลายวิธีร่วมกัน เช่น การใช้ไมโครเวฟร่วมกับตู้อบลมร้อน

การลดกลิ่นถั่วของแป้งโดยวิธีการใช้สารเคมีเป็นอีกหนึ่งทางเลือกที่นิยมใช้ มีข้อดีคือเป็นวิธีการที่ง่าย ไม่ยุ่งยากซับซ้อน และแป้งถั่วไม่สัมผัสกับความชื้นจึงอาจยังคงรักษากรดไขมันไม่อิ่มตัวที่ดี รวมถึงแป้งถั่วมีปริมาณโปรตีนสูง การสัมผัสกับความชื้นจึงอาจมีโอกาสนำไปองค์ประกอบและโครงสร้างทางเคมีกายภาพของสตาร์ชและโปรตีนเปลี่ยนแปลงไป และอาจมีผลต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์ที่ใช้แป้งเป็นวัตถุดิบ จากกลไกการทำงานของเอนไซม์ Lipoxygenase เกิดจากภายในโมเลกุลของเอนไซม์นี้มีเหล็ก (Iron : Fe^{2+}) เป็นส่วนประกอบอยู่ ซึ่งทำหน้าที่ดึงอะตอมไฮโดรเจนจากกรดไขมัน และเติมออกซิเจนให้กับกรดไขมัน เกิดเป็นไฮโดรเปอร์ออกไซด์ ซึ่งจะสลายตัวเป็นอนุมูลของกรดไขมันต่อไป (Halliwell et al., 1995) ดังนั้นแนวทางหนึ่งที่สามารถยับยั้งกลไกการทำงานของเอนไซม์ Lipoxygenase ได้ คือการใช้สารเคมีที่มีสมบัติเป็น Chelating agent ซึ่งมีผลให้เกิดการสร้างพันธะจับกับเหล็กที่บริเวณ Active site ของเอนไซม์ เกิดเป็นสารประกอบเชิงซ้อนที่เรียกว่า คีเลต (Chelate) ซึ่งเป็นสารประกอบเชิงซ้อนที่มีความคงตัว จึงสามารถดึงเหล็กออกจากเอนไซม์ Lipoxygenase และ/หรือการเปลี่ยนรูป Ferric (Fe^{3+}) ของเอนไซม์ เป็นรูป Ferrous (Fe^{2+}) จะทำให้เอนไซม์ Lipoxygenase ไม่สามารถทำงานได้ และอาจยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ Lipoxygenase ได้โดยการใช้สารต้านออกซิเดชันที่มีความสามารถในการแข่งขันกับเอนไซม์ Lipoxygenase ในการจับกับสารตั้งต้น (ขวัญใจ แซ่ลิ้ม, 2552) รวมทั้งการสร้างสภาวะ pH ที่ไม่เหมาะสมต่อการทำงานของเอนไซม์ Lipoxygenase ก็เป็นแนวทางหนึ่งที่สามารถยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ Lipoxygenase ได้ ซึ่งปกติเอนไซม์ Lipoxygenase ทำงานได้ดีที่ pH อยู่ในช่วง 6.5-9.0 (Surrey, 1960) ดังนั้นการปรับสภาวะให้อยู่ในสภาวะกรด อาจมีผลต่อการเสถียรภาพธรรมชาติของเอนไซม์ Lipoxygenase ได้ (ทิพวรรณ จันทะรักษ์ และคณะ, 2555) โดยวัตถุดิบอาหาร กลุ่ม Chelating agent และสารต้านออกซิเดชันที่อนุญาตให้ใช้ และมีรายงานว่าสามารถช่วยลดกลิ่นถั่วได้ ได้แก่ Ethylene diamine tetra acetic (EDTA) Propyl gallate และ Citric acid

งานวิจัยนี้มีความสนใจที่นำแป้งถั่วดาวอินคาผ่านกระบวนการลดกลิ่นถั่ว แล้วนำมาใช้เป็นส่วนผสมในผลิตภัณฑ์อาหารเพื่อสุขภาพต้นแบบชนิดต่าง ๆ ได้แก่ เครื่องดื่มน้ำนมถั่วดาวอินคา และถั่วดาวอินคาสเปรด เป็นการพัฒนาสถูตรผลิตภัณฑ์อาหารเพื่อสุขภาพที่มีโปรตีนสูง

ให้สอดคล้องกับความต้องการของผู้บริโภคในปัจจุบัน และเป็นการเพิ่มศักยภาพการใช้ประโยชน์ แป้งถั่วดาวอินคา

วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาผลของวิธีการลดกลิ่นถั่วโดยการใช้ความร้อนและการใช้สารเคมีต่อคุณภาพของแป้งถั่วดาวอินคา
2. เพื่อศึกษาหาวิธีการลดกลิ่นถั่วของแป้งถั่วดาวอินคาที่เหมาะสม
3. เพื่อศึกษาการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของแป้งถั่วดาวอินคาที่ไม่ผ่านและผ่านการลดกลิ่นถั่วระหว่างการเก็บ
4. เพื่อศึกษาการนำแป้งถั่วดาวอินคามาใช้เป็นส่วนผสมในผลิตภัณฑ์อาหารเพื่อสุขภาพต้นแบบ
5. เพื่อวิเคราะห์คุณภาพผลิตภัณฑ์อาหารเพื่อสุขภาพต้นแบบที่มีการใช้แป้งถั่วดาวอินคาที่ผ่านการลดกลิ่นถั่วเปรียบเทียบกับการใช้แป้งถั่วดาวอินคาที่ไม่ผ่านการลดกลิ่นถั่ว

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. ได้แนวทางที่เหมาะสมในการลดกลิ่นถั่วของแป้งถั่วดาวอินคา
2. สร้างมูลค่าเพิ่มให้กับแป้งถั่วดาวอินคาที่เป็นผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการสกัดน้ำมัน มาใช้เป็นส่วนผสมในผลิตภัณฑ์อาหารเพื่อสุขภาพได้

ขอบเขตของการวิจัย

1. ในการศึกษาวิธีการลดกลิ่นถั่วจากแป้งถั่วดาวอินคาโดยการใช้ความร้อน ดำเนินการโดยการใช้ไมโครเวฟร่วมกับการใช้ตู้อบลมร้อน
2. ในการศึกษาวิธีการลดกลิ่นถั่วจากแป้งถั่วดาวอินคาโดยการใช้สารเคมี ดำเนินการโดยใช้สารละลาย EDTA สารละลาย Propyl gallate และสารละลาย Citric acid
3. ในการศึกษาการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของแป้งถั่วดาวอินคาที่ไม่ผ่านและผ่านการลดกลิ่นถั่วระหว่างการเก็บ ดำเนินการศึกษากายใต้สภาวะการเก็บแบบแช่เย็นที่อุณหภูมิ $4\pm 1^{\circ}\text{C}$ และที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 21 วัน
4. ในการศึกษาการนำแป้งถั่วดาวอินคามาใช้เป็นส่วนผสมในผลิตภัณฑ์อาหารเพื่อสุขภาพ ดำเนินการโดยศึกษาผลิตภัณฑ์อาหารเพื่อสุขภาพต้นแบบ จำนวน 2 ชนิด ได้แก่ เครื่องดื่ม นมถั่วดาวอินคา และถั่วดาวอินคาสเปรด

บทที่ 2

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ถั่วดาวอินคา

2.1.1 ลักษณะทางพฤกษศาสตร์

ถั่วดาวอินคา หรือ Sacha inchi (*Plukenetia volubilis* Linneo) รู้จักกันในหลากหลายชื่อ เช่น Inca peanut, Wild peanut, Sacha peanut หรือ Mountain peanut อยู่ในวงศ์ *Euphorbiaceae* ถั่วดาวอินคาเป็นพืชที่มีถิ่นกำเนิดในป่าเมซอน เจริญเติบโตในสภาพอากาศอบอุ่น ที่ระดับความสูงเหนือระดับน้ำทะเลระหว่าง 200 ถึง 1500 เมตร และเป็นอาหารหลักในกลุ่มชนเผ่าพื้นเมืองในประเทศเปรู (Gullen et al., 2003; Fanali et al., 2011; Maurer et al., 2012; Chirinos et al., 2013; Souza et al., 2013; Liu et al., 2014; Chalajit et al., 2015; Rawdkuen et al., 2016) เป็นพืชที่เจริญเติบโตได้ในสภาพดินที่เป็นกรด และสภาพแวดล้อมที่มีการให้น้ำอย่างต่อเนื่อง เป็นไม้ยืนต้นที่มีความสูงประมาณ 2 เมตร ใบมีลักษณะเป็นรูปหัวใจ ขอบใบมีรอยหยัก ยาว 10-12 เซนติเมตร กว้าง 8-10 เซนติเมตร และก้านใบมีความกว้าง 2-6 เซนติเมตร หลังจากปลูกถั่วดาวอินคาเป็นเวลา 5 เดือน ถั่วดาวอินคาจะออกดอกและมีผล โดยเกษตรกรผู้จะมีขนาดเล็ก สีขาว และอยู่เป็นกลุ่ม เกสรตัวเมียจะอยู่ในฐานของช่อดอกไม้ ผลของถั่วดาวอินคามีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 3-5 เซนติเมตร มีลักษณะเป็นแฉก 4-7 แฉก ผลดิบจะมีสีเขียวและเปลี่ยนเป็นสีน้ำตาลดำเมื่อสุก และเมล็ดถั่วดาวอินคาเป็นรูปไข่ สีน้ำตาลเข้ม มีความยาวประมาณ 15-20 มิลลิเมตร และหนา 7-8 มิลลิเมตร ลักษณะต้น ผล และเมล็ดถั่วดาวอินคา แสดงดังภาพที่ 2-1 2-2 และ 2-3 ตามลำดับ (Jargersberger, 2013; Gullen et al., 2003)



ภาพที่ 2-1 ลักษณะต้นถั่วดาวอินคา

ที่มา: <http://phakhao.loei.doe.go.th/site/?p=786>



ภาพที่ 2-2 ลักษณะผลของถั่วดาวอินคา

ที่มา: <http://ec-foods.com/sacha-inchi-oil/>



ภาพที่ 2-3 ลักษณะเมล็ดของถั่วดาวอินคา

ที่มา: <http://macapunch.com/ingles/sachainchi.html>

2.1.2 องค์ประกอบทางเคมีของเมล็ดและน้ำมันถั่วดาวอินคา

เมล็ดถั่วดาวอินคาเป็นส่วนที่มีการนำมาใช้ประโยชน์และมีความน่าสนใจเป็นอย่างมาก เนื่องจากมีปริมาณน้ำมัน และโปรตีนสูง โดยมีการรายงานถึงองค์ประกอบทางเคมี ด้านปริมาณน้ำมัน โปรตีน คุณค่าทางโภชนาการ ปริมาณสารพฤกษเคมี และสมบัติการต้านอนุมูลอิสระ รวมถึงสรรพคุณต่าง ๆ ดังนี้

Guillen et al. (2003) รายงานว่า เมล็ดถั่วดาวอินคามีปริมาณน้ำมัน 35-60% และมีปริมาณโปรตีนประมาณ 27% โดยอุดมไปด้วยกรดอะมิโนซิสเตอีน (Cysteine) ไทโรซีน (Tyrosine) ทรีโอนีน (Threonine) และทริปโตเฟน (Tryptophan)

Gutierrez et al. (2011) รายงานว่า เมล็ดถั่วดาวอินคามีโปรตีนอุดมไปด้วยกรดอะมิโนที่ ต้องการในผู้ใหญ่ ปริมาณ โปรตีนของถั่วดาวอินคามีประมาณ 27% และอุดมไปด้วยกรดอะมิโน จำเป็น เช่น ซีสเตอีน (Cysteine) ไทโรซีน (Tyrosine) ทรีโอนีน (Threonine) และทริปโตเฟน (Tryptophan) คล้ายกับ โปรตีนจากเมล็ดงา ดอกทานตะวัน และถั่วลิสง ซึ่งมีปริมาณ โปรตีน เท่ากับ 25% 24% และ 23% ตามลำดับ จะเห็นได้ว่าเมล็ดถั่วดาวอินคามีกรดอะมิโนจำเป็นเพียงพอ ยกเว้น ฮิสติดีน (Histidine) เมื่อเทียบกับที่องค์การอนามัยโลก (FAO/WHO) แนะนำ นอกจากนี้เมล็ดถั่ว ดาวอินคามีปริมาณคาร์โบไฮเดรตทั้งหมด 30.9% ซึ่งจัดว่ามีปริมาณไม่มากนัก เพราะองค์ประกอบ สำคัญเป็นปริมาณน้ำมันและ โปรตีนที่สูง เมล็ดถั่วดาวอินคาให้พลังงาน 576 kcal/100g องค์ประกอบทางเคมีโดยเฉลี่ยของเมล็ดถั่วดาวอินคาแสดงดังตารางที่ 2-1 นอกจากนี้เมล็ดถั่ว ดาวอินคายังมีส่วนประกอบพวกแร่ธาตุด้วย โดยพบว่ามีแร่ธาตุที่จำเป็นจำนวนมาก เช่น โพแทสเซียม ตรวจพบมากที่สุดปริมาณ 5563.5 mg/kg แมกนีเซียม 3210 mg/kg แคลเซียม 2406 mg/kg เหล็ก 103.5 mg/kg และสังกะสี 49 mg/kg โดยพบ โซเดียมและคอปเปอร์ปริมาณ เล็กน้อย อย่างไรก็ตามองค์ประกอบของดินที่ปลูกมีผลกระทบต่อองค์ประกอบของแร่ธาตุของเมล็ด ถั่วดาวอินคา เมื่อเปรียบเทียบกับพืชน้ำมันอื่น เช่น เมล็ดฝ้าย เมล็ดลินซีด ถั่วลิสง และเมล็ด ทานตะวัน พบว่า เมล็ดถั่วดาวอินคามีปริมาณสังกะสีสูงกว่าและมีปริมาณโซเดียม คอปเปอร์ และ เหล็กต่ำกว่า องค์ประกอบด้านปริมาณแร่ธาตุของเมล็ดถั่วดาวอินคาแสดงดังตารางที่ 2-2

Chirinos et al. (2013) ศึกษาคุณภาพของเมล็ดถั่วดาวอินคา 16 สายพันธุ์ โดยวิเคราะห์ ปริมาณกรดไขมัน ไฟโตสเตอรอล โทโคฟีรอล สารประกอบฟีนอลิก ปริมาณแคโรทีนอยด์ทั้งหมด และสารต้านอนุมูลอิสระ ทั้งที่มีสมบัติเป็นไฮโดรฟิลิก (Hydrophilic) และไลโปฟิลิก (Lipophilic) พบว่า ทุกสายพันธุ์มีปริมาณ α - Linolenic สูง (ω -3, 12.8–16.0 g/100 g seed) รองลงมาคือกรด ไขมัน Linoleic (ω -6, 12.4–14.1 g/100 g seed) และอัตราส่วน ω -6/ ω -3 อยู่ในช่วง 0.83–1.09 γ และ δ -Tocopherols ซึ่งเป็นโทโคฟีรอลที่พบมากมีค่าอยู่ในช่วง 49.0-81.4 และ 28.7-54.6 mg/100g ตามลำดับ ขณะที่ไฟโตสเตอรอลที่พบมากที่สุดคือ β -Sitosterol และ Stigmasterol มีค่าอยู่ในช่วง 45.2-53.2 และ 21.2-26.9 mg/100g ตามลำดับ ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด อยู่ในช่วง 64.6-80.0 mg GAE/100g ปริมาณแคโรทีนอยด์ทั้งหมดอยู่ในช่วง 0.07-0.09 mg bCE /100g สารต้านอนุมูลอิสระ ได้แก่ ปริมาณไฮโดรฟิลิก และไลโปฟิลิก อยู่ในช่วง 4.3-7.3 และ 1.0-2.8 μ mol TE/g ตามลำดับ โดยพบว่า ถั่วดาวอินคาทั้ง 16 สายพันธุ์ มีค่าที่วิเคราะห์ได้แตกต่างกันอย่างมี นัยสำคัญทางสถิติ ทั้งนี้เนื่องจาก สภาพอากาศและแหล่งที่ปลูกแตกต่างกัน

ตารางที่ 2-1 องค์ประกอบทางเคมีของเมล็ดถั่วดาวอินคา

องค์ประกอบทางเคมี	%
ความชื้น	3.3 ± 0.3
ไขมัน	42.0 ± 1.1
โปรตีน	24.7 ± 0.5
เถ้า	4.0 ± 0.7
คาร์โบไฮเดรต	30.9 ± 0.6

ที่มา: Gutierrez et al. (2011)

ตารางที่ 2-2 องค์ประกอบด้านปริมาณแร่ธาตุของเมล็ดถั่วดาวอินคา

องค์ประกอบแร่ธาตุ	mg/kg
โพแทสเซียม	5563.5 ± 6.4
แมกนีเซียม	3210.0 ± 21.2
แคลเซียม	2406.0 ± 7.1
เหล็ก	103.5 ± 8.9
สังกะสี	49.0 ± 1.1
โซเดียม	15.4 ± 0.5
ทองแดง	12.9 ± 0.3

ที่มา: Gutierrez et al. (2011)

Souza et al. (2013) ศึกษาองค์ประกอบของกรดไขมัน โทโคฟีรอล และคุณค่าทางโภชนาการของเมล็ดและเปลือกถั่วดาวอินคา พบว่า เมล็ดถั่วดาวอินคา มีปริมาณไขมันสูง (48.5%) ในขณะที่เปลือกมีปริมาณไขมันต่ำ (1.2%) แต่ทั้งสองส่วนจะมีองค์ประกอบของกรดอะมิโนที่คล้ายกัน คือในส่วนของเปลือกมีปริมาณ ω-3 ω-6 และ ω-9 เท่ากับ 438.77 mg/gTL 338.51 mg/gTL และ 85.24 mg/gTL ตามลำดับ และในส่วนเมล็ดมีปริมาณ ω-3 ω-6 และ ω-9 เท่ากับ 329.48 mg/gTL 324.54 mg/gTL และ 112.95 mg/gTL ตามลำดับ โดยปริมาณโทโคฟีรอล ในเมล็ดและเปลือกถั่วดาวอินคา เท่ากับ 8.99 และ 3.06 mg/100g ตามลำดับ

Chalajit et al. (2015) ได้ศึกษาองค์ประกอบทางเคมีและสารต้านอนุมูลอิสระของเมล็ดถั่วดาวอินคาดิบและผ่านกระบวนการแปรรูป โดยนำเมล็ดถั่วดาวอินคาไปคั่วที่อุณหภูมิ 95-100°C เป็นเวลา 20 นาที ซึ่งการคั่วเมล็ดถั่วเป็นกระบวนการที่ช่วยปรับปรุงกลิ่นรสและคุณค่าทางโภชนาการบางอย่างในเมล็ดถั่ว จากผลการทดลอง พบว่า เมล็ดถั่วดาวอินคาดิบมีปริมาณฟีนอลิกทั้งหมด เท่ากับ 48.11 ± 0.19 mg GAE/100g สมบัติการต้านอนุมูลอิสระจากการวิเคราะห์วิธี Ferric ion reducing antioxidant power (FRAP) และ Oxygen radical absorbance capacity (ORAC) เท่ากับ 2.84 ± 0.06 μ mol TE/100g และ 115.69 ± 49.78 μ mol TE/100g ตามลำดับ โดยเมื่อผ่านการคั่วพบว่า ถั่วดาวอินคา มีปริมาณฟีนอลิกทั้งหมด สมบัติการต้านอนุมูลอิสระจากการวิเคราะห์วิธี FRAP และ วิธี ORAC เพิ่มขึ้น โดยมีค่าเท่ากับ 62.59 ± 1.14 mg GAE/100g 4.45 ± 0.22 μ mol TE/100g และ 679.57 ± 19.06 μ mol TE/100g ตามลำดับ

โดยปกติแหล่งของกรดไขมันไม่อิ่มตัวจำเป็นที่สำคัญมักได้รับมาจากน้ำมันปลา ซึ่งอุดมไปด้วยกรดไขมันที่มีประโยชน์ ได้แก่ ω -3 (11.9-35.3 g/100g oil) และ ω -6 (0.9-12 g/100g oil) แต่อย่างไรก็ตามกระบวนการผลิตน้ำมันปลามีค่าใช้จ่ายสูง เพื่อที่จะกำจัดสี และสิ่งปนเปื้อนอื่น ๆ รวมถึงสารระเหยที่ให้กลิ่น และกลิ่นรส นอกจากนี้การจับปลาที่มากเกินไป ส่งผลให้ประชากรของปลาลดลง จึงมีการมองหาแหล่งของกรดไขมันไม่อิ่มตัวใหม่ ที่มีราคาถูกและง่ายต่อการสกัด พืชน้ำมันจึงได้รับความสนใจเป็นอย่างมาก และเนื่องจากเมล็ดถั่วดาวอินคามีองค์ประกอบของน้ำมันคุณภาพดีและมีปริมาณน้ำมันสูง จึงมีการนำเมล็ดถั่วดาวอินคามาสกัดน้ำมัน โดยมีการรายงานถึงองค์ประกอบทางเคมี คุณค่าทางโภชนาการ ปริมาณสารพฤกษเคมี และสมบัติการต้านอนุมูลอิสระ รวมถึงสรรพคุณต่าง ๆ ดังนี้

Gullen et al. (2003) ศึกษาคุณลักษณะของน้ำมันถั่วดาวอินคาโดยใช้ FTIR Spectroscopy และ H NMR เปรียบเทียบกับน้ำมันลินซีด พบว่า น้ำมันถั่วดาวอินคามีระดับของกรดไขมันไม่อิ่มตัวสูง มี n-3 Linolenic acyl group และ n-6 Linoleic acyl group เป็นองค์ประกอบในปริมาณมาก

Liu et al. (2014) ศึกษาคุณลักษณะทางเคมีกายภาพ องค์ประกอบทางเคมี วิเคราะห์สมบัติการต้านอนุมูลอิสระ และความคงตัวต่อการเก็บของน้ำมันถั่วดาวอินคาจาก Xishuangbanna (China) พบว่า เมื่อวิเคราะห์องค์ประกอบของกรดไขมัน โดยใช้ Gas chromatography-flame ionization (GC-FID) พบว่า น้ำมันถั่วดาวอินคาอุดมไปด้วย แอลฟา-ลิโนเลนิก (α -Linolenic) เท่ากับ 43.5% ซึ่งมีปริมาณมากกว่าที่พบในน้ำมันลินซีด (24%) และถั่วลิสง (32%) และมีแอลฟา-ลิโนเลอิก (α -Linoleic) เท่ากับ 39.6% ซึ่งมีปริมาณมากกว่าที่พบในน้ำมันถั่วเหลือง (8%) นอกจากนี้ยังมีกรดไขมัน ได้แก่ ปาล์มติก (Palmitic) สเตียริก (Stearic) และโอเลอิก (Oleic acid) เท่ากับ 4.40% 3.21% 9.29% ตามลำดับ และวิเคราะห์ปริมาณโทโคฟีรอล โดยใช้ High performance liquid

chromatography/ultraviolet-visible detector (HPLC/UV-VIS) ซึ่งเป็นองค์ประกอบสำคัญในน้ำมัน เป็นสารต้านอนุมูลอิสระที่มีประสิทธิภาพมากที่สุดในอาหารของมนุษย์ โดยพบว่า มีปริมาณ โทโคฟีรอลสูงมากถึง 161.87 mg/100g ซึ่งช่วยต้านการเกิดออกซิเดชันได้ ผลการวิเคราะห์ปริมาณ ฟีนอลิกทั้งหมดโดยใช้ Folin-Ciocalteu technique พบว่า มีปริมาณฟีนอลิกทั้งหมด เท่ากับ 6.58 mg/100g ซึ่งสารประกอบฟีนอลิกช่วยต้านการเกิดออกซิเดชัน ได้เช่นกัน และมีประโยชน์ช่วย ป้องกันโรคความดันในเลือดสูง และป้องกันการเกิดโรคมะเร็ง ผลการวิเคราะห์สมบัติการต้าน อนุมูลอิสระด้วยวิธี DPPH และวิธี ABTS พบว่า มีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระสูง และคุณภาพของน้ำมัน ถั่วดาวอินคาที่เก็บรักษาเป็นเวลา 12 เดือน ยังคงมีคุณภาพดี

Cisneros et al. (2014) ได้ศึกษาองค์ประกอบทางเคมี ความคงตัวต่อการเกิดปฏิกิริยา ออกซิเดชัน และสารต้านอนุมูลอิสระของน้ำมันถั่วดาวอินคา ซึ่งสกัดจากเมล็ดถั่วดาวอินคาที่ผ่าน การคั่ว 3 ระดับ คือ ใช้ระดับความร้อนต่ำ (อุณหภูมิ 75-81°C เป็นเวลา 9 นาที) ความร้อนแรง ปานกลาง (อุณหภูมิ 83-86°C เป็นเวลา 10 นาที) และความร้อนแรงสูง (อุณหภูมิ 99-102°C เป็นเวลา 10 นาที) เมื่อเก็บน้ำมันถั่วดาวอินคาที่อุณหภูมิสูง 60°C เป็นเวลา 30 วัน พบว่า การคั่วน้ำมันถั่ว ดาวอินคาที่ระดับความร้อนต่ำถึงปานกลาง มีผลให้เพิ่มการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน และเพิ่มฤทธิ์ การเป็นสารต้านอนุมูลอิสระ โดยทำให้ปริมาณ โทโคฟีรอลลดลงเล็กน้อย แต่ไม่มีผลต่อปริมาณ กรดไขมัน ในระหว่างการเก็บรักษาปฏิกิริยาการเกิดออกซิเดชันของตัวอย่างน้ำมันเพิ่มขึ้น แต่พบว่า น้ำมันที่สกัดได้จากเมล็ดถั่วดาวอินคาที่ผ่านการคั่วมีอัตราการเพิ่มขึ้นของปฏิกิริยาออกซิเดชัน ช้ากว่าน้ำมันที่สกัดได้จากเมล็ดถั่วดาวอินคาที่ไม่ผ่านการคั่ว เนื่องจากมีปริมาณสารต้าน อนุมูลอิสระที่สูงกว่า

2.1.3 แป้งถั่วดาวอินคา

จากศักยภาพด้านคุณภาพและปริมาณน้ำมันของเมล็ดถั่วดาวอินคา จึงมีการนำเมล็ดถั่ว ดาวอินคามาสกัดน้ำมัน โดยมักสกัดด้วยกระบวนการบีบเย็นเพื่อคงคุณภาพของน้ำมัน กล่าวได้ว่า เมล็ดถั่วดาวอินคาจัดเป็นพืชน้ำมันชนิดหนึ่ง ที่มีศักยภาพสำหรับเป็นอาหารเพื่อสุขภาพ

กระวี ตรีอำรรค (2547) กล่าวว่า การสกัดน้ำมันดิบจากพืชน้ำมัน แบ่งตามวิธีการสกัด ได้เป็น 4 ประเภท คือ การบีบอัด การสกัดด้วยสารทำละลาย การบีบอัดร่วมกับการใช้สารทำละลาย และการสกัดแบบบีบเย็น มีรายละเอียดดังนี้

การสกัดด้วยการบีบอัด (Mechanical pressing) เป็นการบีบสกัดด้วยความดันสูงเพื่อให้ เหลือปริมาณน้ำมันในกากน้อยที่สุด เรียกการบีบแบบนี้ว่า Full press การบีบอัดใช้กับวัตถุดิบที่มี ปริมาณน้ำมันสูง (มากกว่า 20%) ได้แก่ ถั่วลิสง เมล็ดฝ้าย งา และมะพร้าว เป็นต้น ด้วยการใช้อุปกรณ์ บีบแบบไฮดรอลิก (Hydraulic) หรือเครื่องบีบแบบสกรู เครื่องจักรแบบนี้จะบีบน้ำมันออกจาก

วัตถุดิบโดยการเพิ่มความดัน โรงงานสกัดน้ำมันพืชส่วนใหญ่นิยมใช้เครื่องบีบแบบสกรูเนื่องจากมี
การทำงานแบบต่อเนื่อง นอกจากนี้การบีบด้วยเครื่องบีบแบบสกรูจะมีน้ำมันเหลือในกาก 3 – 4%
ส่วนการใช้เครื่องไฮดรอลิกมีน้ำมันเหลืออยู่ในกากสูง 6 – 10% แต่เครื่องบีบแบบสกรูก็มีราคาแพง
กว่าและต้องบำรุงรักษามากกว่า

การสกัดด้วยสารทำละลาย (Solvent extraction) เป็นการสกัดน้ำมันจากวัตถุดิบที่มี
ปริมาณน้ำมันต่ำ (น้อยกว่า 20%) เป็นกรรมวิธีที่ทันสมัยและมีประสิทธิภาพสูง คือสามารถสกัดให้
มีปริมาณน้ำมันเหลือในกากได้น้อยกว่า 1% อย่างไรก็ตามมีข้อเสียคือ อุปกรณ์มีราคาแพง มี
อันตรายจากการระเบิด เนื่องจากสารทำละลายซึ่งส่วนใหญ่เป็นสารที่มีจุดวาบไฟต่ำ ติดไฟได้ง่าย มี
การสูญเสียสารทำละลายซึ่งโดยปกติไม่ควรเกิน 0.15% ของวัตถุดิบ และการสกัดน้ำมันด้วยสารทำ
ละลายไม่เหมาะกับพืชน้ำมันบางชนิด เช่น เมล็ดฝ้ายเนื่องจากไม่สามารถกำจัดสารพิษได้

การบีบอัดร่วมกับการใช้สารทำละลาย เป็นการสกัดด้วยการบีบน้ำมันออกแบบ Prepress
ในขั้นตอนแรก เป็นการบีบน้ำมันด้วยความดันต่ำเพื่อแยกน้ำมันบางส่วนออก โดยไม่ทำให้
โครงสร้างของท่อน้ำมันภายในเมล็ดเกิดการเสียหายมากเกินไป จากนั้นในขั้นตอนที่สองจะทำการ
สกัดน้ำมันที่เหลือในกากด้วยสารทำละลาย หากบีบน้ำมันในขั้นตอนแรกด้วยความดันที่สูงเกินไป
จนทำให้ท่อน้ำมันภายในเมล็ดเกิดการเสียหายมาก ทำให้น้ำมันเกิดการคั่งค้างภายในเมล็ดและสาร
ทำละลายจะไม่สามารถสัมผัสกับน้ำมันได้ดีในขั้นตอนที่สองเช่นกัน ทำให้ประสิทธิภาพในการ
สกัดน้ำมันไม่ดีเท่าที่ควร นอกจากนี้การสกัดน้ำมันด้วยวิธีการนี้ยังมีความยุ่งยากจากขั้นตอนการ
ทำงานที่มากและสิ้นเปลืองกำลังงานมากอีกเช่นกัน

การสกัดแบบบีบเย็น (Cool pressed) เป็นกรรมวิธีที่นิยมใช้เพื่อรักษาคุณภาพของพืช
น้ำมัน เป็นการสกัดน้ำมันด้วยวิธีทางกลโดยทำการบีบอัดอย่างช้า ๆ ไม่ให้อุณหภูมิของน้ำมันขณะ
ทำการสกัดสูงกว่า 60 องศาเซลเซียส หรือกล่าวทางเทคนิคได้ว่าเป็นการสกัดน้ำมันที่ไม่มีการให้
ความร้อนเพิ่มแก่กระบวนการสกัดและต้องควบคุมการทำงานของเครื่องไม่ให้อุณหภูมิของน้ำมัน
เพิ่มขึ้นสูงกว่าค่ามาตรฐานที่กำหนด ในประเทศสวีเดนและนอร์เวย์ การบีบเย็นจะหมายถึง
กระบวนการสกัดที่อุณหภูมิไม่เกิน 50°C ในประเทศอเมริกาเหนือ ผลิตภัณฑ์จากการบีบเย็นจะติด
ฉลากว่า “ไม่ผ่านการทำบริสุทธิ์” (Unrefined) และต้องบรรจุในภาชนะที่บดแสงเท่านั้น เพื่อป้องกัน
ไม่ให้แสงสว่างกระตุ้นน้ำมันให้ทำปฏิกิริยากับออกซิเจน

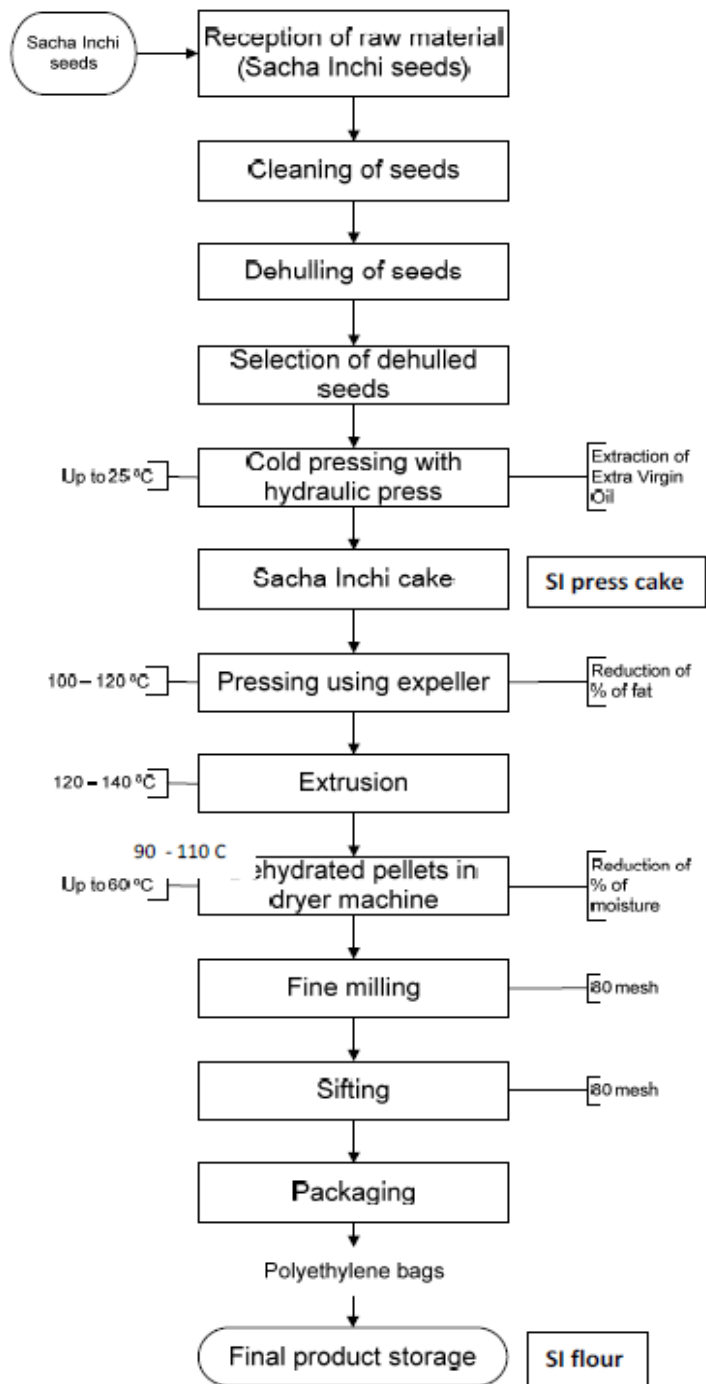
ในกระบวนการสกัดน้ำมันจากถั่วดาวอินคาจะมีผลพลอยได้ซึ่งสามารถนำมาผลิตเป็น
แป้งถั่วดาวอินคา โดย Jagersberger (2013) รายงานขั้นตอนการสกัดน้ำมันจากเมล็ดถั่วดาวอินคา
และการผลิตแป้งถั่วดาวอินคาในระดับอุตสาหกรรมไว้ตามภาพที่ 2-4

จากภาพที่ 2-4 การผลิตแป้งถั่วดาวอินคาที่เป็นผลผลิตพลอยได้จากการสกัดน้ำมัน มีขั้นตอนดังนี้คือ นำเมล็ดถั่วดาวอินคาที่รับมาทำความสะอาด กะเทาะเปลือกออกจากเมล็ด เลือกเมล็ดที่สมบูรณ์ไปสกัดน้ำมันโดยการบีบเย็นด้วยไฮดรอลิก (Cold pressing with hydraulic press) ทำให้ได้น้ำมันถั่วดาวอินคา (Extra virgin oil) และได้ส่วนกากที่บีบน้ำมันออกแล้ว (Press cake) จากนั้นนำส่วนกากนี้มาบีบน้ำมันออกอีกด้วยการผ่านเครื่องอัดรีดแบบสกรู (Expeller) และลำเลียงกากโดยการอัดผ่านเกลียว (Extrusion) จะได้กากถั่วดาวอินคาที่มีลักษณะเป็นแผ่นแห้ง (Dehydrated pellets) นำมาอบแห้งและบดเป็นผงละเอียด ร่อนผ่านกะแกรงขนาด 80 เมช จนได้เป็นแป้งถั่วดาวอินคาโปรตีนสูง บรรจุถุงโพลีเอทิลีนและเก็บรักษา

Jagersberger (2013) รายงานว่า แป้งถั่วดาวอินคาที่เป็นผลพลอยได้จากกระบวนการสกัดน้ำมัน มีปริมาณ โปรตีน ไขมัน ใยอาหารทั้งหมด และเถ้า เท่ากับ 56.63% 8.61% 4.14% และ 5.45% ตามลำดับ และมีปริมาณสารประกอบฟีนอลิก เท่ากับ 155.41 mg/100g จากปริมาณองค์ประกอบทางเคมีของแป้งถั่วดาวอินคา จะเห็นได้ว่า แป้งถั่วดาวอินคาที่ได้จากกระบวนการบีบอัดเย็น ยังคงมีน้ำมันที่เป็นกรดไขมันไม่อิ่มตัวที่ดีเหลืออยู่ รวมถึงมีปริมาณ โปรตีนสูง ซึ่งมีศักยภาพที่จะนำมาแทนที่แป้งถั่วเหลืองในผลิตภัณฑ์อาหารได้ เพื่อเป็นการเพิ่มมูลค่าให้กับแป้งถั่วดาวอินคาซึ่งจากเดิมนิยมนำไปใช้เป็นอาหารสัตว์เท่านั้น จึงศึกษาความเป็นไปได้ในการนำแป้งถั่วดาวอินคาเข้ามาเติมในผลิตภัณฑ์อาหารต่าง ๆ ได้แก่ คุกกี้พีชชนิดแห้ง บิสกิต และเครื่องดื่ม พบว่า แป้งถั่วดาวอินคาสามารถแทนที่แป้งข้าวโพดได้ 30% ในการผลิตคุกกี้พีชชนิดแห้งซึ่งมีการเติมส่วนผสมแอปเปิ้ลอบแห้งร่วมด้วย โดยได้รับการยอมรับทางประสาทสัมผัส แต่อย่างไรก็ตามการแทนที่แป้งสาลีด้วยแป้งถั่วดาวอินคาในการผลิตบิสกิตในช่วง 0-50% และการนำแป้งถั่วดาวอินคาไปผสมกับน้ำเป็นเครื่องดื่ม พบว่า ยังคงมีข้อจำกัดในเรื่องของกลิ่นถั่วที่สู้บริโภคน้ำมันพืชประสมจึงไม่ได้รับการยอมรับทางประสาทสัมผัส

Rawdkuen et al. (2016) ศึกษาองค์ประกอบทางเคมี และคุณค่าทางโภชนาการของ กากที่ได้จากการบีบน้ำมันถั่วดาวอินคา (Press cake) พบว่า Press cake มีปริมาณ โปรตีนสูง (62.07%) และมีกรดอะมิโนจำเป็น ได้แก่ ไลซีน (Lysine) ลิวซีน (Leucine) ฮิสทีดีน (Histidine) และฟีนิลอะลานีน (Phenylalanine) เท่ากับ 624.21 17849.00 9334.50 และ 3183.50 mg/100g ตามลำดับ มีปริมาณกรดไขมันไม่อิ่มตัว ประกอบด้วยกรดไขมัน ω -3 ω -6 และ ω -9 เท่ากับ 2656.13 2439.64 และ 552.61 mg/100g ตามลำดับ นอกจากนี้ Press cake ยังเป็นแหล่งที่ดีของแร่ธาตุ ประกอบด้วย โพแทสเซียม ฟอสฟอรัส แคลเซียม และแมกนีเซียม เท่ากับ 13935.00 13125.00 7616.00 และ 8921.50 mg/kg ตามลำดับ

Production Flow Chart Sacha Inchi Protein Powder



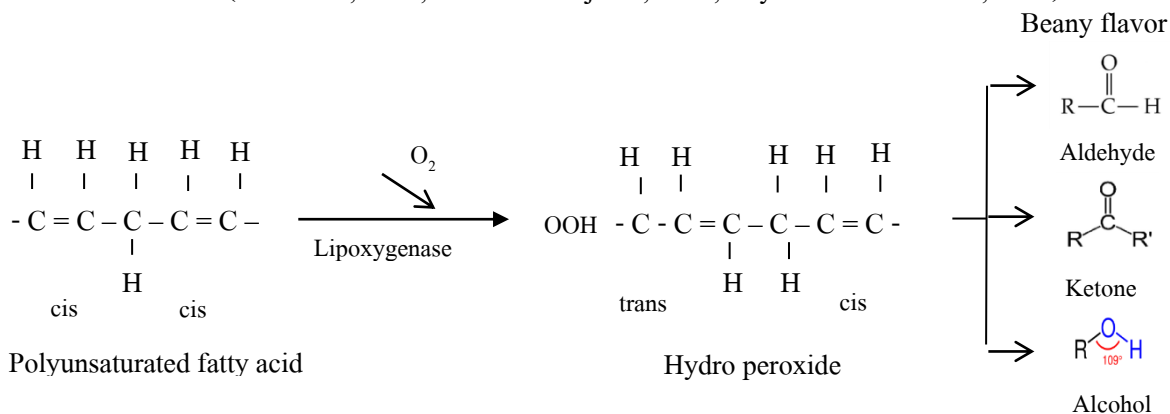
ภาพที่ 2-4 การผลิตแป้งถั่วดาวอินคาที่เป็นผลิตภัณฑ์ลอยได้จากการสกัดน้ำมัน
ที่มา: Jagersberger (2013)

2.2 กลิ่นถั่ว

กลิ่นถั่ว (Beany flavor) เป็นลักษณะของกลิ่นเฉพาะตัวที่มักพบในผลิตภัณฑ์จากพืชตระกูลถั่ว (Legumes) ชนิดต่าง ๆ ตัวอย่างเช่น แป้งถั่ว ผลิตภัณฑ์ที่ทำจากถั่ว อาจมีชื่อเรียกอื่นอีกคือ กลิ่นเหม็นเขียว (Grassy flavor) ซึ่งเป็นกลิ่นที่ไม่พึงประสงค์และไม่เป็นที่ยอมรับของผู้บริโภค จึงเป็นข้อจำกัดในการนำมาใช้ในผลิตภัณฑ์อาหาร (Campbell, Euston, & Ahmed, 2016) กลิ่นถั่วมักพบในพืชตระกูลถั่ว เช่น ถั่วปากอ้า (Faba bean) ถั่วหรั่ง (Bambara bean) และถั่วเหลือง (Soy bean) เป็นต้น (Jiang et al., 2016; Kudre & Benjakul, 2013; Shin et al., 2013) ดังนั้นหากสามารถกำจัดกลิ่นถั่วให้ลดลงได้ จะง่ายต่อการนำมาเติมลงในอาหารต่าง ๆ ทำให้คุณภาพด้านกลิ่นของอาหารนั้น ๆ ไม่เปลี่ยนแปลง สามารถขยายขอบเขตการใช้แป้งจากพืชตระกูลถั่วได้มากขึ้น (สุมาลี ปัญญาจิรวุฒิ, 2554; Shin et al., 2013) ปฏิกริยาการเกิดกลิ่นถั่ว รวมถึงปัจจัยที่เป็นสาเหตุเกี่ยวกับการเกิดกลิ่นถั่ว ได้แก่ เอนไซม์ไลพอกซีจีเนส กรดไขมันไม่อิ่มตัว ไฮโดรเปอร์ออกไซด์ และกลุ่มสารสำคัญที่ให้กลิ่นถั่ว มีรายละเอียดดังนี้

2.2.1 ปฏิกริยาการเกิดกลิ่นถั่ว

กลิ่นถั่ว เกิดจากปฏิกริยาออกซิเดชันของกรดไขมันไม่อิ่มตัว (Polyunsaturated fatty acid) ที่มีองค์ประกอบของ 1,4-cis, cis-pentadiene ($-\text{CH}=\text{CH}-\text{CH}_2-\text{CH}=\text{CH}-$) คือมีพันธะคู่ที่คาร์บอนตำแหน่งที่ 1 และคาร์บอนตำแหน่งที่ 4 ในสภาวะที่มีการทำงานของเอนไซม์ไลพอกซีจีเนส (Lipoxygenase) ในปฏิกริยาออกซิเดชันนี้ จะทำให้เกิดสารที่เรียกว่าไฮโดรเปอร์ออกไซด์ (Hydro peroxide) โดยมีหมู่ $-\text{OOH}$ เพิ่มเข้ามาและเปลี่ยนรูปจาก Cis form เป็น Trans form ซึ่งไฮโดรเปอร์ออกไซด์สามารถเกิดปฏิกริยาต่อจนได้สารที่ระเหยได้ จำพวกอัลดีไฮด์ (Aldehyde) คีโตน (Ketone) และแอลกอฮอล์ (Alcohol) ซึ่งเป็นสารที่ทำให้เกิดกลิ่นถั่ว แสดงดังภาพที่ 2-5 (Shin et al., 2013; Kudre & Benjakul, 2013; Baysal & Demirdoven, 2007)



ภาพที่ 2-5 ปฏิกริยาออกซิเดชันของเอนไซม์ Lipoxygenase

ที่มา: คัดแปลงจาก Janette (2005), Jiang et al. (2016)

2.2.2 เอนไซม์ไลพอกซีจีเนส (Lipoxygenase)

เอนไซม์ Lipoxygenase (EC 1.13.11.12) จัดเป็นเอนไซม์ในกลุ่มออกซิโดรีดักเทส (Oxidoreductase) คือเป็นเอนไซม์ที่ทำหน้าที่เร่งปฏิกิริยาออกซิเดชันรีดักชัน ซึ่งเอนไซม์ Lipoxygenase นี้มีอยู่ในพืชโดยธรรมชาติ โดยเฉพาะพืชตระกูลถั่ว (Baysal & Demirdoven, 2007) และมักใช้ถั่วเหลืองซึ่งเป็นพืชตระกูลถั่วที่มีโอกาสเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันจากเอนไซม์ Lipoxygenase สูงเป็นตัวเปรียบเทียบ จากตารางที่ 2-3 จะเห็นได้ว่าถั่วเหลืองมีระดับปฏิกิริยาของเอนไซม์ Lipoxygenase เป็น 100% แต่พืชตระกูลถั่วชนิดอื่น ๆ เช่น ถั่วเขียว มีระดับปฏิกิริยาของเอนไซม์ Lipoxygenase เพียง 14% (Obaidy & Siddhiqui, 1982)

ตารางที่ 2-3 ระดับปฏิกิริยาของเอนไซม์ Lipoxygenase ในพืชต่าง ๆ

ชนิดพืช	Level of lipoxygenase reaction compared with soybean	
	(%)	
ถั่วเหลือง (Soy bean)	100	
ถั่วเขียว (Mung bean)	14	
ถั่วลันเตา (Green pea)	13	
ถั่วแขก (Bush bean)	28	
ถั่วปากอ้า (Broad Bean)	11	

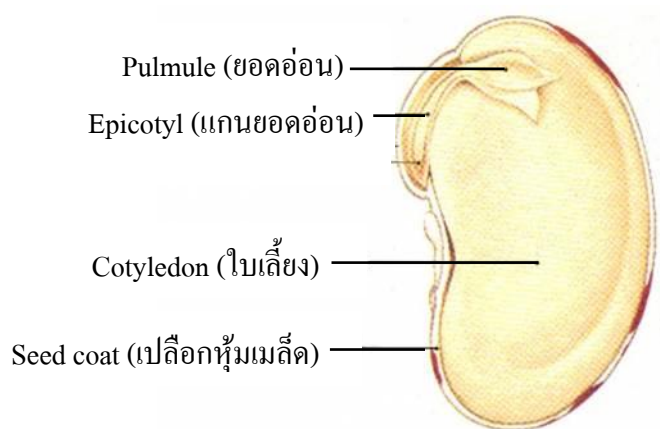
ที่มา: Obaidy and Siddhiqui (1982)

เอนไซม์ Lipoxygenase มีอยู่ในพืชโดยธรรมชาติ เป็นโปรตีนประเภทโกลบูลิน ซึ่งจะสะสมในเซลล์ของเนื้อถั่วต่าง ๆ ในรูปของเนื้อโปรตีน ที่เป็นโปรตีนสะสมอยู่ในส่วนของใบเลี้ยง (กัตนางค์ ทองสุก, 2542) ซึ่งกล่าวได้ว่าเอนไซม์ Lipoxygenase อยู่ในส่วนของเนื้อเมล็ดถั่วทั้งหมด ยกตัวอย่างกรณีโครงสร้างของเมล็ดถั่วเหลือง เอนไซม์ Lipoxygenase สะสมอยู่ในส่วนของใบเลี้ยง ซึ่งเป็นส่วนของเนื้อเมล็ดถั่วนั่นเอง แสดงดังภาพที่ 2-6

สำหรับการทำงานของเอนไซม์ Lipoxygenase ในปฏิกิริยาออกซิเดชันของกรดไขมันไม่อิ่มตัว ซึ่งเอนไซม์ Lipoxygenase ทำหน้าที่เร่งปฏิกิริยาออกซิเดชันของกรดไขมันไม่อิ่มตัว (Polyunsaturated fatty acid) นั่นเอง โดยภายในโมเลกุลของเอนไซม์ Lipoxygenase นี้มีเหล็ก (Iron : Fe²⁺) เป็นส่วนประกอบอยู่ ซึ่งทำหน้าที่ดึงอะตอมไฮโดรเจนจากกรดไขมัน และเติม

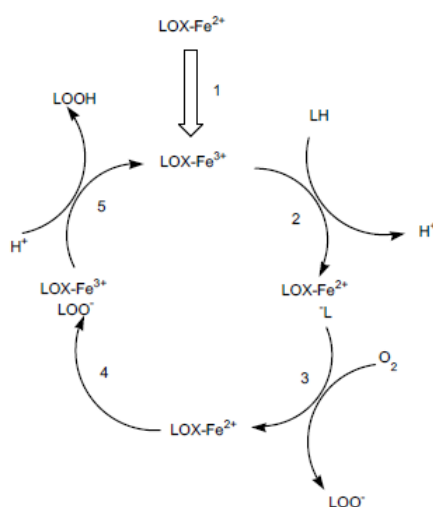
ออกซิเจนให้กับกรดไขมัน เกิดเป็นไฮโดรเปอร์ออกไซด์ซึ่งจะสลายตัวเป็นอนุมูลของกรดไขมันต่อไป (Halliwell et al., 1995) ดังแสดงในภาพที่ 2-7

นอกจากนี้การเกิดเพอร์ออกซิเดชัน (Peroxidation) ของกรดไขมันจากเอนไซม์ Lipoxygenase นี้เป็นปัจจัยหนึ่งที่มีความสำคัญในการทำให้อาหารเสื่อมสภาพระหว่างการเก็บรักษาและกระบวนการแปรรูปอาหาร เนื่องจากสามารถทำให้เกิดกลิ่นเหม็นหืนหรือกลิ่นที่ไม่พึงประสงค์ ตลอดจนมีศักยภาพเป็นสารพิษในผลิตภัณฑ์สุดท้ายได้ (Kubo, Ha, & Shimizu, 2013; เจนจิรา จิรัมย์ และประสงค์ สีหานาม, 2554)



ภาพที่ 2-6 โครงสร้างภายนอกของเมล็ดถั่วเหลือง

ที่มา: พิมพ์เพ็ญ พรเฉลิมพงศ์ และนิธิยา รัตนานนท์ (ม.ป.ป)

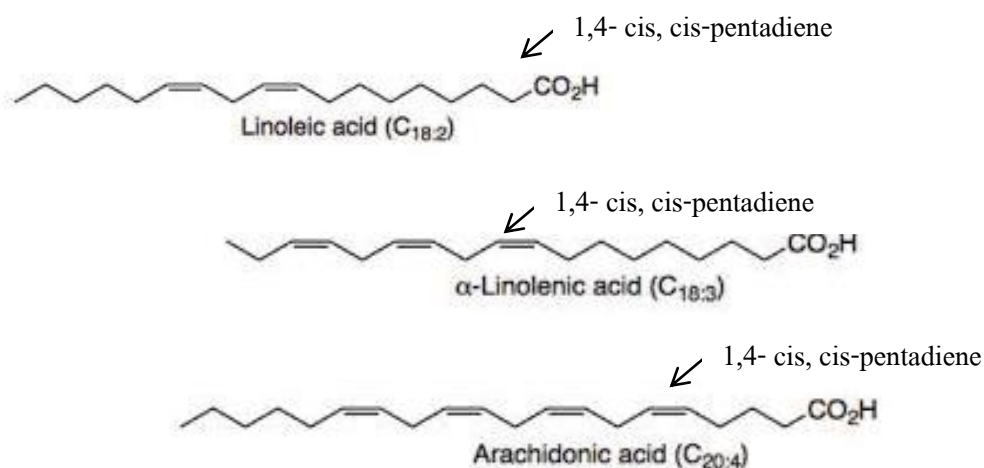


ภาพที่ 2-7 การทำงานของเอนไซม์ Lipoxygenase (LOX) ในปฏิกิริยาออกซิเดชันของกรดไขมัน

ที่มา: เจนจิรา จิรัมย์ และ ประสงค์ สีหานาม (2554)

2.2.3 กรดไขมันไม่อิ่มตัว (Polyunsaturated fatty acid)

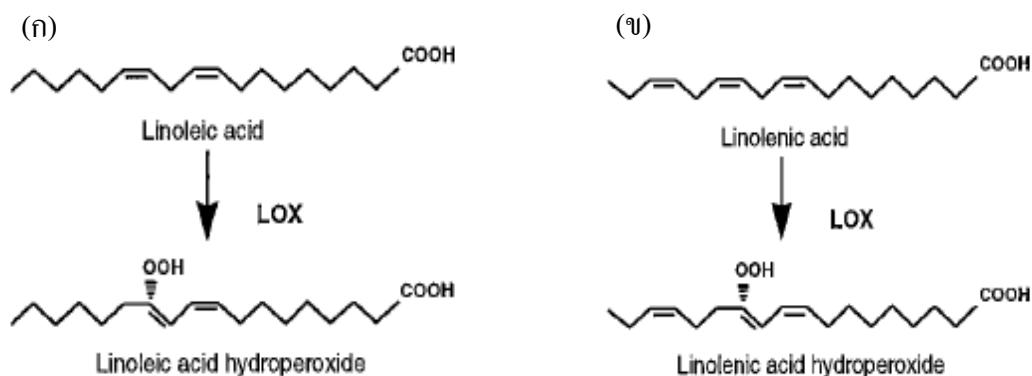
กรดไขมันไม่อิ่มตัว เกี่ยวข้องกับปฏิกิริยาการเกิดกลิ่นฉุน เนื่องจากเป็นสารตั้งต้นในการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน โดยกรดไขมันไม่อิ่มตัวที่มีองค์ประกอบของ 1,4- cis, cis-pentadiene จะมีศักยภาพในการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันได้ดี ตัวอย่างเช่น กรดลิโนเลอิก (Linoleic acid) กรดลิโนเลนิก (Linolenic acid) และกรดอะเรคิโดนิก (Arachidonic acid) ซึ่งองค์ประกอบของกรดไขมันไม่อิ่มตัวทั้ง 3 ชนิดนี้ มีองค์ประกอบของ 1,4- cis, cis-pentadiene (Baysal & Demirdoven, 2007; Chedea & Jisaka, 2011) แสดงดังภาพที่ 2-8



ภาพที่ 2-8 โครงสร้างของกรดลิโนเลอิก กรดลิโนเลนิก และกรดอะเรคิโดนิก ที่เป็นสารตั้งต้นในการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน
ที่มา: Chedea and Jisaka (2011)

2.2.4 ไฮโดรเปอร์ออกไซด์ (Hydro peroxide)

สำหรับไฮโดรเปอร์ออกไซด์ เป็นผลิตภัณฑ์ที่เกิดขึ้นจากปฏิกิริยาออกซิเดชันของกรดไขมันไม่อิ่มตัว ตัวอย่างเช่น การเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของกรดลิโนเลอิก และกรดลิโนเลนิก แสดงดังภาพที่ 2-9 จะได้ลิโนเลอิก เอซิด ไฮโดรเปอร์ออกไซด์ (Linoleic acid hydroperoxide) และลิโนเลนิก เอซิด ไฮโดรเปอร์ออกไซด์ (Linolenic acid hydroperoxide) ซึ่งมีหมู่ -OOH เพิ่มเข้ามา (Baysal & Demirdoven, 2007; Bate et al., 1998)



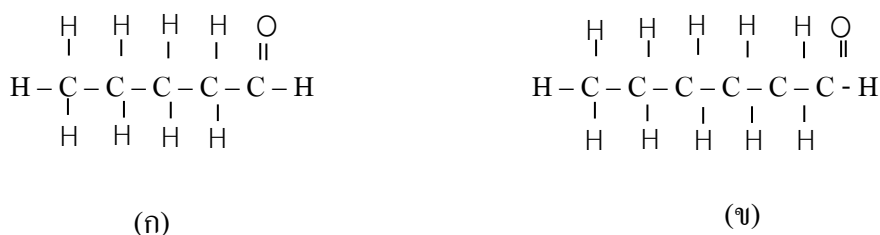
ภาพที่ 2-9 ปฏิกริยาออกซิเดชันจากการทำงานของเอนไซม์ Lipoxygenase จากกรดไขมันไม่อิ่มตัว

(ก) กรดลิโนเลอิก และ (ข) กรดลิโนเลนิก

ที่มา: Bate et al. (1998)

2.2.5 สารสำคัญที่ให้กลิ่นถั่ว (Beany flavor)

ผลได้ของปฏิกริยาออกซิเดชันจากการทำงานของเอนไซม์ Lipoxygenase จากกรดไขมันไม่อิ่มตัว ทำให้เกิดสารสำคัญที่ทำให้เกิดกลิ่นถั่ว ซึ่งมักเป็นสารกลุ่ม Aldehyde โดยสารสำคัญที่มักใช้เป็นดัชนีชี้วัดการมีกลิ่นถั่ว ได้แก่ เพนทานอล (Pentanal) และเฮกซานอล (Hexanal) (สุมาลี ปัญญาจิรวุฒิ, 2554) โดยมีโครงสร้างแสดงดังภาพที่ 2-10



ภาพที่ 2-10 โครงสร้างของ (ก) Pentanal และ (ข) Hexanal

ที่มา: สุมาลี ปัญญาจิรวุฒิ (2554)

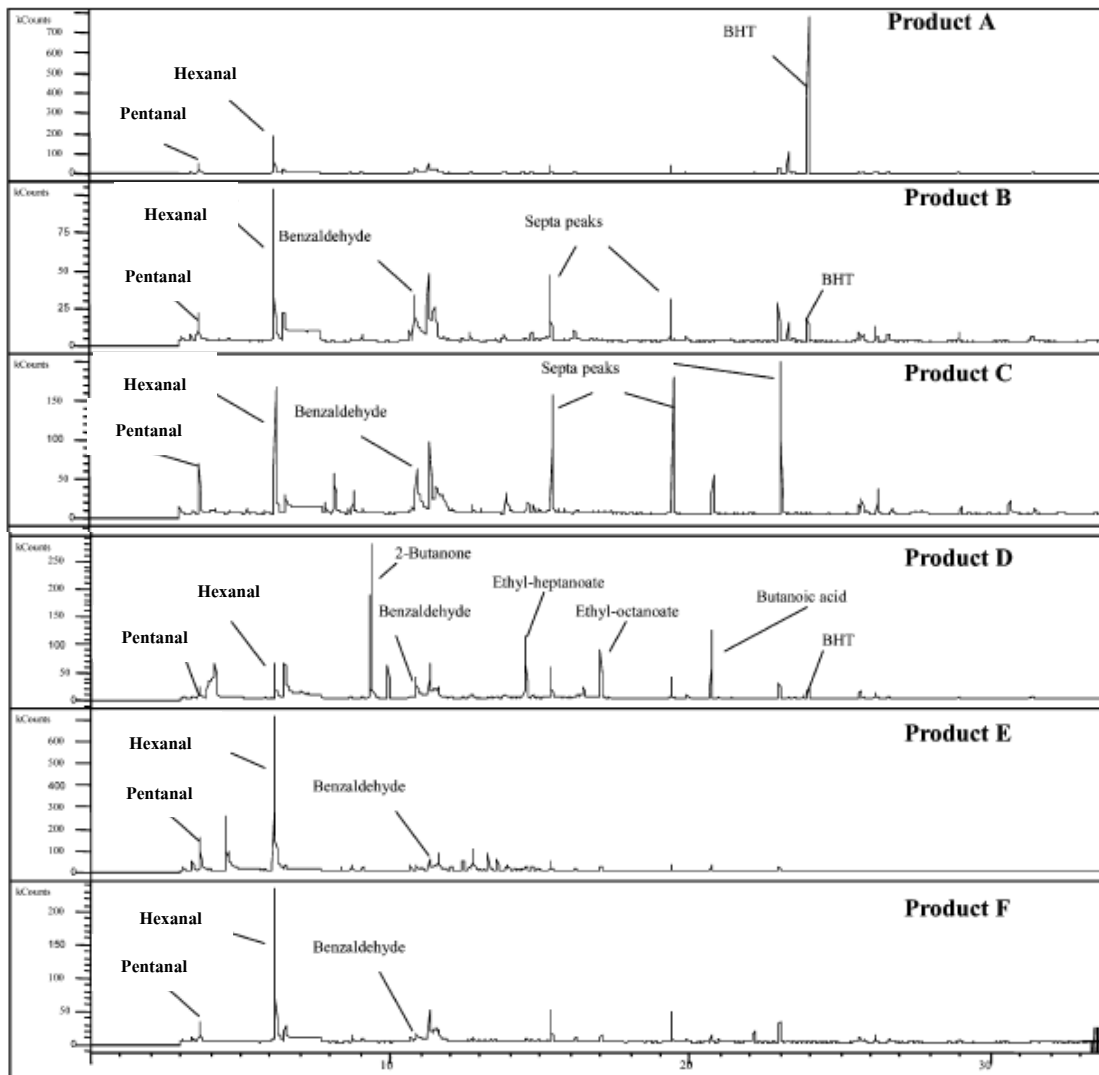
มีรายงานการวิจัยที่แสดงข้อมูลสนับสนุนว่า สารสำคัญที่มักใช้เป็นดัชนีชี้วัดการมีกลิ่นถั่วและกลิ่นไม่พึงประสงค์ในผลิตภัณฑ์อาหารจากถั่ว ได้แก่ เพนทานอล และเฮกซานอล Achouri et al. (2006) ได้นำเทคนิค SPME-GC-MS มาประยุกต์ใช้กับการวิเคราะห์ห้องค์ประกอบของสารระเหยในนมถั่วเหลืองที่จำหน่ายทางการค้า จำนวน 6 ยี่ห้อ (A-F) ได้ผลแสดงดังตารางที่ 2-4 และ

Gas chromatograms แสดงดังภาพที่ 2-11 โดยผู้วิจัยได้อธิบายว่า สารระเหยหลักที่ให้กลิ่นฉุนและเป็นกลิ่นที่ไม่พึงประสงค์ของผู้บริโภค คือ เพนทานอล และเฮกซานอล ซึ่งเป็นสารในกลุ่มอัลดีไฮด์ ซึ่งพบว่านมถั่วเหลืองทุกยี่ห้อพบสารเพนทานอล และเฮกซานอล ซึ่งเป็นสาเหตุของการเกิดกลิ่นฉุน

ตารางที่ 2-4 องค์ประกอบของสารระเหยให้กลิ่นในนมถั่วเหลืองจำนวน 6 ยี่ห้อ (A-F) โดยใช้ SPME-GC-MS

Sample	Volatiles		
	Aldehyde	Ketone	Alcohol
Product A	Pentanal	2-Heptanone	2-Butyl octanol
	Hexanal		
	Heptanal		
Product B	Pentanal		
	Hexanal		
	Heptanal		
	Nonanal		
Product C	Pentanal	3-Hydroxy-2-butanone	
	Hexanal	2-Heptanone	
	Heptanal		
Product D	Pentanal	3-Hydroxy-2-butanone	2-Butyl octanol
	Hexanal	2-Butanone	
Product E	Pentanal	2-Heptanone	1-Penten-3-ol
	Hexanal		
	Heptanal		
Product F	Pentanal	3-Hydroxy-2-butanone	1-Penten-3-ol
	Hexanal		

ที่มา: Achouri et al. (2006)



ภาพที่ 2-11 Gas chromatograms ของสารระเหยให้กลิ่นในนมถั่วเหลืองจำนวน 6 ยี่ห้อ (A-F)
ที่มา: Achouri et al. (2006)

2.3 วิธีการกำจัดกลิ่นถั่วจากแป้งที่ได้จากพืชตระกูลถั่ว

จากการรวบรวมเอกสารที่เกี่ยวข้อง พบว่า ในการกำจัดกลิ่นถั่วจากแป้งที่ได้จากพืชตระกูลถั่ว มีแนวทางดำเนินการด้วยวิธีการใช้ความร้อนและสารเคมีเพื่อยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ Lipoxygenase วิธีการกำจัดไขมันจากแป้ง รวมถึงวิธีการอื่น ๆ ตัวอย่างเช่น การดัดแปรแป้งเป็นโปรตีนเข้มข้น โปรตีนไอโซเลท การใช้จุลินทรีย์และเทคโนโลยีชีวภาพ เป็นต้น

ตัวชี้วัดที่สำคัญที่เกี่ยวกับการกำจัดกลิ่นถั่ว ได้แก่ ปริมาณไขมัน (Lipid content) กิจกรรมของเอนไซม์ Lipoxygenase (Lipoxygenase activity) และกลิ่นถั่ว (Beany flavor) รวมถึง

ตัวชี้วัดที่ต้องคำนึงถึง เช่น องค์ประกอบของสารระเหย (Volatile compounds) สมบัติการต้านอนุมูลอิสระ (Antioxidant activity) โครงสร้างทางจุลภาค (Microstructure) กิจกรรมของเอนไซม์ Peroxidase (Peroxidase activity) และคุณสมบัติเชิงหน้าที่ (Functional properties) โดยวิธีการกำจัดกลิ่นตัวแต่ละวิธี มีรายละเอียดดังนี้

2.3.1 การยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ Lipoxygenase ด้วยความร้อน

โดยความร้อนที่สามารถยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ Lipoxygenase ได้ คือตั้งแต่อุณหภูมิ 60°C ขึ้นไป (Baysal & Demirdoven, 2007) จากการรวมเอกสารที่เกี่ยวข้อง สามารถแบ่งได้เป็น 3 วิธี ได้แก่ 1) Flour heating เป็นการให้ความร้อนกับแป้งโดยตรง 2) Seed steaming เป็นการให้ความร้อนโดยการนึ่งเมล็ดธัญพืชก่อนการบดเป็นแป้ง และ 3) Seed heating เป็นการให้ความร้อนกับเมล็ดธัญพืชโดยตรงก่อนการบดเป็นแป้ง (Huang et al., 2006; Kong et al., 2008; Shin et al., 2013; Jiang et al., 2016)

2.3.1.1 Flour heating เป็นการให้ความร้อนกับแป้งโดยตรง โดยพบว่าสามารถให้ความร้อนได้ทั้งจากการให้แป้งสัมผัสกับความร้อนในตู้อบ หรือการนำแป้งมาใส่ภาชนะแล้วให้สัมผัสความร้อนผ่านน้ำ อย่างไรก็ตามยังไม่พบการประเมินผลทางประสาทสัมผัสร่วมด้วย จึงไม่ทราบถึงอิทธิพลของวิธีการให้ความร้อนต่อแป้งในรูปแบบที่แตกต่างกันนี้ต่อการยอมรับทางประสาทสัมผัสของผู้บริโภค

Huang et al. (2006) นำแป้งถั่วเหลืองซึ่งเป็นผลพลอยได้จากการบีบน้ำมันออก มาลดปริมาณไขมันที่เหลืออยู่ด้วยการสกัดด้วยตัวทำละลาย จนได้แป้งถั่วเหลืองที่มีไขมันลดลง (Lipid-reduced soybean flour) แล้วนำแป้งมาให้ความร้อนด้วยตู้อบสุญญากาศที่อุณหภูมิ 90°C เป็นเวลา 30 นาที ที่ความดันสุญญากาศ ผลการวิเคราะห์ค่า Lipoxygenase activity (LOX activity) พบว่า Lipid-reduced soybean flour ที่ผ่านการให้ความร้อนมีค่า LOX activity เท่ากับ 10.8×10^3 U/ml ซึ่งลดลงจาก Lipid-reduced soybean flour ที่ไม่ผ่านการให้ความร้อน ที่มีค่า LOX activity เท่ากับ 25.1×10^3 U/ml จะเห็นได้ว่าการให้ความร้อนกับแป้งโดยตรงสามารถยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ Lipoxygenase ได้ เนื่องจากเอนไซม์ Lipoxygenase เป็นโปรตีน การให้ความร้อนที่อุณหภูมิสูงจึงทำให้เอนไซม์ Lipoxygenase เสียสภาพธรรมชาติ

Kong et al. (2008) นำแป้งถั่วเหลืองซึ่งเป็นผลพลอยได้จากการบีบน้ำมันออก นำมาให้ความร้อนโดยนำแป้งถั่วเหลืองใส่ในหลอดทดลอง ปิดฝา แล้วแช่ในอ่างน้ำเดือด เป็นเวลา 0 5 10 15 20 และ 25 นาที มาวิเคราะห์ค่า Residual activity ของเอนไซม์ Lipoxygenase พบว่า ค่า Residual activity ของเอนไซม์ Lipoxygenase ลดลงอย่างต่อเนื่องเมื่อเวลาการให้ความร้อนเพิ่มขึ้น ทั้งนี้

เนื่องจากการให้เวลาในการให้ความร้อนมากขึ้น ทำให้แป้งสัมผัสกับความร้อนได้ทั่วถึง จึงมีโอกาสรักษาการทำงานของเอนไซม์ Lipoxygenase ได้

2.3.1.2 Seed steaming เป็นการให้ความร้อนโดยการนึ่งเมล็ดก่อนการบดเป็นแป้ง โดยให้ความร้อนผ่านไอน้ำร้อน ในระดับอุณหภูมิสูงที่สามารถยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ Lipoxygenase ได้ แล้วจึงนำเมล็ดมาบดเป็นแป้ง

Shin et al. (2013) ได้นำเมล็ดถั่วเหลืองมาหนึ่งที่อุณหภูมิ 95°C เป็นเวลา 1 ชั่วโมง และนำมาทำแห้งต่อที่อุณหภูมิ 30°C เป็นเวลา 48 ชั่วโมง เพื่อลดความชื้นลง แล้วบดเป็นแป้ง พบว่า แป้งถั่วเหลืองที่ผ่านการนึ่ง (Steamed soy flour, SS) มีค่า Lipoxygenase activity เท่ากับ 106 U/g ลดลงจากแป้งถั่วเหลืองดั้งเดิม (Raw soy flour, NS) ที่มีค่า Lipoxygenase activity เท่ากับ 279 U/g รวมถึงยังมีสมบัติการต้านอนุมูลอิสระจากการวิเคราะห์ด้วยวิธี FRAP เท่ากับ 0.40 mM TE/g ซึ่งมากกว่าแป้ง NS ที่มีค่าเท่ากับ 0.34 mM TE/g ($p < 0.05$) ทั้งนี้เนื่องจาก ความร้อนทำให้เอนไซม์ Lipoxygenase ซึ่งเป็น โปรตีนเสียหายธรรมชาติ และยังมีผลต่อเอนไซม์บางชนิดที่ไปกระตุ้นให้เกิดการสูญเสียของสารประกอบฟีนอลิกในแป้ง จึงเป็นการรักษาสมบัติสารต้านอนุมูลอิสระไว้ได้

เมื่อนำแป้งถั่วเหลืองมาผลิตขนมปัง และทดสอบปริมาณของโคพบว่า ปริมาณของโคแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) โดยแป้งที่ผ่านการเตรียมขั้นต้นด้วยการนึ่งด้วยไอน้ำมีปริมาณของโคต่ำที่สุด สอดคล้องกับปริมาณขนมปังที่ได้มีปริมาณต่ำเช่นกัน ทั้งนี้อาจเนื่องจากการนึ่งด้วยไอน้ำทำให้สตาร์ชเกิดการเจลาติไนเซชัน (Gelatinization) บางส่วน และเกิดการเสียหายธรรมชาติของโปรตีนจึงทำให้สูญเสียสมบัติในการอุ้มน้ำ หรือทำให้เกิดการสูญเสียโครงสร้างส่งผลให้ขนมปังที่ได้มีปริมาณต่ำ เมื่อนำขนมปังมาทดสอบคุณภาพทางประสาทสัมผัสได้แก่ กลิ่น รส และความแข็งของขนมปังที่ทำจากแป้งต่าง ๆ โดยประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสด้วยวิธี 9-point scale ranging คะแนน 1 หมายถึง อ่อนที่สุด และคะแนน 9 หมายถึง เข้มมากที่สุด พบว่า ขนมปังที่ใช้แป้ง SS มีกลิ่นรสและความแข็งน้อยกว่าขนมปังที่ใช้แป้ง NS แต่มีความแข็งของเนื้อขนมปังมากกว่าแป้ง NS สอดคล้องกับลักษณะของขนมปังที่มีเนื้อแน่นกว่า

2.3.1.3 Seed heating

Jiang et al. (2016) ปรับปรุงกลิ่นถั่วของแป้งถั่วปากอ้า โดยการนำเมล็ดถั่วปากอ้ามาให้ความร้อนด้วยไมโครเวฟที่ 950 W เป็นระยะเวลา 1 1.5 2 3 และ 4 นาที เทียบกับการอบแห้งแบบดั้งเดิมที่อุณหภูมิ 170°C นาน 30 นาที วิเคราะห์ค่า Lipoxygenase activity และ Peroxidase activity ซึ่งเกี่ยวข้องกับปฏิกิริยาการเกิดกลิ่นเหม็นหืนของแป้งถั่วได้ พบว่า การให้ความร้อนด้วยไมโครเวฟเป็นระยะเวลา 1 นาที กิจกรรมของ Peroxidase และ Lipoxygenase ลดลง 50% และ 66% ตามลำดับ และเมื่อให้ความร้อนนานยิ่งขึ้น พบว่ากิจกรรมของ peroxidase และ Lipoxygenase ลดลงถึงระดับที่

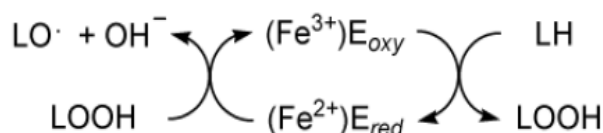
ไม่สามารถตรวจวัดได้ ดังนั้นการให้ความร้อนเมล็ดถั่วปากอ้าด้วยไมโครเวฟเป็นระยะเวลา 1.5 นาที จึงเป็นสิ่งทดลองที่ดีที่สุด เนื่องจากการให้ความร้อนในเวลาน้อยที่สุดที่ตรวจไม่พบค่า Lipoxygenase activity และ Peroxidase activity ซึ่งเป็นสาเหตุของการเกิดกลิ่นถั่ว ถึงแม้ว่าการให้ความร้อนด้วยไมโครเวฟใช้เวลาในการให้ความร้อนระยะสั้น แต่ให้ความร้อนที่มีอุณหภูมิสูงกว่า 60°C ซึ่งสามารถยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ได้ เนื่องจากโมเลกุลของน้ำภายในอาหารเมื่อได้รับคลื่นไมโครเวฟ จะเกิดการสั่นสะเทือนทำให้มีความร้อนเกิดขึ้นอย่างรวดเร็ว

นอกจากนี้ผู้วิจัยได้ตรวจสอบโครงสร้างทางจุลภาคของแป้งถั่วปากอ้า พบว่า แป้งถั่วปากอ้าที่ไม่ผ่านการให้ความร้อนเมล็ดแป้งยังคงแยกกันเป็นเม็ดเดี่ยว ๆ และมีผิวเรียบ มีเส้นผ่านศูนย์กลางอยู่ระหว่าง 12 μm ถึง 33 μm ส่วนแป้งที่ผ่านการให้ความร้อนสูง พบว่า มีขนาดอนุภาคที่ใหญ่กว่า เนื่องจากการเสถียรภาพธรรมชาติของโปรตีน โปรตีนจึงไป Crosslink กับโมเลกุลอื่นและไปล้อมรอบเม็ดสตาร์ช ทำให้เกิดการตกตะกอน เมื่อส่องด้วยแสงโพลาไรด์ พบว่าทั้งแป้งถั่วปากอ้าที่ผ่านและไม่ผ่านการให้ความร้อน ยังคงเห็นไบรฟริงเจนต์ แสดงให้เห็นถึง โครงสร้างผลึกของสตาร์ชไม่ถูกทำลาย

2.3.2 การยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ Lipoxygenase ด้วยสารเคมี

จากการรวบรวมเอกสารที่เกี่ยวข้อง พบว่า ในการกำจัดกลิ่นถั่วเพื่อปรับปรุงคุณภาพแป้งถั่วสามารถดำเนินการได้ โดยการยับยั้งเอนไซม์ Lipoxygenase ไม่ให้ทำงานด้วยสารเคมี โดยอาศัยหลักการที่เกี่ยวข้อง 4 หลักการ

หลักการที่ 1 คือ ภายในโมเลกุลของเอนไซม์ Lipoxygenase มีเหล็ก (Iron : Fe^{2+}) เป็นส่วนประกอบอยู่ จะทำหน้าที่ดึงอะตอมไฮโดรเจนจากกรดไขมัน และเติมออกซิเจนให้กับกรดไขมัน เกิดเป็นไฮโดรเปอร์ออกไซด์ (Hydro peroxide) ซึ่งจะสลายตัวเป็นอนุมูลของกรดไขมันต่อไป (Halliwell et al., 1995) ดังนั้นหากจับเหล็กที่บริเวณ Active site ของเอนไซม์ และ/หรือการเปลี่ยนรูป Ferric (Fe^{3+}) ของเอนไซม์ เป็นรูป Ferrous (Fe^{2+}) จะทำให้เอนไซม์ Lipoxygenase ไม่สามารถทำงานได้ แสดงดังภาพที่ 2-12



ภาพที่ 2-12 การเปลี่ยนรูปจาก Fe^{3+} เป็น Fe^{2+} ซึ่งเป็นรูปที่เอนไซม์ Lipoxygenase ไม่ทำงาน
ที่มา: Kubo, Ha, and Shimizu (2013)

ดังนั้นจึงมีแนวทางหนึ่งที่สามารถยับยั้งกลไกการทำงานของเอนไซม์ Lipoxygenase ได้ ด้วยการใส่สารเคมีที่มีสมบัติเป็น Chelating agent ซึ่งมีผลให้เกิดการสร้างพันธะจับกับเหล็ก เกิดเป็นสารประกอบเชิงซ้อนที่เรียกว่า คีเลต (Chelate) ซึ่งเป็นสารประกอบเชิงซ้อนที่มีความคงตัว จึงสามารถดึงเหล็กออกจากเอนไซม์ Lipoxygenase ได้ (Maestri et al., 2000) วัตถุเจือปนอาหาร กลุ่ม Chelating agent ที่มีรายงานว่าสามารถช่วยลดกลิ่นอับได้ ได้แก่ Ethylene diamine tetra acetic (EDTA) Propyl gallate และ Citric acid

Maestri et al. (2000) รายงานว่า การปรับปรุงกลิ่นอับของเครื่องดื่มน้ำนมถั่วเหลืองสามารถทำได้โดยการแช่ถั่วเหลืองในสารละลาย EDTA ก่อนนำไปบด เป็นน้ำนมถั่วเหลือง ซึ่งพบว่าน้ำนมถั่วเหลืองที่ได้มีกลิ่นถั่วลดลงเมื่อเปรียบเทียบกับน้ำนมถั่วเหลืองทางการค้า และน้ำนมถั่วเหลืองที่ไม่ได้เติม EDTA

Arif et al. (2012) ได้ศึกษาผลของการแปรรูปแป็งต่อคุณลักษณะของน้ำนมถั่วเหลือง ดำเนินการ โดยการนำแป็งถั่วเหลืองมาผ่านการคั่ว การงอก การให้ความร้อนด้วย Autoclave และการแช่แป็งในสารละลาย EDTA 0.5% (ละลายใน Sodium hydroxide 0.5%) เพื่อลดกลิ่นอับของแป็งถั่วเหลืองในการผลิตน้ำนมถั่วเหลือง พบว่า การงอกทำให้ปริมาณโปรตีนเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเมื่อเปรียบเทียบกับวิธีอื่น และการแช่แป็งในสารละลาย EDTA 0.5% ทำให้แป็งมีกลิ่นถั่วลดลงมากที่สุด

Kudre and Benjakul (2014) ได้ศึกษาการเตรียมโปรตีนไอโซเลทจากแป็งถั่วหรั่งหลายวิธี ได้แก่ แป็งถั่วหรั่งที่ไม่ผ่านการสกัดไขมันออก (ND-FBGPI) แป็งถั่วหรั่งที่ผ่านการสกัดไขมันออก (DF-BGPI) และแป็งถั่วหรั่งที่ผ่านการสกัดไขมันออก ผสม EDTA และผ่านการให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 70 °C เป็นเวลา 30 นาที (DF-BGPI-HE) นำไปเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 30°C เป็นเวลา 30 วัน พบว่า DF-BGPI-HE ไม่ตรวจพบสารระเหย Pentanol และ Hexanol ซึ่งเป็นสารระเหยที่ให้กลิ่นอับที่สำคัญ นอกจากนี้ได้นำโปรตีนไอโซเลทที่เตรียมจากแป็งถั่วหรั่งทั้ง 3 วิธี มาผลิตเจลซูริมิ และเก็บไว้เป็นเวลา 15 วัน พบว่า เจลซูริมิ ที่เตรียมจาก DF-BGPI-HE มีค่า Peroxide value และ TBARS ต่ำกว่าแป็งที่เตรียมจากวิธีอื่นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) และผลการทดสอบทางประสาทสัมผัสด้วยวิธี scoring พบว่า DF-BGPI-HE วันที่ 0 ผู้ทดสอบไม่ได้กลิ่นถั่ว และในวันที่ 15 มีกลิ่นถั่วเพิ่มขึ้นเล็กน้อย (1.23)

หลักการที่ 2 คือ การใช้สารต้านออกซิเดชัน เนื่องจากเอนไซม์ Lipoxygenase สามารถกระตุ้นการเกิดออกซิเดชันของกรดไขมันไม่อิ่มตัวและไฮโดรเปอร์ออกไซด์ได้ ดังนั้นการใช้สารต้านออกซิเดชัน ไปจับกับอนุมูลอิสระที่จะทำให้เกิดปฏิกิริยาต่อเป็นสารไฮโดรเปอร์ออกไซด์ จึงสามารถยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ Lipoxygenase ได้ โดยสารต้านออกซิเดชันที่มีสมบัติดังกล่าว

ได้แก่ บี เอช เอ (BHA) บี เอช คิว (BHQ) โทโคฟีรอล (Tocopherol) โพรพิลแกลเลต (Propyl gallate) และฟลาโวนอยด์ (Flavonoid) (ขวัญใจ แซ่ถิ่ม, 2552)

Propyl gallate มีบทบาทสำคัญในการเป็นสารต้านออกซิเดชันให้แก่ไขมัน น้ำมัน จึงมักนำมาใช้ในอุตสาหกรรมอาหารการผลิตเนยเทียม และมีรายงานว่า Propyl gallate สามารถยับยั้งเอนไซม์ Lipoxygenase ได้มากกว่า บี เอช เอ (BHA) บี เอช ที (BHT) และกรดแอสคอร์บิก (Ascorbic) ในผลิตภัณฑ์นมถั่วเหลือง (Vijayaragiya & Pai, 1991)

หลักการที่ 3 คือ การสร้างสภาวะ pH ที่ไม่เหมาะสมต่อการทำงานของเอนไซม์ Lipoxygenase มีรายงานว่า เอนไซม์ Lipoxygenase ทำงานได้ดีที่ pH อยู่ในช่วง 6.5-9 ซึ่งเป็นสภาวะค่อนข้างเป็นกลางและเป็นเบส (Surrey, 1960) ดังนั้นการปรับสภาวะให้อยู่ในสภาวะกรด (pH ต่ำกว่า 6.5) อาจมีผลต่อการเสถียรภาพธรรมชาติของเอนไซม์ Lipoxygenase ได้ (ทิพวรรณ จันทะรักษ์ และคณะ, 2555) การนำแป้งมาปรับให้อยู่ในสภาวะกรด จึงเป็นอีกแนวทางหนึ่งที่สามารถยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ Lipoxygenase ได้

หลักการที่ 4 คือ การอาศัยกลไกความจำเพาะของหัวและหาง (Head and Tail concept) ของสารยับยั้งเอนไซม์ กล่าวได้ว่าเป็นกลไกเคมีสารเคมีที่ทำหน้าที่ยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ โดยอาศัยความจำเพาะต่อเอนไซม์ จึงสามารถยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ได้ ตัวอย่างเช่น สารยับยั้ง Resorcinol มีโครงสร้างโมเลกุลส่วนหางที่เรียกว่า Pentadeca(en)yl เป็นองค์ประกอบสำคัญที่มีความจำเพาะต่อเอนไซม์ Lipoxygenase มากจึงสามารถจับกับเอนไซม์ Lipoxygenase จึงเป็นการยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ Lipoxygenase ได้ นอกจากนี้มีข้อมูลการทดลองการยับยั้งเอนไซม์ Lipoxygenase โดยการเลือกใช้สารยับยั้งที่มีโครงสร้างโมเลกุลส่วนหัวที่มีความจำเพาะต่อเอนไซม์ Lipoxygenase เช่น 5-Pentadeca(en)yl salicylic acids จึงมีผลให้สามารถยับยั้งการเกิดกรดลิโนเลอิกเพอร้ออกซิเดชันของกรดไขมันได้ (Kubo, Ha, & Shimizu, 2013; เจนจิรา จิรัมย์ และประสงค์ สีหนาม, 2554)

2.3.3 การกำจัดไขมันจากแป้ง

การกำจัดไขมันจากแป้ง กล่าวได้ว่าเป็นการกำจัดสารตั้งต้นของการเกิดกลิ่นถั่ว โดยการสกัดไขมันด้วยตัวทำละลาย มักจะดำเนินการโดย นำแป้งผสมกับตัวทำละลายและแช่ในเวลาที่มากเกินไป แล้วนำไปปั่นเหวี่ยง นำกากที่ได้จากการตกตะกอนไปทำแห้ง การสกัดด้วยตัวทำละลายนี้ตัวแปรหนึ่งที่มีความสำคัญต่อประสิทธิภาพการสกัด คือ การใช้ตัวทำละลายที่เหมาะสม และการใช้สารละลายผสมก็เป็นแนวทางหนึ่งที่น่าสนใจในการกำจัดไขมันจากแป้งได้ (Kudre & Benjakul, 2013)

Kudre and Benjakul (2013) ได้ปรับปรุงกลิ่นฉุนของแป้งถั่วหรั่งโดยการกำจัดไขมันออกจากแป้งด้วยตัวทำละลายอินทรีย์ผสมร่วมกัน 2 ชนิด โดยการผสมระหว่างตัวทำละลายที่มีสมบัติไม่มีขั้ว ได้แก่ Chloroform Hexane และ Diethyl ether กับตัวทำละลายที่มีสมบัติมีขั้ว ได้แก่ Methanol และ Isopropanol จัดรูปแบบตัวทำละลายผสมได้ 6 สิ่งทดลอง โดยตรวจวัดปริมาณไขมันที่ถูกกำจัดออก (Lipids removed) ตรวจวัดปริมาณฟอสโฟลิปิดที่ถูกกำจัดออก (Phospholipids removed) สำหรับผลการตรวจวัดปริมาณไขมันที่ถูกกำจัดออก พบว่า การใช้ตัวทำละลายที่แตกต่างกันมีผลต่อการกำจัดไขมันแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) โดยการใช้ตัวทำละลาย Chloroform ร่วมกับ Methanol มีประสิทธิภาพในการกำจัดไขมันได้มากที่สุด งานวิจัยนี้ตรวจวัดปริมาณฟอสโฟลิปิดที่ถูกกำจัดออก เนื่องจากฟอสโฟลิปิดเป็นองค์ประกอบที่มีมากในแป้งถั่วหรั่งและไวต่อปฏิกิริยา Oxidative rancidity ทำให้เกิดกลิ่นเหม็นหืนได้ สำหรับผลการตรวจวัดปริมาณฟอสโฟลิปิดที่ถูกกำจัดออก พบว่า มีผลเช่นเดียวกับปริมาณไขมันที่ถูกกำจัดออก คือการใช้ตัวทำละลาย Chloroform ร่วมกับ Methanol มีประสิทธิภาพในการกำจัดไขมันได้มากที่สุด ทั้งนี้เนื่องจาก Chloroform และ Methanol เป็นตัวทำละลายที่มีขั้วสูงมากกว่าตัวทำละลายอื่นจึงสามารถสกัดไขมันและฟอสโฟลิปิดได้มากกว่าตัวทำละลายอื่นในทุกอุณหภูมิอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

นอกจากนี้ยังมีแปรปริมาณอุณหภูมิในการสกัดเป็น 40°C 50°C 60°C และ 70°C พบว่า อุณหภูมิก็มีผลต่อประสิทธิภาพในการกำจัดไขมันได้เช่นเดียวกัน โดยการใช้อุณหภูมิ 60°C มีประสิทธิภาพในการกำจัดไขมันได้มากกว่าการใช้อุณหภูมิ 40°C 50°C และ 70°C เมื่อพิจารณาผลของการใช้สารละลายผสมร่วมกับอุณหภูมิที่ใช้ในการสกัด พบว่า การใช้ตัวทำละลาย Chloroform ร่วมกับ Methanol ที่อุณหภูมิ 60°C มีประสิทธิภาพในการกำจัดไขมันได้มากที่สุด โดยมีค่า Lipids removed เท่ากับ 87% เช่นเดียวกับผลของฟอสโฟลิปิดที่ถูกกำจัดออก พบว่า การใช้อุณหภูมิ 60°C มีประสิทธิภาพในการกำจัดฟอสโฟลิปิดได้มากที่สุด และการใช้ตัวทำละลาย Chloroform ร่วมกับ Methanol ที่อุณหภูมิ 60°C มีประสิทธิภาพในการกำจัดฟอสโฟลิปิดได้มากที่สุด โดยมีค่า Phospholipids removed เท่ากับ 189.9% ทั้งนี้เนื่องจากการใช้อุณหภูมิสูงเอื้อให้เม็ดไขมันแยกตัวออกจากองค์ประกอบอื่นได้มากขึ้น จึงทำให้ไขมันสัมผัสกับตัวทำละลายได้มากขึ้น จึงสามารถสกัดไขมันออกมาได้มาก แต่อย่างไรก็ตามการใช้อุณหภูมิสูงถึง 70°C เป็นอุณหภูมิที่มากกว่าจุดเดือดของตัวทำละลายทุกตัว จึงมีโอกาสทำให้ตัวทำละลายบางส่วนระเหยไป ส่งผลให้ประสิทธิภาพในการสกัดไขมันลดลง

เมื่อพิจารณากิจกรรมของเอนไซม์ Lipoxigenase ที่เหลืออยู่ในแป้งถั่วหรั่งเทียบกับตัวอย่างควบคุมคือ แป้งถั่วหรั่งที่ไม่ได้สกัดน้ำมัน พบว่า แป้งถั่วหรั่งที่ผ่านการสกัดน้ำมันออกด้วยตัวทำละลายทุกสิ่งทดลอง มีกิจกรรมของเอนไซม์ Lipoxigenase ลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

($p < 0.05$) มีรายงานว่าความร้อนที่สามารถยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ Lipoxygenase ได้คือตั้งแต่อุณหภูมิ 60°C ขึ้นไป จากผลการทดลองพบว่าการใช้อุณหภูมิสูงขึ้น กิจกรรมของเอนไซม์ Lipoxygenase ลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) โดยที่อุณหภูมิ 70°C สามารถยับยั้งกิจกรรมของเอนไซม์ Lipoxygenase ได้มากที่สุด ทั้งนี้เนื่องจากการใช้อุณหภูมิสูงทำให้เอนไซม์ Lipoxygenase เสียสภาพธรรมชาติ และพบว่าการยับยั้งเอนไซม์ Lipoxygenase มีประสิทธิภาพมากเมื่อใช้ตัวทำละลาย methanol ในทุกอุณหภูมิ ($p < 0.05$) เนื่องจากความมีขี้ของตัวทำละลายสามารถดึงน้ำออกจากเอนไซม์ ส่งผลให้เอนไซม์เปลี่ยนโครงสร้างมีประจุลบมากขึ้นจึงสูญเสียคุณสมบัติในการแลกเปลี่ยนประจุ สอดคล้องกับงานวิจัยของ Kermasha et al. (2012) รายงานว่าตัวทำละลายเช่น Chloroform และ Dichloromethane ซึ่งเป็นตัวทำละลายที่มีขี้สามารถยับยั้งเอนไซม์ Lipoxygenase ได้มากกว่าตัวทำละลายที่ไม่มีขี้

ผู้วิจัยเลือกแปรงถั่วหรั่งที่ผ่านการสกัดน้ำมัน โดยใช้ตัวทำละลายผสมที่แตกต่างกันที่อุณหภูมิ 60°C มาเก็บรักษาเป็นเวลา 30 วัน ที่อุณหภูมิห้อง มาประเมินความเข้มของกลิ่นถั่วโดยใช้ 6-point scale ranging เทียบกับแปรงถั่วหรั่งที่ไม่ได้สกัดน้ำมัน เมื่อพิจารณาวันที่ 0 พบว่า แปรงถั่วหรั่งที่ผ่านการสกัดน้ำมันด้วย chloroform ร่วมกับ methanol ซึ่งมีการสกัดน้ำมันออกมามาก มีความเข้มของกลิ่นถั่วที่น้อยที่สุด และเมื่อเก็บรักษาไว้เป็นเวลา 30 วัน พบว่า แปรงถั่วหรั่งที่ผ่านการสกัดน้ำมันด้วย Chloroform ร่วมกับ Methanol ยังคงมีความเข้มของกลิ่นถั่วที่น้อยที่สุด

นอกจากนี้การกำจัดไขมันจากแปรง มีการใช้ตัวทำละลายเพียงชนิดเดียว ตัวอย่างเช่น Campbell et al. (2016) ได้เตรียมแปรงจากเมล็ดถั่วฝักยาวสำหรับนำไปทำโปรตีนไอโซเลท โดยการนำแปรงถั่วฝักยาวมาสกัดไขมันด้วยอะซิโตนเย็น ด้วยอัตราส่วนแปรงต่อตัวทำละลายเท่ากับ 1:3 ที่อุณหภูมิ 4°C เป็นเวลา 1 ชั่วโมง

Ugwuona and Suwaba (2013) ได้ศึกษาผลของแปรงถั่วพรีที่ผ่านการสกัดไขมันต่อคุณสมบัติทางเคมีกายภาพและทางประสาทสัมผัสของขนมปัง ดำเนินการเตรียมแปรงถั่วพรีโดยการนำแปรงถั่วพรีมาสกัดไขมันด้วย n-Hexane ด้วยอัตราส่วนแปรงต่อตัวทำละลายเท่ากับ 1:3 ที่อุณหภูมิ 20°C พบว่า แปรงหลังการสกัดไขมันมีปริมาณไขมันลดลงเหลือเพียง 0.55%

Boadright et al. (1995) นำแปรงจากกากถั่วเหลือง มาลดปริมาณไขมันโดยการสกัดด้วย 2-propanol ด้วยอัตราส่วนแปรงต่อตัวทำละลายเท่ากับ 1:4 ที่อุณหภูมิ 25°C

2.3.4 วิธีการอื่นๆ ตัวอย่างเช่น การคัดแปรงเป็นโปรตีนเข้มข้น โปรตีนไอโซเลท การใช้จุลินทรีย์และเทคโนโลยีชีวภาพ เป็นต้น

Swamylingappa and Srinivas (1994) เตรียมโปรตีนไอโซเลทจากกากถั่วเหลืองทางการค้าที่ผ่านการทรีทด้วยเฮกเซนร่วมกับกรดอะซิติก ที่อุณหภูมิ 28°C และ 58°C ประเมินคุณภาพ

ทางประสาทสัมผัส เคมีกายภาพ และคุณลักษณะเชิงหน้าที่ของ โปรตีนถั่วเหลืองไอโซเลท พบว่า ปริมาณผลได้ของโปรตีนไอโซเลทสำหรับกากถั่วเหลืองที่เป็นตัวอย่างควบคุมมีปริมาณเท่ากับ 66% ขณะที่โปรตีนไอโซเลทของกากถั่วเหลืองที่ผ่านการทรีทมีปริมาณผลได้ลดลง 12-18.2% กิจกรรมของทริปซินอินฮิบิเตอร์ (52 TIU/mg of protein) ของโปรตีนถั่วเหลืองไอโซเลท ลดลง อย่างมีนัยสำคัญ เมื่อเปรียบเทียบกับกากถั่วเหลืองที่ไม่ได้ผ่านการทำไอโซเลท (138 TIU/mg of protein) การประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสพบว่า โปรตีนถั่วเหลืองไอโซเลทที่ผ่านการทรีทมี กลิ่นถั่วลดลง 66%

Eldridge, Fridrich, Warner, and Kwolek (1986) นำเมล็ดถั่วเหลืองไขมันเต็มมาสกัดด้วย supercritical carbon dioxide (SC-CO₂) ที่ความดัน 10,600-12,400 psi อุณหภูมิ 80-100°C และ ความชื้น 5-13.5% โดยสภาวะที่เลือกใช้ผลิตกากถั่วเหลืองปราศจากไขมัน มีดัชนีการละลายของ ไนโตรเจนมากกว่า 70% และมีกลิ่นถั่วมากกว่า 6.5 บนสเกล 1 ถึง 10 (1 = กลิ่นแรง, 10 = กลิ่น อ่อน) ซึ่งตามปกติกลิ่นถั่วจะพบเมื่อสกัดน้ำมันถั่วเหลืองด้วยเฮกเซน แต่เมื่อสกัดน้ำมันถั่วเหลือง ด้วย SC-CO₂ จะพบกลิ่นถั่ว น้อยมาก และการสกัดด้วย SC-CO₂ ยังได้โปรตีนเข้มข้นและโปรตีน ไอโซเลทที่มีคุณภาพสูงและคงตัวเมื่อเก็บในสภาวะที่ไม่พึงประสงค์

Braudo, Danilenko, Dianova, and Krokha (2001) ได้นำเทคโนโลยีชีวภาพมา ประยุกต์ใช้ในการปรับเปลี่ยนกากของเมล็ดจากพืชตระกูลถั่ว (Pea, Faba bean) ดำเนินการ โดยการ นำเมล็ดถั่วไปผ่านการงอก และทรีทด้วยเอนไซม์โปรติเอส พบว่า กากของเมล็ดที่ผ่านการงอก และทรีทด้วยเอนไซม์โปรติเอส สามารถนำไปใช้แทนโปรตีนถั่วเหลืองไอโซเลทในการปรับปรุง เนื้อสัมผัสได้ โดยเฉพาะอย่างยิ่ง กากของเมล็ด pea เมื่อใช้ร่วมกับผลิตภัณฑ์เนื้อ ตัวอย่างเช่น ไข่กรอก ช่วยปรับปรุงสีและกำจัดกลิ่นถั่วที่ไม่พึงประสงค์ โดยพบว่าความเข้มข้นของ Six-carbon aldehydes (Hexanol) ในผลิตภัณฑ์ไข่กรอกลดลง

Qiao, Mao-feng and Su-chun (2014) ศึกษาการกำจัดกลิ่นถั่วด้วยยีสต์จากการหมักกาก ถั่วเหลือง เป็นวิธีการกำจัดกลิ่นถั่วที่มีประสิทธิภาพและปลอดภัยระหว่างกระบวนการผลิต ดำเนินการ โดยนำยีสต์ Y03 ซึ่งยีสต์สายพันธุ์นี้ถูกระบุว่าเป็น *Saccharomyces cerevisiae* มาหมัก กากถั่วเหลือง และวิเคราะห์กลิ่นถั่วด้วย SPME-GC-MS และประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัส พบว่า สารระเหย Hexanol ซึ่งเป็นองค์ประกอบหลักของสารระเหยที่ทำให้เกิดกลิ่นถั่ว สามารถถูก กำจัดได้ภายใน 2 ชั่วโมง ขณะที่สารระเหยพวกแอลกอฮอล์และเอสเทอร์ยังคงมีอยู่

Siddiq, Kelkar, Harte, Dolan, and Nyombaire (2013) ศึกษาคุณสมบัติเชิงหน้าที่ของ แป้งถั่ว Navy และ Pinto ที่ผ่านกระบวนการเอ็กซ์ทรูดที่อุณหภูมิต่ำ ดำเนินการ โดยนำแป้งถั่วมา ผ่านกระบวนการเอ็กซ์ทรูดที่อุณหภูมิ 85°C (EXT) เปรียบเทียบกับแป้งดิบ และแป้งที่ผ่านการนึ่ง

ทางการค้าที่อุณหภูมิ 82°C (STC) และนำแป้งถั่วไปทำคุกกี้ พบว่า คุกกี้ที่ทำจากแป้ง EXT ได้รับคะแนนความชอบทางประสาทสัมผัส (9-point hedonic scale) ในด้านกลิ่นรส เนื้อสัมผัส และความชอบโดยรวม มากกว่า 6 ซึ่งสูงกว่าแป้ง STC และผู้ทดสอบตรวจไม่พบกลิ่นถั่วในผลิตภัณฑ์คุกกี้

2.4 การทำแห้งด้วยไมโครเวฟ

การใช้ไมโครเวฟในการแปรรูปอาหารเป็นที่นิยมเพิ่มมากขึ้นอย่างต่อเนื่อง ในอุตสาหกรรมอาหารสามารถนำไมโครเวฟมาใช้ในกระบวนการต่าง ๆ ได้หลายกระบวนการ ได้แก่ การลวก (Blanching) การทำให้สุก (Cooking) การทำแห้ง (Drying) การพาสเจอร์ไรส์ (Pasteurizing) การสเตอริไลส์ (Sterilizing) การละลายน้ำแข็ง (Thawing) การอบ (Baking) รวมทั้งกระบวนการอื่น ๆ เช่น การควบคุมจุลินทรีย์ เป็นต้น และในปัจจุบันนี้เนื่องจากกระแสความต้องการของผู้บริโภคทางด้านอาหารได้มีการเปลี่ยนแปลงไปจากเดิม โดยผู้บริโภคต้องการอาหารที่มีคุณภาพที่ใกล้เคียงกับของสด มีคุณภาพสูง มีความสะดวกสบายในการเตรียม อีกทั้งมีอายุการเก็บรักษาอย่างเพียงพอ โดยเฉพาะอาหารที่ปรุงสุกได้อย่างรวดเร็ว (Quick cooking dishes) ที่ได้รับความนิยมเพิ่มขึ้นในสังคม

ปัจจุบัน จึงทำให้มีการศึกษาการใช้ไมโครเวฟเพื่อตัดแปลงและปรับปรุงกระบวนการแปรรูปอาหาร โดยเฉพาะในการให้ความร้อนและได้มีการนำมาประยุกต์ใช้ในการแปรรูปอาหารชนิดต่าง ๆ เช่น อาหารแปรรูปขั้นต้น (Minimally processed foods) ทั้งนี้เนื่องจากไมโครเวฟทำให้เกิดความร้อนขึ้นอย่างรวดเร็วและเป็นผลให้เกิดการสูญเสียคุณภาพด้านต่าง ๆ เช่น กลิ่นรส สีและเนื้อสัมผัส และคุณค่าทางโภชนาการน้อยกว่าการให้ความร้อนแบบดั้งเดิม

ไมโครเวฟเป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่มีความถี่สูงมากถึง 2,450 ล้านรอบต่อวินาที มีลักษณะคล้ายกับคลื่นวิทยุ แต่มีความถี่ที่สูงกว่า เครื่องไมโครเวฟประกอบด้วยแมกนีตรอน เป็นอุปกรณ์ที่จะเปลี่ยนพลังงานไฟฟ้าเป็นคลื่นไมโครเวฟ ท่อนำคลื่น และตู้โลหะ โดยกลไกการเกิดความร้อนเมื่อวัตถุสัมผัสกับคลื่นไมโครเวฟนั้นมี 2 กลไก คือ การเคลื่อนที่ของไอออน เมื่ออยู่ในสนามไฟฟ้า (Ionic polarization) และการหมุนของสารประกอบที่มีขั้ว (Dipole rotation)

การเคลื่อนที่ของไอออน เมื่ออยู่ในสนามไฟฟ้าภายในเตาไมโครเวฟ เกิดจากแมกนีตรอนจะสร้างสนามไฟฟ้ากระแสสลับ ซึ่งสนามไฟฟ้าจะถูกสร้างออกมาในลักษณะ 3 ทิศทาง คือ บน ลู่ล่าง ข้างลู่ข้างและหน้าลู่หลัง เมื่ออนุภาคที่มีประจุในอาหารสัมผัสกับคลื่นไมโครเวฟ จะทำให้เกิดการสั่นและเคลื่อนที่ จึงเกิดการชน (Collisions) หรือเสียดสีกับอนุภาคที่อยู่ข้างเคียงเป็นผลให้เกิดความร้อนขึ้นในอาหารนั้น ซึ่งโดยทั่วไปในอาหารจะมีองค์ประกอบที่ซับซ้อน มีปริมาณน้ำและ

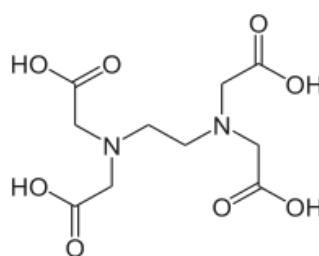
เกลือที่ละลายได้แตกต่างกันเช่น โซเดียม โปตัสเซียม หรือแคลเซียมคลอไรด์ ซึ่งโมเลกุลเหล่านี้จะแตกตัวให้อิออนบวก (Cations) และอิออนลบ (Anions) ดังนั้นอนุภาคที่มีประจุจึงสามารถที่จะมีอันตรกิริยา (Interactions) กับสนามไฟฟ้าใด ๆ รวมทั้งสนามไฟฟ้าที่ถูกสร้างขึ้นในเตาไมโครเวฟเช่นเดียวกัน

การหมุนของสารประกอบที่มีขั้ว เนื่องจากในอาหารประกอบด้วยน้ำที่มีปริมาณแตกต่างกัน น้ำเป็นโมเลกุลมีขั้ว (Polar molecule) ซึ่งในสภาพปกติจะเรียงตัวอย่างไม่เป็นระเบียบ (Random oriented) เมื่อผ่านสนามไฟฟ้ากระแสสลับเข้าไป ประจุบวกและลบในโมเลกุลจะหมุนตัวเพื่อเปลี่ยนทิศทางตามทิศของสนามไฟฟ้าสลับนั้น ๆ โดยการหมุนตัวกลับไปมาจะเกิดอย่างรวดเร็วตามความถี่ของไมโครเวฟคือ 915 หรือ 2,450 พันล้านครั้งต่อวินาที ทำให้เกิดความร้อนขึ้นและกระจายไปยังโมเลกุลข้างเคียง เนื่องมาจากการชนระหว่างโมเลกุลของน้ำในอาหาร (กระวี ตรีอำรรค, 2551; รุ่งนภา พงศ์สวัสดิ์มานิต, ม.ป.ป.; พิมพ์เพ็ญ พรเฉลิมพงศ์ และนิธิยา รัตนานนท์, ม.ป.ป.)

2.5 สารเคมีที่ใช้ในงานวิจัยเพื่อการยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ Lipoygenase

2.5.1 Ethylenediaminetetraacetic acid (EDTA)

Ethylenediaminetetraacetic Acid หรือเรียกกันทั่วไปว่า EDTA เป็นสารประเภท Tertiary Amine ที่ประกอบด้วยหมู่คาร์บอกซิลสามารถเกิดสารเชิงซ้อนแบบคีเลตที่เสถียรกับไอออนของโลหะหลายชนิดทั้งที่เป็นไดวาเลนต์ ไทรวาเลนต์ และเททราวาเลนต์ สูตรโครงสร้างของ EDTA แสดงดังภาพที่ 2-13



ภาพที่ 2-13 โครงสร้างของ EDTA

ที่มา: Kuto, Ha, and Shimizu (2013)

EDTA จะเกิดสารประกอบเชิงซ้อนกับไอออนของโลหะได้ สารเชิงซ้อนที่เกิดขึ้นเป็นแบบคีเลตที่เสถียร ความเสถียรของสารเหล่านี้เป็นผลเนื่องมาจากลักษณะการเกิดพันธะทางเคมีของ

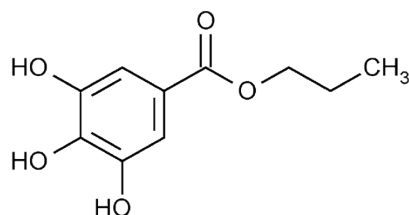
ลิแกนด์ที่มีทิศทางทำให้ไอออนของโลหะอยู่ตรงกลางและล้อมรอบด้วยลิแกนด์ ซึ่งจะทำให้ไอออนของโลหะแยกออกจากโมเลกุลของตัวทำละลายได้ (Kubo, Ha, & Shimizu, 2013)

EDTA เป็นวัตถุเจือปนอาหารที่อนุญาตให้ใช้ในผลิตภัณฑ์อาหารทั่วไป เช่น ซอส และ เครื่องดื่ม เป็นต้น โดยมีวัตถุประสงค์การใช้เพื่อเป็นสารจับโลหะ สารกันหืน สารป้องกันการเปลี่ยนสี และสารกันเสีย ปริมาณสูงสุดที่ใช้ได้ในอาหารที่กำหนดโดย CODEX ในแป้งถั่ว อนุญาตให้ใช้ได้สูงสุด 800 mg/kg

โดยประโยชน์ของ EDTA ในการใช้เป็นวัตถุเจือปนในอาหาร สามารถป้องกันการเปลี่ยนแปลงสีของอาหาร เช่น 1) ป้องกันการเกิดสีน้ำตาลจากเอนไซม์ (Enzymatic browning reaction) ซึ่งเป็นสาเหตุของการเปลี่ยนสีของผักผลไม้ เช่น กถั่ว แอปเปิล ผักสลัด มันฝรั่ง กุ้ง โดย EDTA จะใช้ทำปฏิกิริยากับ Transition-metal ions ซึ่งเป็นส่วนประกอบของเอนไซม์ เกิดเป็นสาร Chelate ที่เสถียร ทำให้เอนไซม์ไม่สามารถทำงานได้ตามปกติ จึงช่วยรักษาสีของอาหารไว้ได้ โดยจะใช้ EDTA ในกระบวนการแปรรูปผักผลไม้หลากหลาย เช่น การทำผักผลไม้ตัดแต่งพร้อมรับประทาน การแช่เยือกแข็ง (Freezing) การทำแห้ง (Dehydration) การบรรจุกระป๋อง (Canning) การทำน้ำผัก น้ำผลไม้ เพื่อช่วยรักษาสี และยืดอายุการเก็บรักษาของอาหาร 2) ป้องกันการออกซิเดชันของสีอาหาร (Food coloring) ทั้งสีที่มีตามธรรมชาติ เช่น คลอโรฟิลล์ (Chlorophyll) แอนโทไซยานิน (Anthocyanin) รวมทั้งสีผสมอาหาร (Coloring agent) ช่วยการคงตัวของสีและกลิ่นรสให้กับผลิตภัณฑ์ เช่น เครื่องดื่ม เครื่องดื่มแอลกอฮอล์ น้ำอัดลม นอกจากนี้ยังช่วยป้องกันการเหม็นหืน โดยกลิ่นหืน (Rancidity) เกิดจากปฏิกิริยา Lipid oxidation ซึ่งมีโลหะเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา EDTA จะทำปฏิกิริยากับโลหะ ช่วยชะลอการเกิดปฏิกิริยา จึงช่วยการคงตัวของกลิ่นรสอาหารที่มีไขมันและน้ำมันเป็นส่วนประกอบ เช่น น้ำมันพืช น้ำสลัด มายองเนส และมาการีน เป็นต้น (นิธิยา รัตนานพนธ์ และพิมพ์เพ็ญ พรเฉลิมพงศ์, ม.ป.ป.)

2.5.2 โพรพิลแกลเลต (Propyl gallate)

โพรพิลแกลเลต เป็นเอสเทอร์ของโพรพานอลกับกรดแกลลิก (3,4,5-trihydroxybenzoic acid) ละลายได้ในไขมันและน้ำมัน มีบทบาทสำคัญในการเป็นสารต้านออกซิเดชันให้แก่ไขมัน น้ำมัน และเนยเทียม ซึ่งเป็นวัตถุเจือปนอาหารที่สามารถอนุญาตให้ใช้ในอาหารได้อย่างปลอดภัย (Generally recognized as safe; GRAS) โครงสร้างของโพรพิลแกลเลตแสดงดังภาพที่ 2-14



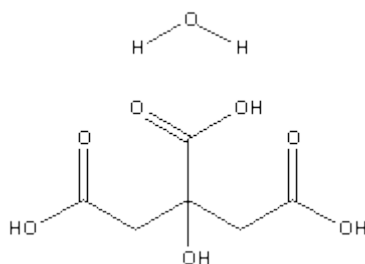
ภาพที่ 2-14 โครงสร้างของ Propyl gallate

ที่มา: http://www.pharmacopeia.cn/v29240/usp29nf24s0_m70950.html

สุชาติ ภูษณะดิลก และลูกจันทร์ ภัคร์ขพันธ์ (2525) ได้รายงานว่ สารในกลุ่ม Lipid antioxidant เช่น โทโคฟีรอล (Tocopherol) นอร์ไดไฮโดรควาเเรติก แอซิด (Nordihydroquaiaretic; NDGA) โพรพิลแกลเลต (Propyl gallate) และไฮโดรควิโนน (Hydroquinone) สามารถยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ Lipoxygenase ได้ ซึ่งสอดคล้องกับรายงานของ Vijayvaragiya and Pai (1991) ได้ศึกษากิจกรรมของเอนไซม์ Lipoxygenase ของนมถั่วเหลือง โดยเปรียบเทียบการใช้สารต้านอนุมูลอิสระที่แตกต่างกัน พบว่า โพรพิลแกลเลต สามารถยับยั้งเอนไซม์ Lipoxygenase ได้มากกว่า บี เอช เอ (BHA) บี เอช ที (BHT) และกรดแอสคอร์บิก (Ascorbic)

2.5.3 กรดซิตริก (Citric acid)

กรดซิตริก เป็นกรดอินทรีย์ที่ใช้มากในอุตสาหกรรมที่ช่วยเพิ่มรสเปรี้ยวให้กับอาหาร และป้องกันการเปลี่ยนเป็นสีน้ำตาลของผักและผลไม้แปรรูปที่ผ่านการตัดแต่ง เนื่องจากกรดซิตริกทำหน้าที่เป็นสารคีเลต (Chelating agent) ในการจับโลหะของทองแดงซึ่งเป็นองค์ประกอบของเอนไซม์ PPO (Polyphenol oxydase) มีผลทำให้เอนไซม์ทำงานได้ช้าลง นอกจากนี้กรดซิตริกยังช่วยลดค่าความเป็นกรดต่าง ทำให้รังควันต์แอนโทไซยานินมีความเสถียรเพิ่มมากขึ้น (ประสิทธิ์จันต์, 2550) นอกจากนี้มีรายงานว่า การแช่วัตถุดิบในสภาวะกรดอาจมีผลต่อการเสถียรภาพธรรมชาติของเอนไซม์ polyphenol oxydase (PPO) และเอนไซม์ Lipoxygenase ได้ (ทิพวรรณ จันทะรักษ์ และคณะ, 2555) โครงสร้างของกรดซิตริกแสดงดังภาพที่ 2-15



ภาพที่ 2-15 โครงสร้างของ Citric acid

ที่มา: <http://www.foodnetworksolution.com/wiki/word/1339/citric-acid>

ฉันทกร ปวีณพงษ์พัฒน์ (2553) รายงานว่าการแช่เนื้อลำไยพันธุ์คือ เป็นเวลา 5 นาที ในสารละลายกรดซิตริกที่ความเข้มข้น 0.5% ทำให้กิจกรรมของเอนไซม์ PPO เหลือน้อยที่สุด เท่ากับ 18.25% สอดคล้องกับรายงานของ ทิพวรรณ จันทะรักษ์ และคณะ (2555) รายงานว่า การแช่เปลือกแดงโมด้วยกรดซิตริกในกระบวนการผลิตเปลือกแดงโมแช่อิ่มอบแห้ง ช่วยปรับปรุงเรื่องสี กลิ่น รส การตกผลึกของน้ำตาล และทำให้อาหารคงตัว

2.6 ทิศทางการพัฒนาอุตสาหกรรมอาหารในปี 2015

จากรายงานของสถาบันอาหาร (2558) ในที่ประชุม Global Food Forum ที่ประเทศสหรัฐอเมริกา ซึ่งเป็นการประชุมระดับนานาชาติ ได้มีการนำเสนอทิศทางการพัฒนาอุตสาหกรรมอาหารในปี 2015 และให้ข้อมูลแนวโน้มอาหารที่เป็นที่ต้องการของผู้บริโภคไว้ 10 แนวทางดังนี้

2.6.1 Clean label to Clear label

Clean label คือ การแสดงข้อมูลบนฉลากอย่างชัดเจน ไม่มากเกินความต้องการ และเข้าใจง่าย นอกจากนี้ Clean label ยังได้รับความเชื่อมั่นจากผู้บริโภคว่าสินค้ามีส่วนผสมจากธรรมชาติหรือมีสารเคมีเจือปนอาหารน้อยกว่าปกติ ซึ่งในปัจจุบันผลิตภัณฑ์อาหารและเครื่องดื่มกว่า 25% นำ Clean label มาใช้ ประกอบกับผู้ผลิตมีแนวโน้มที่จะให้ความสำคัญกับผลิตภัณฑ์อาหารที่มีความเป็นธรรมชาติหรือผลิตจากวัตถุดิบธรรมชาติ โดยอาศัยช่องว่างของการกำหนดความหมายหรือคำจำกัดความของคำว่า “Natural” จนทำให้เกิดแรงผลักดันจากผู้บริโภค ผู้ค้าปลีก ภาคอุตสาหกรรม ตลอดจนผู้กำหนดกฎหมาย เพื่อให้เกิดความชัดเจนในการปฏิบัติ

2.6.2 Convenience for foodies

ด้วยความก้าวหน้าของเทคโนโลยีในปัจจุบัน ช่วยให้คนที่มิได้รักในการทำอาหาร กลายเป็นเชฟมือทองจากการเปิดและทำตามรายการโทรทัศน์ หรือบล็อก (Blog) สอนทำอาหาร ซึ่ง

กลายเป็นแฟชั่นและความสนุกสนานของคนในยุคนี้ อีกทั้งยังสามารถเผยแพร่ หรืออวดให้เพื่อน ๆ ในสังคมออนไลน์ได้อีกด้วย นอกจากนี้สิ่งที่ส่งผลให้การทำอาหารรับประทานเองที่บ้านได้รับความนิยมคือ ประหยัดและดีต่อสุขภาพ ส่งผลต่อความต้องการวัตถุดิบที่สดใหม่และส่วนผสมต่าง ๆ เพิ่มมากขึ้น โดยเฉพาะอย่างยิ่ง ผู้บริโภคที่ต้องการประกอบอาหารรับประทานเองแต่ไม่มีประสบการณ์ (Cooking from scratch) จะเริ่มทำจากสูตรหรือคำแนะนำจากผู้ผลิตและผู้จัดจำหน่าย

2.6.3 Marketing to millennial

กลุ่ม Millennial หรือ Millennial generation¹ โดยจะมีอายุระหว่าง 15 – 35 ปี อย่างที่ทราบกันดีว่าปัจจุบันประชากรโลกกว่า 1 ใน 3 ของประชากรทั้งหมด มีความรู้ ความสนใจ และสามารถใช้เทคโนโลยีที่ทันสมัยได้ จนบางครั้งดูเหมือนมีชีวิตผูกติดกับสังคมออนไลน์ คนในกลุ่มนี้จึงได้รับข้อมูลข่าวสารจำนวนมาก จึงต้องการสร้างความแตกต่าง และชอบสิ่งใหม่ ๆ โดยจะมีแนวโน้มในการจงรักภักดีต่อแบรนด์ (Brand loyal) ลดลงจากผู้บริโภคในสมัยก่อน และหันไปซื้อสินค้าหรือผลิตภัณฑ์ที่มีเรื่องราวน่าสนใจแทน

2.6.4 Snacks Rise to the Occasion

มื้ออาหารปกติ (Formal mealtime) ของประชากรในยุคนี้ลดความสำคัญลงอย่างต่อเนื่องสวนทางกับการเติบโตของธุรกิจอาหารและเครื่องดื่มที่ถูกจัดให้เป็นอาหารว่าง (Snack) มากกว่าเป็นมื้ออาหารหลัก อาหารเพื่อสุขภาพแบบจานด่วน (Quick healthy food) มีแนวโน้มที่จะเข้ามาทดแทนมื้ออาหารหลักแบบเดิมที่จะต้องรับประทาน 3 มื้อ เช้า เที่ยง เย็น เป็นการบริโภคของว่างหรือขนมขบเคี้ยวที่มีการกำหนดช่วงเวลาเฉพาะของการบริโภค ด้วยความต้องการที่แตกต่างกันในแต่ละช่วงเวลาของวัน

2.6.5 Good Fats, Good Carbs

ด้วยความกังวลว่าความเสี่ยงของการเกิดโรคอ้วน หรือน้ำหนักตัวมากเกินไป ทำให้เกิดความตื่นตัวในเรื่องไขมันไม่อิ่มตัว และไขมันธรรมชาติ ทำให้ความสนใจในเรื่องปริมาณไขมันอิ่มตัว-3 เช่นเดียวกับกับการใช้น้ำมันพืชหรือ butter เพื่อกลิ่นรสที่เป็นธรรมชาติ แทนการให้น้ำมันพืชหรือมาการีน ซึ่งมีไขมันทรานส์สูง ไม่ดีต่อสุขภาพรวมถึงการใช้น้ำตาลจากธรรมชาติแทนการใช้สารให้ความหวานสังเคราะห์

2.6.6 More in Store for Protein

การพัฒนาอาหารหรือส่วนผสมอาหารที่เป็นแหล่งโปรตีน ได้รับความสนใจอย่างมากในปัจจุบัน ในอุตสาหกรรมต่าง ๆ ทั้งผู้จำหน่ายส่วนผสม ผู้ผลิตอาหาร หรือแม้กระทั่งผู้บริโภค ต่างให้ความสำคัญกับส่วนผสมอาหารที่มีปริมาณโปรตีนสูงขึ้น และมองหาแหล่งโปรตีนใหม่ โดยโปรตีน

จากถั่วถือเป็นแหล่งโปรตีนที่สำคัญเพราะมีราคาถูก มีปริมาณเพียงพอ และเริ่มเป็นที่สนใจอย่างรวดเร็ว

2.6.7 New Routes for Fruit

ผลิตภัณฑ์ใหม่ที่เปิดตัวออกสู่ตลาดนิยมเต็มส่วนผสมของผักและเนื้อผลไม้จริงลงไปด้วยการเพิ่มสีกลิ่นและรสชาติของผลิตภัณฑ์ สอดคล้องกับความต้องการสารเติมแต่งอาหารจากธรรมชาติ ทั้งสีและกลิ่น การเพิ่มส่วนผสมของผักและผลไม้ลงในผลิตภัณฑ์ยังช่วยเพิ่มคุณสมบัติของผลิตภัณฑ์ให้มีความพิเศษเหมาะแก่การบริโภคมากยิ่งขึ้น เพราะผู้บริโภคมีความเชื่อว่าผลิตภัณฑ์ที่มีส่วนผสมของผักและผลไม้จากธรรมชาติจะดีต่อสุขภาพมากขึ้นกว่าผลิตภัณฑ์ปกติ

2.6.8 A Fresh Look at Frozen

เพื่อที่จะแข่งขันกับอาหารสดที่ดีต่อสุขภาพ และอาหารกระป๋องที่แสนจะสะดวกสบาย ความสดจึงเป็นสิ่งที่ธุรกิจแช่แข็งอาหารต้องให้ความสำคัญอย่างมาก เร่งสร้างความเข้มแข็งในตลาดโดยเฉพาะผักและอาหารทะเลโดยจะต้องเน้นย้ำในเรื่องของคุณค่าทางโภชนาการที่ยังอยู่ครบถ้วน เทียบเท่ากับอาหารสด การต่อยอดแบรนด์สินค้าโดยการเพิ่มความหลากหลายของชนิดผักและผลไม้ โดยพบว่ามีการเปิดตัวผลิตภัณฑ์แช่แข็งกลุ่มใหม่ ๆ อย่างต่อเนื่อง เช่น ซุป ผลไม้ เครื่องดื่มอาหารว่าง ซอส และสมุนไพร เป็นต้น

2.6.9 Private Label Powers On

แม้ว่าเศรษฐกิจจะต้องเผชิญกับภาวะถดถอยที่เพิ่งผ่านพ้นไป สินค้าตราห้างยังคงสามารถช่วงชิงส่วนแบ่งตลาดได้ทั้งในยุโรป อเมริกาเหนือ และออสเตรเลีย สินค้าตราห้างยังคงพบได้ทั่วไป และพบได้ในทุกกลุ่มผลิตภัณฑ์

2.6.10 Rich, Chewy & Crunch

เนื้อสัมผัส (Texture) เป็นปัจจัยสำคัญที่ส่งผลต่อการรับรู้ถึงอาหารและเครื่องดื่มของผู้บริโภค และในปัจจุบันก็ได้รับความสนใจและนำมาพัฒนาค่านวัตกรรมของผลิตภัณฑ์อาหารและเครื่องดื่มอีกด้วย สินค้าหลายแบรนด์เริ่มมีการนำองค์ความรู้ด้านการผสมผสานเนื้อสัมผัสมาประยุกต์ใช้กับผลิตภัณฑ์ เช่น การทำให้ผลิตภัณฑ์ที่มีความนุ่มสามารถรับรู้ถึงความกรอบไปพร้อม ๆ กัน จึงส่งผลไปสู่การระบุชนิดผลิตภัณฑ์ว่าด้วยเรื่องของเนื้อสัมผัส นอกจากนี้ยังทำให้แบรนด์ต่าง ๆ ต่างค้นหาวิธีการอธิบายเนื้อสัมผัสให้สอดคล้องกับชื่อผลิตภัณฑ์

2.7 ผลึกภัณฑ์อาหารเพื่อสุขภาพที่ใช้เป็นผลิตภัณฑ์ต้นแบบในงานวิจัย

2.7.1 เครื่องดื่มเพื่อสุขภาพ

เครื่องดื่มเพื่อสุขภาพ หมายถึง เครื่องดื่มที่ก่อให้เกิดประโยชน์ต่อร่างกาย นอกเหนือจากสารอาหารหลักที่จำเป็นต่อร่างกาย นอกจากนี้อาจช่วยลดอัตราเสี่ยงต่อโรคต่าง ๆ ซึ่งสามารถแบ่งออกได้เป็น 4 ประเภท ได้แก่ 1) Enrich beverage เช่น น้ำผลไม้ หรือน้ำเปล่า ที่เพิ่มพวกวิตามินหรือเกลือแร่เข้าไปจากที่มีอยู่แล้ว 2) Sport drink คือ เครื่องดื่มเพื่อชดเชยเหงื่อที่เสียไปจากการออกกำลังกาย 3) Energy drink คือ เครื่องดื่มที่ให้พลังงาน และ 4) Nutraceuticals ผลิตภัณฑ์ที่เป็นอาหารเพื่อสุขภาพ (จันทนา มังคะลา, 2549)

ปัจจุบันการบริโภคอาหารและเครื่องดื่มเพื่อสุขภาพได้รับความนิยมอย่างมาก ซึ่งจะเห็นได้จากการมีผลิตภัณฑ์เพื่อสุขภาพออกมาจำหน่ายหลายชนิดในท้องตลาด เช่น น้ำนมข้าว น้ำนมข้าวโพรตีน น้ำลูกเดือย เป็นต้น ซึ่งเครื่องดื่มเหล่านี้มีความคล้ายคลึงกับน้ำนมจากถั่วเหลืองที่ให้คุณค่าทางอาหารสูง (จุฬารัตน์ เลิศบรรจง และรลิตา โอสถานนท์, 2551) และมีงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับเครื่องดื่มเพื่อสุขภาพจากธัญพืช เช่น

จุฬารัตน์ เลิศบรรจง และรลิตา โอสถานนท์ (2551) ได้ผลิตเครื่องดื่มเพื่อสุขภาพจากข้าวแดง 2 พันธุ์ คือ ข้าวมันปูและข้าวสังข์หยด โดยใช้สัดส่วนปริมาณแป้งข้าวแต่ละชนิดต่อปริมาณน้ำเป็น 1:30 และ 1:40 และใช้ส่วนผสมของซูโครสซีรัปและฟรักโทสซีรัป (แปรอัตราส่วนเป็น 100:0 80:20 และ 60:40) ในการปรับความหวานของเครื่องดื่มให้มีปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดเป็น 7.9 และ 11 °Brix สำหรับสารที่ใช้เติมเพื่อทำให้เครื่องดื่มมีลักษณะปรากฏดีไม่แยกชั้น ได้ทดลองใช้เจลาเลนกัม 0.01 0.015 0.02 0.025 และ 0.03% คาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส 0.1 0.15 0.2 และ 0.25% พบว่า สภาวะที่เหมาะสมในการผลิตเครื่องดื่มข้าวแดงทั้งสองชนิด ประกอบด้วยการใช้แป้งข้าวแดงต่อน้ำในสัดส่วน 1:40 ใช้ส่วนผสมซูโครสซีรัปและและฟรักโทสซีรัป ในอัตราส่วน 60:40 ในการปรับความหวานของเครื่องดื่มให้มีปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดเป็น 9 °Brix และสารที่ทำให้เครื่องดื่มมีความคงตัวคือ เจลาเลนกัม 0.03%

จุฬาลักษณ์ พระสว่าง (2554) ได้ผลิตเครื่องดื่มเพื่อสุขภาพจากข้าวกล้องหุงสุกเสริมโปรไบโอติก ที่ใช้ระยะเวลาในการปั่นเหวี่ยงความเร็วรอบ 3000 rpm ต่างกัน 5 ระดับ คือ 0 5 10 15 และ 20 นาที จากนั้นนำเครื่องดื่มเหล่านี้เก็บไว้ที่อุณหภูมิ $4 \pm 1^{\circ}\text{C}$ เพื่อนำมาสุ่มตรวจทุก 7 วัน เป็นระยะเวลา 35 วัน จากนั้นทำการศึกษาฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี 1,1-Diphenyl-2-picrylhydrazyl (DPPH) radical scavenging พบว่าเครื่องดื่มเพื่อสุขภาพจากข้าวกล้องหุงสุกเสริมโปรไบโอติกที่ผ่านการปั่นเหวี่ยง 5 นาที มีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระได้ดีที่สุด มีค่า %Inhibition เฉลี่ยเท่ากับ 60.84 ± 1.07 ($p < 0.05$) แต่ระยะเวลาในการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์นั้น ไม่มีผลต่อฤทธิ์ต้าน

อนุมูลอิสระทางสถิติ การศึกษาการรอดชีวิตของโปรไบโอติก พบว่าระยะเวลาในการปั่นเหวี่ยงผลิตภัณฑ์นั้นไม่มีผลต่อการรอดชีวิตของโปรไบโอติกทางสถิติ ส่วนระยะเวลาในการเก็บรักษานั้นพบว่า 7 วันแรกของการเก็บรักษาพบปริมาณการรอดชีวิตโปรไบโอติกสูงสุด $9.25 \pm 0.855 \log \text{ cfu/g}$ ($p < 0.05$) จากนั้นทำการศึกษาปริมาณสารประกอบฟีนอลิก ซึ่งพบว่าทั้งระยะเวลาที่ใช้ในการปั่นเหวี่ยงและระยะเวลาในการเก็บรักษามีผลต่อปริมาณสารประกอบฟีนอลิก โดยผลิตภัณฑ์ที่ผ่านการปั่นเหวี่ยง 5 นาที มีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกสูงสุดคือ $3.35 \pm 0.21 \text{ mg GAE/100g}$ ($p < 0.05$) และได้ประเมินความชอบของผู้บริโภคเพื่อใช้เป็นตัวบ่งชี้ความชอบและการยอมรับในผลิตภัณฑ์โดยศึกษาในอาสาสมัครสุขภาพดีจำนวน 30 คน ผลปรากฏว่าผลิตภัณฑ์ที่ผ่านการปั่นเหวี่ยง 5 นาที มีคะแนนความชอบและการยอมรับมากที่สุด (6.32 จากคะแนนเต็ม 9) รองลงมาคือผลิตภัณฑ์ที่ผ่านการปั่น 10 นาที และชนิดที่ไม่ผ่านการปั่นเหวี่ยง ได้รับคะแนนความชอบน้อยที่สุด

พรพินิต การกลจักร (2553) ได้พัฒนาเครื่องคั้นผักผลไม้ที่มีไลโคปีนและเบต้าแคโรทีนบรรจุกระป๋อง โดยการนำผักผลไม้หลายชนิดที่มีไลโคปีนและเบต้าแคโรทีนสูง มาพัฒนาเครื่องคั้นผักผลไม้ด้วยวิธี Mixture design และประเมินความชอบทางประสาทสัมผัส พบว่า เครื่องคั้นผักผลไม้ที่ได้รับความนิยมสูงสุดประกอบด้วยน้ำมะเขือเทศ 25.6% เนื้อมะม่วงบดละเอียด 5.0% น้ำสับปะรด 15.0% น้ำฟักทอง 16.0% และน้ำแดงโม 38.4% และจากการศึกษาการสูญเสียปริมาณไลโคปีนและเบต้าแคโรทีนของเครื่องคั้นผักผลไม้บรรจุกระป๋อง พบว่าเครื่องคั้นผักผลไม้ก่อนกระบวนการฆ่าเชื้อ มีปริมาณไลโคปีนและเบต้าแคโรทีน เท่ากับ 7.46 และ 3.67 mg/100g wet basis ตามลำดับ หลังจากเครื่องคั้นผักผลไม้กระป๋องผ่านกระบวนการฆ่าเชื้อ มีปริมาณไลโคปีนและเบต้าแคโรทีน เท่ากับ 3.69 และ 2.00 mg/100g wet basis ตามลำดับ

2.7.2 ผลิตภัณฑ์สเปรดหรือผลิตภัณฑ์สำหรับปาดทา (Spread product)

ผลิตภัณฑ์สเปรด หรือผลิตภัณฑ์สำหรับปาดทา (Spread product) มีลักษณะเป็นของผสมกึ่งแข็ง ที่มีลักษณะอ่อนนุ่ม มีกลิ่นรส และมีลักษณะเนื้อสัมผัสเฉพาะของผลิตภัณฑ์แต่ละชนิด ตัวอย่างเช่น แยม เนยถั่วลิสง และโพรเซสชีสสเปรด เป็นต้น มีการพัฒนาผลิตภัณฑ์สำหรับปาดทาในรูปแบบอาหารสุขภาพหลายรูปแบบ เช่น แยมผักผลไม้ น้ำตาลต่ำ เนยถั่วลิสงผสมธัญพืช และฟักทองสเปรด เป็นต้น มีจุดเด่นคือ สามารถใช้บริโภคร่วมกับอาหารได้หลายชนิด เช่น ใช้ทาขนมปัง แครกเกอร์ และใช้เป็นส่วนผสมของผลิตภัณฑ์ขนมอบ ของหวาน ไอศกรีม และของว่างอื่น ๆ (นรินทร์ เจริญพันธ์, 2552; โสธยา เกิดพิบูลย์ และคณะ, 2554) โดยตัวอย่างผลิตภัณฑ์สเปรดที่เป็นที่นิยมและเป็นที่ยอมรับสำหรับผู้บริโภคมีดังนี้

แยม หมายถึง ผลิตภัณฑ์ที่ทำจากส่วนประกอบผลไม้ซึ่งอาจเป็นทั้งผล ผลไม้เป็นชิ้น เนื้อผลไม้ หรือผลไม้ปั่น ผสมกับน้ำตาล หรือน้ำผลไม้เข้มข้น และทำให้มีความข้นเหนียวพอเหมาะ โดยมีปริมาณของแข็งที่ละลายได้ไม่ต่ำกว่า 65% มีการเติมเพคตินและกรด เพื่อให้มีลักษณะเจลที่ดี

เนยถั่วลิสง เป็นผลิตภัณฑ์ที่เตรียมจากการนำถั่วลิสงมาคั่วและบดละเอียดให้เป็นเนื้อเดียวกัน โดยอาจเติมสารผสมอื่น เช่น สารให้ความหวาน สารให้ความคงตัว (Stabilizer) หรือ อิมัลซิไฟเออร์ (Emulsifier) เพื่อปรับปรุงกลิ่นรส และป้องกันการแยกชั้นของน้ำมันกับส่วนผสมอื่น มีผลให้ความสามารถในการปาดทาดีขึ้น โดยมีการกำหนดมาตรฐานเนยถั่วลิสงตามมาตรฐานของ FDA คือ ต้องมีถั่วลิสงอย่างน้อย 90% และเติมส่วนผสมอื่น ๆ ไม่เกิน 10% มีปริมาณไขมันทั้งหมดไม่เกิน 55% และห้ามเติมสี กลิ่น วิตามิน เอ บี ซี ดี และวิตามินอี โดยเนยถั่วลิสงสามารถประยุกต์ใช้เป็นส่วนผสมของอาหารได้หลายชนิด ผลิตภัณฑ์เบเกอรี่ โดยใช้ทาบนขนมปังหรือเป็นไส้ขนมได้ โดยสามารถแบ่งชนิดของเนยถั่วลิสงตามขนาดอนุภาคถั่วลิสงได้ 3 แบบ คือ เนยถั่วลิสงแบบเนื้อเรียบ คือ มีเนื้อละเอียดปราศจากอนุภาคถั่วที่รู้สึกได้ขณะรับประทาน เนยถั่วลิสงแบบเนื้อธรรมชาติ คือ จะมีอนุภาคถั่วขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางไม่เกิน 1/16 นิ้วปนอยู่ และเนยถั่วลิสงแบบเติมชั้นถั่วลิสง คือ จะมีอนุภาคถั่วลิสงขนาดใหญ่กว่า 1/16 นิ้วปนอยู่

โพสเซียมสเตียเรต เป็นผลิตภัณฑ์ที่ทำจากชีส โดยอาจจะทำมาจากชีสชนิดเดียวหรือหลายชนิดก็ได้มาบดผสมกัน ใช้ความร้อนในการหลอมรวมตัว มีส่วนประกอบหลักคือ โปรตีน ไขมัน และความชื้น ที่รวมกันเป็นอิมัลชันกึ่งแข็งชนิดน้ำมันในน้ำ

จริยา คุณะวิภากร (2542) ได้พัฒนาผลิตภัณฑ์อาหารว่างจากข้าวพองที่ทำจากข้าวกล้อง หักหอมมะลิผสมเนยถั่ว โดยการหาปริมาณที่เหมาะสมของส่วนผสมหลักโดยการวางแผนการทดลองโดยวิธี Mixture Design พบว่า สูตรอาหารว่างประกอบด้วย ข้าวพอง เนยถั่วลิสง เบะแซ น้ำตาลซูโครส และน้ำตาลกลูโคส 32.5 27.5 16 12 และ 12% ตามลำดับ ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีสีน้ำตาลอ่อน และแห้ง มีกลิ่นถั่วลิสงปานกลาง และมีกลิ่นน้ำตาลเคี้ยวเล็กน้อย มีความกรอบและมีรสหวาน โดยได้รับการยอมรับอยู่ในระดับปานกลาง

เฉลิมพล ถนอมวงศ์ (2547) ได้พัฒนาไส้ขนมจากเนยถั่วลิสงผสมงาขาว โดยพบว่าสูตรที่เหมาะสมในการผลิตไส้ขนมจากเนยถั่วลิสงผสมงาขาวคือ ปริมาณของเนยถั่วลิสง งาขาวคั่ว น้ำตาลทรายป่น ผงโกโก้ เบะแซ มอลโตเดรกตริน 69.23 7.60 11.40 4.17 3.80 และ 3.8% ตามลำดับ โดยผู้บริโภคให้คะแนนความชอบโดยรวมอยู่ในระดับชอบเล็กน้อย (6.30) และจากการศึกษาความเป็นไปได้ในการใช้เป็นไส้ขนม พบว่า ไส้ขนมจากเนยถั่วลิสงผสมงาขาวเหมาะสมที่จะใช้ในผลิตภัณฑ์เอแคล์

วันเพ็ญ ญัฐวุฒิ (2548) ได้พัฒนาผลิตภัณฑ์เนยถั่วผสมรำข้าว โดยใช้ถั่วลิสงอบที่อุณหภูมิ 160°C เป็นเวลา 20 นาที รำข้าวอบที่อุณหภูมิ 110°C เป็นเวลา 20 นาที อัตราส่วนที่เหมาะสมของถั่วลิสงอบต่อรำข้าวอบเป็น 9 : 1 มีการใช้น้ำมันปาล์มที่ผ่านการไฮโดรจิเนชันกับน้ำมันปาล์มในอัตราส่วน 3 : 1 ปริมาณเกลือและน้ำตาลเท่ากับ 0.8% และ 5% ของน้ำหนักถั่วลิสงและรำข้าว ตามลำดับ เมื่อนำมาทดสอบกับผู้บริโภค พบว่าผู้บริโภคส่วนใหญ่มีความพึงพอใจผลิตภัณฑ์ 80% และการเก็บรักษาที่อุณหภูมิตู้เย็น (5-8°C) และอุณหภูมิห้อง (28-32°C) สามารถเก็บรักษาได้นานกว่า 8 สัปดาห์

นรินทร์ เจริญพันธ์ (2552) ได้นำผลพลอยได้จากการผลิตน้ำมันมะพร้าวสด คือ โปรตีนและกากมะพร้าว มาใช้ในการผลิตผลิตภัณฑ์สเปรดรสโกโก้ 3 ชนิด คือ ชนิดเค็มโดยการเติมเกลือ 1% ชนิดหวานโดยการเติมเกลือและน้ำตาล 0.5% และ 12% ส่วนชนิดไฟเบอร์สูงคือชนิดหวานที่เติมกากมะพร้าว 5% พบว่า ผลิตภัณฑ์สเปรดชนิดไฟเบอร์สูงมีเนื้อสัมผัสที่ค่อนข้างหยาบและป้ายทาได้ยากกว่าชนิดเค็มและชนิดหวาน เมื่อนำไปทดสอบคุณภาพทางประสาทสัมผัสด้วยวิธีทดสอบความชอบ (Hedonic test) พบว่า ชนิดเค็มและชนิดหวานได้คะแนนความชอบด้านลักษณะป้ายทา (7.3 และ 7.3) และความชอบรวม (7.0 และ 7.3) ไม่แตกต่างกันทางสถิติ สูงกว่าชนิดไฟเบอร์สูง (6.0 และ 6.4)

โสธยา เกิดพิบูลย์ และคณะ (2554) ศึกษาผลของชนิดของอิมัลซิไฟเออร์ และเวลาที่ใช้ในการผสมต่อสมบัติทางกายภาพของฟักทองสเปรด อิมัลซิไฟเออร์ที่ใช้ได้แก่ Tween80 เลซิติน และ Tween80 ร่วมกับเลซิติน และการผสมใช้เวลา 5 10 และ 15 นาที พบว่า ชนิดของอิมัลซิไฟเออร์และเวลาในการกวนผสมมีอิทธิพลร่วมกันต่อค่าความคงตัวของอิมัลชัน ความหนืด และค่าการแผ่กระจาย ($p < 0.05$) เมื่อนำไปทดสอบคุณภาพทางประสาทสัมผัส พบว่าตัวอย่างที่เติม Tween80 และผสมนาน 5 และ 10 นาที ได้คะแนนความชอบด้านความสามารถการปาดขนมปัง และความชอบโดยรวมมากที่สุด

บทที่ 3

วิธีดำเนินการวิจัย

วัตถุดิบและสารเคมี

- 1) แป้งถั่วดาวอินคา รับจากบริษัทโอเมกา 3.6.9 แอนด์ไลโคปีน จำกัด
- 2) น้ำตาลทราย (ชนิดป่นละเอียด) ตราลิน บริษัทน้ำตาลไทยรุ่งเรือง จำกัด
- 3) เกลือป่น ตราปรุngthิพย์ บริษัทอุตสาหกรรมเกลือบริสุทธิ์ จำกัด
- 4) โอลิโกฟรุกโตส (Oligofructose, 95% purity; Beneo P95-Orafti, Oreye, Belgium)
- 5) เอทิลีนไดเอมีนเตตระอะซิติกแอซิก (Ethylenediaminetetraacetic Acid,

C10H16N2O8, Fisher Scientific, UK Limited)

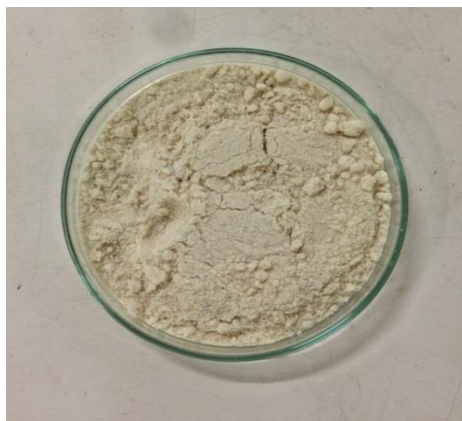
- 6) โพรพิลแกลเลต (Propyl gallate , Merck, Thailand)
- 7) กรดซิตริก (Citric acid, Labscan, Island))
- 8) กวากัม (Guar gum, Thai food and chemical, Thailand)
- 9) Tween 80 (Ajax Finechem, Australia)

เครื่องมือและอุปกรณ์

- 1) ตู้อบลมร้อน BINDER รุ่น FD-53 ประเทศสหรัฐอเมริกา
- 2) ไมโครเวฟชาร์ป รุ่น R-742P ประเทศไทย
- 3) เครื่องปั่นน้ำผลไม้ (Electrolux รุ่น EBR2601)
- 4) เครื่องบดอาหารแห้ง โง้วฮวดหยู รุ่น XS-08B ประเทศจีน
- 5) เครื่องวัดค่าสี Hunter Lab Colorimeter รุ่น Miniscan XP Plus ประเทศสหรัฐอเมริกา
- 6) เครื่องวัดลักษณะเนื้อสัมผัส Stable Micro Sysmtem รุ่น TA-XT2 ประเทศอังกฤษ
- 7) เครื่องวิเคราะห์ไขมัน Gerhardth รุ่น S306 AK ประเทศสวีเดน
- 8) เครื่องวิเคราะห์เส้นใย Labconco รุ่น 3001 ประเทศสหรัฐอเมริกา
- 9) เครื่องวิเคราะห์โปรตีน Buchi รุ่น B-323 ประเทศสวีเดน
- 10) อุปกรณ์ในการทดสอบคุณภาพทางประสาทสัมผัส เช่น ถ้วยชิม แก้วน้ำ ช้อน
- 11) อุปกรณ์เครื่องแก้ว เช่น กระจกตวง บีกเกอร์ ขวดรูปชมพู่ ขวดปรับปริมาตร
- 12) อุปกรณ์เครื่องครัว เช่น กะละมัง ถาด ช้อน
- 13) บรรจุภัณฑ์ เช่น ถุงอะลูมิเนียมฟอยล์ ถุงพลาสติก ถ้วยพลาสติก

วิธีดำเนินการวิจัย

แป้งถั่วดาวอินคาที่ใช้ในงานวิจัยนี้ได้รับมาจากโรงงานอุตสาหกรรม ซึ่งเป็นผลผลิตพลอยได้จากการสกัดน้ำมันจากเมล็ดถั่วดาวอินคาโดยการสกัดเย็น (Cold pressing) ด้วยการบีบอัดโดยใช้ไฮดรอลิก (Hydraulic) การผลิตแป้งถั่วดาวอินคาของโรงงานอุตสาหกรรม ทำได้โดยการนำกากเมล็ดถั่วดาวอินคาที่ผ่านการสกัดน้ำมันออกแล้ว (Press cake) มาบดเป็นผงแห้ง จนได้เป็นแป้งถั่วดาวอินคา ลักษณะของแป้งถั่วดาวอินคาแสดงดังภาพที่ 3-1 นำแป้งถั่วดาวอินคาที่รับมา แบ่งบรรจุในถุงออลูมิเนียมฟอยล์ ถุงละ 500 กรัม และเก็บรักษาโดยแช่แข็งที่อุณหภูมิ -18°C จนกว่าจะนำมาใช้งาน



ภาพที่ 3-1 แป้งถั่วดาวอินคาที่เป็นผลผลิตพลอยได้จากการสกัดน้ำมันที่ใช้ในงานวิจัย

3.1 การศึกษาหาวิธีการลดกลิ่นถั่วของแป้งถั่วดาวอินคาที่เหมาะสม

3.1.1 การศึกษาผลของการลดกลิ่นถั่วโดยการใช้ความร้อนด้วยไมโครเวฟร่วมกับตู้อบลมร้อนต่อคุณภาพของแป้งถั่วดาวอินคา

การลดกลิ่นถั่วของแป้งโดยวิธีการใช้ความร้อน มีข้อดีคือ สามารถดำเนินการได้สะดวก ไม่ต้องมีการใช้สารเคมีมาเกี่ยวข้อง ลดการตกค้างของสารเคมีที่ไม่พึงประสงค์ต่าง ๆ Marston et al. (2016) กล่าวว่า การให้ความร้อนกับแป้งเป็นวิธีอย่างง่ายที่มีศักยภาพและนิยมใช้ในการปรับปรุงคุณภาพของผลิตภัณฑ์ที่ต่ำกว่ามาตรฐาน โดยเฉพาะการลดความชื้นและการกำจัดกลิ่นที่ไม่พึงประสงค์ในแป้ง ในการลดกลิ่นถั่วของแป้งโดยการใช้ความร้อนเพื่อยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ Lipooxygenase ซึ่งเป็นเอนไซม์ที่กระตุ้นปฏิกิริยาออกซิเดชันของกรดไขมันไม่อิ่มตัว และทำให้เกิด

สารที่ให้กลิ่นถั่วได้ ต้องใช้ความร้อนที่เพียงพอที่จะสามารถยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ Lipoxygenase ได้ โดยควรใช้อุณหภูมิตั้งแต่ 60°C ขึ้นไป (Baysal & Demirdoven, 2007; Shin et al., 2013)

จากการทำการทดลองเบื้องต้น พบว่า การอบแห้งถั่วดาวอินคาโดยใช้ตู้อบลมร้อน ในช่วงอุณหภูมิ 70-120°C เวลา 15-30 นาที มีแนวโน้มทำให้ลดกลิ่นถั่วลงได้ แต่ทำให้แป้งมีสีคล้ำ สอดคล้องกับที่ ปวีณา ดิเจริญ และบุศรา มุหะหมัด (2558) รายงานว่า การให้ความร้อนแห้งถั่วดาวอินคาที่อุณหภูมิ 120°C เวลา 30 นาที ทำให้แป้งถั่วดาวอินคาที่มีค่าสีแตกต่างจากแป้งที่ไม่ผ่านการให้ความร้อน ($p < 0.05$) รวมถึงการให้ความร้อนสูงอาจมีผลต่อการสูญเสียสมบัติเชิงหน้าที่และการคงอยู่ของสารพฤกษเคมี และคุณค่าทางโภชนาการที่สำคัญของแป้งได้ (Xu & Chang, 2009; Campbell et al., 2008; Aparicio-Fernandez et al., 2005; Damodaran, 1996) นอกจากนี้จากการทำการทดลองเบื้องต้น พบว่า การให้ความร้อนแห้งถั่วดาวอินคาโดยให้ความร้อนด้วยไมโครเวฟที่ 900 W เป็นเวลา 90-180 วินาที มีแนวโน้มทำให้ลดกลิ่นถั่วลงได้ แต่ทำให้มีกลิ่นสุก (Cooked flavor) และทำให้แป้งมีสีคล้ำ โดยที่ Jiang et al. (2016) รายงานว่า การให้ความร้อนเมล็ดถั่วปากอ้าด้วยไมโครเวฟที่ 950 W ในระยะเวลาสั้นๆ (1-4 นาที) ช่วยปรับปรุงกลิ่นถั่วของแป้งถั่วปากอ้าได้ โดยทำให้กิจกรรมของเอนไซม์ Lipoxygenase ลดลงมากกว่า 50% แม้ว่าการให้ความร้อนด้วยไมโครเวฟจะใช้เวลาในการให้ความร้อนระยะสั้น แต่ให้ความร้อนที่มีอุณหภูมิสูงกว่า 60°C ซึ่งสามารถยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ Lipoxygenase ได้ แต่พบแนวโน้มว่าโครงสร้างทางจุลภาคด้านลักษณะเม็ดแป้งเปลี่ยนแปลงไป และโปรตีนเกิดการเสียสภาพธรรมชาติไป

ในขั้นตอนนี้ต้องการใช้สภาวะการอบด้วยตู้อบลมร้อนที่รุนแรงน้อยที่สุด เพื่อลดโอกาสการสูญเสียสมบัติเชิงหน้าที่ สารพฤกษเคมี และคุณค่าทางโภชนาการของแป้งถั่วดาวอินคา โดยเลือกใช้การให้ความร้อนด้วยไมโครเวฟร่วมด้วย เนื่องจากตามหลักการทำงานของไมโครเวฟ มีผลให้โมเลกุลของน้ำภายในอาหาร เกิดการสั่นสะเทือน ทำให้มีความร้อนอุณหภูมิสูงขึ้นอย่างรวดเร็ว และมีรายงานว่าเพียงพอต่อการยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ Lipoxygenase ได้ส่วนหนึ่ง

ดังนั้นขั้นตอนนี้จึงต้องการศึกษาผลของการใช้ไมโครเวฟร่วมกับการใช้ตู้อบลมร้อนต่อคุณภาพของแป้งถั่วดาวอินคา และคัดเลือกสภาวะที่เหมาะสมของการให้ความร้อนเพื่อลดกลิ่นถั่ว โดยศึกษา 3 ปัจจัย ได้แก่

ปัจจัยที่ 1 เวลาการให้ความร้อนด้วยไมโครเวฟ 0 - 180 วินาที

ปัจจัยที่ 2 อุณหภูมิการให้ความร้อนด้วยตู้อบลมร้อน 65 - 95°C

ปัจจัยที่ 3 เวลาการให้ความร้อนด้วยตู้อบลมร้อน 5 - 15 นาที

จัดสิ่งทดลองแบบ Central composite design (CCD) แบบพหุนกำลังสองมาตรฐาน ศึกษาปัจจัยละ 5 ระดับ (ค่ารหัส -1.682, -1, 0, 1, 1.682) โดยมีการทำซ้ำที่จุดกึ่งกลาง (ค่ารหัส 0) 3 ซ้ำ ให้สามารถจัดสิ่งทดลองได้ทั้งหมด 17 สิ่งทดลอง แสดงค่ารหัสและค่าจริงดังตารางที่ 3-1

ตารางที่ 3-1 สิ่งทดลองเพื่อการศึกษาผลของการใช้ไมโครเวฟร่วมกับการใช้ตู้อบลมร้อนต่อคุณภาพของแป้งถั่วดาวอินคาจากการจัดสิ่งทดลองแบบ CCD แบบพหุนกำลังสองมาตรฐาน

สิ่งทดลองที่	ค่ารหัส			ค่าจริง		
	เวลาการให้ความร้อนด้วยไมโครเวฟ	อุณหภูมิการให้ความร้อนด้วยตู้อบลมร้อน	เวลาการให้ความร้อนด้วยตู้อบลมร้อน	เวลาการให้ความร้อนด้วยไมโครเวฟ (วินาที)	อุณหภูมิการให้ความร้อนด้วยตู้อบลมร้อน (°C)	เวลาการให้ความร้อนด้วยตู้อบลมร้อน (นาที)
1	-1	-1	-1	35	70	7
2	-1	-1	1	35	70	13
3	-1	1	-1	35	90	7
4	-1	1	1	35	90	13
5	1	-1	-1	145	70	7
6	1	-1	1	145	70	13
7	1	1	-1	145	90	7
8	1	1	1	145	90	13
9	-1.682	0	0	0	80	10
10	1.682	0	0	180	80	10
11	0	-1.682	0	90	65	10
12	0	1.682	0	90	95	10
13	0	0	-1.682	90	80	5
14	0	0	1.682	90	80	15
15	0	0	0	90	80	10
16	0	0	0	90	80	10
17	0	0	0	90	80	10

การให้ความร้อนแป้งถั่วดาวอินคาด้วยไมโครเวฟร่วมกับตู้อบลมร้อน

การให้ความร้อนด้วยไมโครเวฟ ดัดแปลงจากวิธีของ Jiang et al. (2016) ดำเนินการโดย นำแป้งถั่วดาวอินคา 200 กรัม ใส่ในภาชนะพลาสติกทรงกลมเกลี้ยงให้สม่ำเสมอ โดยควบคุมความหนาไม่เกิน 1.5 เซนติเมตร แล้วนำไปให้ความร้อนในเตาอบไมโครเวฟ กำหนดใช้กำลังไฟฟ้า 900 W ตามเวลาที่กำหนดไว้แล้วนำไปให้ความร้อนด้วยตู้อบลมร้อนต่อไป

การให้ความร้อนด้วยตู้อบลมร้อน ดัดแปลงจากวิธีของ Shin et al. (2013) ดำเนินการโดย นำแป้งถั่วดาวอินคาที่ผ่านการให้ความร้อนด้วยไมโครเวฟแล้ว 200 กรัม เกลี่ยลงบนถาดสำหรับอบ โดยควบคุมให้ความหนาไม่เกิน 1.5 เซนติเมตร นำไปอบด้วยตู้อบลมร้อน ตามอุณหภูมิและเวลาที่กำหนด ทิ้งไว้ให้เย็นที่อุณหภูมิห้อง บรรจุแป้งถั่วดาวอินคาในถุงออลูมิเนียมฟอยล์ เก็บรักษาโดยแช่แข็งที่อุณหภูมิ -18°C จนกว่าจะนำมาวิเคราะห์

การวิเคราะห์คุณภาพ

สุ่มตัวอย่างแป้งถั่วดาวอินคาวิเคราะห์คุณภาพ ดังนี้

- 1) ปริมาณความชื้น (AOAC, 2000) แสดงดังภาคผนวก ก-1
- 2) การทำงานของเอนไซม์ Lipoxygenase ตามวิธีของ Kudre and Benjakul (2013) และ Hamberg and Samuelsson (1967) แสดงดังภาคผนวก ก-2
- 3) ค่าสี ด้วยเครื่องวัดสี รายงานเป็น ค่า L^* a^* b^* และ คำนวณค่า Whiteness แสดงดังภาคผนวก ข-1
- 4) ความแข็งกลืนถั่ว โดยการประเมินทางประสาทสัมผัสตามวิธีของ Kudre and Benjakul (2013) ใช้ผู้ทดสอบที่ผ่านการฝึกฝน จำนวน 10 คน ประเมินความแข็งกลืนถั่วของแป้งถั่วดาวอินคา โดยให้คะแนนตั้งแต่ 0 ถึง 5 โดยคะแนน 0 หมายถึง ไม่มีกลืนถั่ว และ 5 หมายถึง กลืนถั่วแข็งมากที่สุด แบบประเมินแสดงดังภาคผนวก ก-6

การวิเคราะห์ทางสถิติ

1) การวิเคราะห์สมการถดถอยแบบพหุ (Multiple regression) ซึ่งเป็นความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรตามทีวิเคราะห์ (Y) และตัวแปรที่ศึกษา (X) โดยมีความสัมพันธ์ดังนี้

$$Y_{1-4} = f(X_1, X_2, X_3)$$

เมื่อ	Y_{1-4}	คือ ตัวแปรตามทีวิเคราะห์ ได้แก่
	Y_1	คือ ปริมาณความชื้น
	Y_2	คือ กิจกรรมของเอนไซม์ Lipoxygenase
	Y_3	คือ ค่า Whiteness

	Y_4	คือ คะแนนความเข้มกลิ่นถั่ว
และ	X_{1-3}	คือ ตัวแปรต้นที่ศึกษา ได้แก่
	X_1	คือ เวลาการให้ความร้อนด้วยไมโครเวฟ
	X_2	คือ อุณหภูมิการให้ความร้อนด้วยตู้อบลมร้อน
	X_3	คือ เวลาการให้ความร้อนด้วยตู้อบลมร้อน

วิเคราะห์สมการ Multiple regression โดยใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์สำเร็จรูป Minitab[®] 17 พิจารณาความน่าเชื่อถือของสมการจาก R^2 (Coefficient of Determination) ซึ่งเป็นค่าที่บ่งบอกถึงสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ ถ้ามีค่าเข้าใกล้ 1 แสดงว่า สมการมีความเหมาะสม ค่า Model Significance ซึ่งบอกถึงความสัมพันธ์ระหว่างค่า Y และค่า X ถ้ามีค่าต่ำกว่า 0.05 แสดงถึงค่า Y และ X มีความสัมพันธ์กันทางสถิติที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 (Hu, 1999)

2) การทดสอบความแม่นยำของสมการที่ทำนายได้ โดยดำเนินการทดลองซ้ำ เพื่อให้ได้ค่าตอบสนองที่ได้จากการทดลอง (Y_{ex}) และแทนค่าตัวแปรที่ศึกษา (X_{1-3}) ในสมการที่วิเคราะห์ได้ และมีความน่าเชื่อถือ เพื่อให้ได้ค่าตอบสนองที่ได้จากการทำนาย (Y_{pred}) คำนวณค่า Root Mean Square (RMS) ซึ่งบ่งบอกถึงความคลาดเคลื่อนของการทำนายจากการใช้สมการ ถ้ามีค่าต่ำกว่า 20% แสดงว่า ค่าที่ได้จากการทำนายมีความคลาดเคลื่อนจากค่าจริงน้อย (Julian, 2004) คำนวณค่า RMS ได้จากสูตร

$$RMS = 100 \sqrt{\frac{\sum \left[\frac{(Y_{ex} - Y_{pred})^2}{Y_{pred}} \right]}{N}}$$

เมื่อ	Y_{ex}	คือ ค่าตอบสนองที่ได้จากการทดลอง
	Y_{pred}	คือ ค่าตอบสนองที่ได้จากการทำนาย
	N	คือ จำนวนข้อมูลที่ได้จากการทดลอง

3) นำสมการที่น่าเชื่อถือและผ่านการทดสอบมาสร้างกราฟพื้นผิวการตอบสนอง (Response surface plot) ด้วยโปรแกรมสำเร็จรูป Minitab[®] 17 เพื่อพิจารณาแนวโน้มความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรตาม (Y) และตัวแปรที่ศึกษา (X) เป็นการอธิบายผลของการใช้ไมโครเวฟร่วมกับการใช้ตู้อบลมร้อนต่อคุณภาพของแป้งถั่วดาวอินคา เลือกสภาวะที่เหมาะสมในการให้ความร้อนเพื่อลดกลิ่นถั่ว โดยการใช้นิเทศการซ้อนทับกราฟ (Super imposed technique) ร่วมกับการวิเคราะห์ฟังก์ชันความพึงพอใจ (Desirability Function)

4) ทำการทดลอง 3 ซ้ำ วิเคราะห์ความแปรปรวนของข้อมูล (ANOVA) โดยวางแผนการทดลองแบบ CRD และเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยของคุณภาพที่วัดได้ด้วย วิธี Tukey's Multiple Comparison test ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 ใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์สำเร็จรูป Minitab[®] 17 **เกณฑ์ในการคัดเลือก**

เลือกสถานะที่เหมาะสมในการให้ความร้อนที่ทำให้แป้งถั่วดาวอินคามีกลิ่นถั่วน้อยที่สุด โดยมีคะแนนความเข้มข้นถั่วต่ำที่สุด กิจกรรมของเอนไซม์ Lipoxygenase ต่ำ ค่า Whiteness แตกต่างจากแป้งถั่วดาวอินคาที่ไม่ผ่านการให้ความร้อนน้อยที่สุด รวมทั้งมีปริมาณความชื้นไม่เกิน 8%

3.1.2 การศึกษาผลของการลดกลิ่นถั่วโดยการใช้สารเคมีต่อคุณภาพของแป้งถั่วดาวอินคา

การลดกลิ่นถั่วของแป้งโดยวิธีการใช้สารเคมี มีข้อดีคือ เป็นวิธีการที่ง่าย ไม่ยุ่งยาก ซับซ้อน และแป้งถั่วไม่สัมผัสกับความชื้นจึงอาจยังคงรักษากรดไขมันไม่อิ่มตัวที่ดี รวมถึงแป้งถั่วมีปริมาณโปรตีนสูง การสัมผัสกับความชื้นจึงอาจมีโอกาสมัทำให้องค์ประกอบและโครงสร้างทางเคมีกายภาพของสตาร์ชและโปรตีนเปลี่ยนแปลงไป และอาจมีผลต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์ที่ใช้แป้งเป็นวัตถุดิบ Shin et al. (2013) รายงานว่า การคั่วถั่วเหลืองที่อุณหภูมิ 140°C นาน 30 นาที แล้วนำไปบดเป็นแป้ง มีผลให้แป้งที่ได้มีสีคล้ำ และเมื่อนำไปผลิตขนมปังพบว่า ขนมปังมีปริมาณจำเพาะต่ำ (2.25 cm³/g) Siddiq et al. (2013) ได้ทำการทดลองเบื้องต้นโดยการนำแป้งถั่วขาว (Navy flour) และแป้งถั่วพินโต (Pinto flour) ไปผ่านกระบวนการเอ็กทรูชัน (Extrusion) ที่อุณหภูมิ 120°C พบว่า แป้งมีสีคล้ำ และเมื่อนำไปผลิตคุกกี้ พบว่า คุกกี้มีคุณภาพต่ำลง ด้านการแผ่ขยายตัวต่ำ เส้นผ่านศูนย์กลางลดลง และเบคเตอร์มีความหนืดเพิ่มขึ้น

ในการทำงานของเอนไซม์ Lipoxygenase ซึ่งกระตุ้นปฏิกิริยาออกซิเดชันของกรดไขมันไม่อิ่มตัว และทำให้เกิดสารที่ให้กลิ่นถั่วได้นั้น กลไกการทำงานของเอนไซม์ Lipoxygenase เกิดจากภายในโมเลกุลของเอนไซม์นี้มีเหล็ก (Iron : Fe²⁺) เป็นส่วนประกอบอยู่ ซึ่งทำหน้าที่ดึงอะตอมไฮโดรเจนจากกรดไขมัน และเติมออกซิเจนให้กับกรดไขมัน เกิดเป็นไฮโดรเปอร์ออกไซด์ (Hydro peroxide) ซึ่งจะสลายตัวเป็นอนุมูลของกรดไขมันต่อไป (Halliwell et al., 1995)

ดังนั้นจึงมีแนวทางหนึ่งที่สามารถยับยั้งกลไกการทำงานของเอนไซม์ Lipoxygenase ได้ด้วยการใช้สารเคมีที่มีสมบัติเป็น Chelating agent ซึ่งมีผลให้เกิดการสร้างพันธะจับกับเหล็กที่บริเวณ Active site ของเอนไซม์ เกิดเป็นสารประกอบเชิงซ้อนที่เรียกว่า คีเลต (Chelate) ซึ่งเป็นสารประกอบเชิงซ้อนที่มีความคงตัว จึงสามารถดึงเหล็กออกจากเอนไซม์ Lipoxygenase และ/หรือการเปลี่ยนรูป Ferric (Fe³⁺) ของเอนไซม์ เป็นรูป Ferrous (Fe²⁺) จะทำให้เอนไซม์ Lipoxygenase ไม่

สามารถทำงานได้ (Halliwell et al., 1995) อย่างไรก็ตามการใช้สารเคมีนี้ นิยมใช้ในรูปแบบของการแช่ตัวอย่างในสารละลาย Chelating agent เนื่องจากทำให้เกิดการสร้างพันธะจับกับเหล็กในโมเลกุลของเอนไซม์ Lipoxygenase ได้อย่างทั่วถึง จึงอาจมีผลต่อการสูญเสียสมบัติเชิงหน้าที่และการคงอยู่ของสารพฤกษเคมี และคุณค่าทางโภชนาการที่สำคัญของแป้ง (นภาพร เชี่ยวชาญ, 2556; ศิริพร ตันจ่อ และคณะ, 2555; Siah et al., 2014)

วัตถุดิบอาหาร กลุ่ม Chelating agent ที่อนุญาตให้ใช้ในอาหาร และมีรายงานว่าสามารถช่วยลดกลิ่นถั่วได้ ได้แก่ Ethylene diamine tetra acetic (EDTA) และ Citric acid Arif et al. (2012) และ Maestri et al. (2000) รายงานว่า การแช่แป้งถั่วเหลืองในสารละลาย EDTA สามารถยับยั้งกลไกการทำงานของเอนไซม์ Lipoxygenase ได้ เมื่อนำแป้งมาผลิตน้ำมันถั่วเหลือง พบว่า ช่วยลดกลิ่นถั่วลงได้

สำหรับ Citric acid เป็นกรดที่มีราคาถูกและหาได้ง่าย โดยจัดเป็นวัตถุเจือปนประเภท GRAS จึงมักนำมาใช้ในอุตสาหกรรมอาหาร มีรายงานว่า pH ที่เหมาะสมสำหรับการทำงานของเอนไซม์ Lipoxygenase อยู่ในช่วง 6.5-9 (Surrey, 1960) การแช่ในสภาวะกรดอาจมีผลต่อการเสถียรภาพธรรมชาติของเอนไซม์ Polyphenol oxidase (PPO) และเอนไซม์ Lipoxygenase ได้ (ทิพวรรณ จันทะรักษ์ และคณะ, 2555) ดังนั้นการนำแป้งถั่วดาวอินคาแช่ในสารละลายกรดอ่อนจึงเป็นอีกแนวทางหนึ่งที่สามารถยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ Lipoxygenase ได้

นอกจากนี้การใช้สารต้านออกซิเดชันแข่งขันแข่งขันกับเอนไซม์ Lipoxygenase ในการทำปฏิกิริยากับสารตั้งต้น ก็สามารถยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ Lipoxygenase ได้ (ขวัญใจ แซ่ลิ้ม, 2552) โดยสารต้านออกซิเดชันที่มีสมบัติดังกล่าว ที่อนุญาตให้ใช้ในอาหารได้ โดยจัดเป็นวัตถุเจือปนประเภท GRAS คือ Propyl gallate มีบทบาทสำคัญในการเป็นสารต้านออกซิเดชันให้แก่ไขมันและน้ำมัน จึงมักนำมาใช้ในอุตสาหกรรมอาหารการผลิตเนยเทียม และมีรายงานว่า Propyl gallate สามารถยับยั้งเอนไซม์ Lipoxygenase ได้ (Vijayvaragiya & Pai, 1991)

ดังนั้นขั้นตอนนี้จึงต้องการศึกษาผลของชนิดและความเข้มข้นของสารละลายที่ใช้แช่แป้งถั่วดาวอินคาต่อคุณภาพของแป้งถั่วดาวอินคา และคัดเลือกสภาวะที่เหมาะสมของการใช้สารเคมีเพื่อลดกลิ่นถั่ว โดยสารเคมีที่ใช้ ได้แก่

- 1) สารละลาย EDTA ความเข้มข้น 100 120 และ 140 mmol/L
- 2) สารละลาย Citric acid ความเข้มข้น 0.1 0.3 และ 0.5%
- 3) สารละลาย Propyl gallate ความเข้มข้น 0.1 0.3 และ 0.5%

เปรียบเทียบกับแป้งถั่วดาวอินคาที่ไม่ผ่านการลดกลิ่นถั่ว สามารถจัดตั้งทดลองได้ทั้งหมด 10 สิ่งทดลอง แสดงดังตารางที่ 3-2

ตารางที่ 3-2 สิ่งทดลองเพื่อการศึกษาผลของการใช้สารเคมีต่อคุณภาพของแป้งถั่วดาวอินคา

สิ่งทดลองที่	ชนิดของสารละลาย	ความเข้มข้นของสารละลาย
1	สารละลาย EDTA	100 mmol/L
2		120 mmol/L
3		140 mmol/L
4	สารละลาย Citric acid	0.1%
5		0.3%
6		0.5%
7	สารละลาย Propyl gallate	0.1%
8		0.3%
9		0.5%
10 (ควบคุม)	แป้งถั่วดาวอินคาที่ไม่ผ่านการดกกลิ่นถั่ว	

การแช่แป้งถั่วดาวอินคาในสารละลาย

การแช่แป้งถั่วดาวอินคาในสารละลาย ดัดแปลงจากวิธีของ Maetri et al. (2000) และ Huang et al. (2006) ดำเนินการ โดย เตรียมสารละลาย EDTA สารละลาย Citric acid และสารละลาย Propyl gallate ตามความเข้มข้นที่กำหนด โดยใช้ น้ำเป็นตัวทำละลาย สำหรับการเตรียมสารละลาย Propyl gallate ต้องให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 50°C เป็นเวลา 5 นาที นำแป้งถั่วดาวอินคา 50 กรัม แช่ในสารละลายปริมาตร 150 มิลลิลิตร เป็นเวลา 60 นาที เมื่อครบกำหนดเวลา นำไปปั่นเหวี่ยงที่ 1300g เป็นเวลา 15 นาที เพื่อให้แป้งตกตะกอน แล้วรินส่วนใสทิ้ง จากนั้นนำตะกอนแป้งถั่วดาวอินคาล้างด้วยน้ำกลั่นปริมาตร 150 มิลลิลิตร และนำไปปั่นเหวี่ยงที่ 1300g เป็นเวลา 15 นาที อีก 2 ครั้ง นำตะกอนแป้งถั่วดาวอินคา มาเกลี่ยลงบนถาดสำหรับอบ โดยควบคุมให้ความหนาไม่เกิน 1 เซนติเมตร นำไปอบด้วยตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 35°C เป็นเวลา 6 ชั่วโมง เพื่อลดความชื้นลง (Shin et al., 2013) ทิ้งไว้ให้เย็นที่อุณหภูมิห้อง บรรจุแป้งถั่วดาวอินคาในถุงออลูมิเนียมฟอยล์ เก็บรักษาโดยแช่แข็งที่อุณหภูมิ -18°C จนกว่าจะนำมาวิเคราะห์

การวิเคราะห์คุณภาพ

สุ่มตัวอย่างแป้งถั่วดาวอินคา มาวิเคราะห์คุณภาพ ดังนี้

- 1) ปริมาณความชื้น (AOAC, 2000) แสดงดังภาคผนวก ก-1

2) การทำงานของเอนไซม์ Lipoxygenase ตามวิธีของ Kudre and Benjakul (2013) และ Hamberg and Samuelsson (1967) แสดงคั่งภาคผนวก ก-2

3) ค่าสี ด้วยเครื่องวัดสี รายงานเป็น ค่า L^* a^* b^* และ คำนวณค่า Whiteness แสดงคั่งภาคผนวก ข-1

4) ความเข้มข้นกลิ่นฉุน โดยการประเมินทางประสาทสัมผัสตามวิธีของ Kudre and Benjakul (2013) ใช้ผู้ทดสอบที่ผ่านการฝึกฝน จำนวน 10 คน ประเมินความเข้มข้นของแป้งถั่วดาวอินคา โดยให้คะแนนตั้งแต่ 0 ถึง 5 โดยคะแนน 0 หมายถึง ไม่มีกลิ่นฉุน และ 5 หมายถึง กลิ่นฉุนเข้มข้นมากที่สุด แบบประเมินแสดงคั่งภาคผนวก ก-6

การวิเคราะห์ทางสถิติ

ทำการทดลอง 3 ซ้ำ วิเคราะห์ความแปรปรวนของข้อมูล (ANOVA) โดยวางแผนการทดลองแบบ CRD และเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยของคุณภาพที่วัดได้ โดยวิธี Tukey's Multiple Comparison test ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 โดยใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์สำเร็จรูป Minitab[®] 17

เกณฑ์ในการคัดเลือก

เลือกสถานะที่เหมาะสมในการให้ความร้อนที่ทำให้แป้งถั่วดาวอินคามีกลิ่นฉุนน้อยที่สุด โดยมีคะแนนความเข้มข้นกลิ่นฉุนต่ำที่สุด กิจกรรมของเอนไซม์ Lipoxygenase ค่า Whiteness แตกต่างจากแป้งถั่วดาวอินคาที่ไม่ผ่านการให้ความร้อนน้อยที่สุด รวมทั้งมีปริมาณความชื้นไม่เกิน 8%

3.2 การวิเคราะห์คุณภาพและสมบัติเชิงหน้าที่ของแป้งถั่วดาวอินคาที่ไม่ผ่านและผ่านการลดกลิ่นฉุน

กระบวนการลดกลิ่นฉุนที่ใช้อาจมีผลให้องค์ประกอบทางเคมี องค์ประกอบเฉพาะด้านกรดอะมิโน กรดไขมัน และสารระเหยให้กลิ่น รวมถึงสมบัติเชิงหน้าที่ของแป้งถั่วดาวอินคา โดยปกติแป้งถั่วชนิดต่างๆ มีองค์ประกอบของสตาร์ชและโปรตีนสูง กระบวนการลดกลิ่นฉุนที่ใช้มีโอกาสมำให้องค์ประกอบและโครงสร้างทางเคมีกายภาพของสตาร์ชและโปรตีนเปลี่ยนแปลงไปได้ นอกจากนี้สารพฤกษเคมีโดยธรรมชาติที่มีสมบัติต้านอนุมูลอิสระ รวมถึงเส้นใยอาหารมีโอกาสดูดซับไประหว่างกระบวนการลดกลิ่นฉุนได้ (Aparicio-Fernandez, Manzo-Bonilla, & Loarca-Pina, 2005; Xu & Chang, 2009; Siah et al., 2014) Campbell et al. (2008) และ Damodaran (1996)

กล่าวว่า กระบวนการให้ความร้อนรวมถึงการใช้สภาวะกรดในการแปรรูปกับแป้งที่มีโปรตีนสูงมีผลต่อสมบัติเชิงหน้าที่ของโปรตีน เช่น การเป็นอิมัลซิไฟเออร์ การเกิดโฟม และการอุ้มน้ำ เป็นต้น

ในขั้นตอนนี้จึงต้องการวิเคราะห์คุณภาพของแป้งถั่วดาวอินคาที่ไม่ผ่านและผ่านการลดกลั่นถั่ว โดยการให้ความร้อนตามวิธีที่เลือกได้จากข้อ 3.1.1 และแป้งถั่วดาวอินคาที่ผ่านการลดกลั่นถั่วโดยใช้สารเคมีตามวิธีที่เลือกได้จากข้อ 3.1.2 ทางด้านองค์ประกอบทางเคมี สารระเหยให้กลิ่น คุณค่าทางโภชนาการ สารพฤกษเคมีที่สำคัญ และคุณภาพทางกายภาพ รวมถึงสมบัติเชิงหน้าที่เพื่อใช้เป็นข้อมูลสำหรับการนำแป้งถั่วดาวอินคาไปใช้เป็นส่วนผสมในอาหารเพื่อสุขภาพชนิดต่าง ๆ ต่อไป

การเตรียมตัวอย่าง

เตรียมตัวอย่างแป้งถั่วดาวอินคาที่ผ่านการลดกลั่นถั่ว ตามวิธีที่เลือกได้จากข้อ 3.1.1 และ 3.1.2 ควบคุมขนาดอนุภาคของแป้งถั่วดาวอินคา โดยนำแป้งถั่วดาวอินคาที่ไม่ผ่านและผ่านการลดกลั่นถั่ว มาบดด้วยเครื่องบดอาหารแห้ง กำหนดให้บดแป้งครั้งละ 200 กรัม ใช้ความเร็วปานกลาง โดยบดเป็นเวลา 30 วินาที แล้วนำมาผ่านตะแกรงขนาด 20 เมช บรรจุในถุงอลูมิเนียมฟอยล์ เก็บรักษาโดยแช่แข็งที่อุณหภูมิ -18°C จนกว่าจะนำมาวิเคราะห์

การวิเคราะห์คุณภาพ

สุ่มตัวอย่างแป้งถั่วดาวอินคาวิเคราะห์คุณภาพ ดังนี้

- 1) องค์ประกอบทางเคมี ได้แก่ ความชื้น โปรตีน ไขมัน คากไฮ เถ้า และคาร์โบไฮเดรต (AOAC, 2000) แสดงดังภาคผนวก ก-1
- 2) องค์ประกอบของสารระเหยให้กลิ่น (Volatile compounds profile) โดยใช้ SPME-GC-MS (Azarnia et al., 2011) แสดงดังภาคผนวก ก-3
- 3) ค่าโครงสร้างคุณภาพกลิ่น โดยใช้ Electronic nose (ดัดแปลงจาก Raigar et al., 2017) แสดงดังภาคผนวก ก-4
- 4) ปริมาณเส้นใยอาหารทั้งหมด โดยวิธี Enzymatic and gravimetric method (AOAC, 1995) แสดงดังภาคผนวก ก-5
- 5) ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด โดยวิธี Total phenols assay (ดัดแปลงจาก Rawdkuen et al., 2016) แสดงดังภาคผนวก ก-6
- 6) สมบัติการต้านอนุมูลอิสระ โดยวิธี DPPH scavenging activity assay (ดัดแปลงจาก Rawdkuen et al., 2016) แสดงดังภาคผนวก ก-7
- 7) สมบัติการต้านอนุมูลอิสระ โดยวิธี Ferric reducing antioxidant power (ดัดแปลงจาก Rawdkuen et al., 2016) แสดงดังภาคผนวก ก-8

8) โครงสร้างทางจุลภาค โดยใช้กล้องจุลทรรศน์แบบใช้แสง (Optical microscope) และ โครงสร้างทางจุลภาคภายใต้แสงโพลาไรส์ (Jiang et al., 2016) แสดงดังภาคผนวก ข-2

9) ค่าสี โดยใช้เครื่องวัดสี รายงานเป็น ค่า $L^* a^* b^*$ และ จำนวนค่า Whiteness แสดงดัง ภาคผนวก ข-1

การวิเคราะห์สมบัติเชิงหน้าที่

1) ความสามารถในการดูดซับน้ำ (Water absorption capacity) (ดัดแปลงจาก Bhat & Yahya, 2014) แสดงดังภาคผนวก ข-3

2) ความสามารถในการดูดซับน้ำมัน (Oil absorption capacity) (ดัดแปลงจาก Bhat & Yahya, 2014) แสดงดังภาคผนวก ข-3

3) สมบัติการเป็นอิมัลซิไฟเออร์ (Eulsifying properties) (ดัดแปลงจาก Seena & Sridhar, 2005; Oladele & Aina, 2007; Bhat & Yahya, 2014) แสดงดังภาคผนวก ข-3

4) สมบัติการพองตัว (Swelling properties) (ดัดแปลงจาก Oladele & Aina, 2007) แสดง ดังภาคผนวก ข-3

การวิเคราะห์ทางสถิติ

1) ทำการทดลอง 3 ซ้ำ วิเคราะห์ความแปรปรวนของข้อมูล (ANOVA) โดยวางแผนการ ทดลองแบบ CRD และเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยของคุณภาพที่วัดได้ โดยวิธี Tukey's Multiple Comparison test ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 โดยใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์สำเร็จรูป Minitab[®] 17

2) วิเคราะห์องค์ประกอบหลัก (Principle Component Analysis: PCA) โดยใช้โปรแกรม คอมพิวเตอร์สำเร็จรูป E-nose system Alpha soft 12.4 software (Alpha MOS).

เกณฑ์ในการพิจารณา

พิจารณาคุณภาพด้านต่าง ๆ ที่วิเคราะห์ และใช้เป็นข้อมูลในการอภิปรายผลการนำแป้ง ถั่วดาวอินคาไปใช้เป็นส่วนผสมในอาหารเพื่อสุขภาพชนิดต่าง ๆ ต่อไป

3.3 การศึกษาการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของแป้งถั่วดาวอินคาที่ไม่ผ่านและผ่านการลด กลิ่นฉ่ำระหว่างการเก็บ

เนื่องจากองค์ประกอบของแป้งถั่วส่วนใหญ่ มักอุดมไปด้วยน้ำมันและโปรตีน รวมทั้งมี องค์ประกอบของสารอาหาร และสารพฤกษเคมีต่าง ๆ ในระหว่างการเก็บรักษาอาจมีโอกาาสให้เกิด การเปลี่ยนแปลงคุณภาพแป้งถั่วได้ Kudre and Benjakul (2013) ศึกษาการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของ

แป้งถั่วหรั่งที่ผ่านการลดกลั่นถั่ว เก็บแป้งถั่วหรั่งโดยแช่เย็นที่อุณหภูมิ $4\pm 1^{\circ}\text{C}$ และที่อุณหภูมิห้อง โดยให้ความสำคัญกับการติดตามผลได้จากการเกิดปฏิกิริยาการออกซิเดชันของไขมัน (Lipid oxidation) คุณภาพทางประสาทสัมผัสด้านความชอบด้านต่าง ๆ รวมถึงความเข้มกลั่นถั่ว เนื่องจากเป็นดัชนีชี้วัดคุณภาพที่เกี่ยวข้องกับการยอมรับที่สำคัญของแป้งถั่ว

ในขั้นตอนนี้เป็นการศึกษาการเปลี่ยนแปลงคุณภาพด้านต่าง ๆ ระหว่างการเก็บของแป้งถั่วดาวอินคาที่ไม่ผ่านการลดกลั่นถั่ว แป้งถั่วดาวอินคาที่ผ่านการลดกลั่นถั่วโดยการให้ความร้อนตามวิธีที่เลือกได้จากข้อ 3.1.1 และแป้งถั่วดาวอินคาที่ผ่านการลดกลั่นถั่วโดยการใช้สารเคมีตามวิธีที่เลือกได้จากข้อ 3.1.2 เพื่อใช้เป็นข้อมูลในการพิจารณาสถานะการเก็บรักษาแป้งถั่วดาวอินคาที่เหมาะสมต่อไป

การเตรียมตัวอย่าง

เตรียมตัวอย่างแป้งถั่วดาวอินคาที่ผ่านการลดกลั่นถั่ว ตามวิธีที่เลือกได้จากข้อ 3.1.1 และ 3.1.2 ควบคุมขนาดอนุภาคของแป้งถั่วดาวอินคา โดยนำแป้งถั่วดาวอินคาที่ไม่ผ่านและผ่านการลดกลั่นถั่ว มาบดด้วยเครื่องบดอาหารแห้ง กำหนดให้บดแป้งครั้งละ 200 กรัม ใช้ความเร็วปานกลาง โดยบดเป็นเวลา 30 วินาที แล้วนำมาร้อนผ่านตะแกรงขนาด 20 เมช

การเก็บตัวอย่าง

นำแป้งถั่วดาวอินคาที่ไม่ผ่านและผ่านการลดกลั่นถั่ว บรรจุในถุงออลูมิเนียมฟอยล์ถุงละ 200 กรัม เก็บรักษาโดยแช่เย็นที่อุณหภูมิ $4\pm 1^{\circ}\text{C}$ และที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 21 วัน

การวิเคราะห์คุณภาพ

สุ่มตัวอย่างแป้งถั่วดาวอินคาในวันที่ 0 7 14 และ 21 วัน มาวิเคราะห์คุณภาพ ดังนี้

- 1) ปริมาณความชื้น (AOAC, 2000) แสดงดังภาคผนวก ก-1
- 2) การทำงานของเอนไซม์ Lipoxygenase ตามวิธีของ Kudre and Benjakul (2013) และ Hamberg and Samuelsson (1967) แสดงดังภาคผนวก ก-2
- 3) ค่า Peroxide value (ดัดแปลงจาก Richards & Hultin, 2000) แสดงดังภาคผนวก ก-9
- 4) ค่า TBARS (Buege & Aust, 1978) แสดงดังภาคผนวก ก-10
- 5) ค่า a_w โดยใช้เครื่องวัดค่า a_w แสดงดังภาคผนวก ข-4
- 6) ค่าสี โดยใช้เครื่องวัดสี รายงานผลเป็นค่าสี $L^* a^* b^*$ และ คำนวณค่า Whiteness แสดงดังภาคผนวก ข-1

7) ความเข้มกลั่นถั่วและความเข้มกลั่นหีน โดยการประเมินทางประสาทสัมผัสตามวิธีของ Kudre and Benjakul (2013) ใช้ผู้ทดสอบที่ผ่านการฝึกฝน จำนวน 10 คน ประเมินความเข้มกลั่นถั่วและความเข้มกลั่นหีนของแป้งถั่วดาวอินคา โดยให้คะแนนตั้งแต่ 0 ถึง 5 โดยคะแนน 0

หมายถึง ไม่มีกลิ่นฉุน และ 5 หมายถึง กลิ่นฉุนเข้มมากที่สุด แบบประเมินแสดงดังภาคผนวก ก-6 และ ก-8

8) ปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด (BAM, 2003) แสดงดังภาคผนวก ง-1

9) ปริมาณยีสต์ และรา (BAM, 2003) แสดงดังภาคผนวก ง-2

การวิเคราะห์ทางสถิติ

พิจารณาการเปลี่ยนแปลงระหว่างการเก็บที่อุณหภูมิเดียวกัน ดังนั้นปัจจัยที่ศึกษา คือ เวลาในการเก็บ ทำการทดลอง 3 ซ้ำ วิเคราะห์ความแปรปรวนของข้อมูล (ANOVA) โดยวางแผนการทดลองแบบ CRD และเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยของคุณภาพที่วัดได้ โดยวิธี Tukey's Multiple Comparison test ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 โดยใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์สำเร็จรูป Minitab® 17

เกณฑ์ในการพิจารณา

โดยพิจารณาการเปลี่ยนแปลงคุณภาพด้านต่าง ๆ ระหว่างการเก็บ และเปรียบเทียบคุณภาพกับเกณฑ์มาตรฐานของผลิตภัณฑ์เทียบเคียง คือ ถั่วเหลืองผง (มาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน มผช.688/2547) และแป้งถั่วเหลือง (มาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน มผช. 1377/2550)

3.4 การศึกษาการนำแป้งถั่วดาวอินคามาใช้เป็นส่วนผสมในผลิตภัณฑ์อาหารเพื่อสุขภาพต้นแบบ

ขั้นตอนนี้ต้องการศึกษาความเป็นไปได้ในการนำแป้งถั่วดาวอินคาที่ผ่านการลดกลิ่นฉุนที่เลือกได้จากข้อที่ 3.2 มาใช้เป็นส่วนผสมในผลิตภัณฑ์อาหารเพื่อสุขภาพต้นแบบ จำนวน 2 ชนิด ได้แก่ เครื่องดื่มน้ำนมถั่วดาวอินคาสูตรน้ำตาลต่ำ และถั่วดาวอินคาสเปรด โดยแปรปริมาณการใช้แป้งถั่วดาวอินคาที่ผ่านการลดกลิ่นฉุนและประเมินผลการเติมต่อคุณภาพผลิตภัณฑ์ด้านต่าง ๆ โดยมีรายละเอียดการศึกษาดังนี้

3.4.1 การศึกษาผลของปริมาณแป้งถั่วดาวอินคาที่ผ่านการลดกลิ่นฉุนต่อคุณภาพของเครื่องดื่มน้ำนมถั่วดาวอินคาสูตรน้ำตาลต่ำ

เครื่องดื่มประเภทน้ำนมจากพืช (Non-dairy milk product) เป็นอาหารสุขภาพชนิดหนึ่งที่ได้รับนิยมนิยมมาก ซึ่งจะเห็นได้จากแนวโน้มทางการตลาด ที่มีผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มประเภทน้ำนมจากพืช ออกมาจำหน่ายหลายชนิด เช่น น้ำนมข้าว น้ำนมข้าวโพด น้ำลูกเดือย เป็นต้น ซึ่งเครื่องดื่มเหล่านี้มีความคล้ายคลึงกับน้ำนมถั่วเหลือง ซึ่งเป็นเครื่องดื่มประเภทน้ำนมจากพืชชนิดดั้งเดิมที่เป็น

ที่ยอมรับจากผู้บริโภค เนื่องจากมีรสชาติดี และให้คุณค่าทางอาหารสูง (จุฬารัตน์ เลิศบรรจงศรี และรติตา โอสถานนท์, 2551)

ในขั้นตอนนี้ต้องการนำแป้งถั่วดาวอินคาที่ผ่านการลวกถั่ว มาใช้เป็นส่วนผสมในการผลิตเครื่องดื่มน้ำนมถั่วดาวอินคาสูตรน้ำตาลต่ำ โดยศึกษาปริมาณการใช้แป้งถั่วดาวอินคาที่ผ่านการลวกถั่ว 4 ระดับ ได้แก่ 1 2 3 และ 4 % โดยน้ำหนัก

จัดตั้งทดลองแบบ CRD ได้ทั้งหมด 4 สิ่งทดลอง โดยสูตรและกรรมวิธีผลิตน้ำนมถั่วดาวอินคาสูตรน้ำตาลต่ำ คัดแปลงจากการผลิตน้ำนมจากพืชชนิดต่าง ๆ (จุฬามาศ ธีระสาโรช และเฉลิมพล ถนอมวงศ์, 2558; Granato et al., 2010; Jagersberger, 2013) รายละเอียดส่วนผสมเครื่องดื่มน้ำนมถั่วดาวอินคาสูตรน้ำตาลต่ำ แสดงดังตารางที่ 3-3

ตารางที่ 3-3 ส่วนผสมเครื่องดื่มน้ำนมถั่วดาวอินคาสูตรน้ำตาลต่ำ

ส่วนผสม	ปริมาณ (%โดยน้ำหนัก)
แป้งถั่วดาวอินคาที่ผ่านการลวกถั่ว	1, 2, 3, 4
น้ำเชื่อมโอลิโกฟรุคโตส (50°Brix)	20
สารเพิ่มความคงตัว : Guar gum	0.3
น้ำ	ปรับให้ครบ 100 %

การผลิตเครื่องดื่มน้ำนมถั่วดาวอินคา

ซึ่งส่วนผสมตามปริมาณกำหนด ควบคุมการผลิตเครื่องดื่มน้ำนมถั่วดาวอินคาทุกสูตร โดยผสมให้เข้ากัน โดยใช้เครื่องปั่นน้ำผลไม้ (Electrolux รุ่น EBR2601) กำหนดใช้ความเร็วเบอร์ 3 ปั่นผสมเป็นเวลา 5 นาที จากนั้นนำไปให้ความร้อนด้วยเตาแก๊ส คงอุณหภูมิที่ $93\pm 2^{\circ}\text{C}$ เป็นเวลา 15 วินาที บรรจุขณะร้อนในขวดแก้วที่ผ่านการลวกฆ่าเชื้อ ปิดฝา ทำให้เย็นทันทีโดยการแช่น้ำเย็น เก็บรักษาโดยแช่เย็นที่อุณหภูมิ $4\pm 1^{\circ}\text{C}$ เป็นเวลา 24 ชั่วโมง ก่อนนำไปวิเคราะห์

การวิเคราะห์คุณภาพ

- 1) ค่าสี โดยใช้เครื่องวัดสี รายงานผลเป็นค่าสี $L^* a^* b^*$ แสดงดังภาคผนวก ข-1
- 2) ค่าความหนืด โดยใช้เครื่องวัดความหนืด (Sunprasert, 2010) แสดงดังภาคผนวก ข-5
- 3) ค่าการแยกตัวของของเหลว (คัดแปลงจาก Remeuf et al., 2003) แสดงดังภาคผนวก ข-6
- 4) ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด ด้วย Hand refractometer แสดงดังภาคผนวก ข-7

5) ความชอบทางประสาทสัมผัส ด้วยวิธี 9-point hedonic scale โดย 1 คะแนน คือ ไม่ชอบมากที่สุด และ 9 คะแนน คือ ชอบมากที่สุด ใช้ผู้ทดสอบเป็นผู้บริโภครวมไป จำนวน 30 คน ประเมินความชอบด้านลักษณะปรากฏ สี กลิ่น รสชาติ เนื้อสัมผัส และความชอบโดยรวม แบบประเมินแสดงดังภาคผนวก ค-9

การวิเคราะห์ทางสถิติ

ทำการทดลอง 3 ซ้ำ วิเคราะห์ความแปรปรวนของข้อมูล (ANOVA) โดยวางแผนการทดลองแบบ CRD ยกเว้นการทดสอบความชอบทางประสาทสัมผัส วางแผนการทดลองแบบ RCBD และเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยของคุณภาพที่วัดได้ โดยวิธี Tukey's Multiple Comparison test ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 โดยใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์สำเร็จรูป Minitab® 17

เกณฑ์ในการคัดเลือก

พิจารณาเลือกสิ่งทดลองที่เหมาะสม ที่ทำให้ได้รับคะแนนความชอบโดยรวมสูงที่สุด ร่วมกับการพิจารณาคุณภาพด้านอื่น ๆ ที่วิเคราะห์

3.4.2 การศึกษาผลของปริมาณแป้งถั่วดาวอินคาที่ผ่านการลดกลิ่นถั่วต่อคุณภาพของถั่วดาวอินคาสเปรด

ผลิตภัณฑ์สเปรด หรือผลิตภัณฑ์สำหรับปาดทา (Spread product) มีลักษณะเป็นของผสม กึ่งแข็ง ที่มีลักษณะอ่อนนุ่ม มีกลิ่นรส และมีลักษณะเนื้อสัมผัสเฉพาะของผลิตภัณฑ์แต่ละชนิด มีการพัฒนาผลิตภัณฑ์สำหรับปาดทาในรูปแบบอาหารสุขภาพหลายรูปแบบ เช่น แยมผักผลไม้ น้ำตาลต่ำ เนยถั่วลิสงผสมธัญพืช และฟักทองสเปรด เป็นต้น มีจุดเด่นคือ สามารถใช้บริโภคร่วมกับอาหารได้หลายชนิด เช่น ใช้ทาขนมปัง แครกเกอร์ และใช้เป็นส่วนผสมของผลิตภัณฑ์ขนมอบของหวาน ไอศกรีม และของว่างอื่น ๆ (นรินทร์ เจริญพันธ์, 2552; โสธยา เกิดพิบูลย์ และคณะ, 2554)

ในขั้นตอนนี้ต้องการนำแป้งถั่วดาวอินคาที่ผ่านการลดกลิ่นถั่ว มาใช้เป็นส่วนผสมในการผลิตถั่วดาวอินคาสเปรดโดยศึกษาสัดส่วนระหว่างแป้งถั่วดาวอินคาที่ผ่านการลดกลิ่นถั่วกับน้ำมันมะพร้าว 3 ระดับ ได้แก่ 40:60 45:55 และ 50:50 % โดยน้ำหนัก

จัดสิ่งทดลองแบบ CRD ได้ทั้งหมด 3 สิ่งทดลอง โดยสูตรและกรรมวิธีผลิต ถั่วดาวอินคาสเปรด คัดแปลงจากการผลิตฟักทองสเปรดและเนยถั่วลิสง (โสธยา เกิดพิบูลย์ และคณะ, 2554; จริยา คุณะวิภากร, 2542) รายละเอียดส่วนผสมถั่วดาวอินคาสเปรด แสดงดังตารางที่ 3-4

ตารางที่ 3-4 สูตรถั่วดาวอินคาสเปรด

ส่วนผสม	ปริมาณ (%โดยน้ำหนัก)
แป้งถั่วดาวอินคาที่ผ่านการลวกถั่ว : น้ำมันมะพร้าว	40:60, 45:55, 50:50
น้ำเชื่อม (50°Brix)	5
เกลือ	1.0
อิมัลซิไฟเออร์ : Tween 80	1.0

การผลิตถั่วดาวอินคาสเปรด

ซึ่งส่วนผสมตามปริมาณกำหนด ควบคุมการผลิตถั่วดาวอินคาสเปรดทุกสูตร โดยแบ่งน้ำมันมะพร้าวปริมาณ $\frac{1}{2}$ ของน้ำหนักที่ใช้ในสูตร นำมาผสมกับแป้งถั่วดาวอินคาโดยใช้เครื่องปั่นน้ำผลไม้ (Electrolux รุ่น EBR2601) กำหนดใช้ความเร็วเบอร์ 1 บดผสมเป็นเวลา 1 นาที แล้วจึงเติมเกลือ น้ำเชื่อม และอิมัลซิไฟเออร์ บดผสมต่ออีกเป็นเวลา 3 นาที แล้วจึงค่อย ๆ เติมน้ำมันมะพร้าวจนหมดโดยปั่นผสมตลอดเวลาเป็นเวลา 6 นาที จากนั้นนำส่วนผสมที่ได้ บรรจุในขวดแก้วที่ผ่านการลวกฆ่าเชื้อ ปิดฝา เก็บรักษาโดยแช่เย็นที่อุณหภูมิ $4\pm 1^{\circ}\text{C}$ เป็นเวลา 72 ชั่วโมง ก่อนนำไปวิเคราะห์

การวิเคราะห์คุณภาพ

- ค่าสี โดยใช้เครื่องวัดสี รายงานผลเป็นค่าสี $L^* a^* b^*$ แสดงดังภาคผนวก ข-1
- ลักษณะเนื้อสัมผัส ได้แก่ Hardness Spreadability และ Adhesiveness ด้วยเครื่อง Texture Analyzer แสดงดังภาคผนวก ข-8
- ความชอบทางประสาทสัมผัส ด้วยวิธี 9-point hedonic scale โดย 1 คะแนน คือ ไม่ชอบมากที่สุด และ 9 คะแนน คือ ชอบมากที่สุด ใช้ผู้ทดสอบเป็นผู้บริโภคทั่วไป จำนวน 30 คน ประเมินความชอบด้านลักษณะปรากฏ สี กลิ่น รสชาติ เนื้อสัมผัส และความชอบโดยรวม แบบประเมินแสดงดังภาคผนวก ค-10

การวิเคราะห์ทางสถิติ

ทำการทดลอง 3 ซ้ำ วิเคราะห์ความแปรปรวนของข้อมูล (ANOVA) โดยวางแผนการทดลองแบบ CRD ยกเว้นการทดสอบความชอบทางประสาทสัมผัส วางแผนการทดลองแบบ RCBD และเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยของคุณภาพที่วัดได้ โดยวิธี Tukey's Multiple Comparison test ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 โดยใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์สำเร็จรูป Minitab® 17

เกณฑ์ในการคัดเลือก

พิจารณาเลือกสิ่งทดลองที่เหมาะสม ที่ทำให้ได้รับคะแนนความชอบโดยรวมสูงที่สุด ร่วมกับการพิจารณาคุณภาพด้านอื่น ๆ ที่วิเคราะห์

3.5 การวิเคราะห์คุณภาพผลิตภัณฑ์อาหารเพื่อสุขภาพต้นแบบที่มีการใช้แป้งถั่วดาวอินคาที่ผ่านการลดกลิ่นถั่วเปรียบเทียบกับการใช้แป้งถั่วดาวอินคาที่ไม่ผ่านการลดกลิ่นถั่ว

ในขั้นตอนนี้เป็นการเปรียบเทียบคุณภาพทางเคมี ทางกายภาพ และทางประสาทสัมผัส ของเครื่องดื่มน้ำนมถั่วดาวอินคาสูตรน้ำตาลต่ำและถั่วดาวอินคาสเปรด สูตรที่มีการใช้แป้งถั่วดาวอินคาที่ผ่านการลดกลิ่นถั่ว ที่เลือกได้จากข้อ 3.4 เปรียบเทียบกับเครื่องดื่มน้ำนมถั่วดาวอินคาสูตรน้ำตาลต่ำและถั่วดาวอินคาสเปรดสูตรที่มีการใช้แป้งถั่วดาวอินคาที่ไม่ผ่านการลดกลิ่นถั่วในปริมาณเท่ากัน โดยดำเนินการผลิตเครื่องดื่มน้ำนมถั่วดาวอินคาและถั่วดาวอินคาสเปรดตามวิธีในข้อ 3.4.1 และ 3.4.2 แล้วสุ่มตัวอย่างมาวิเคราะห์คุณภาพ

การวิเคราะห์คุณภาพเครื่องดื่มน้ำนมถั่วดาวอินคา

สุ่มตัวอย่างเครื่องดื่มน้ำนมถั่วดาวอินคา มาวิเคราะห์คุณภาพ ดังนี้

- 1) ปริมาณองค์ประกอบทางเคมีโดยประมาณ ได้แก่ ความชื้น โปรตีน ไขมัน กากใย ใย และคาร์โบไฮเดรต (AOAC, 2000) แสดงดังภาคผนวก ก-1
- 2) ปริมาณเส้นใยอาหารทั้งหมด โดยวิธี Enzymatic and gravimetric method (AOAC, 1995) แสดงดังภาคผนวก ก-5
- 3) ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด โดยวิธี Total phenols assay (ดัดแปลงจาก Rawdkuen et al., 2016) แสดงดังภาคผนวก ก-6
- 4) สมบัติการต้านอนุมูลอิสระ โดยวิธี DPPH scavenging activity assay (ดัดแปลงจาก Rawdkuen et al., 2016) แสดงดังภาคผนวก ก-7
- 5) สมบัติการต้านอนุมูลอิสระ โดยวิธี Ferric reducing antioxidant power (ดัดแปลงจาก Rawdkuen et al., 2016) แสดงดังภาคผนวก ก-8
- 6) ค่าสี โดยใช้เครื่องวัดสี รายงานผลเป็นค่าสี $L^* a^* b^*$ แสดงดังภาคผนวก ข-1
- 7) ค่าความหนืด โดยใช้เครื่องวัดความหนืด (Sunprasert, 2010) แสดงดังภาคผนวก ข-5
- 8) ค่าการแยกตัวของของเหลว (ดัดแปลงจาก Remeuf et al., 2003) แสดงดังภาคผนวก ข-6
- 9) ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด ด้วย Hand refractometer แสดงดังภาคผนวก ข-7

10) ความชอบทางประสาทสัมผัส ด้วยวิธี 9-point hedonic scale โดย 1 คะแนน คือ ไม่ชอบมากที่สุด และ 9 คะแนน คือ ชอบมากที่สุด ใช้ผู้ทดสอบเป็นผู้บริโภครวมไป จำนวน 30 คน ประเมินความชอบด้านลักษณะปรากฏ สี กลิ่น รสชาติ เนื้อสัมผัส และความชอบโดยรวม แบบประเมินแสดงดังภาคผนวก ก-9

การวิเคราะห์คุณภาพถั่วดาวอินคาสด

สุ่มตัวอย่างถั่วดาวอินคาสดมาวิเคราะห์คุณภาพ ดังนี้

1) ปริมาณองค์ประกอบทางเคมีโดยประมาณ ได้แก่ ความชื้น โปรตีน ไขมัน กากใย เส้นใย และคาร์โบไฮเดรต (AOAC, 2000) แสดงดังภาคผนวก ก-1

2) ปริมาณเส้นใยอาหารทั้งหมด โดยวิธี Enzymatic and gravimetric method (AOAC, 1995) แสดงดังภาคผนวก ก-5

3) ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด โดยวิธี Total phenols assay (ดัดแปลงจาก Rawdkuen et al., 2016) แสดงดังภาคผนวก ก-6

4) สมบัติการต้านอนุมูลอิสระ โดยวิธี DPPH scavenging activity assay (ดัดแปลงจาก Rawdkuen et al., 2016) แสดงดังภาคผนวก ก-7

5) สมบัติการต้านอนุมูลอิสระ โดยวิธี Ferric reducing antioxidant power (ดัดแปลงจาก Rawdkuen et al., 2016) แสดงดังภาคผนวก ก-8

6) ค่าสี โดยใช้เครื่องวัดสี รายงานผลเป็นค่าสี $L^* a^* b^*$ แสดงดังภาคผนวก ข-1

7) ลักษณะเนื้อสัมผัส ได้แก่ Hardness Spreadability และ Adhesiveness ด้วยเครื่อง Texture Analyzer แสดงดังภาคผนวก ข-8

8) ความชอบทางประสาทสัมผัส ด้วยวิธี 9-point hedonic scale โดย 1 คะแนน คือ ไม่ชอบมากที่สุด และ 9 คะแนน คือ ชอบมากที่สุด ใช้ผู้ทดสอบเป็นผู้บริโภครวมไป จำนวน 30 คน ประเมินความชอบด้านลักษณะปรากฏ สี กลิ่น รสชาติ เนื้อสัมผัส และความชอบโดยรวม แบบประเมินแสดงดังภาคผนวก ก-10

การวิเคราะห์ทางสถิติ

ทำการทดลอง 5 ซ้ำ วิเคราะห์ความแตกต่างของค่าเฉลี่ยโดยวิธี T-Test ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 โดยใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์สำเร็จรูป Minitab® 17

เกณฑ์ในการพิจารณา

พิจารณาเปรียบเทียบคุณภาพของเครื่องคั้นน้ำถั่วดาวอินคาสูตรน้ำตาลต่ำและถั่วดาวอินคาสดสูตรที่มีการใช้แป้งถั่วดาวอินคาที่ผ่านและไม่ผ่านการลดกลิ่นถั่ว

บทที่ 4

ผลการวิจัย

4.1 ผลการศึกษาหาวิธีการลดกลิ่นตัวของแป้งถั่วดาวอินคาที่เหมาะสม

4.1.1 ผลของการลดกลิ่นตัวโดยการใช้ความร้อนด้วยไมโครเวฟร่วมกับตู้อบลมร้อนต่อคุณภาพของแป้งถั่วดาวอินคา

จากการศึกษาผลของการใช้ไมโครเวฟร่วมกับการใช้ตู้อบลมร้อนต่อคุณภาพของแป้งถั่วดาวอินคา โดยศึกษา 3 ปัจจัย ได้แก่ ปัจจัยที่ 1 เวลาการให้ความร้อนด้วยไมโครเวฟ 0 - 180 วินาที ปัจจัยที่ 2 อุณหภูมิการให้ความร้อนด้วยตู้อบลมร้อน 65 - 95°C และปัจจัยที่ 3 เวลาการให้ความร้อนด้วยตู้อบลมร้อน 5 - 15 นาที จัดสิ่งทดลองแบบ Central composite design (CCD) แบบ หุ่นกำลังสองมาตรฐาน ได้ทั้งหมด 17 สิ่งทดลอง เมื่อดำเนินการทดลองตามสภาวะที่กำหนด นำแป้งถั่วดาวอินคาที่ได้มาวิเคราะห์ค่าคุณภาพ ได้แก่ ปริมาณความชื้น ค่าสี $L^* a^* b^*$ ค่า Whiteness กิจกรรมของเอนไซม์ Lipoxygenase (LOX) และความเข้มกลิ่นตัว โดยรายงานผลการวิเคราะห์ค่าคุณภาพดังกล่าวจำนวน 15 สิ่งทดลอง ทั้งนี้ค่าเฉลี่ยคุณภาพของสิ่งทดลองที่ 15 ได้มาจากค่าเฉลี่ยคุณภาพของสิ่งทดลองที่ 15 16 และ 17 (ตามสิ่งทดลองในตารางที่ 3-1 และข้อมูลดิบจากการทดลองแสดงดังตารางภาคผนวก จ) จากผลการทดลอง พบว่า ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่าเฉลี่ยคุณภาพของสิ่งทดลองที่ 15 สำหรับปริมาณความชื้น ค่าสี $L^* a^* b^*$ ค่า Whiteness กิจกรรมของเอนไซม์ Lipoxygenase (LOX) และความเข้มกลิ่นตัว คิดเป็นการเบี่ยงเบนไปจากค่าเฉลี่ยเป็น 0.01-8.98% แสดงถึงข้อมูลที่ได้จากการทำซ้ำมีความใกล้เคียงกันและน่าเชื่อถือ ผลการทดลองแสดงดังตารางที่ 4-1 ถึง 4-3

จากการวิเคราะห์สมการถดถอยแบบพหุ (Multiple regression) โดยหาความสัมพันธ์ระหว่างค่าคุณภาพต่าง ๆ ได้แก่ ปริมาณความชื้น ค่า Whiteness กิจกรรมของเอนไซม์ Lipoxygenase และคะแนนความเข้มกลิ่นตัว กับเวลาการให้ความร้อนด้วยไมโครเวฟ อุณหภูมิการให้ความร้อนด้วยตู้อบลมร้อน และเวลาการให้ความร้อนด้วยตู้อบลมร้อน ได้ผลแสดงดังตารางที่ 4-4

เมื่อนำสมการที่น่าเชื่อถือทั้งหมดจำนวน 4 สมการ มาสร้างกราฟพื้นผิวการตอบสนอง เพื่อแสดงให้เห็นถึงแนวโน้มความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณความชื้น ค่า Whiteness กิจกรรมของเอนไซม์ Lipoxygenase และความเข้มกลิ่นตัวของแป้งถั่วดาวอินคา กับเวลาการให้ความร้อนด้วยไมโครเวฟ และอุณหภูมิการให้ความร้อนด้วยตู้อบลมร้อน เมื่อกำหนดให้เวลาการให้ความร้อนด้วย

ตัวบ่งชี้เป็นค่าคงที่ที่ระดับต่าง ๆ (ค่ารหัส เท่ากับ -1.682, 0 และ 1.682) แสดงดังภาพที่ 4-1 ถึง 4-4

สำหรับการคัดเลือกหาสภาวะที่เหมาะสมของการลดกลิ่นตัวโดยการใช้ความร้อนด้วยไมโครเวฟร่วมกับตัวบ่งชี้ ซึ่งดำเนินการโดยกำหนดคุณภาพด้านปริมาณความชื้น ค่า Whiteness กิจกรรมของเอนไซม์ Lipoxygenase และความเข้มข้นตัวตามเกณฑ์ที่กำหนดไว้ ได้แก่ มีปริมาณความชื้นต่ำกว่า 8% มีค่า Whiteness มากกว่าหรือเท่ากับ 74.81 มีกิจกรรมของเอนไซม์ Lipoxygenase น้อยกว่าหรือเท่ากับ 143 Unit/ml และได้รับคะแนนความเข้มข้นตัวน้อยกว่าหรือเท่ากับ 2 คะแนน ทำให้ได้ขอบเขตของกราฟพื้นที่ผิวการตอบสนองของคุณภาพด้านปริมาณความชื้น ค่า Whiteness กิจกรรมของเอนไซม์ Lipoxygenase และความเข้มข้นตัว ที่สัมพันธ์กับเวลาการใช้ความร้อนด้วยไมโครเวฟ และอุณหภูมิการให้ความร้อนด้วยตัวบ่งชี้ เมื่อกำหนดให้เวลาการให้ความร้อนด้วยตัวบ่งชี้ที่จุดกึ่งกลาง (ค่ารหัส เท่ากับ 0) แสดงดังภาพที่ 4-5 ถึง 4-8 และเมื่อนำพื้นที่ผิวการตอบสนองในภาพที่ 4-5 ถึง 4-8 มาซ้อนทับกัน จะได้ขอบเขตของกราฟพื้นที่ผิวการตอบสนองที่ทำให้ได้ค่าคุณภาพของแป้งข้าวอินคาตามเกณฑ์ที่ได้กำหนดไว้แสดงดังภาพที่ 4-9

ตารางที่ 4-1 ปริมาณความชื้นของแป้งถั่วดาวอินคาที่ผ่านการลดกลิ่นถั่วด้วยการใช้ไมโครเวฟร่วมกับตู้อบลมร้อนที่สภาวะต่าง ๆ

สิ่งทดลอง	ค่ารหัส			ค่าจริง			ปริมาณความชื้นเฉลี่ย \pm SD (%)
	เวลาการให้ความร้อนด้วยไมโครเวฟ	อุณหภูมิการให้ความร้อนด้วยตู้อบลมร้อน	เวลาการให้ความร้อนด้วยตู้อบลมร้อน	เวลาการให้ความร้อนด้วยไมโครเวฟ (วินาที)	อุณหภูมิการให้ความร้อนด้วยตู้อบลมร้อน ($^{\circ}$ C)	เวลาการให้ความร้อนด้วยตู้อบลมร้อน (นาที)	
1	-1	-1	-1	35	70	7	6.02 \pm 0.31 ^a
2	-1	-1	1	35	70	13	5.95 \pm 0.18 ^a
3	-1	1	-1	35	90	7	5.92 \pm 0.16 ^a
4	-1	1	1	35	90	13	5.01 \pm 0.10 ^b
5	1	-1	-1	145	70	7	4.00 \pm 0.10 ^{de}
6	1	-1	1	145	70	13	3.50 \pm 0.30 ^{ef}
7	1	1	-1	145	90	7	3.13 \pm 0.41 ^f
8	1	1	1	145	90	13	2.94 \pm 0.26 ^f
9	-1.682	0	0	0	80	10	6.10 \pm 0.39 ^a
10	1.682	0	0	180	80	10	3.08 \pm 0.23 ^f
11	0	-1.682	0	90	65	10	4.77 \pm 0.14 ^{bc}

^{a, b, c, ...} หมายถึง ค่าเฉลี่ยในแนวตั้งมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

ตารางที่ 4-1 (ต่อ)

สิ่งทดลอง	ค่ารหัส			ค่าจริง			ปริมาณความชื้น เฉลี่ย \pm SD (%)
	เวลาการให้ ความร้อนด้วย ไมโครเวฟ	อุณหภูมิการให้ ความร้อนด้วย ตู้อบลมร้อน	เวลาการให้ ความร้อนด้วย ตู้อบลมร้อน	เวลาการให้ ความร้อนด้วย ไมโครเวฟ (วินาที)	อุณหภูมิการให้ ความร้อนด้วย ตู้อบลมร้อน ($^{\circ}$ C)	เวลาการให้ ความร้อนด้วย ตู้อบลมร้อน (นาที)	
12	0	1.682	0	90	95	10	4.04 ± 0.09^{de}
13	0	0	-1.682	90	80	5	4.70 ± 0.16^{bc}
14	0	0	1.682	90	80	15	4.29 ± 0.08^{cd}
15	0	0	0	90	80	10	4.36 ± 0.10^{cd}

^{a, b, c, ...} หมายถึง ค่าเฉลี่ยในแนวตั้งมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

ตารางที่ 4-2 ค่าสี L* a* b* และค่า Whiteness ของแป้งถั่วดาวอินคาที่ผ่านการลดกลิ่นถั่วด้วยการใช้ไมโครเวฟร่วมกับตู้อบลมร้อนที่สภาวะต่าง ๆ

สิ่งทดลอง	ค่ารหัส			ค่าจริง			ค่าเฉลี่ย ± SD			
	เวลาการให้ความร้อนด้วยไมโครเวฟ	อุณหภูมิการให้ความร้อนด้วยตู้อบลมร้อน	เวลาการให้ความร้อนด้วยตู้อบลมร้อน	เวลาการให้ความร้อนด้วยไมโครเวฟ (วินาที)	อุณหภูมิการให้ความร้อนด้วยตู้อบลมร้อน (°C)	เวลาการให้ความร้อนด้วยตู้อบลมร้อน (นาที)	L*	a*	b*	Whiteness [#]
	1	-1	-1	-1	35	70	7	81.05±0.10 ^{ef}	1.39±0.04 ^{dc}	17.46±0.02 ^{cd}	74.19±0.08^{gh}
2	-1	-1	1	35	70	13	82.61±0.34 ^{ab}	1.23±0.03 ^f	16.96±0.07 ^{gh}	75.67±0.19 ^b
3	-1	1	-1	35	90	7	81.39±0.03 ^{de}	1.40±0.01 ^{cd}	17.20±0.01 ^{ef}	74.62±0.03 ^{def}
4	-1	1	1	35	90	13	81.12±0.01 ^{def}	1.49±0.03 ^b	17.62±0.06 ^{bc}	74.13±0.04 ^h
5	1	-1	-1	145	70	7	82.09±0.02 ^c	1.32±0.01 ^e	16.93±0.05 ^{gh}	75.32±0.04 ^c
6	1	-1	1	145	70	13	82.96±0.38 ^a	1.20±0.02 ^f	16.81±0.09 ^h	76.03±0.22 ^a
7	1	1	-1	145	90	7	81.49±0.14 ^d	1.45±0.05 ^{bcd}	17.55±0.12 ^c	74.45±0.19 ^{efg}
8	1	1	1	145	90	13	81.46±0.01 ^d	1.43±0.01 ^{bcd}	17.56±0.04 ^c	74.43±0.02 ^{fg}
9	-1.682	0	0	0	80	10	80.83±0.02 ^f	1.57±0.02 ^a	18.14±0.04 ^a	73.56±0.04 ^h
10	1.682	0	0	180	80	10	81.23±0.03 ^{de}	1.60±0.01 ^a	17.78±0.01 ^b	74.10±0.03 ^h

^{a, b, c, ...} หมายถึง ค่าเฉลี่ยในแนวตั้งมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p<0.05)

[#] Whiteness คำนวณจาก $100 - [(100 - L^*)^2 + a^{*2} + b^{*2}]^{1/2}$

ตารางที่ 4-2 (ต่อ)

สิ่งทดลอง	ค่ารหัส			ค่าจริง			ค่าเฉลี่ย ± SD			
	เวลาการให้ความร้อนด้วยไมโครเวฟ	อุณหภูมิการให้ความร้อนด้วยตู้อบลมร้อน	เวลาการให้ความร้อนด้วยไมโครเวฟ	เวลาการให้ความร้อนด้วยไมโครเวฟ (วินาที)	อุณหภูมิการให้ความร้อนด้วยตู้อบลมร้อน (°C)	เวลาการให้ความร้อนด้วยตู้อบลมร้อน (นาที)	L*	a*	b*	Whiteness [#]
	ความร้อนด้วยไมโครเวฟ	ให้ความร้อนด้วยตู้อบลมร้อน	ความร้อนด้วยไมโครเวฟ	ความร้อนด้วยไมโครเวฟ	ความร้อนด้วยตู้อบลมร้อน	ความร้อนด้วยตู้อบลมร้อน				
	0	0	0	90	80	10				
11	0	-1.682	0	90	65	10	81.44±0.02 ^d	1.32±0.04 ^e	17.07±0.05 ^{fg}	74.75±0.03 ^d
12	0	1.682	0	90	95	10	81.43±0.07 ^d	1.40±0.04 ^{cd}	17.31±0.10 ^{de}	74.57±0.03 ^{def}
13	0	0	-1.682	90	80	5	82.37±0.05 ^{bc}	1.22±0.02 ^f	16.60±0.05 ⁱ	75.75±0.05 ^b
14	0	0	1.682	90	80	15	81.45±0.01 ^d	1.46±0.02 ^{bcd}	17.14±0.02 ^{ef}	74.70±0.01 ^{de}
15	0	0	0	90	80	10	81.25±0.01 ^{de}	1.47±0.03 ^{bc}	17.52±0.05 ^c	74.30±0.03 ^{gh}

^{a, b, c, ...} หมายถึง ค่าเฉลี่ยในแนวตั้งมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p<0.05)

[#] Whiteness คำนวณจาก $100 - [(100 - L^*)^2 + a^{*2} + b^{*2}]^{1/2}$

ตารางที่ 4-3 กิจกรรมของเอนไซม์ Lipoxygenase (LOX) และคะแนนความเข้มนกลิ้นถั่วของแป้งถั่วดาวอินคาที่ผ่านการลดกลั่นถั่วด้วยการใช้ไมโครเวฟร่วมกับ
 ตู้อบลมร้อนที่สภาวะต่าง ๆ

ถึงทดลอง	ค่ารหัส			ค่าจริง			ค่าเฉลี่ย \pm SD	
	เวลาการให้ความร้อนด้วยไมโครเวฟ	อุณหภูมิการให้ความร้อนด้วยตู้อบลมร้อน	เวลาการให้ความร้อนด้วยตู้อบลมร้อน	เวลาการให้ความร้อนด้วยไมโครเวฟ (วินาที)	อุณหภูมิการให้ความร้อนด้วยตู้อบลมร้อน ($^{\circ}$ C)	เวลาการให้ความร้อนด้วยตู้อบลมร้อน (นาที)	LOX (Unit/ml)	ความเข้มนกลิ้นถั่ว [#]
1	-1	-1	-1	35	70	7	1120.00 \pm 26.46 ^b	4.00 \pm 0.00 ^{ab}
2	-1	-1	1	35	70	13	1016.67 \pm 32.15 ^c	3.80 \pm 0.42 ^{abc}
3	-1	1	-1	35	90	7	700.00 \pm 10.00 ^d	3.60 \pm 0.52 ^{abcd}
4	-1	1	1	35	90	13	583.00 \pm 20.82 ^e	3.20 \pm 0.42 ^{bcde}
5	1	-1	-1	145	70	7	143.33 \pm 5.77 ^{ghij}	2.00 \pm 0.67 ^{ghij}
6	1	-1	1	145	70	13	123.33 \pm 23.09 ^{hij}	1.60 \pm 0.70 ^{hijk}
7	1	1	-1	145	90	7	120.00 \pm 10.00 ^{ijk}	1.70 \pm 0.67 ^{ghij}
8	1	1	1	145	90	13	100.00 \pm 10.00 ^{jk}	1.50 \pm 0.53 ^{ijk}
9	-1.682	0	0	0	80	10	1366.67 \pm 11.55 ^a	4.30 \pm 0.48 ^a

^{a, b, c, ...} หมายถึง ค่าเฉลี่ยในแนวตั้งมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

[#] คะแนน 0 หมายถึง ไม่มีกลิ้นถั่ว และ 5 หมายถึง กลิ้นถั่วเข้มนกมากที่สุด

ตารางที่ 4-3 (ต่อ)

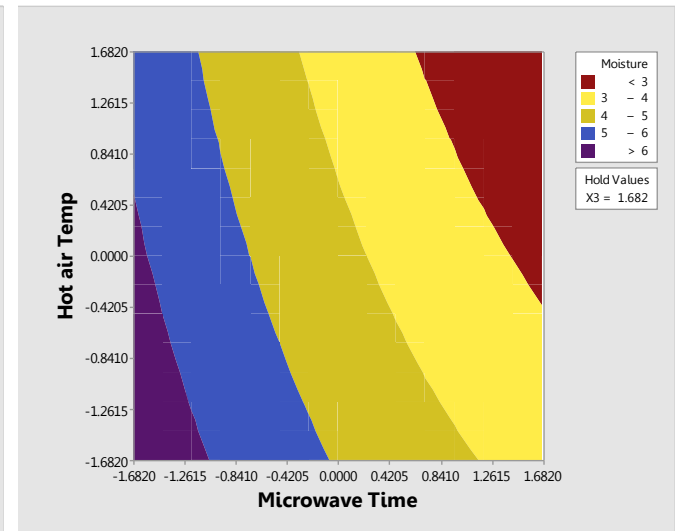
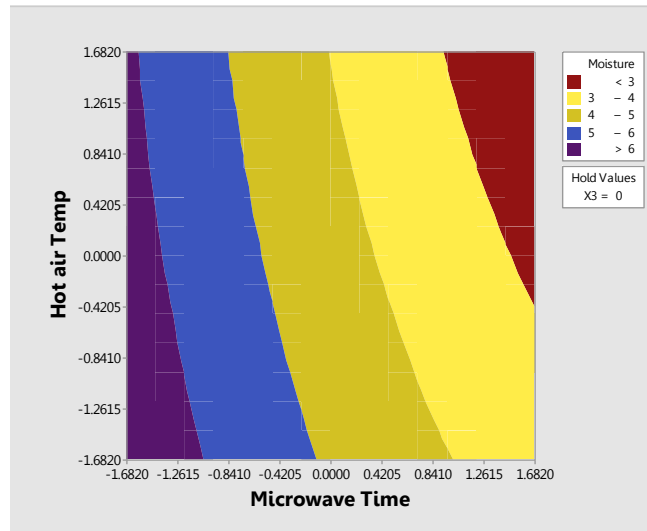
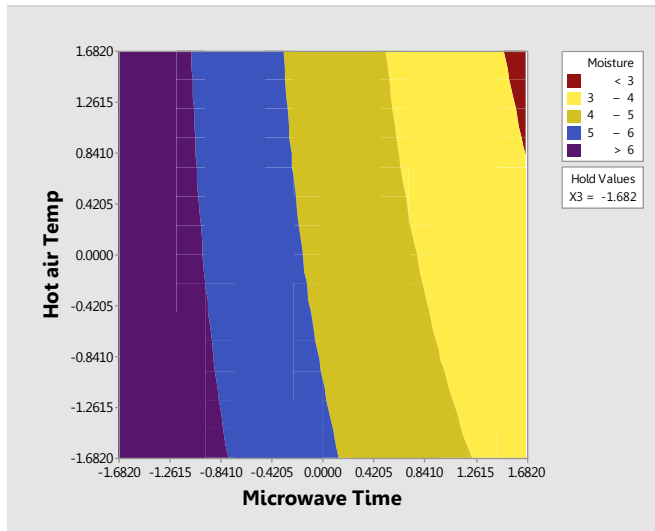
สิ่งทดลอง	ค่ารหัส			ค่าจริง			ค่าเฉลี่ย \pm SD	
	เวลาการให้ความร้อนด้วยไมโครเวฟ	อุณหภูมิการให้ความร้อนด้วยตู้อบลมร้อน	เวลาการให้ความร้อนด้วยตู้อบลมร้อน	เวลาการให้ความร้อนด้วยไมโครเวฟ (วินาที)	อุณหภูมิการให้ความร้อนด้วยตู้อบลมร้อน ($^{\circ}$ C)	เวลาการให้ความร้อนด้วยตู้อบลมร้อน (นาที)	LOX (Unit/ml)	ความเข้มกลิ่นถั่ว [#]
10	1.682	0	0	180	80	10	100.00 \pm 20.00 ^{jk}	1.30 \pm 0.82 ^{jk}
11	0	-1.682	0	90	65	10	286.67 \pm 5.77 ^f	3.00 \pm 0.67 ^{cdef}
12	0	1.682	0	90	95	10	73.33 \pm 15.28 ^k	0.80 \pm 0.42 ^k
13	0	0	-1.682	90	80	5	266.67 \pm 15.28 ^f	2.90 \pm 0.57 ^{def}
14	0	0	1.682	90	80	15	126.67 \pm 5.77 ^{hij}	1.80 \pm 0.63 ^{ghij}
15	0	0	0	90	80	10	176.67 \pm 15.28 ^g	2.45 \pm 0.22 ^{efgh}

^{a, b, c, ...} หมายถึง ค่าเฉลี่ยในแนวตั้งมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

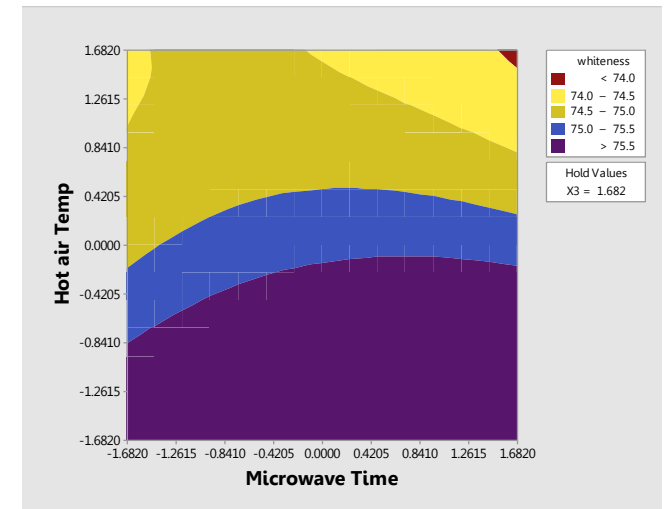
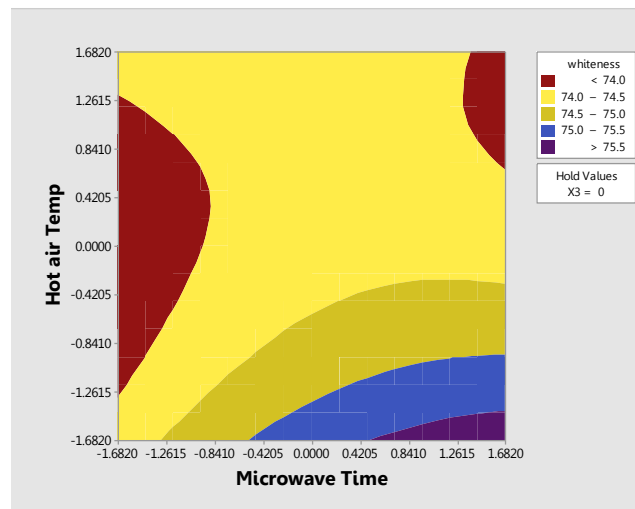
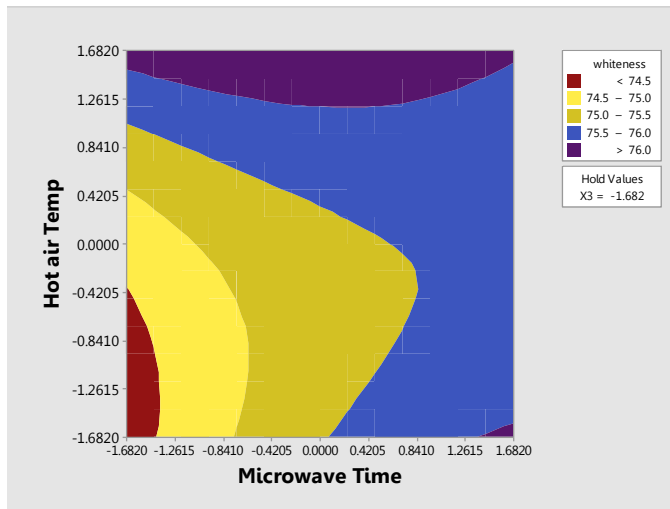
[#] คะแนน 0 หมายถึง ไม่มีกลิ่นถั่ว และ 5 หมายถึง กลิ่นถั่วเข้มมากที่สุด

ตารางที่ 4-4 สมการถดถอยแบบพหุ แสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณความชื้น (Y_1) ค่า Whiteness (Y_2) กิจกรรมของเอนไซม์ Lipoxygenase (Y_3) และความเข้มกลิ่นถั่ว (Y_4) กับเวลาในการให้ความร้อนด้วยไมโครเวฟ (X_1) อุณหภูมิการให้ความร้อนด้วยตู้อบลมร้อน (X_2) และเวลาการให้ความร้อนด้วยตู้อบลมร้อน (X_3)

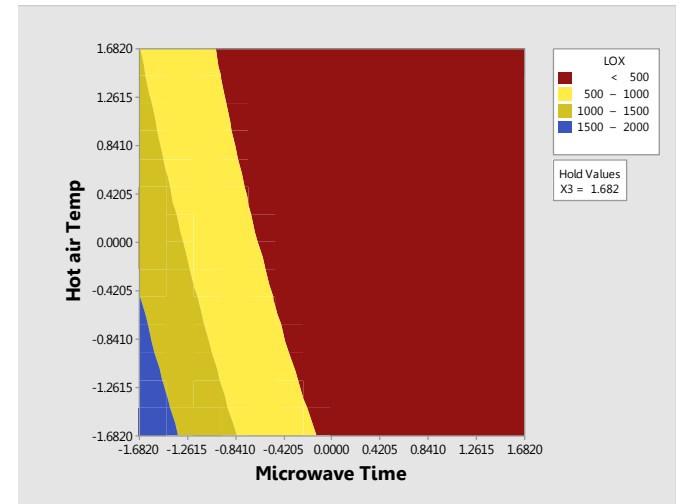
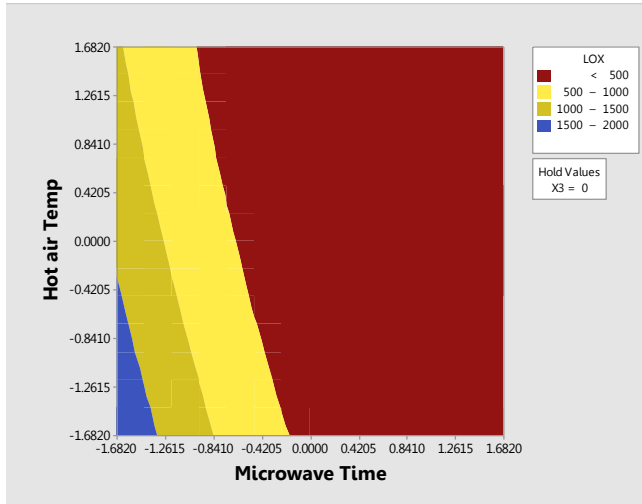
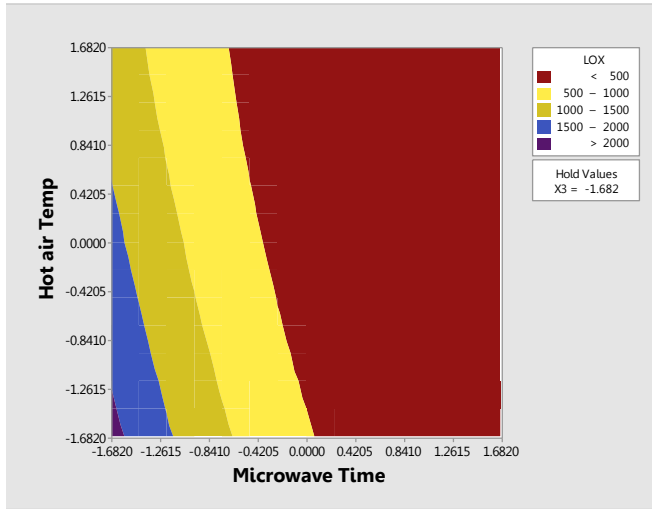
ค่าวิเคราะห์	สมการ	R ²	Model Significant	RMS
ปริมาณความชื้น	$Y_1 = 4.3766 - 1.0550 X_1 - 0.2707 X_2 - 0.1728 X_3 + 0.0864 X_1^2 + 0.0210 X_2^2 + 0.0528 X_3^2 - 0.0487 X_1X_2 + 0.0363 X_1X_3 - 0.0663 X_2X_3$	97.29%	0.000	3.57%
ค่า Whiteness	$Y_2 = 74.263 + 0.185 X_1 - 0.284 X_2 - 0.006 X_3 - 0.100 X_1^2 + 0.193 X_2^2 + 0.393 X_3^2 - 0.170 X_1X_2 - 0.037 X_1X_3 - 0.338 X_2X_3$	75.39%	0.035	0.63%
กิจกรรมของเอนไซม์ Lipoxygenase (LOX)	$Y_3 = 166.1 - 370.8 X_1 - 92.2 X_2 - 36.3 X_3 + 221.7 X_1^2 + 26.1 X_2^2 + 32.1 X_3^2 + 101.0 X_1X_2 + 22.5 X_1X_3 - 1.7 X_2X_3$	98.44%	0.000	18.50%
ความเข้มกลิ่นถั่ว	$Y_4 = 2.373 - 0.9405 X_1 - 0.3734 X_2 - 0.2233 X_3 + 0.2163 X_1^2 + 0.1019 X_2^2 + 0.0572 X_3^2 + 0.075 X_1X_2 + 0.000 X_1X_3 - 0.000 X_2X_3$	92.45%	0.000	15.82%



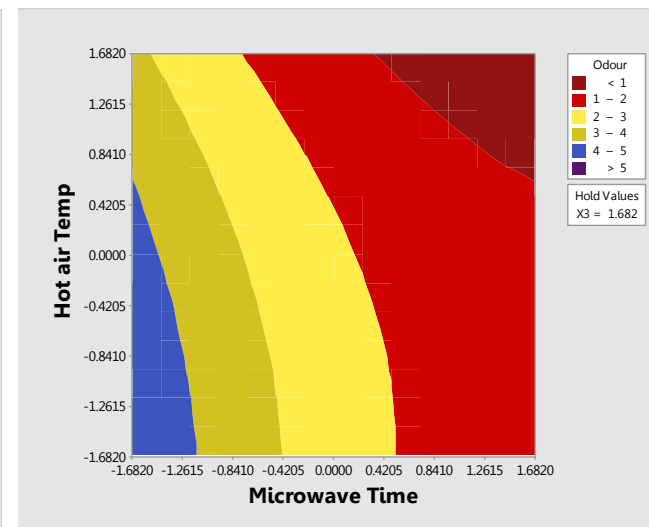
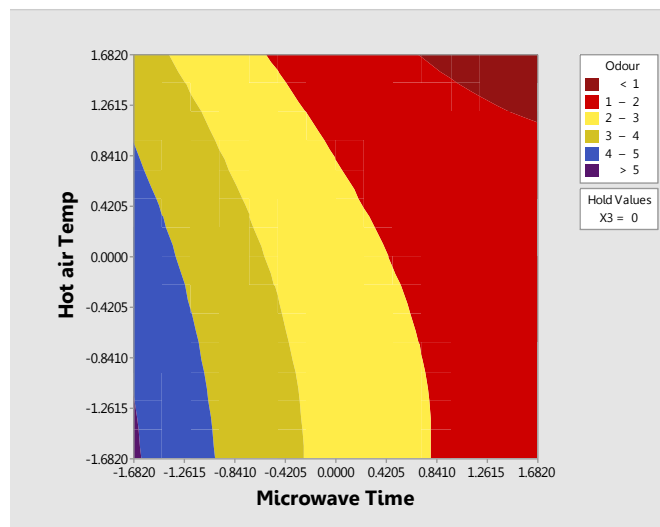
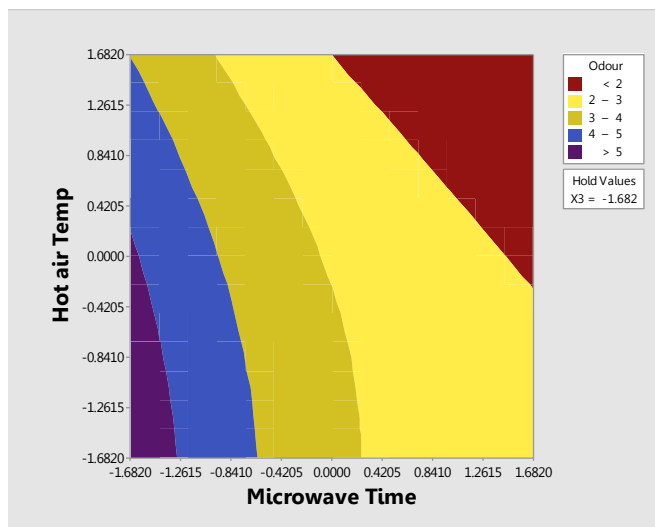
ภาพที่ 4-1 พื้นผิวการตอบสนองแสดงความสัมพันธ์ของค่าปริมาณความชื้นกับเวลาการให้ความร้อนด้วยไมโครเวฟและอุณหภูมิการให้ความร้อนด้วยตู้อบลมร้อนเมื่อกำหนดให้เวลาการให้ความร้อนด้วยตู้อบลมร้อนที่ระดับต่ำ ($X_3 = -1.682$) กึ่งกลาง ($X_3 = 0$) และระดับสูง ($X_3 = 1.682$)



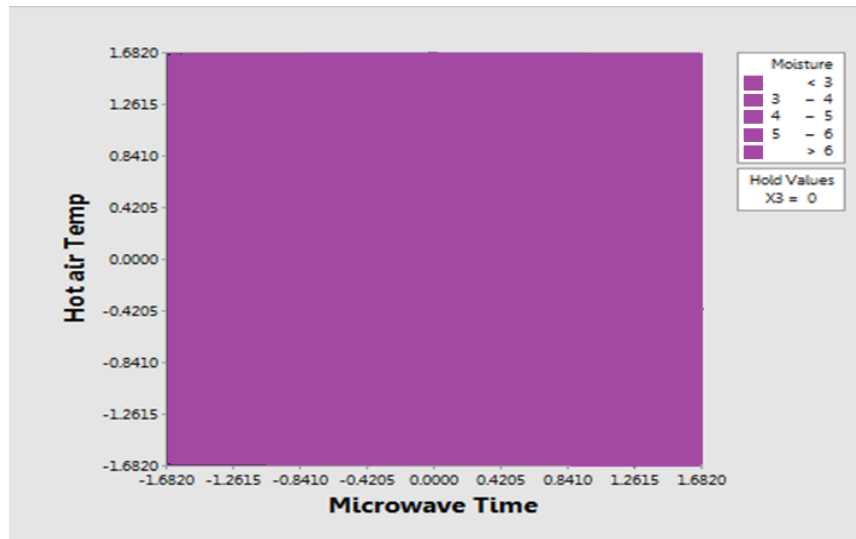
ภาพที่ 4-2 พื้นผิวการตอบสนองแสดงความสัมพันธ์ของค่า Whiteness กับเวลาการให้ความร้อนด้วยไมโครเวฟและอุณหภูมิการให้ความร้อนด้วยตู้อบลมร้อน เมื่อกำหนดให้เวลาการให้ความร้อนด้วยตู้อบลมร้อนที่ระดับต่ำ ($X_3 = -1.682$) กึ่งกลาง ($X_3 = 0$) และระดับสูง ($X_3 = 1.682$)



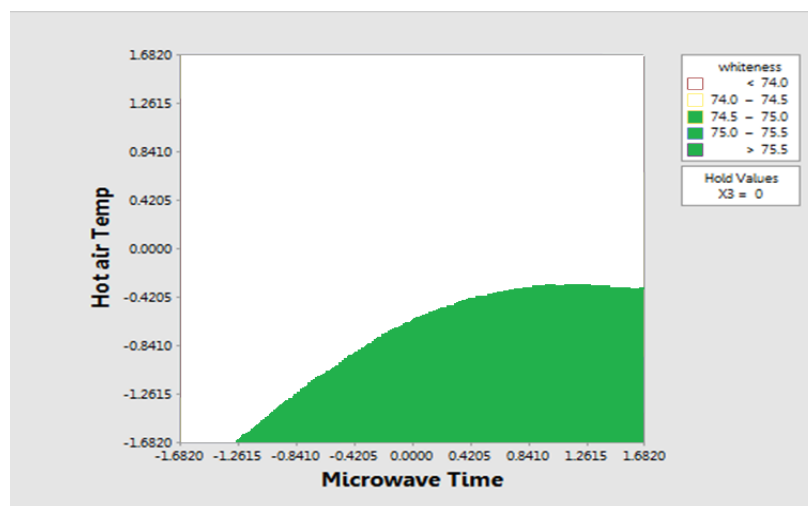
ภาพที่ 4-3 พื้นผิวการตอบสนองแสดงความสัมพันธ์ของค่ากิจกรรมของเอนไซม์ Lipoxygenase (LOX) กับเวลาการให้ความร้อนด้วยไมโครเวฟและอุณหภูมิการให้ความร้อนด้วยตู้อบลมร้อน เมื่อกำหนดให้เวลาการให้ความร้อนด้วยตู้อบลมร้อนที่ระดับต่ำ ($X_3 = -1.682$) กึ่งกลาง ($X_3 = 0$) และระดับสูง ($X_3 = 1.682$)



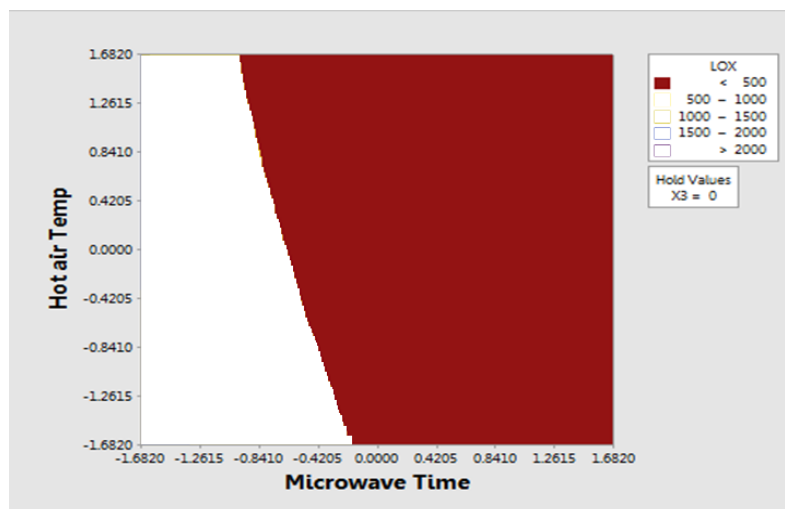
ภาพที่ 4-4 พื้นผิวการตอบสนองแสดงความสัมพันธ์ของความเข้มข้นของความชื้นกลิ่นแก้วกับเวลาการให้ความร้อนด้วยไมโครเวฟและอุณหภูมิการให้ความร้อนด้วยตู้อบลมร้อน
เมื่อกำหนดให้เวลาการให้ความร้อนด้วยตู้อบลมร้อนที่ระดับต่ำ ($X_3 = -1.682$) กึ่งกลาง ($X_3 = 0$) และระดับสูง ($X_3 = 1.682$)



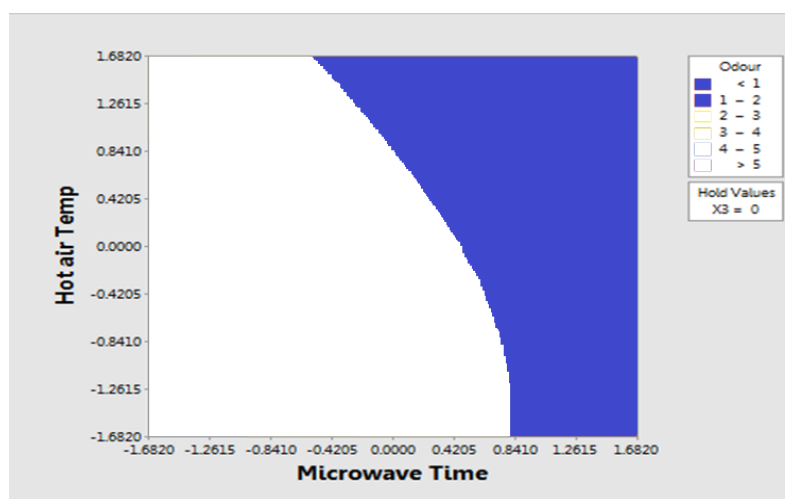
ภาพที่ 4-5 พื้นผิวการตอบสนองแสดงความสัมพันธ์ของปริมาณความชื้นของแป้งถั่วดาวอินคา กับ เวลาการให้ความร้อนด้วยไมโครเวฟ และอุณหภูมิการให้ความร้อนด้วยตู้อบลมร้อน เมื่อกำหนดเวลาการให้ความร้อนด้วยตู้อบลมร้อนที่จุดกึ่งกลาง (ค่ารหัส = 0, ค่าจริง = 10 นาที) โดยส่วนที่แรเงา หมายถึงปริมาณความชื้นตามที่กำหนดไว้ คือ ต่ำกว่า 8%



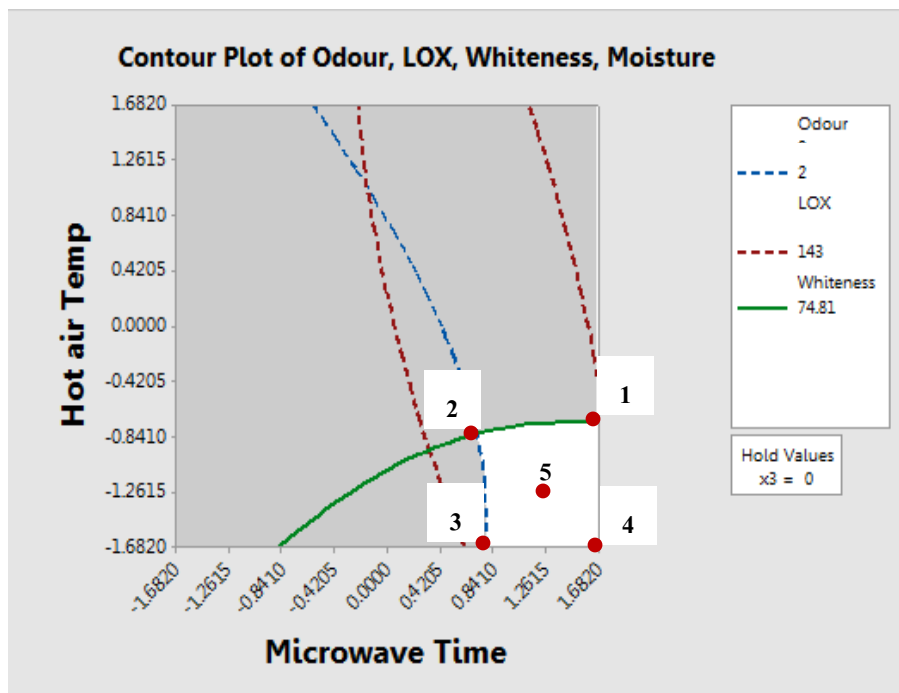
ภาพที่ 4-6 พื้นผิวการตอบสนองแสดงความสัมพันธ์ของค่า Whiteness ของแป้งถั่วดาวอินคา กับ เวลาการให้ความร้อนด้วยไมโครเวฟ และอุณหภูมิการให้ความร้อนด้วยตู้อบลมร้อน เมื่อกำหนดเวลาการให้ความร้อนด้วยตู้อบลมร้อนที่จุดกึ่งกลาง (ค่ารหัส = 0, ค่าจริง = 10 นาที) โดยส่วนที่แรเงา หมายถึงค่า Whiteness ตามที่กำหนดไว้คือ มากกว่าหรือ เท่ากับ 74.81



ภาพที่ 4-7 พื้นผิวการตอบสนองแสดงความสัมพันธ์ของกิจกรรมเอนไซม์ Lipoxxygenase ของแป้ง ถั่วดาวอินคา กับเวลาการให้ความร้อนด้วยไมโครเวฟ และอุณหภูมิการให้ความร้อนด้วย ตู้อบลมร้อน เมื่อกำหนดเวลาการให้ความร้อนด้วยตู้อบลมร้อนที่จุดกึ่งกลาง (ค่ารหัส = 0, ค่าจริง = 10 นาที) โดยส่วนที่แรเงา หมายถึง กิจกรรมเอนไซม์ Lipoxxygenase ตามที่กำหนดไว้คือ ต่ำกว่าหรือเท่ากับ 143 Unit/ml



ภาพที่ 4-8 พื้นผิวการตอบสนองแสดงความสัมพันธ์ของความเข้มข้นกลิ่นถั่วของแป้งถั่วดาวอินคา กับเวลาการให้ความร้อนด้วยไมโครเวฟ และอุณหภูมิการให้ความร้อนด้วยตู้อบลมร้อน เมื่อกำหนดเวลาการให้ความร้อนด้วยตู้อบลมร้อนที่จุดกึ่งกลาง (ค่ารหัส = 0, ค่าจริง = 10 นาที) โดยส่วนที่แรเงา หมายถึง ได้รับคะแนนความเข้มข้นถั่วตามที่กำหนดไว้ คือน้อยกว่าหรือเท่ากับ 2 คะแนน



ภาพที่ 4-9 การซ้อนทับของพื้นที่การตอบสนองที่ทำให้ได้ค่าคุณภาพของแป้งถั่วดาวอินคาที่ได้กำหนดไว้ โดยจุดที่ 1-4 แสดงจุดมุม และจุดที่ 5 แสดงจุดกึ่งกลางของพื้นที่ที่ได้จากการซ้อนทับกัน

ในการคัดเลือกหาสภาวะที่เหมาะสมของการลดกลิ่นถั่ว โดยการใช้ความร้อนด้วยไมโครเวฟร่วมกับตู้อบลมร้อน พิจารณาที่จุดมุมและจุดกึ่งกลางของพื้นที่ที่ได้จากการซ้อนทับกัน ในการทดลองนี้ได้จุดมุม 4 จุด และจุดกึ่งกลาง 1 จุด รวมได้ 5 สภาวะ โดยสามารถกำหนดเวลาการให้ความร้อนด้วยไมโครเวฟและอุณหภูมิการให้ความร้อนด้วยตู้อบลมร้อนตามค่าที่ได้จากกราฟ และค่าที่ใช้จริงซึ่งได้จากการปรับค่าเพื่อให้เกิดความสะดวกในการดำเนินการทดลองจริง แสดงดังตารางที่ 4-5

จากการดำเนินการลดกลิ่นถั่ว โดยการใช้ความร้อนตามสภาวะที่เลือกไว้ จำนวน 5 สภาวะ แล้วนำแป้งถั่วดาวอินคาที่ผลิตได้เปรียบเทียบกับ Control ซึ่งหมายถึง แป้งถั่วดาวอินคาที่ไม่ผ่านการลดกลิ่นถั่ว นำมาวิเคราะห์คุณภาพ ได้แก่ ปริมาณความชื้น ค่า Whiteness กิจกรรมของเอนไซม์ Lipoxygenase และความเข้มกลิ่นถั่ว ผลการทดลองแสดงดังตารางที่ 4-6 แล้วนำผลการทดลองที่ได้มาทวนสอบความแม่นยำของสมการ โดยคำนวณค่า Root Mean Square (RMS) ผลการทดลองแสดงดังตารางที่ 4-7 ถึง 4-10

ตารางที่ 4-5 สภาวะเวลาการให้ความร้อนด้วยไมโครเวฟ อุณหภูมิการให้ความร้อนด้วยตู้อบลมร้อน และเวลาการให้ความร้อนด้วยตู้อบลมร้อนทั้งค่าที่ได้จากกราฟและค่าที่ใช้จริงที่จุดมุม (สิ่งทดลองที่ 1-4) และจุดกึ่งกลาง (สิ่งทดลองที่ 5) ของพื้นที่ที่ได้จากการซ้อนทับกราฟพื้นที่ผิวการตอบสนอง เมื่อกำหนดให้แป้งถั่วดาวอินคามีคุณภาพตามที่กำหนดไว้

สิ่งทดลองที่	เวลาการให้ความร้อนด้วยไมโครเวฟ (วินาที)			อุณหภูมิการให้ความร้อนด้วยตู้อบลมร้อน (°C)			เวลาการให้ความร้อนด้วยตู้อบลมร้อน (นาที)		
	ค่าที่ได้จากกราฟ		ค่าที่ใช้จริง	ค่าที่ได้จากกราฟ		ค่าที่ใช้จริง	ค่าที่ได้จากกราฟ		ค่าที่ใช้จริง
	ค่ารหัส	ค่าจริง		ค่ารหัส	ค่าจริง		ค่ารหัส	ค่าจริง	
1	1.682	180.000	180	-0.726	72.740	73	0.000	10.000	10
2	0.620	124.100	125	-0.819	71.810	72	0.000	10.000	10
3	0.787	133.285	133	-1.682	65.000	65	0.000	10.000	10
4	1.682	180.000	180	-1.682	65.000	65	0.000	10.000	10
5	1.382	164.604	165	-1.382	67.200	67	0.000	10.000	10

ตารางที่ 4-6 ค่าคุณภาพปริมาณความชื้น ค่า Whiteness กิจกรรมของเอนไซม์ Lipoxygenase (LOX) และความเข้มข้นของแป้งถั่วดาวอินคาที่ไม่ผ่านและผ่านการลดกลิ่นถั่วโดยการใช้ความร้อนตามสภาวะที่เลือกไว้

สิ่งทดลอง	ค่ารหัส			ค่าจริง			ค่าเฉลี่ย \pm SD			
	X ₁	X ₂	X ₃	เวลาการให้ความร้อนด้วยไมโครเวฟ (วินาที)	อุณหภูมิการให้ความร้อนด้วยตู้อบลมร้อน (°C)	เวลาการให้ความร้อนด้วยตู้อบลมร้อน (นาที)	ปริมาณความชื้น (%)	ค่า Whiteness	LOX (Unit/ml)	ความเข้มข้นถั่ว
1	1.682	-0.726	0.000	180	73	10	3.24 \pm 0.05 ^d	73.77 \pm 0.17 ^e	126.67 \pm 15.28 ^b	1.90 \pm 0.02 ^b
2	0.620	-0.819	0.000	125	72	10	3.88 \pm 0.04 ^c	73.48 \pm 0.16 ^f	73.33 \pm 5.77 ^d	1.80 \pm 0.03 ^c
3	0.787	-1.682	0.000	133	65	10	4.40 \pm 0.13 ^b	75.60 \pm 0.02 ^b	103.33 \pm 5.77 ^c	1.90 \pm 0.05 ^b
4	1.682	-1.682	0.000	180	65	10	3.31 \pm 0.17 ^d	76.27 \pm 0.04 ^a	70.00 \pm 10.00 ^d	1.70 \pm 0.04 ^d
5	1.382	-1.382	0.000	165	67	10	4.04 \pm 0.20 ^c	75.00 \pm 0.01 ^c	70.00 \pm 0.00 ^d	1.80 \pm 0.03 ^c
6	Control						6.31 \pm 0.07 ^a	74.81 \pm 0.06 ^d	1453.33 \pm 25.17 ^a	4.60 \pm 0.02 ^a

^{a,b,c,...} หมายถึง ค่าเฉลี่ยในแนวตั้งที่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p<0.05)

Control หมายถึง แป้งถั่วดาวอินคาที่ไม่ผ่านการลดกลิ่นถั่ว

ตารางที่ 4-7 ผลการทดสอบความแม่นยำของสมการจากการพิจารณาค่าตอบสนองที่ได้จากการทดลอง (Yex) ค่าตอบสนองที่ได้จากการทำนาย (Ypred) และผลการคำนวณค่า Root Mean Square (RMS) ด้านปริมาณความชื้นของแป้งถั่วดาวอินคา

ปริมาณความชื้น (%)		Residual
Yex	Ypred	(Yex - Ypred)
3.24	3.11	0.13
3.88	4.02	-0.14
4.40	4.18	0.22
3.31	3.50	-0.19
4.04	3.59	0.45
RMS (%)		6.96

ตารางที่ 4-8 ผลการทดสอบความแม่นยำของสมการจากการพิจารณาค่าตอบสนองที่ได้จากการทดลอง (Yex) ค่าตอบสนองที่ได้จากการทำนาย (Ypred) และผลการคำนวณค่า Root Mean Square (RMS) ด้านค่า Whiteness ของแป้งถั่วดาวอินคา

ค่า Whiteness		Residual
Yex	Ypred	(Yex - Ypred)
73.77	74.81	-1.04
73.48	74.79	-1.31
75.60	75.60	0.00
76.27	75.80	0.47
75.00	75.41	-0.41
RMS (%)		1.06

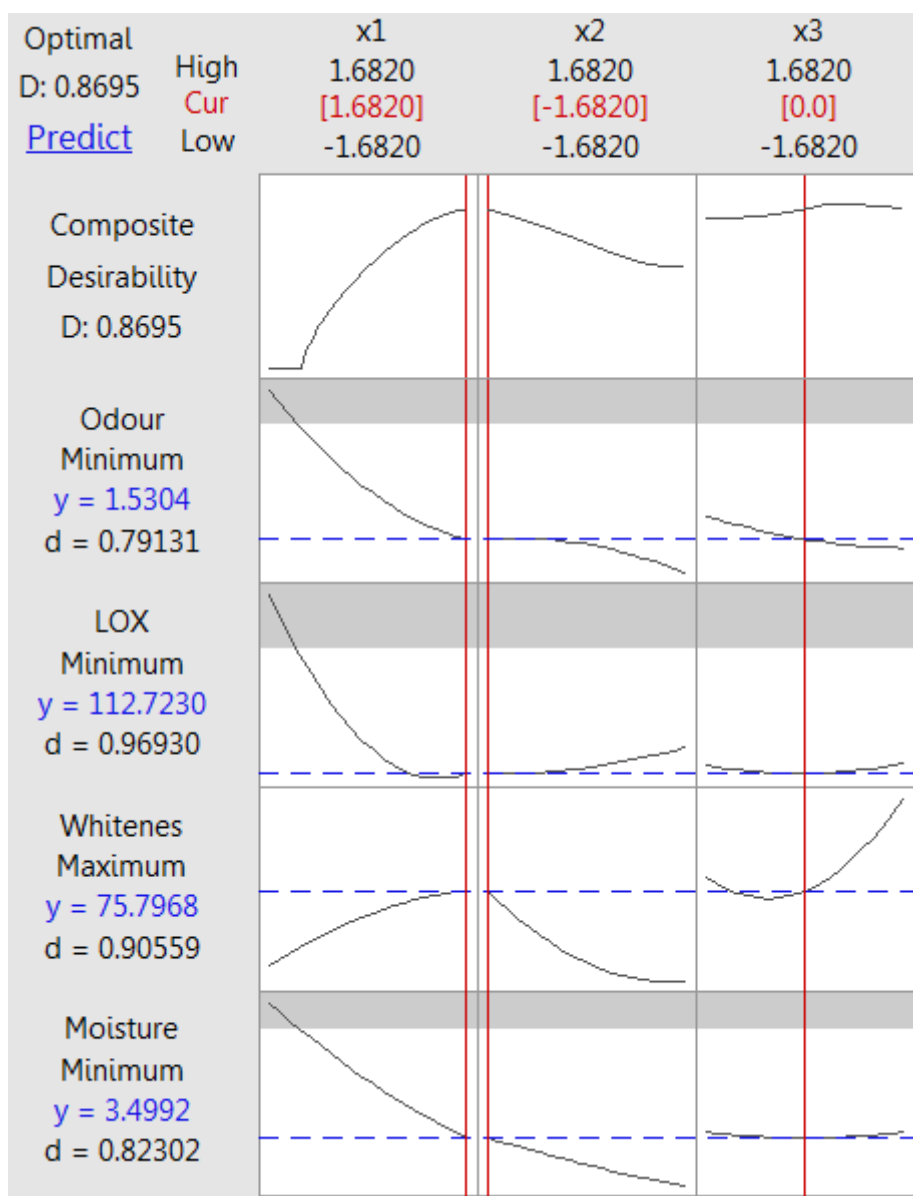
ตารางที่ 4-9 ผลการทดสอบความแม่นยำของสมการจากการพิจารณาค่าตอบสนองที่ได้จากการทดลอง (Yex) ค่าตอบสนองที่ได้จากการทำนาย (Ypred) และผลการคำนวณค่า Root Mean Square (RMS) ด้านกิจกรรมของเอนไซม์ Lipoxygenase (LOX) ของแป้งถั่วดาวอินคา

LOX (Unit/ml)		Residual
Yex	Ypred	(Yex - Ypred)
126.67	126.99	-0.32
73.33	63.16	10.17
103.33	106.82	-3.48
70.00	112.81	-42.81
70.00	61.45	8.55
RMS (%)		19.51

ตารางที่ 4-10 ผลการทดสอบความแม่นยำของสมการจากการพิจารณาค่าตอบสนองที่ได้จากการทดลอง (Yex) ค่าตอบสนองที่ได้จากการทำนาย (Ypred) และผลการคำนวณค่า Root Mean Square (RMS) ด้านความเข้มข้นถั่วของแป้งถั่วดาวอินคา

ความเข้มข้นถั่ว		Residual
Yex	Ypred	(Yex - Ypred)
1.90	1.64	0.26
1.80	2.21	-0.41
1.90	2.58	-0.68
1.70	2.11	-0.41
1.80	2.05	-0.25
RMS (%)		19.13

สำหรับผลการวิเคราะห์ฟังก์ชันความพึงพอใจ (Desirability Function) ซึ่งเป็นหนึ่งในวิธีการที่เป็นที่นิยมในการหาสถานะที่เหมาะสม (Optimization) ของ Multi-response surface ผลการทดลองแสดงดังภาพที่ 4-10



ภาพที่ 4-10 ผลการวิเคราะห์ฟังก์ชันความพึงพอใจ (Desirability Function) เพื่อหาสถานะการลดกลิ่นอ้วที่เหมาะสมที่สุดโดยการใช้ความร้อนด้วยไมโครเวฟร่วมกับตู้อบลมร้อน โดย X_1 คือ เวลาการให้ความร้อนด้วยไมโครเวฟ X_2 คือ อุณหภูมิการให้ความร้อนด้วยตู้อบลมร้อน และ X_3 คือ เวลาการให้ความร้อนด้วยตู้อบลมร้อน

4.1.2 ผลของการลดกลิ่นฉุนโดยใช้สารเคมีต่อคุณภาพของแป้งถั่วดาวอินคา

ขั้นตอนนี้ศึกษาผลของชนิดและความเข้มข้นของสารละลายที่ใช้แช่แป้งถั่วดาวอินคา เพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมในการลดกลิ่นฉุน โดยสารเคมีที่ใช้ได้แก่ 1) สารละลาย EDTA ความเข้มข้น 100 120 และ 140 mmol/L 2) สารละลาย Citric acid ความเข้มข้น 0.1 0.3 และ 0.5% 3) สารละลาย Propyl gallate ความเข้มข้น 0.1 0.3 และ 0.5% เปรียบเทียบกับแป้งถั่วดาวอินคาที่ไม่ผ่านการลดกลิ่นฉุน เมื่อดำเนินการทดลองตามสภาวะที่กำหนด แป้งถั่วดาวอินคาที่ได้ นำมาวิเคราะห์ค่าคุณภาพ ได้แก่ ปริมาณความชื้น ค่าสี L^* a^* b^* และค่า Whiteness กิจกรรมของเอนไซม์ Lipoxygenase (LOX) และความเข้มกลิ่นฉุน ผลการทดลองแสดงดังตารางที่ 4-11 ถึง 4-13 และลักษณะแป้งถั่วดาวอินคาที่ได้แสดงดังภาพที่ 4-11

ตารางที่ 4-11 ปริมาณความชื้นของแป้งถั่วดาวอินคาที่ไม่ผ่านและผ่านการลดกลิ่นฉุนโดยใช้สารเคมี

สิ่งทดลอง	ชนิดของสารละลาย	ความเข้มข้นของสารละลาย	ปริมาณความชื้นเฉลี่ย \pm SD (%)
1	EDTA	100 mmol/L	5.37 \pm 0.07 ^f
2	EDTA	120 mmol/L	6.24 \pm 0.03 ^c
3	EDTA	140 mmol/L	6.47 \pm 0.07 ^c
4	Citric acid	0.1%	7.11 \pm 0.10 ^{bcd}
5	Citric acid	0.3%	7.29 \pm 0.09 ^{bc}
6	Citric acid	0.5%	7.37 \pm 0.07 ^b
7	Propyl gallate	0.1%	6.93 \pm 0.06 ^d
8	Propyl gallate	0.3%	7.02 \pm 0.00 ^{cd}
9	Propyl gallate	0.5%	7.79 \pm 0.18 ^a
10 (ควบคุม)	Control		6.18 \pm 0.17 ^e

^{a, b, c, ...} หมายถึง ค่าเฉลี่ยในแนวตั้งมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)



(ก)



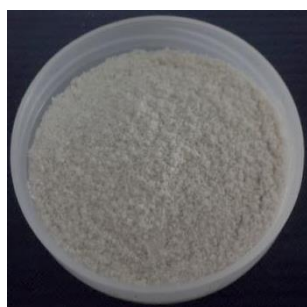
(ข)



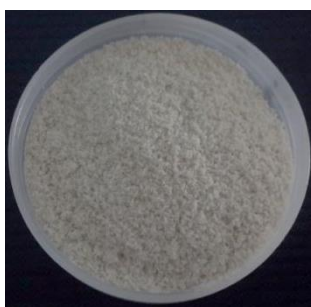
(ค)



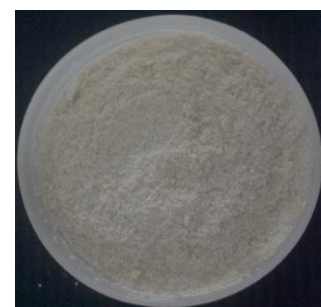
(ง)



(จ)



(ฉ)



(ช)



(ซ)



(ฌ)



(ญ)

ภาพที่ 4-11 ลักษณะปรากฏของแป้งข้าวอินคาที่ไม่ผ่านการลดกลิ่นตัว (ก) ผ่านการลดกลิ่นตัวด้วยวิธีการแ่สารละลาย EDTA (ข-ง) Citric acid (จ-ช) และ Propyl gallate (ซ-ญ)

ตารางที่ 4-12 ค่าสี L* a* b* และค่า Whiteness ของแป้งถั่วดาวอินคาที่ไม่ผ่านและผ่านการลดกลิ่นถั่ว โดยการใช้สารเคมี

สิ่งทดลอง	ชนิดของสารละลาย	ความเข้มข้นของสารละลาย	ค่าเฉลี่ย ± SD			
			L*	a*	b*	Whiteness [#]
1	EDTA	100 mmol/L	83.34 ± 0.03 ^c	1.66 ± 0.03 ^{de}	15.77 ± 0.03 ^d	77.00 ± 0.02 ^b
2	EDTA	120 mmol/L	83.70 ± 0.04 ^b	1.63 ± 0.05 ^{de}	15.64 ± 0.02 ^d	77.35 ± 0.02 ^a
3	EDTA	140 mmol/L	83.76 ± 0.06 ^b	1.49 ± 0.02 ^f	15.65 ± 0.01 ^d	77.40 ± 0.03 ^a
4	Citric acid	0.1%	81.25 ± 0.08 ^f	1.68 ± 0.01 ^{cde}	16.56 ± 0.02 ^c	74.93 ± 0.06 ^c
5	Citric acid	0.3%	81.53 ± 0.04 ^e	1.76 ± 0.02 ^c	16.85 ± 0.05 ^b	74.94 ± 0.06 ^c
6	Citric acid	0.5%	82.21 ± 0.04 ^d	1.71 ± 0.02 ^{cd}	16.50 ± 0.05 ^c	75.67 ± 0.06 ^c
7	Propyl gallate	0.1%	77.99 ± 0.02 ^g	1.60 ± 0.05 ^e	10.89 ± 0.02 ^f	75.39 ± 0.01 ^d
8	Propyl gallate	0.3%	75.31 ± 0.08 ^h	3.60 ± 0.02 ^b	11.39 ± 0.02 ^e	72.57 ± 0.06 ^f
9	Propyl gallate	0.5%	74.49 ± 0.02 ⁱ	3.87 ± 0.02 ^a	11.29 ± 0.02 ^e	71.84 ± 0.02 ^g
10 (ควบคุม)	Control		83.98 ± 0.02 ^a	1.68 ± 0.03 ^{cde}	18.69 ± 0.11 ^a	75.33 ± 0.08 ^d

^{a, b, c, ...} หมายถึง ค่าเฉลี่ยในแนวตั้งมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p<0.05)

[#] Whiteness คำนวณจาก $100 - [(100 - L^*)^2 + a^{*2} + b^{*2}]^{1/2}$

ตารางที่ 4-13 ค่ากิจกรรมของเอนไซม์ไลพอกซีจีเนส (ค่า LOX) และความเข้มข้นของแป้งข้าว
 คาวอินคาที่ไม่ผ่านและผ่านการลดกลั่นข้าวโดยใช้สารเคมี

สิ่งทดลอง	ชนิดของ สารละลาย	ความเข้มข้นของ สารละลาย	ค่าเฉลี่ย \pm SD	
			LOX (Unit/ml)	ความเข้มข้นแป้ง [#]
1	EDTA	100 mmol/L	913.33 \pm 5.77 ^b	2.60 \pm 0.52 ^b
2	EDTA	120 mmol/L	873.33 \pm 20.82 ^{bc}	2.50 \pm 0.53 ^b
3	EDTA	140 mmol/L	836.67 \pm 30.55 ^c	2.50 \pm 0.53 ^b
4	Citric acid	0.1%	403.33 \pm 30.55 ^d	1.70 \pm 0.48 ^c
5	Citric acid	0.3%	140.00 \pm 17.32 ^f	1.40 \pm 0.52 ^c
6	Citric acid	0.5%	43.33 \pm 30.50 ^g	0.30 \pm 0.48 ^d
7	Propyl gallate	0.1%	416.67 \pm 25.17 ^d	1.70 \pm 0.48 ^c
8	Propyl gallate	0.3%	243.33 \pm 20.82 ^e	1.50 \pm 0.53 ^c
9	Propyl gallate	0.5%	123.33 \pm 25.17 ^f	0.40 \pm 0.52 ^d
10 (ควบคุม)	Control		1470.00 \pm 36.06 ^a	4.80 \pm 0.42 ^a

^{a, b, c, ...} หมายถึง ค่าเฉลี่ยในแนวตั้งมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

[#] คะแนน 0 หมายถึง ไม่มีกลั่นข้าว และ 5 หมายถึง กลั่นข้าวเข้มมากที่สุด

4.2 ผลการวิเคราะห์คุณภาพและสมบัติเชิงหน้าที่ของแป้งถั่วดาวอินคาที่ไม่ผ่านและผ่านการลดกลิ่นถั่ว

จากการวิเคราะห์คุณภาพของแป้งถั่วดาวอินคาที่ไม่ผ่าน และผ่านการลดกลิ่นถั่ว ตามวิธีที่เลือกได้จากข้อที่ 4.1 คือ การให้ความร้อนด้วยไมโครเวฟร่วมกับตู้อบลมร้อน (MW+Hot air) ที่เวลาการให้ความร้อนด้วยไมโครเวฟ 180 วินาที ร่วมกับการให้ความร้อนด้วยตู้อบลมร้อน ที่อุณหภูมิ 65°C เป็นเวลา 10 นาที และการแช่ในสารละลาย Citric acid 0.5% (Citric acid 0.5%) ผลการวิเคราะห์คุณภาพทางด้านองค์ประกอบทางเคมีโดยประมาณ แสดงดังตารางที่ 4-14

สำหรับผลการวิเคราะห์องค์ประกอบของสารระเหยให้กลิ่นโดยใช้ SPME-GC/MS แสดงดังตารางที่ 4-15 และ GC-MS profile ของแป้งถั่วดาวอินคาที่ไม่ผ่านและผ่านการลดกลิ่นถั่ว แสดงดังภาพที่ 4-12 ถึง 4-14 สำหรับผลการวิเคราะห์เค้าโครงคุณภาพกลิ่น โดยใช้ Electronic nose แสดงผลความสัมพันธ์ของการตอบสนองของเซ็นเซอร์ต่อแป้งถั่วดาวอินคาแสดงดังภาพที่ 4-15 และผลการวิเคราะห์องค์ประกอบหลัก (PCA) ของเค้าโครงคุณภาพกลิ่นของแป้งถั่วดาวอินคา แสดงดังภาพที่ 4-16

ผลการวิเคราะห์ปริมาณเส้นใยอาหารทั้งหมดแสดงดังตารางที่ 4-16 สารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด และสมบัติการต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี DPPH scavenging activity assay และ Ferric reducing antioxidant power แสดงดังตารางที่ 4-17 โครงสร้างทางจุลภาคแสดงดังภาพที่ 4-17 ลักษณะของแป้งถั่วดาวอินคาที่ได้ แสดงดังภาพที่ 4-18 ค่าสี L^* a^* b^* และค่า Whiteness แสดงดังตารางที่ 4-18 และสมบัติเชิงหน้าที่ ได้แก่ ความสามารถในการดูดซับน้ำ ความสามารถในการดูดซับน้ำมัน สมบัติการเป็นอิมัลซิไฟเออร์ และสมบัติการพองตัว แสดงดังตารางที่ 4-19

ตารางที่ 4-14 องค์ประกอบทางเคมีโดยประมาณของแป้งถั่วดาวอินคาที่ไม่ผ่าน (Control) และผ่านการลดกลิ่นถั่วโดยการให้ความร้อนด้วยไมโครเวฟร่วมกับ
ตู้อบลมร้อน (MW+Hot air) และการแช่ในสารละลายกรดซิตริก 0.5% (Citric acid 0.5%)

ชนิดของแป้งถั่วดาวอินคา	ค่าเฉลี่ย \pm SD (% wet basis)					
	ความชื้น	โปรตีน	ไขมัน	กากใย	เถ้า	คาร์โบไฮเดรต
Control	7.59 \pm 0.21 ^a	37.81 \pm 0.25 ^c	32.82 \pm 0.06 ^b	5.66 \pm 0.10 ^a	3.92 \pm 0.06 ^b	12.18 \pm 0.19 ^a
MW+Hot air	3.47 \pm 0.02 ^b	39.38 \pm 0.19 ^b	34.24 \pm 0.16 ^a	5.57 \pm 0.04 ^a	4.14 \pm 0.01 ^a	13.21 \pm 0.32 ^a
Citric acid 0.5%	7.42 \pm 0.21 ^a	44.50 \pm 0.66 ^a	32.20 \pm 0.16 ^c	5.03 \pm 0.01 ^b	2.11 \pm 0.08 ^c	8.74 \pm 0.65 ^b
	ค่าเฉลี่ย \pm SD (% dry basis)					
Control	-	40.92 \pm 0.27 ^b	35.52 \pm 0.07 ^a	6.13 \pm 0.11 ^a	4.24 \pm 0.06 ^a	13.19 \pm 0.39 ^a
MW+Hot air	-	40.80 \pm 0.19 ^b	35.47 \pm 0.16 ^a	5.77 \pm 0.04 ^b	4.29 \pm 0.01 ^a	13.68 \pm 0.32 ^a
Citric acid 0.5%	-	48.07 \pm 0.71 ^a	34.78 \pm 0.18 ^b	5.44 \pm 0.01 ^c	2.28 \pm 0.08 ^b	9.43 \pm 0.70 ^b

^{a, b, c, ...} หมายถึง ค่าเฉลี่ยในแนวตั้งมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

ตารางที่ 4-15 องค์ประกอบของสารระเหยให้กลิ่นของแป้งถั่วดาวอินคาที่ไม่ผ่าน (Control) และผ่านการลดกลิ่นถั่วโดยการให้ความร้อนด้วยไมโครเวฟร่วมกับตู้อบลมร้อน (MW+Hot air) และการแช่ในสารละลายกรดซิตริก 0.5% (Citric acid 0.5%) จากการวิเคราะห์องค์ประกอบของสารระเหยให้กลิ่นโดยใช้ SPME-GC/MS

Retention time (min)	Compound name	% Area [#]		
		Control	MW+Hot air	Citric acid 0.5%
Aldehydes				
2.67	- Butanal	3.38	-	-
5.58	- Hexanal	5.17	-	-
4.22	- 2-Hexenal	-	-	1.94
Ketones				
1.69	- Acetone	14.04	-	-
5.66	- Methanone	1.09	-	-
13.13	- Cyclohexanone	-	20.28	-
Alcohols				
7.18	- Dicyclopropyl carbinol	-	6.59	-
Acids				
15.03	- Acetic acid	1.14	-	-
20.94	- Hexanedioic acid	1.24	-	2.12
1.52	- 1,3-Benzenedicarboxylic acid	-	11.62	-
13.97	- Butanedioic acid	-	3.65	1.24

[#] หมายถึง ค่าร้อยละพื้นที่ของ GC/MS-Chromatogram

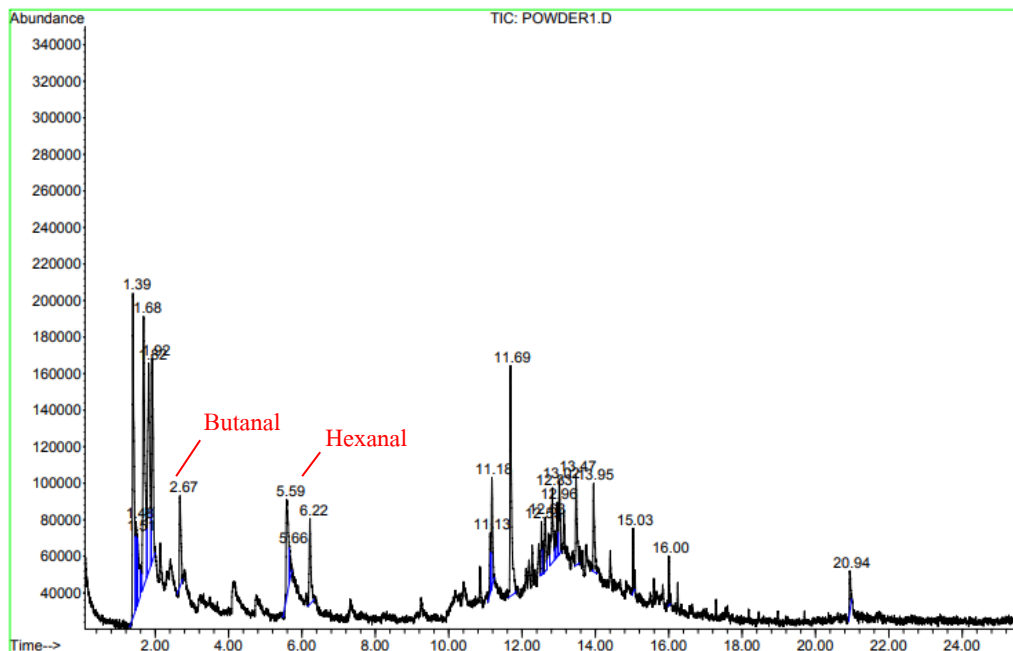
-หมายถึง ตรวจไม่พบ

ตารางที่ 4-15 (ต่อ)

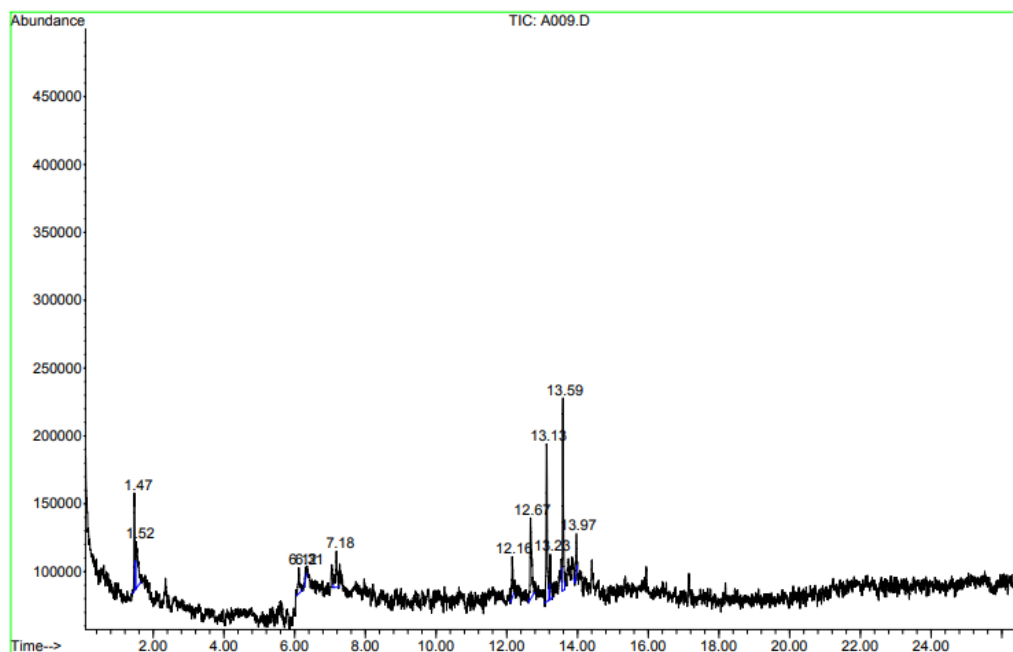
Retention time (min)	Compound name	% Area [#]		
		Control	MW+Hot air	Citric acid 0.5%
Others				
1.39	- carbon dioxide	12.68	9.25	-
3.21	- Benzene	3.21	-	-
6.22	- Tetrasiloxane	3.52	-	0.89
11.13	- Decane	1.64	-	-
11.18	- Cyclotetrasiloxane	3.55	5.22	-
11.69	- Limonene	9.27	-	-
12.53	- Dodecane	1.23	-	-
12.63	- Hexane	2.09	-	-
12.83	- Undecane	3.41	18.36	1.66
12.96	- Nanodecane	1.54	-	-
13.47	- Cyclopentrasiloxane	3.16	-	-
16.00	- Aristolene	1.01	-	-
6.13	- Cyclohexane	-	4.07	3.76
6.31	- Octane	-	0.93	15.60
12.67	- beta-Phellandrene	-	15.08	-
13.23	- 3-Hexene	-	4.94	-
2.56	- Chloroform	-	-	5.61
5.40	- 2,3,8-trioxocephalotaxane	-	-	1.14
5.55	- Heptane	-	-	2.55

[#] หมายถึง ค่าร้อยละพื้นที่ของ GC/MS-Chromatogram

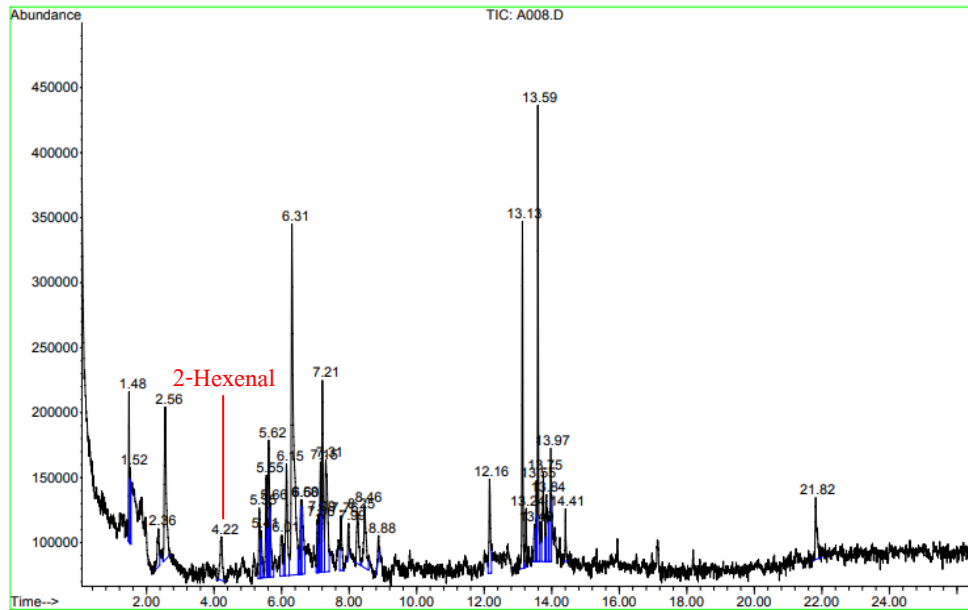
-หมายถึง ตรวจไม่พบ



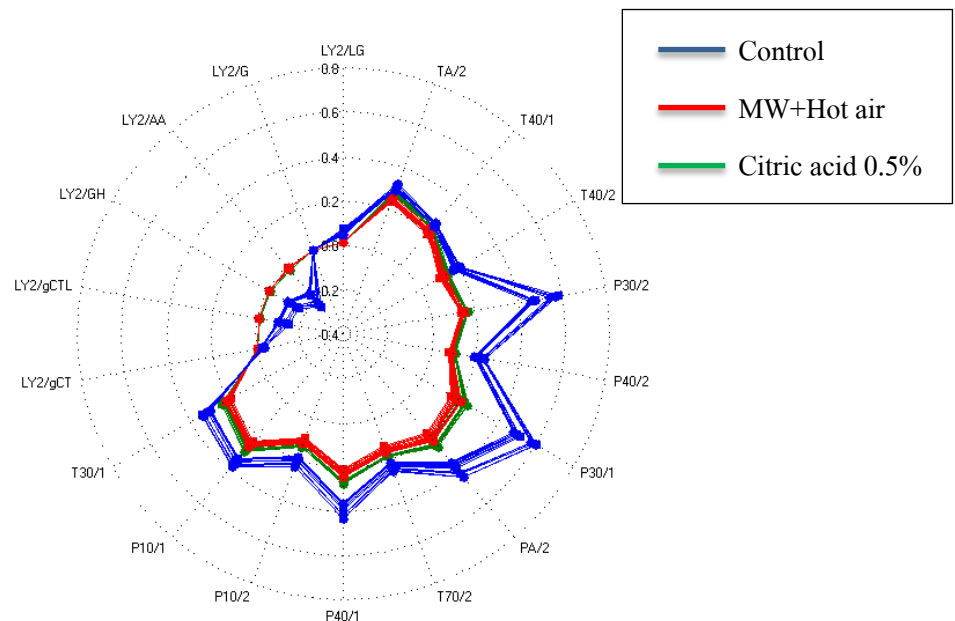
ภาพที่ 4-12 GC-MS profile ของแป้งถั่วควาอินคาที่ไม่ผ่านการลดกลิ่นถั่ว (Control)



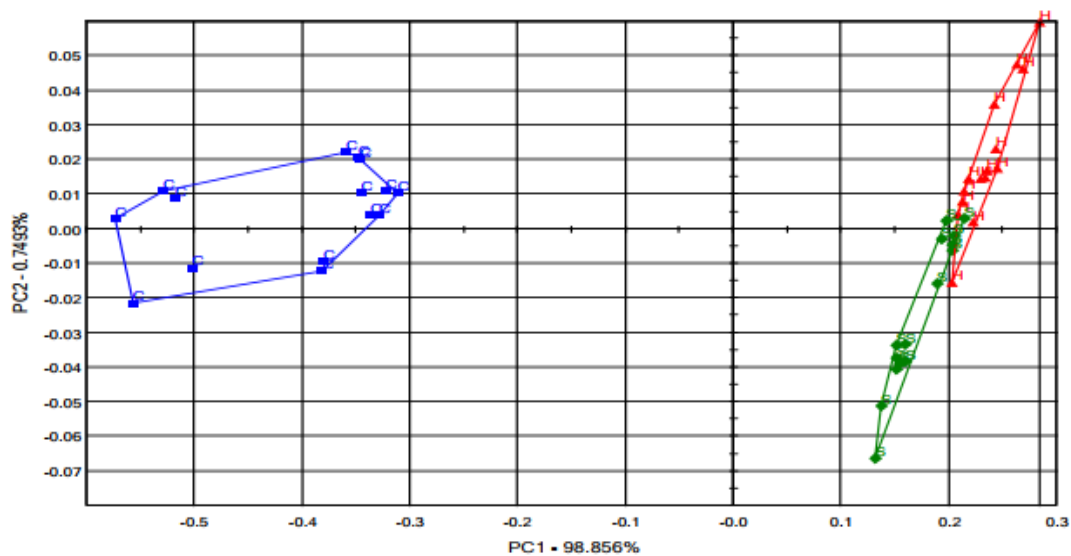
ภาพที่ 4-13 GC-MS profile ของแป้งถั่วควาอินคาที่ผ่านการลดกลิ่นถั่วโดยการให้ความร้อนด้วยไมโครเวฟร่วมกับตู้อบลมร้อน (MW+Hot air)



ภาพที่ 4-14 GC-MS profile ของแป้งถั่วคาวอินคาที่ผ่านการลดกลิ่นถั่วโดยการแช่ในสารละลาย กรดซิตริก 0.5% (Citric acid 0.5%)



ภาพที่ 4-15 กราฟไฟแมงมุมแสดงความสัมพันธ์ระหว่างการตอบสนองของเซ็นเซอร์ต่อแป้งถั่ว คาวอินคาที่ไม่ผ่าน (Control) และผ่านการลดกลิ่นถั่วโดยการให้ความร้อนด้วย ไมโครเวฟร่วมกับตู้อบลมร้อน (MW+Hot air) และการแช่ในสารละลาย กรดซิตริก 0.5% (Citric acid 0.5%) แต่ละชนิดจากการวิเคราะห์เค้าโครงคุณภาพกลิ่น โดยใช้ Electronic nose



ภาพที่ 4-16 องค์ประกอบหลัก (PCA) ของเค้าโครงคุณภาพกลิ่นของแป้งถั่วดาวอินคาที่ไม่ผ่าน (— Control) และผ่านการลดกลิ่นถั่วโดยการให้ความร้อนด้วยไมโครเวฟร่วมกับตู้อบลมร้อน (— MW+Hot air) และการแช่ในสารละลายกรดซิตริก 0.5% (— Citric acid 0.5%) แต่ละชนิดจากการวิเคราะห์โดยใช้ Electronic nose

ตารางที่ 4-16 ปริมาณเส้นใยอาหารทั้งหมดของแป้งถั่วดาวอินคาที่ไม่ผ่าน (Control) และผ่านการลดกลิ่นถั่วโดยการให้ความร้อนด้วยไมโครเวฟร่วมกับตู้อบลมร้อน (MW+Hot air) และการแช่ในสารละลายกรดซิตริก 0.5% (Citric acid 0.5%)

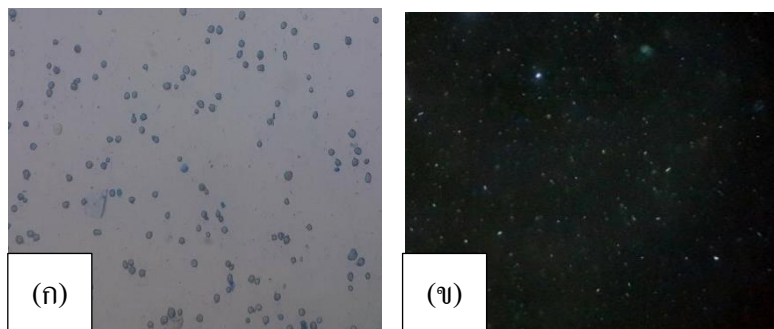
ชนิดของแป้งถั่วดาวอินคา	ค่าเฉลี่ย \pm SD
	ปริมาณเส้นใยอาหารทั้งหมด (% dry basis)
Control	42.00 \pm 0.51 ^a
MW+Hot air	38.81 \pm 0.80 ^b
Citric acid 0.5%	32.35 \pm 0.03 ^c

^{a, b, c, ...} หมายถึง ค่าเฉลี่ยในแนวตั้งมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

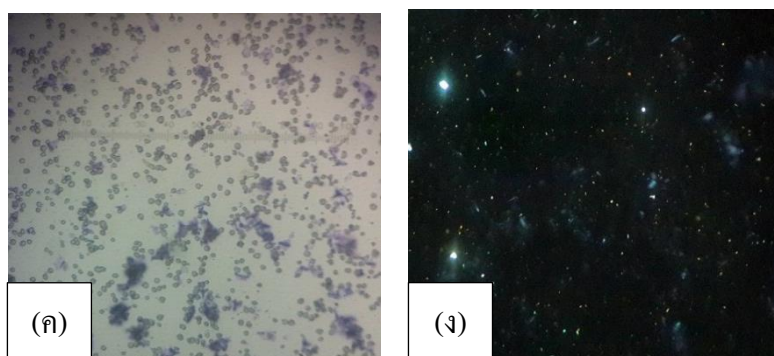
ตารางที่ 4-17 ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด สมบัติการต้านอนุมูลอิสระ (DPPH และ FRAP) ของแป้งถั่วดาวอินคาที่ไม่ผ่าน (Control) และผ่านการลดกลิ่นถั่วโดยการให้ความร้อนด้วยไมโครเวฟร่วมกับตู้อบลมร้อน (MW+Hot air) และการแช่ในสารละลายกรดซิตริก 0.5% (Citric acid 0.5%)

ชนิดของแป้งถั่วดาวอินคา	ค่าเฉลี่ย \pm SD		
	สารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด (mg GAE/100 g)	สมบัติการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระ DPPH (% inhibition)	สมบัติการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระ FRAP (μ mol/L)
Control	53.17 \pm 0.27 ^a	74.23 \pm 0.42 ^a	550.88 \pm 9.24 ^a
MW+Hot air	51.33 \pm 0.34 ^b	72.32 \pm 0.26 ^b	536.39 \pm 7.56 ^a
Citric acid 0.5%	26.45 \pm 0.48 ^c	49.48 \pm 0.69 ^c	332.70 \pm 5.92 ^b

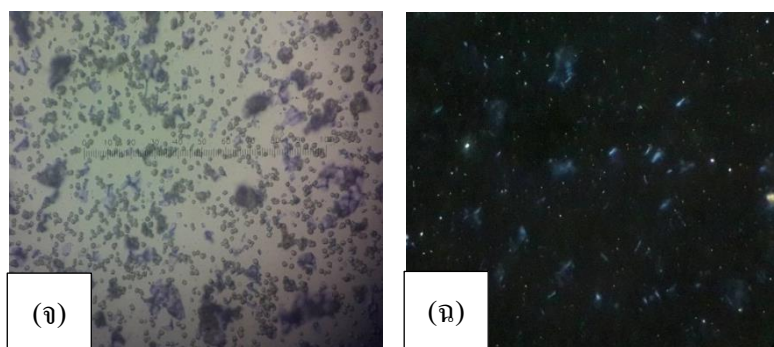
^{a, b, c, ...} หมายถึง ค่าเฉลี่ยในแนวตั้งมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)



Control



MW+Hot air



Citric acid 0.5%

ภาพที่ 4-17 ลักษณะโครงสร้างทางจุลภาคที่กำลังขยาย 20 X ของแป้งถั่วดาวอินคาที่ไม่ผ่าน (Control) (ก,ข) และผ่านการลดกลิ่นถั่วโดยการให้ความร้อนด้วยไมโครเวฟร่วมกับ ตู้อบลมร้อน (MW+Hot air) (ค, ง) และการแช่ในสารละลายกรดซิตริก 0.5% (Citric acid 0.5%) (จ, ฉ) สำหรับภาพ ข, ง และ ฉ ปิดด้วยแสงโพลาไรส์



(ก)



(ข)



(ค)

ภาพที่ 4-18 ลักษณะของแป้งถั่วคาวอินคาที่ไม่ผ่าน (Control) (ก) และผ่านการลดกลิ่นถั่วโดยการให้ความร้อนด้วยไมโครเวฟร่วมกับตู้อบลมร้อน (ข) และการแช่ในสารละลายกรดซัลฟูริก 0.5% (ค)

ตารางที่ 4-18 ค่าสี L* a* b* และค่า Whiteness ของแป้งถั่วดาวอินคาที่ไม่ผ่าน (Control) และผ่านการลดกลิ่นถั่วโดยการให้ความร้อนด้วยไมโครเวฟร่วมกับ
 ตู้อบลมร้อน (MW+Hot air) และการแช่ในสารละลายกรดซิตริก 0.5% (Citric acid 0.5%)

ชนิดของแป้งถั่วดาวอินคา	ค่าเฉลี่ย ± SD			
	L*	a*	b*	Whiteness
Control	79.86 ± 0.06 ^c	1.75 ± 0.03 ^a	17.51 ± 0.05 ^b	73.26 ± 0.01 ^c
MW+Hot air	80.89 ± 0.01 ^b	1.61 ± 0.05 ^b	18.25 ± 0.04 ^a	73.53 ± 0.03 ^b
Citric acid 0.5%	83.67 ± 0.02 ^a	1.31 ± 0.02 ^c	14.88 ± 0.03 ^c	77.87 ± 0.03 ^a

^{a, b, c, ...} หมายถึง ค่าเฉลี่ยในแนวตั้งมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p<0.05)

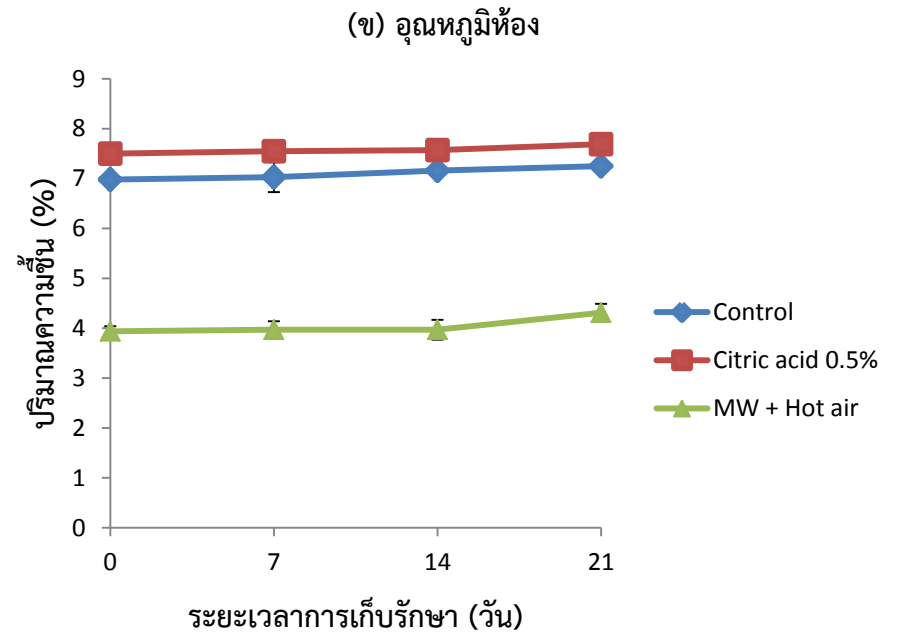
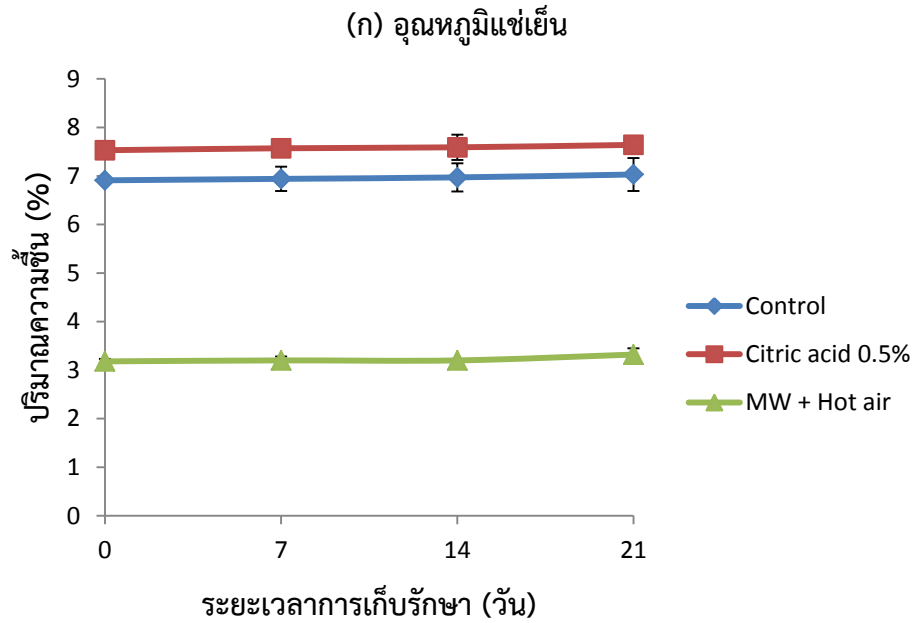
ตารางที่ 4-19 สมบัติเชิงหน้าที่ของแป้งถั่วดาวอินคาที่ไม่ผ่าน (Control) และผ่านการลดกลิ่นถั่วโดยการให้ความร้อนด้วยไมโครเวฟร่วมกับตู้อบลมร้อน (MW+Hot air) และการแช่ในสารละลายกรดซิตริก 0.5% (Citric acid 0.5%)

ชนิดของแป้งถั่วดาวอินคา	ค่าเฉลี่ย \pm SD				
	Water absorption (g/g flour)	Oil absorption (g/g flour)	Emulsifying properties		Swelling properties (g/g flour)
			Emulsion activity (%)	Emulsion stability (%)	
Control	3.41 \pm 0.11 ^a	1.54 \pm 0.06 ^b	48.15 \pm 0.00 ^b	33.33 \pm 0.00 ^b	3.44 \pm 0.29 ^b
MW+Hot air	2.81 \pm 0.02 ^c	1.62 \pm 0.02 ^b	47.28 \pm 0.86 ^b	32.79 \pm 0.54 ^b	3.28 \pm 0.15 ^b
Citric acid 0.5%	3.11 \pm 0.06 ^b	2.49 \pm 0.03 ^a	53.85 \pm 0.00 ^a	35.09 \pm 0.62 ^a	4.01 \pm 0.04 ^a

^{a, b, c, ...} หมายถึง ค่าเฉลี่ยในแนวตั้งมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

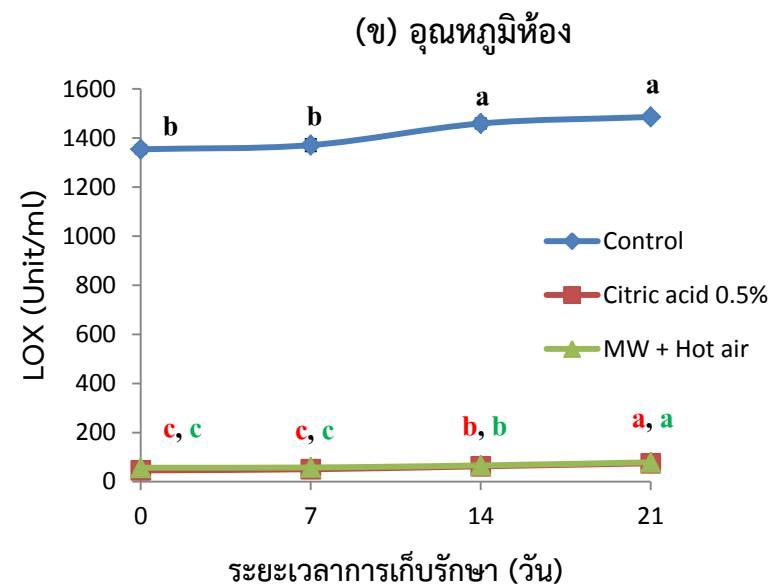
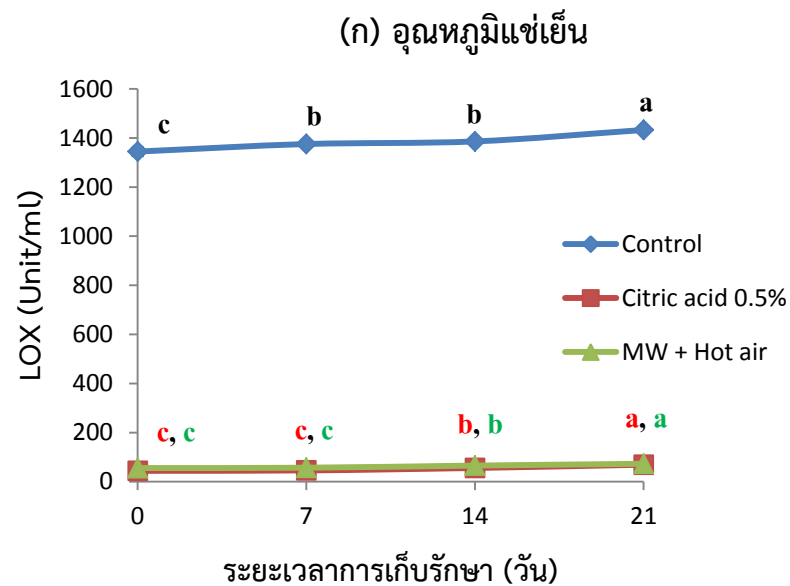
4.3 ผลของการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของแป้งถั่วดาวอินคาที่ไม่ผ่านและผ่านการลดกลิ่นถั่วระหว่างการเก็บ

ในขั้นตอนนี้ นำแป้งถั่วดาวอินคาที่ไม่ผ่านการลดกลิ่นถั่ว (Control) และผ่านการลดกลิ่นถั่วโดยใช้ความร้อน (MW+Hot air) ที่เวลาการให้ความร้อนด้วยไมโครเวฟ 180 วินาที ร่วมกับการให้ความร้อนด้วยตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 65°C เป็นเวลา 10 นาที และแช่ในสารละลาย Citric acid 0.5% (Citric acid 0.5%) ตามวิธีที่เลือกได้จากข้อ 4.1 บรรจุในถุงโพลีเอทิลีน ความหนาแน่นต่ำเคลือบอลูมิเนียมฟอยล์ เก็บรักษาที่อุณหภูมิแช่เย็น ($4\pm 1^{\circ}\text{C}$) และที่อุณหภูมิห้อง ($30\pm 1^{\circ}\text{C}$) เป็นเวลา 21 วัน ผลการวิเคราะห์คุณภาพด้านปริมาณความชื้น การทำงานของเอนไซม์ Lipoxygenase ค่า Peroxide value ค่า TBARS ค่า a_w ค่า Whiteness คะแนนความเข้มกลิ่นถั่ว และความเข้มกลิ่นหืน แสดงดังภาพที่ 4-19 ถึง 4-26 ปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด ปริมาณยีสต์และรา แสดงดังตารางที่ 4-21 และ 4-22 ตามลำดับ



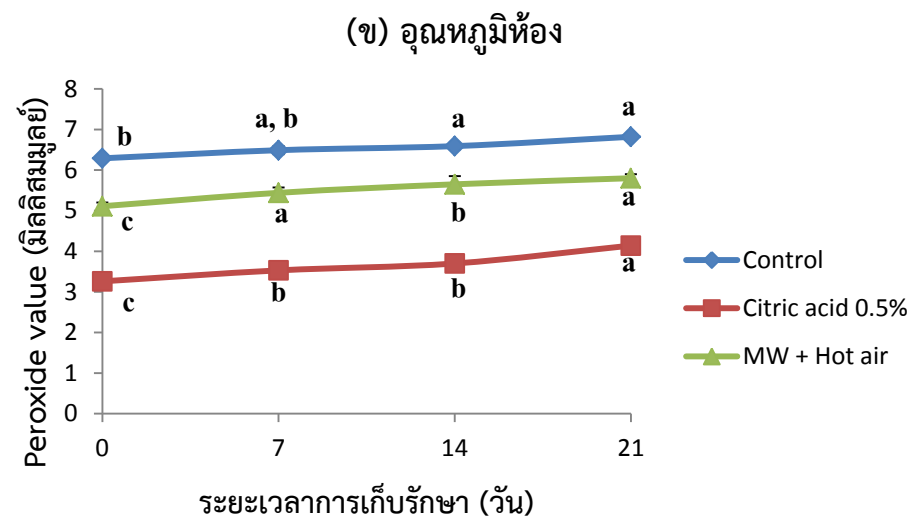
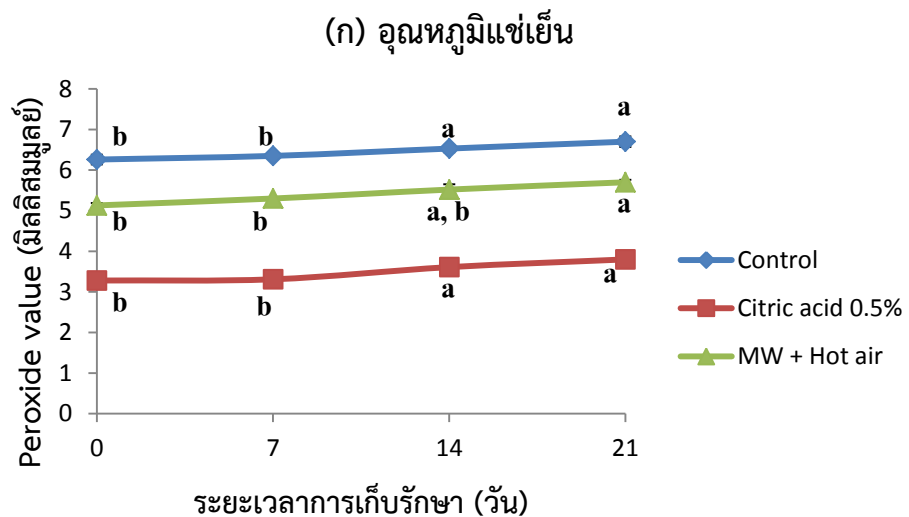
^{ns} หมายถึง ค่าเฉลี่ยไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติตามระยะเวลาการเก็บรักษา ($p \geq 0.05$)

ภาพที่ 4-19 ปริมาณความชื้นของแป้งถั่วดาวอินคาที่ไม่ผ่าน (Control) และผ่านการลดกลิ่นถั่วโดยวิธีการให้ความร้อนด้วยไมโครเวฟร่วมกับตู้อบลมร้อน (MW+Hot air) และการแช่ในสารละลายกรดซิตริก 0.5% (Citric acid 0.5%) ระหว่างการเก็บที่อุณหภูมิแช่เย็น (ก) และอุณหภูมิห้อง (ข)



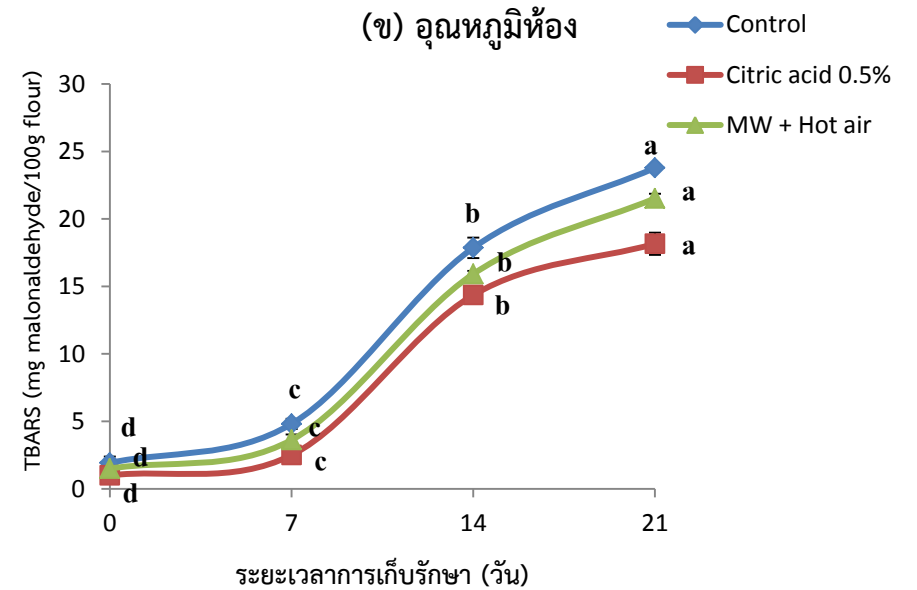
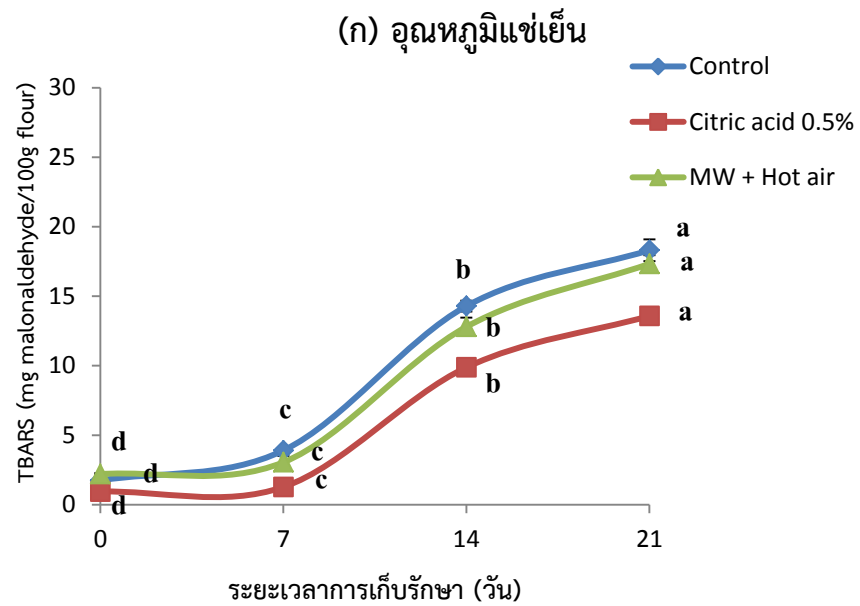
^{a, b, c,...} หมายถึง ค่าเฉลี่ยแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติตามระยะเวลาการเก็บรักษา ($p < 0.05$)

ภาพที่ 4-20 กิจกรรมของเอนไซม์ Lipoxygenase ของแป้งถั่วดาวอินคาที่ไม่ผ่าน (Control) และผ่านการลดกลิ่นด้วยวิธีการให้ความร้อนด้วยไมโครเวฟร่วมกับตู้อบลมร้อน (MW+Hot air) และการแช่ในสารละลายกรดซิตริก 0.5% (Citric acid 0.5%) ระหว่างการเก็บที่อุณหภูมิแช่เย็น (ก) และอุณหภูมิห้อง (ข)



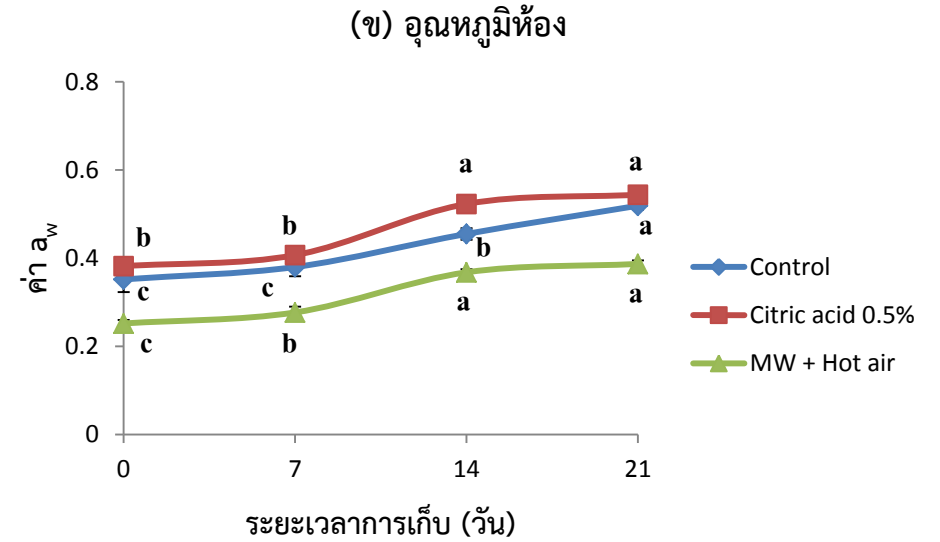
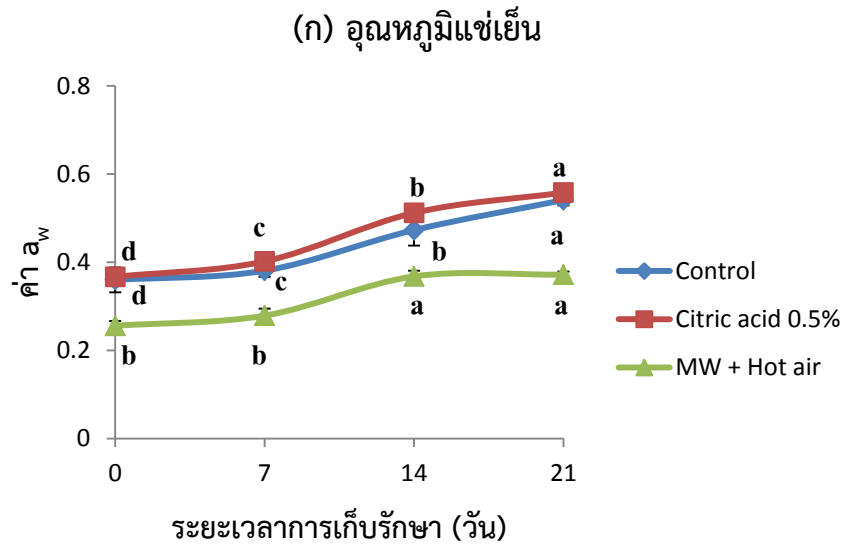
a, b, c... หมายถึง ค่าเฉลี่ยแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติตามระยะเวลาการเก็บรักษา ($p < 0.05$)

ภาพที่ 4-21 ค่า Peroxide value ของแป้งถั่วดาวอินคาที่ไม่ผ่าน (Control) และผ่านการลดกลิ่นด้วยวิธีการให้ความร้อนด้วยไมโครเวฟร่วมกับตู้อบลมร้อน (MW+Hot air) และการแช่ในสารละลายกรดซิตริก 0.5% (Citric acid 0.5%) ระหว่างการเก็บที่อุณหภูมิแช่เย็น (ก) และอุณหภูมิห้อง (ข)



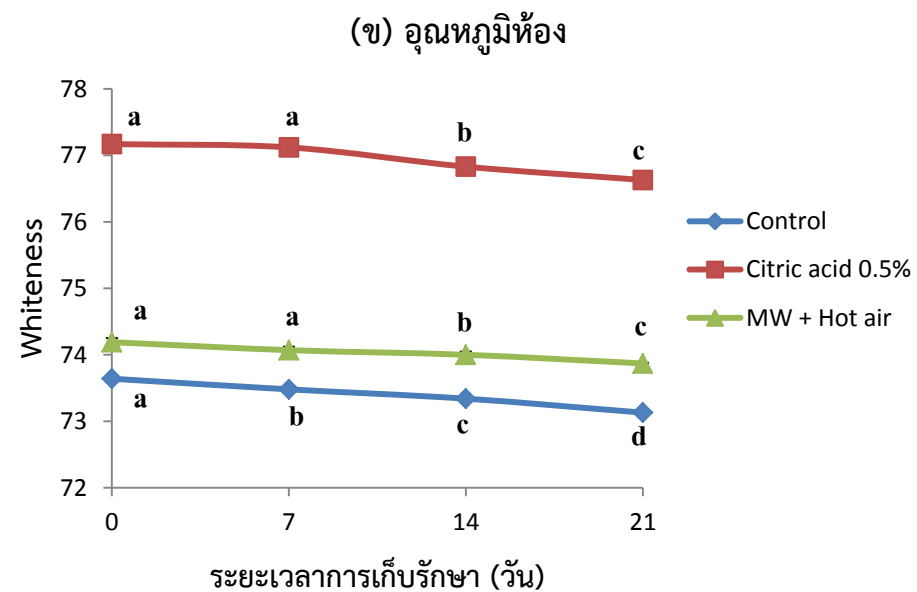
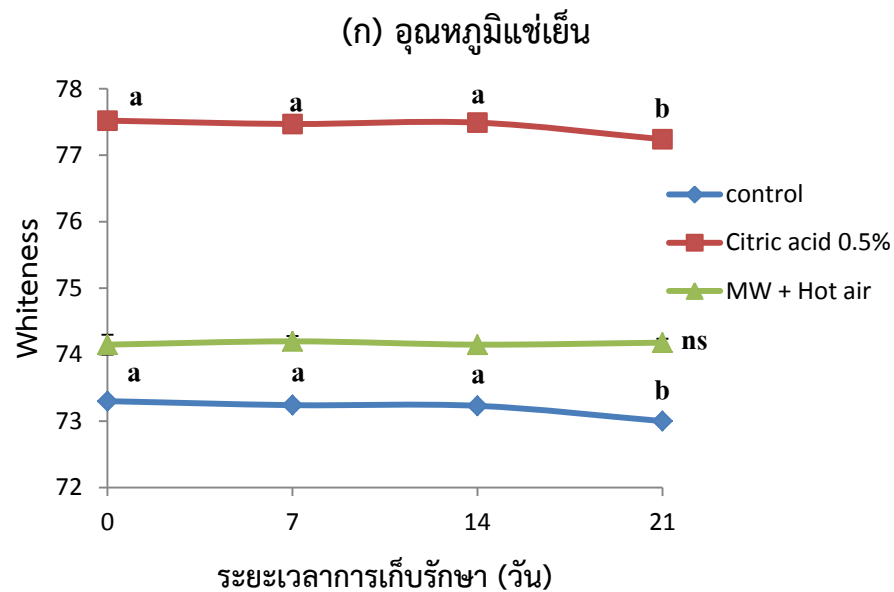
a, b, c,... หมายถึง ค่าเฉลี่ยแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติตามระยะเวลาการเก็บรักษา ($p < 0.05$)

ภาพที่ 4-22 ค่า TBARS ของแป้งถั่วดาวอินคาที่ไม่ผ่าน (Control) และผ่านการลดกลิ่นด้วยไมโครเวฟร่วมกับตู้อบลมร้อน (MW+Hot air) และการแช่ในสารละลายกรดซิตริก 0.5% (Citric acid 0.5%) ระหว่างการเก็บที่อุณหภูมิแช่เย็น (ก) และอุณหภูมิห้อง (ข)



^{a, b, c, ...} หมายถึง ค่าเฉลี่ยแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติตามระยะเวลาการเก็บรักษา ($p < 0.05$)

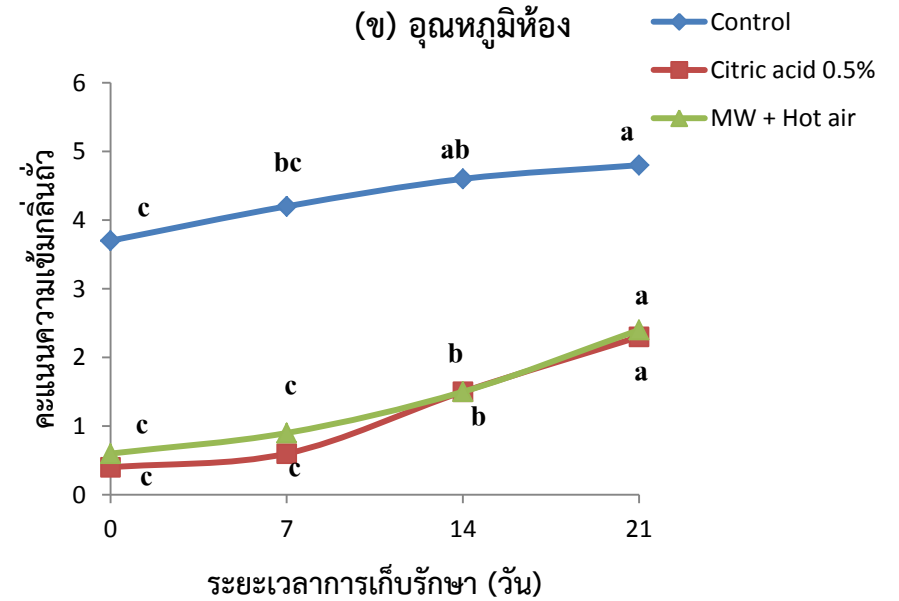
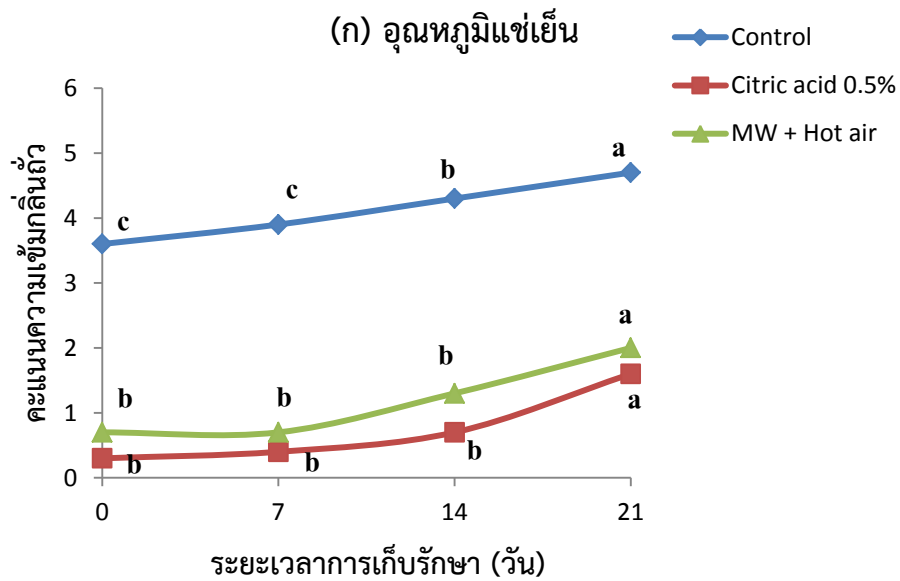
ภาพที่ 4-23 ค่า a_w ของแป้งถั่วดาวอินคาที่ไม่ผ่าน (Control) และผ่านการลดกลิ่นด้วยวิธีการให้ความร้อนด้วยไมโครเวฟร่วมกับตู้อบลมร้อน (MW+Hot air) และการแช่ในสารละลายกรดซิตริก 0.5% (Citric acid 0.5%) ระหว่างการเก็บที่อุณหภูมิแช่เย็น (ก) และอุณหภูมิห้อง (ข)



^{a, b, c, ...} หมายถึง ค่าเฉลี่ยแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติตามระยะเวลาการรักษา ($p < 0.05$)

^{ns} หมายถึง ค่าเฉลี่ยไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติตามระยะเวลาการรักษา ($p \geq 0.05$)

ภาพที่ 4-24 ค่า Whiteness ของแป้งถั่วดาวอินคาที่ไม่ผ่าน (Control) และผ่านการลดกลิ่นถั่วโดยวิธีการให้ความร้อนด้วยไมโครเวฟร่วมกับตู้อบลมร้อน (MW+Hot air) และการแช่ในสารละลายกรดซิตริก 0.5% (Citric acid 0.5%) ระหว่างการเก็บที่อุณหภูมิแช่เย็น (ก) และอุณหภูมิห้อง (ข)

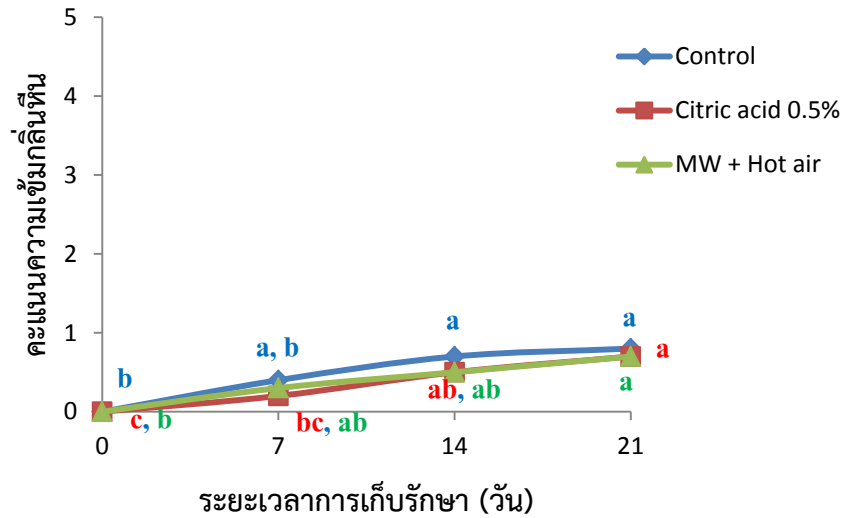


^{a, b, c, ...} หมายถึง ค่าเฉลี่ยแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติตามระยะเวลาการเก็บรักษา ($p < 0.05$)

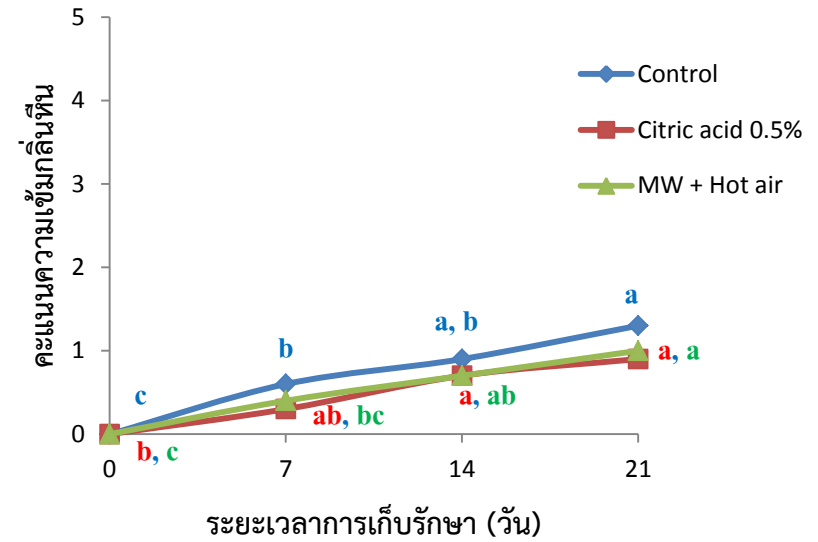
คะแนนความชื้นกลั่นตัว 0 หมายถึง ไม่มีกลั่นตัว และ 5 หมายถึง มีความชื้นกลั่นตัวมากที่สุด

ภาพที่ 4-25 คะแนนความชื้นกลั่นตัวของแป้งถั่วดาวอินคาที่ไม่ผ่าน (Control) และผ่านการลดกลั่นตัวโดยวิธีการให้ความร้อนด้วยไมโครเวฟร่วมกับตู้อบลมร้อน (MW+Hot air) และการแช่ในสารละลายกรดซิตริก 0.5% (Citric acid 0.5%) ระหว่างการเก็บที่อุณหภูมิแช่เย็น (ก) และอุณหภูมิห้อง (ข)

(ก) อุณหภูมิแช่เย็น



(ข) อุณหภูมิห้อง



^{a, b, c,...} หมายถึง ค่าเฉลี่ยแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติตามระยะเวลาการเก็บรักษา ($p < 0.05$)

คะแนนความชื้นกลั่นเหิน 0 หมายถึง ไม่มีกลั่นเหิน และ 5 หมายถึง มีความชื้นกลั่นเหินมากที่สุด

ภาพที่ 4-26 คะแนนความชื้นกลั่นเหินของแป้งถั่วดาวอินคาที่ไม่ผ่าน (Control) และผ่านการลดกลิ่นด้วยวิธีการให้ความร้อนด้วยไมโครเวฟร่วมกับตู้อบลมร้อน (MW+Hot air) และการแช่ในสารละลายกรดซิตริก 0.5% (Citric acid 0.5%) ระหว่างการเก็บที่อุณหภูมิแช่เย็น (ก) และอุณหภูมิห้อง (ข)

ตารางที่ 4-20 ปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด (CFU/g) ของแป้งถั่วดาวอินคาที่ไม่ผ่าน (Control) และผ่านการลดกลิ่นถั่วโดยวิธีการให้ความร้อนด้วยไมโครเวฟร่วมกับตู้อบลมร้อน (MW+Hot air) และการแช่ในสารละลายกรดซิตริก 0.5% (Citric acid 0.5%) ระหว่างการเก็บที่อุณหภูมิแช่เย็นและอุณหภูมิห้อง

ชนิดของแป้งถั่วดาวอินคา	อุณหภูมิแช่เย็น				อุณหภูมิห้อง			
	0 วัน	7 วัน	14 วัน	21 วัน	0 วัน	7 วัน	14 วัน	21 วัน
Control	8.0×10^2	9.5×10^2	5.5×10^3	8×10^3	9.5×10^2	15.0×10^2	6.5×10^3	12.5×10^3
Citric acid 0.5%	$<1.0 \times 10^1$	$<1.0 \times 10^1$	3.5×10^3	5.5×10^3	$<1.0 \times 10^1$	$<1.0 \times 10^1$	3.0×10^3	8.0×10^3
MW+Hot air	6.5×10^2	7×10^2	4.5×10^3	6.5×10^3	6.0×10^2	9.5×10^2	4.0×10^3	9.5×10^3

ตารางที่ 4-21 ปริมาณยีสต์และรา (CFU/g) ของแป้งถั่วดาวอินคาที่ไม่ผ่าน (Control) และผ่านการลดกลิ่นถั่วโดยวิธีการให้ความร้อนด้วยไมโครเวฟร่วมกับตู้อบลมร้อน (MW+Hot air) และการแช่ในสารละลายกรดซิตริก 0.5% (Citric acid 0.5%) ระหว่างการเก็บที่อุณหภูมิแช่เย็นและอุณหภูมิห้อง

ชนิดของแป้งถั่วดาวอินคา	อุณหภูมิแช่เย็น				อุณหภูมิห้อง			
	0 วัน	7 วัน	14 วัน	21 วัน	0 วัน	7 วัน	14 วัน	21 วัน
Control	$<1.0 \times 10^1$	$<1.0 \times 10^1$	$<1.0 \times 10^1$	$<1.0 \times 10^1$	$<1.0 \times 10^1$	$<1.0 \times 10^1$	$<1.0 \times 10^1$	$<1.0 \times 10^1$
Citric acid 0.5%	$<1.0 \times 10^1$	$<1.0 \times 10^1$	$<1.0 \times 10^1$	$<1.0 \times 10^1$	$<1.0 \times 10^1$	$<1.0 \times 10^1$	$<1.0 \times 10^1$	$<1.0 \times 10^1$
MW+Hot air	$<1.0 \times 10^1$	$<1.0 \times 10^1$	$<1.0 \times 10^1$	$<1.0 \times 10^1$	$<1.0 \times 10^1$	$<1.0 \times 10^1$	$<1.0 \times 10^1$	$<1.0 \times 10^1$

4.4 ผลการนำแป้งถั่วดาวอินคาไปใช้เป็นส่วนผสมในผลิตภัณฑ์อาหารเพื่อสุขภาพ ต้นแบบ

ผลจากการพิจารณาเลือกแป้งถั่วดาวอินคาที่ผ่านการลดกลั่นถั่วที่ได้จากข้อ 4.2 ซึ่งพบว่า แป้งถั่วดาวอินคาที่ผ่านการลดกลั่นถั่วโดยการให้ความร้อนด้วยไมโครเวฟร่วมกับตู้อบลมร้อน ที่เวลาการให้ความร้อนด้วยไมโครเวฟ 180 วินาที ร่วมกับอุณหภูมิการให้ความร้อนด้วยตู้อบลมร้อนที่ 65°C เป็นเวลา 10 นาที มีความเหมาะสมที่จะนำมาเติมเป็นส่วนผสมในผลิตภัณฑ์อาหารเพื่อสุขภาพต้นแบบ รวมทั้งผลจากการศึกษาการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของแป้งถั่วดาวอินคาระหว่างการเก็บจากข้อ 4.3 ที่พบแนวโน้มว่าแป้งถั่วดาวอินคาที่ลดกลั่นถั่วโดยผ่านการให้ความร้อนมีปริมาณความชื้น และค่า a_w ต่ำ ซึ่งมีแนวโน้มในการเก็บรักษาได้นานกว่าแป้งถั่วดาวอินคาที่ลดกลั่นถั่วโดยใช้สารเคมี นอกจากนี้กรดที่ตกค้างในแป้งยังมีผลให้แป้งถั่วดาวอินคาไม่เกิดกรดหรือกลิ่นเปรี้ยวเล็กน้อย แป้งถั่วดาวอินคาที่ผ่านการให้ความร้อนจึงมีความเหมาะสมในการนำมาศึกษาความเป็นไปได้ในการใช้เป็นส่วนผสมในผลิตภัณฑ์อาหารเพื่อสุขภาพ ผลิตภัณฑ์อาหารเพื่อสุขภาพต้นแบบที่ศึกษา ได้แก่ เครื่องดื่มน้ำนมถั่วดาวอินคาสูตรน้ำตาลต่ำ และถั่วดาวอินคาสเปรด โดยแปรปริมาณการเติมแป้งถั่วดาวอินคาที่ผ่านการลดกลั่นถั่วและประเมินผลการเติมต่อคุณภาพผลิตภัณฑ์ด้านต่างๆ ผลการศึกษามีรายละเอียดดังนี้

4.4.1 ผลของปริมาณแป้งถั่วดาวอินคาที่ผ่านการลดกลั่นถั่วต่อคุณภาพของเครื่องดื่ม น้ำนมถั่วดาวอินคาสูตรน้ำตาลต่ำ

จากการนำแป้งถั่วดาวอินคาที่ผ่านการลดกลั่นถั่วโดยการให้ความร้อนมาแปรปริมาณการเติมในเครื่องดื่มน้ำนมถั่วดาวอินคาสูตรน้ำตาลต่ำเป็น 4 ระดับ ได้แก่ 1 2 3 และ 4% โดยน้ำหนัก ผลการวิเคราะห์ค่าสีแสดงดังตารางที่ 4-22 ลักษณะเครื่องดื่มน้ำนมถั่วดาวอินคาสูตรน้ำตาลต่ำที่ได้แสดงดังภาพที่ 4-27 ค่าความหนืด ค่าการแยกตัวของของเหลว และปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด แสดงดังตารางที่ 4-23 และผลการทดสอบความชอบทางประสาทสัมผัสแสดงดังตารางที่ 4-24

ตารางที่ 4-22 ค่าสีของเครื่องดื่มน้ำนมถั่วดาวอินคาสูตรน้ำตาลต่ำที่แปรปริมาณแป้งถั่วดาวอินคาที่ผ่านการลดกลั่นถั่วโดยใช้ความร้อน

ปริมาณแป้งถั่วดาวอินคา (%)	ค่าเฉลี่ย \pm SD		
	L*	a*	b*
1	70.76 \pm 0.04 ^d	-1.69 \pm 0.02 ^a	4.92 \pm 0.01 ^d
2	76.68 \pm 0.05 ^c	-0.92 \pm 0.02 ^b	7.53 \pm 0.02 ^c
3	79.09 \pm 0.04 ^b	-0.48 \pm 0.01 ^c	9.33 \pm 0.07 ^b
4	80.51 \pm 0.03 ^a	-0.14 \pm 0.02 ^d	10.71 \pm 0.03 ^a

^{a, b, c, ...} หมายถึง ค่าเฉลี่ยในแนวตั้งมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)



(ก)

(ข)

(ค)

(ง)

ภาพที่ 4-27 ลักษณะเครื่องดื่มน้ำนมถั่วดาวอินคาสูตรน้ำตาลต่ำเมื่อเติมแป้งถั่วดาวอินคาที่ผ่านการลดกลั่นถั่วโดยใช้ความร้อนระดับต่างๆ (ก) 1% (ข) 2% (ค) 3% และ (ง) 4%

ตารางที่ 4-23 ค่าความหนืด ค่าการแยกตัวของของเหลว และปริมาณของแข็งที่ละลายได้ของ เครื่องดื่มน้ำนมถั่วดาวอินคาสูตรน้ำตาลต่ำที่แปรปริมาณแป้งถั่วดาวอินคาที่ผ่านการ ลดกลิ่น โดยการใช้ความร้อน

ปริมาณแป้งถั่วดาวอินคา (%)	ค่าเฉลี่ย \pm SD		
	ค่าความหนืด (cP)	ค่าการแยกตัวของของเหลว (%)	ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด ($^{\circ}$ Brix) ^{ns}
1	83.90 \pm 2.72 ^d	91.71 \pm 0.35 ^a	11.8 \pm 0.2
2	103.67 \pm 1.53 ^c	89.44 \pm 0.84 ^b	12.0 \pm 0.2
3	111.67 \pm 3.06 ^b	86.38 \pm 0.38 ^c	12.0 \pm 0.2
4	141.00 \pm 2.65 ^a	84.49 \pm 0.42 ^d	12.0 \pm 0.2

^{ns} หมายถึง ค่าเฉลี่ยในแนวตั้งไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \geq 0.05$)

^{a, b, c, ...} หมายถึง ค่าเฉลี่ยในแนวตั้งมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

ตารางที่ 4-24 ความชอบทางประสาทสัมผัสของเครื่องดื่มน้ำนมถั่วดาวอินคาสูตรน้ำตาลต่ำที่แปรปริมาณแป้งถั่วดาวอินคาที่ผ่านการลดกลั่นถั่วโดยใช้ความร้อน

ปริมาณแป้งถั่วดาวอินคา (%)	คะแนนความชอบเฉลี่ย \pm SD					
	ลักษณะปรากฏ	สี	กลิ่น	รสชาติ	เนื้อสัมผัส	ความชอบโดยรวม
1	7.70 \pm 0.75 ^{bc}	7.27 \pm 0.69 ^b	7.00 \pm 0.64 ^b	6.43 \pm 0.57 ^c	7.53 \pm 0.51 ^a	6.93 \pm 0.58 ^b
2	8.13 \pm 0.78 ^a	7.83 \pm 0.70 ^a	7.37 \pm 0.49 ^a	7.47 \pm 0.51 ^a	7.40 \pm 0.72 ^a	7.90 \pm 0.55 ^a
3	8.07 \pm 0.74 ^{ab}	7.43 \pm 0.57 ^b	7.23 \pm 0.63 ^{ab}	7.03 \pm 0.61 ^b	7.23 \pm 0.68 ^a	7.70 \pm 0.66 ^a
4	7.60 \pm 0.50 ^c	7.07 \pm 0.58 ^b	7.03 \pm 0.61 ^{ab}	6.60 \pm 0.50 ^c	6.30 \pm 0.53 ^b	6.47 \pm 0.51 ^c

^{a, b, c...} หมายถึง ค่าเฉลี่ยในแนวตั้งมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

4.4.2 ผลของปริมาณแป้งธัญพืชอินคาที่ผ่านการลวกกับเนื้อสัมผัสของธัญพืชอินคาสเปรด

จากการนำแป้งธัญพืชอินคาที่ผ่านการลวกกับเนื้อสัมผัสโดยการใช้ความร้อนมาใช้เป็นส่วนผสมในการผลิตธัญพืชอินคาสเปรด โดยแปรสัดส่วนระหว่างแป้งธัญพืชอินคาที่ผ่านการลวกกับน้ำมันมะพร้าว 3 ระดับ ได้แก่ 40:60 45:55 และ 50:50 % โดยน้ำหนัก ผลการวิเคราะห์ค่าสีแสดงดังตารางที่ 4-25 ลักษณะของธัญพืชอินคาสเปรดที่ได้แสดงดังภาพที่ 4-28 ลักษณะเนื้อสัมผัส ได้แก่ Hardness Spreadability และ Adhesiveness แสดงดังตารางที่ 4-26 และผลการทดสอบความชอบทางประสาทสัมผัสแสดงดังตารางที่ 4-27

ตารางที่ 4-25 ค่าสีของธัญพืชอินคาสเปรดที่แปรสัดส่วนระหว่างแป้งธัญพืชอินคาที่ผ่านการลวกกับเนื้อสัมผัสโดยการใช้ความร้อนกับน้ำมันมะพร้าว

สัดส่วนแป้งธัญพืชอินคา : น้ำมันมะพร้าว (%)	ค่าเฉลี่ย \pm SD		
	L*	a*	b*
40 :60	62.33 \pm 0.02 ^a	4.04 \pm 0.03 ^c	24.43 \pm 0.03 ^b
45 :55	62.26 \pm 0.05 ^a	4.13 \pm 0.02 ^b	24.46 \pm 0.03 ^b
50 :50	60.55 \pm 0.04 ^b	4.23 \pm 0.01 ^a	24.89 \pm 0.06 ^a

^{a, b, c...} หมายถึง ค่าเฉลี่ยในแนวตั้งมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)



(ก)

(ข)

(ค)

ภาพที่ 4-28 ลักษณะถั่วดาวอินคาสเปรดที่แปรสัดส่วนระหว่างแป้งถั่วดาวอินคาที่ผ่านการลดกลิ่นถั่วโดยการใช้ความร้อนกับน้ำมันมะพร้าวที่ระดับต่าง ๆ (ก) 40:60% (ข) 45:55% และ (ค) 50:50%

ตารางที่ 4-26 ลักษณะเนื้อสัมผัสของถั่วดาวอินคาสเปรดที่แปรสัดส่วนระหว่างแป้งถั่วดาวอินคาที่ผ่านการลดกลิ่นถั่วโดยการใช้ความร้อนกับน้ำมันมะพร้าว

สัดส่วนแป้งถั่วดาวอินคา : น้ำมันมะพร้าว (%)	ค่าเฉลี่ย \pm SD		
	Hardness (g)	Spreadability (g.sec)	Adhesiveness (g.sec)
40 :60	381.53 \pm 13.73 ^c	4849.72 \pm 119.06 ^c	-153.12 \pm 8.53 ^c
45 :55	658.82 \pm 11.86 ^b	6620.88 \pm 123.02 ^b	-181.04 \pm 5.62 ^b
50 :50	1165.39 \pm 14.00 ^a	11884.95 \pm 122.80 ^a	-204.78 \pm 6.86 ^a

^{a, b, c...} หมายถึง ค่าเฉลี่ยในแนวตั้งมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

ตารางที่ 4-27 ความชอบทางประสาทสัมผัสของถั่วดาวอินคาสเปรดที่แปรสัดส่วนระหว่างแป้งถั่วดาวอินคาที่ผ่านการลดกลิ่นถั่วโดยการใช้ความร้อนกับน้ำมันมะพร้าว

สัดส่วนแป้งถั่วดาวอินคา : น้ำมันมะพร้าว (%)	คะแนนความชอบเฉลี่ย \pm SD					
	การทานขนมปัง	สี ^{ns}	กลิ่น	รสชาติ	เนื้อสัมผัส	ความชอบโดยรวม
40 :60	7.63 \pm 0.61 ^a	7.17 \pm 0.46	7.23 \pm 0.50 ^a	6.30 \pm 0.47 ^b	7.23 \pm 0.68 ^a	6.60 \pm 0.50 ^b
45 :55	7.00 \pm 0.59 ^b	7.10 \pm 0.48	7.17 \pm 0.65 ^a	7.13 \pm 0.63 ^a	7.00 \pm 0.59 ^a	7.27 \pm 0.69 ^a
50 :50	6.23 \pm 0.43 ^c	7.03 \pm 0.61	6.70 \pm 0.47 ^b	6.53 \pm 0.51 ^b	6.20 \pm 0.41 ^b	6.30 \pm 0.53 ^b

^{ns} หมายถึง ค่าเฉลี่ยในแนวตั้งไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \geq 0.05$)

^{a, b, c...} หมายถึง ค่าเฉลี่ยในแนวตั้งมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

4.5 ผลการวิเคราะห์คุณภาพผลิตภัณฑ์อาหารเพื่อสุขภาพต้นแบบที่มีการใช้แป้งถั่วดาวอินคาที่ผ่านการลดกลืนถั่วเปรียบเทียบกับการใช้แป้งถั่วดาวอินคาที่ไม่ผ่านการลดกลืนถั่ว

ในขั้นตอนนี้เป็นการเปรียบเทียบคุณภาพทางเคมี ทางกายภาพ และทางประสาทสัมผัสของเครื่องดื่มน้ำนมถั่วดาวอินคาสูตรน้ำตาลต่ำและถั่วดาวอินคาสเปรด สูตรที่มีการใช้แป้งถั่วดาวอินคาที่ผ่านการลดกลืนถั่วโดยใช้ความร้อนตามปริมาณที่เลือกได้จากข้อ 4.4 เปรียบเทียบกับเครื่องดื่มน้ำนมถั่วดาวอินคาสูตรน้ำตาลต่ำและถั่วดาวอินคาสเปรดสูตรที่มีการใช้แป้งถั่วดาวอินคาที่ไม่ผ่านการลดกลืนถั่วในปริมาณเท่ากัน ผลการศึกษา มีรายละเอียดดังนี้

4.5.1 ผลการวิเคราะห์คุณภาพเครื่องดื่มน้ำนมถั่วดาวอินคาสูตรน้ำตาลต่ำที่มีการใช้แป้งถั่วดาวอินคาที่ผ่านการลดกลืนถั่วเปรียบเทียบกับการใช้แป้งถั่วดาวอินคาที่ไม่ผ่านการลดกลืนถั่ว

จากการนำแป้งถั่วดาวอินคาที่ผ่านการลดกลืนถั่วมาเติมเป็นส่วนผสมในเครื่องดื่มน้ำนมถั่วดาวอินคาสูตรน้ำตาลต่ำ สูตรที่ดีที่สุดคือ การเติมแป้งถั่วดาวอินคาที่ผ่านการลดกลืนถั่วโดยใช้ความร้อน 3% ในเครื่องดื่มน้ำนมถั่วดาวอินคาสูตรน้ำตาลต่ำ เปรียบเทียบคุณภาพทางเคมี ทางกายภาพ และทางประสาทสัมผัส กับเครื่องดื่มน้ำนมถั่วดาวอินคาสูตรน้ำตาลต่ำที่ใช้แป้งถั่วดาวอินคาที่ไม่ผ่านการลดกลืนถั่วในปริมาณเท่ากัน ผลการวิเคราะห์ปริมาณองค์ประกอบทางเคมี แสดงดังตารางที่ 4-28 ปริมาณเส้นใยอาหารทั้งหมด ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด และสมบัติการต้านอนุมูลอิสระ โดยวิธี DPPH scavenging activity assay และ Ferric reducing antioxidant power แสดงดังตารางที่ 4-29 ค่าสีแสดงดังตารางที่ 4-30 ค่าความหนืด ค่าการแยกตัวของของเหลว และปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดแสดงดังตารางที่ 4-31 และคะแนนความชอบทางประสาทสัมผัสแสดงดังตารางที่ 4-32

ตารางที่ 4-28 องค์ประกอบทางเคมีของเครื่องดื่มน้ำนมถั่วดาวอินคาสูตรน้ำตาลต่ำที่เติมแป้งถั่วดาวอินคาที่ผ่านการลดกลั่นถั่ว โดยการใช้ความร้อนและไม่ผ่านการลดกลั่นถั่ว

ชนิดแป้งถั่วดาวอินคา	ค่าเฉลี่ย \pm SD (% wet basis)					
	ความชื้น ^{ns}	โปรตีน	ไขมัน ^{ns}	กากใย	เถ้า ^{ns}	คาร์โบไฮเดรต
แป้งถั่วดาวอินคาที่ผ่านการลดกลั่นถั่ว	85.98 \pm 0.82	4.90 \pm 0.27 ^b	3.81 \pm 0.09	0.10 \pm 0.02 ^b	1.31 \pm 0.06	3.91 \pm 0.35 ^a
แป้งถั่วดาวอินคาที่ไม่ผ่านการลดกลั่นถั่ว	87.51 \pm 0.73	5.26 \pm 0.15 ^a	3.79 \pm 0.09	0.16 \pm 0.04 ^a	1.32 \pm 0.05	1.96 \pm 0.10 ^b

^{ns} หมายถึง ค่าเฉลี่ยในแนวตั้งไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \geq 0.05$)

^{a, b, ...} หมายถึง ค่าเฉลี่ยในแนวตั้งมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

ตารางที่ 4-29 ปริมาณเส้นใยอาหารทั้งหมด ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด และสมบัติการต้านอนุมูลอิสระ (DPPH และ FRAP) ของเครื่องดื่มน้ำนมถั่วดาวอินคาสูตรน้ำตาลต่ำที่เติมแป้งถั่วดาวอินคาที่ผ่านการลดกลั่นถั่วโดยการให้ความร้อนและไม่ผ่านการลดกลั่นถั่ว

ชนิดแป้งถั่วดาวอินคา	ค่าเฉลี่ย \pm SD			
	ปริมาณเส้นใยอาหารทั้งหมด (%wet basis)	ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด (mg GAE/100 g) ^{ns}	สมบัติการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระ	
			DPPH (% inhibition) ^{ns}	FRAP (μ mol/L) ^{ns}
แป้งถั่วดาวอินคาที่ผ่านการลดกลั่นถั่ว	2.34 \pm 0.06 ^b	5.53 \pm 0.08	7.16 \pm 0.67	30.69 \pm 2.65
แป้งถั่วดาวอินคาที่ไม่ผ่านการลดกลั่นถั่ว	5.57 \pm 0.40 ^a	5.63 \pm 0.26	7.36 \pm 0.66	30.15 \pm 2.61

^{ns} หมายถึง ค่าเฉลี่ยในแนวตั้งไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \geq 0.05$)

^{a, b, ...} หมายถึง ค่าเฉลี่ยในแนวตั้งมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

ตารางที่ 4-30 ค่าสีของเครื่องดื่มน้ำนมถั่วดาวอินคาสูตรน้ำตาลต่ำที่เติมแป้งถั่วอินคาที่ผ่านการลดกลิ่นถั่วโดยการใช้ความร้อนและไม่ผ่านการลดกลิ่นถั่ว

ชนิดแป้งถั่วอินคา	ค่าเฉลี่ย \pm SD		
	L*	a*	b*
แป้งถั่วอินคาที่ผ่านการลดกลิ่นถั่ว	75.38 \pm 0.14 ^a	-0.83 \pm 0.07 ^b	8.89 \pm 0.23 ^a
แป้งถั่วอินคาที่ไม่ผ่านการลดกลิ่นถั่ว	70.61 \pm 0.02 ^b	-1.74 \pm 0.02 ^a	4.93 \pm 0.04 ^b

^{a, b, ...} หมายถึง ค่าเฉลี่ยในแนวตั้งมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

ตารางที่ 4-31 ความหนืด ค่าการแยกตัวของของเหลว และปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดของเครื่องดื่มน้ำนมถั่วดาวอินคาสูตรน้ำตาลต่ำที่เติมแป้งถั่วอินคาที่ผ่านการลดกลิ่นถั่วโดยการใช้ความร้อนและไม่ผ่านการลดกลิ่นถั่ว

ชนิดแป้งถั่วอินคา	ค่าเฉลี่ย \pm SD		
	ความหนืด (cP)	ค่าการแยกตัว ของของเหลว (%) ^{ns}	ปริมาณของแข็งที่ ละลายได้ทั้งหมด (°Brix) ^{ns}
แป้งถั่วอินคาที่ผ่านการลดกลิ่นถั่ว	103.88 \pm 1.14 ^a	89.36 \pm 0.20	12.2 \pm 0.2
แป้งถั่วอินคาที่ไม่ผ่านการลดกลิ่นถั่ว	97.95 \pm 0.70 ^b	90.24 \pm 1.58	12.0 \pm 0.2

^{ns} หมายถึง ค่าเฉลี่ยในแนวตั้งไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \geq 0.05$)

^{a, b, ...} หมายถึง ค่าเฉลี่ยในแนวตั้งมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

ตารางที่ 4-32 ความชอบทางประสาทสัมผัสของเครื่องดื่มน้ำนมถั่วดาวอินคาสูตรน้ำตาลต่ำที่เติมแป้งถั่วดาวอินคาที่ผ่านการลดกลั่นถั่วโดยใช้ความร้อนและไม่ผ่านการลดกลั่นถั่ว

ชนิดแป้งถั่วดาวอินคา	คะแนนความชอบเฉลี่ย \pm SD					
	ลักษณะปรากฏ ^{ns}	สี ^{ns}	กลิ่น	รสชาติ	เนื้อสัมผัส ^{ns}	ความชอบโดยรวม
แป้งถั่วดาวอินคาที่ผ่านการลดกลั่นถั่ว	7.63 \pm 0.67	7.17 \pm 0.65	7.73 \pm 0.58 ^a	7.33 \pm 0.48 ^a	7.10 \pm 0.66	8.03 \pm 0.61 ^a
แป้งถั่วดาวอินคาที่ไม่ผ่านการลดกลั่นถั่ว	7.67 \pm 0.66	7.30 \pm 0.47	4.67 \pm 0.48 ^b	6.53 \pm 0.51 ^b	7.03 \pm 0.61	4.80 \pm 0.41 ^b

^{ns} หมายถึง ค่าเฉลี่ยในแนวตั้งไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \geq 0.05$)

^{a, b, ...} หมายถึง ค่าเฉลี่ยในแนวตั้งมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

4.5.2 ผลการวิเคราะห์คุณภาพถั่วดาวอินคาสเปรดที่มีการใช้แป้งถั่วดาวอินคาที่ผ่านการลวกถั่วและไม่ผ่านการลวกถั่ว

จากการนำแป้งถั่วดาวอินคาที่ผ่านการลวกถั่วมาเติมเป็นส่วนผสมในถั่วดาวอินคาสเปรด พบว่า สัดส่วนแป้งถั่วดาวอินคาที่ผ่านการลวกถั่วต่อปริมาณน้ำมันมะพร้าว เท่ากับ 45:55% เป็นสูตรที่ดีที่สุด จึงนำสูตรนี้มาวิเคราะห์คุณภาพทางเคมี ทางกายภาพ และทางประสาทสัมผัส เปรียบเทียบกับการใช้แป้งถั่วดาวอินคาที่ไม่ผ่านการลวกถั่วในปริมาณเท่ากัน ผลการวิเคราะห์ปริมาณองค์ประกอบทางเคมีแสดงดังตารางที่ 4-33 ปริมาณเส้นใยอาหารทั้งหมด ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด และสมบัติการต้านอนุมูลอิสระ โดยวิธี DPPH scavenging activity assay และ Ferric reducing antioxidant power แสดงดังตารางที่ 4-34 ค่าสีแสดงดังตารางที่ 4-35 ลักษณะเนื้อสัมผัส ได้แก่ Hardness Spreadability และ Adhesiveness แสดงดังตารางที่ 4-36 และคะแนนความชอบทางประสาทสัมผัสแสดงดังตารางที่ 4-37

ตารางที่ 4-33 องค์ประกอบทางเคมีของถั่วดาวอินคาสดที่เติมแป้งถั่วดาวอินคาที่ผ่านการลดกลั่นถั่ว โดยการใช้ความร้อนและไม่ผ่านการลดกลั่นถั่ว

ชนิดแป้งถั่วดาวอินคา	ค่าเฉลี่ย ± SD (% wet basis)					
	ความชื้น ^{ns}	โปรตีน	ไขมัน	กากใย	เถ้า ^{ns}	คาร์โบไฮเดรต
แป้งถั่วดาวอินคาที่ผ่านการลดกลั่นถั่ว	7.37 ± 0.29	17.22 ± 0.37 ^b	60.80 ± 0.17 ^b	1.47 ± 0.09 ^b	2.47 ± 0.03	10.67 ± 0.25 ^a
แป้งถั่วดาวอินคาที่ไม่ผ่านการลดกลั่นถั่ว	7.54 ± 0.18	18.41 ± 0.14 ^a	62.40 ± 0.24 ^a	1.64 ± 0.02 ^a	2.53 ± 0.02	9.28 ± 0.34 ^b

^{ns} หมายถึง ค่าเฉลี่ยในแนวตั้งไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p≥0.05)

^{a, b, ...} หมายถึง ค่าเฉลี่ยในแนวตั้งมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p<0.05)

ตารางที่ 4-34 ปริมาณเส้นใยอาหารทั้งหมด ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด สมบัติการต้านอนุมูลอิสระ (DPPH และ FRAP) ของถั่วดาวอินคาสเปรด ที่เติมแป้งถั่วดาวอินคาที่ผ่านการลดกลั่นถั่ว โดยการใช้ความร้อนและไม่ผ่านการลดกลั่นถั่ว

ชนิดแป้งถั่วดาวอินคา	ค่าเฉลี่ย \pm SD			
	ปริมาณเส้นใยอาหารทั้งหมด (% wet basis)	ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด (mg GAE/100 g) ^{ns}	สมบัติการต้านอนุมูลอิสระ	
			DPPH (% Inhibition) ^{ns}	FRAP (μ mol/L) ^{ns}
แป้งถั่วดาวอินคาที่ผ่านการลดกลั่นถั่ว	16.52 \pm 0.56 ^b	115.08 \pm 5.12	26.08 \pm 0.99	900.33 \pm 37.24
แป้งถั่วดาวอินคาที่ไม่ผ่านการลดกลั่นถั่ว	21.03 \pm 0.62 ^a	115.97 \pm 3.46	25.76 \pm 0.93	861.49 \pm 42.14

^{ns} หมายถึง ค่าเฉลี่ยในแนวตั้งไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \geq 0.05$)

^{a, b, ...} หมายถึง ค่าเฉลี่ยในแนวตั้งมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

ตารางที่ 4-35 ค่าสีของถั่วดาวอินคาสดที่เติมแป้งถั่วอินคาที่ผ่านการลดกลั่นถั่วโดยการให้ความร้อนและไม่ผ่านการลดกลั่นถั่ว

ชนิดแป้งถั่วอินคา	ค่าเฉลี่ย \pm SD		
	L* ^{ns}	a* ^{ns}	b* ^{ns}
แป้งถั่วดาวอินคาที่ผ่านการลดกลั่นถั่ว	63.25 \pm 0.45	3.89 \pm 0.06	24.53 \pm 0.37
แป้งถั่วดาวอินคาที่ไม่ผ่านการลดกลั่นถั่ว	64.94 \pm 0.53	3.88 \pm 0.06	24.58 \pm 0.30

^{ns} หมายถึง ค่าเฉลี่ยในแนวตั้งไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$)

ตารางที่ 4-36 ลักษณะเนื้อสัมผัสของถั่วดาวอินคาสดที่เติมแป้งถั่วอินคาที่ผ่านการลดกลั่นถั่วโดยการให้ความร้อนและไม่ผ่านการลดกลั่นถั่ว

ชนิดแป้งถั่วอินคา	ค่าเฉลี่ย \pm SD		
	Hardness (g)	Spreadability (g.sec)	Adhesiveness (g.sec)
แป้งถั่วดาวอินคาที่ผ่านการลดกลั่นถั่ว	678.49 \pm 16.84 ^b	6858.25 \pm 340.07 ^b	-174.28 \pm 7.38 ^b
แป้งถั่วดาวอินคาที่ไม่ผ่านการลดกลั่นถั่ว	957.78 \pm 30.19 ^a	9472.10 \pm 310.59 ^a	-202.26 \pm 8.93 ^a

^{a, b, ...} หมายถึง ค่าเฉลี่ยในแนวตั้งมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

ตารางที่ 4-37 ความชอบทางประสาทสัมผัสของถั่วดาวอินคาสดที่เติมแป้งถั่วอินคาที่ผ่านการลดกลิ่นถั่ว โดยการใช้ความร้อนและไม่ผ่านการลดกลิ่นถั่ว

ชนิดแป้งถั่วอินคา	คะแนนความชอบเฉลี่ย \pm SD					ความชอบโดยรวม
	การทาบขนนมปัง ^{ns}	สี ^{ns}	กลิ่น	รสชาติ ^{ns}	เนื้อสัมผัส ^{ns}	
แป้งถั่วอินคาที่ผ่านการลดกลิ่นถั่ว	7.30 \pm 0.47	7.07 \pm 0.58	7.63 \pm 0.49 ^a	6.37 \pm 0.56	6.20 \pm 0.49	7.73 \pm 0.58 ^a
แป้งถั่วอินคาที่ไม่ผ่านการลดกลิ่นถั่ว	7.13 \pm 0.51	7.17 \pm 0.65	4.73 \pm 0.45 ^b	6.30 \pm 0.53	6.13 \pm 0.53	4.93 \pm 0.45 ^b

^{ns} หมายถึง ค่าเฉลี่ยในแนวตั้งไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \geq 0.05$)

^{a, b, ...} หมายถึง ค่าเฉลี่ยในแนวตั้งมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

บทที่ 5

อภิปรายและสรุปผล

อภิปรายผลการวิจัย

5.1 ผลการศึกษาหาวิธีการลดกลิ่นฉุนของแป้งถั่วดาวอินคาที่เหมาะสม

5.1.1 ผลของการลดกลิ่นฉุนโดยการใช้ความร้อนด้วยไมโครเวฟร่วมกับตู้อบลมร้อนต่อคุณภาพของแป้งถั่วดาวอินคา

ขั้นตอนนี้เป็นการศึกษาผลของการใช้ไมโครเวฟร่วมกับการใช้ตู้อบลมร้อนต่อคุณภาพของแป้งถั่วดาวอินคา และคัดเลือกสภาวะที่เหมาะสมของการให้ความร้อนเพื่อลดกลิ่นฉุน โดยศึกษา 3 ปัจจัย ได้แก่ ปัจจัยที่ 1 เวลาการให้ความร้อนด้วยไมโครเวฟ 0 - 180 วินาที ปัจจัยที่ 2 อุณหภูมิการให้ความร้อนด้วยตู้อบลมร้อน 65 - 95°C และปัจจัยที่ 3 เวลาการให้ความร้อนด้วยตู้อบลมร้อน 5 - 15 นาที แล้วนำแป้งถั่วดาวอินคาที่ได้ มาวิเคราะห์ค่าคุณภาพ ได้แก่ ปริมาณความชื้น ค่าสี L* a* b* ค่า Whiteness กิจกรรมของเอนไซม์ Lipooxygenase (LOX) และความเข้มกลิ่นฉุน

ผลการวิเคราะห์คุณภาพของแป้งถั่วดาวอินคา พบว่า แป้งถั่วดาวอินคาที่ผ่านการให้ความร้อนในสภาวะต่าง ๆ มีปริมาณความชื้น ค่าสี L* a* b* ค่า Whiteness กิจกรรมของเอนไซม์ Lipooxygenase (LOX) และความเข้มกลิ่นฉุนแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) โดยแป้งถั่วดาวอินคาที่ได้ทุกสิ่งทดลองมีปริมาณความชื้นต่ำกว่า 8% (ตารางที่ 4-1) โดยมีปริมาณความชื้นอยู่ในช่วง 2.94-6.10% ทั้งนี้เนื่องจากปริมาณความชื้นเริ่มต้นของแป้งถั่วดาวอินคาก่อนข้างต่ำ คือประมาณ 6.31% การให้ความร้อนด้วยไมโครเวฟร่วมกับตู้อบลมร้อน จึงมีผลให้เกิดการระเหยของน้ำได้มาก รวมทั้งแป้งถั่วดาวอินคามีอนุภาคขนาดเล็ก (ขนาด 20 เมช) จึงมีพื้นที่ผิวมาก น้ำจึงมีโอกาสระเหยได้อย่างรวดเร็ว การให้ความร้อนด้วยไมโครเวฟในระดับสูง ร่วมกับการให้ความร้อนด้วยตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิต่ำและเวลาการให้ความร้อนด้วยตู้อบลมร้อนในระดับสูง (1, -1, 1) ในสิ่งทดลองที่ 6 มีผลให้แป้งถั่วดาวอินคาที่ได้มีค่า Whiteness (76.03) สูงที่สุด ($p < 0.05$) (ตารางที่ 4-2) ทั้งนี้เนื่องจากการให้ความร้อนมีผลให้เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของสารพวกแคโรทีนอยด์ที่อยู่ในแป้งถั่วดาวอินคาซึ่งมีผลให้แคโรทีนอยด์ที่มีสีเหลืองซีดจางลง (รัชณี ดันตพพานิชกุล, 2535) จึงมีโอกาสนำให้แป้งถั่วดาวอินคามีสีขาวเพิ่มมากขึ้น และการให้ความร้อนด้วยไมโครเวฟในระดับปานกลาง ร่วมกับการให้ความร้อนด้วยตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิสูงที่สุดและเวลาการให้ความร้อนด้วยตู้อบลมร้อนในระดับปานกลาง (0, 1.682, 0) ในสิ่งทดลองที่ 12 มีผลให้แป้งถั่วดาวอินคาที่ได้มีกิจกรรมของเอนไซม์ Lipooxygenase ต่ำที่สุด ($p < 0.05$) และได้รับคะแนนความเข้มกลิ่นฉุน

ต่ำที่สุด ($p < 0.05$) (ตารางที่ 4-3) ทั้งนี้เนื่องจากเอนไซม์ Lipoxygenase เป็น โปรตีน เมื่อสัมผัสกับความร้อนจะมีโอกาสเกิดการเสียสภาพธรรมชาติ เอนไซม์จึงไม่สามารถทำงานได้หรือทำงานได้ไม่สมบูรณ์ จึงมีผลให้กิจกรรมของเอนไซม์ Lipoxygenase ลดลง ส่งผลให้ได้รับคะแนนความเข้มกลืนต่ำลงด้วย (คัตนางค์ ทองสุก, 2542; Baysal & Demirdoven, 2007)

จากผลการถดถอยแบบพหุแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณความชื้น ค่า Whiteness กิจกรรมของเอนไซม์ Lipoxygenase และความเข้มกลืนต่ำ ของแป้งถั่วดาวอินคากับเวลาการให้ความร้อนด้วยไมโครเวฟ อุณหภูมิการให้ความร้อนด้วยตู้อบลมร้อน และเวลาการให้ความร้อนด้วยตู้อบลมร้อน (ตารางที่ 4-4) สามารถพิจารณาความน่าเชื่อถือของสมการจากค่า R^2 ซึ่งเป็นค่าที่บ่งบอกถึงสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ ค่า p-value แสดงถึงการมีนัยสำคัญของสมการ ซึ่งบอกความสัมพันธ์ระหว่างค่า Y และค่า X โดยการทดลองนี้กำหนดให้ Y คือตัวแปรตามที่วิเคราะห์ (ปริมาณความชื้น ค่า Whiteness กิจกรรมของเอนไซม์ Lipoxygenase และความเข้มกลืนต่ำ) และ X คือ ตัวแปรต้นที่ศึกษา (เวลาการให้ความร้อนด้วยไมโครเวฟ อุณหภูมิการให้ความร้อนด้วยตู้อบลมร้อน และเวลาการให้ความร้อนด้วยตู้อบลมร้อน)

ผลการวิเคราะห์สมการถดถอยแบบพหุ พบว่า ทุกสมการ ได้แก่ สมการของปริมาณความชื้น ค่า Whiteness กิจกรรมของเอนไซม์ Lipoxygenase และความเข้มกลืนต่ำ มีค่า R^2 มากกว่า 0.75 มีค่า p-value แสดงถึงการมีนัยสำคัญของสมการ น้อยกว่า 0.05 แสดงให้เห็นว่าเป็นสมการที่มีความน่าเชื่อถือตามเกณฑ์ (Hu, 1999) โดยสมการที่ได้ทั้งหมดมีรูปแบบความสัมพันธ์เหมือนกัน กล่าวคือมีเทอมของความสัมพันธ์เชิงเส้นตรง (Linear effect) ความสัมพันธ์เชิงเส้นโค้ง (Quadratic Effect) และอิทธิพลร่วมระหว่างปัจจัย (Interaction effect) ซึ่งจัดเป็นสมการถดถอยในรูปแบบพหุคูณ (Multiple Regression model) เมื่อพิจารณารูปสมการที่ได้สามารถอธิบายความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรต้นที่ศึกษากับตัวแปรตามที่วิเคราะห์ได้ดังนี้ สำหรับสมการปริมาณความชื้น ค่า Whiteness กิจกรรมของเอนไซม์ Lipoxygenase และความเข้มกลืนต่ำ มีรูปแบบความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรต้นกับตัวแปรตามที่วิเคราะห์ในรูปแบบสมการเทอมกำลังหนึ่ง (X_1, X_2, X_3) เทอมกำลังสอง (X_1^2, X_2^2, X_3^2) และเทอมที่มีอิทธิพลร่วมกัน (X_1X_2, X_1X_3, X_2X_3) โดยเมื่อพิจารณาที่ค่าสัมประสิทธิ์ของ X_1, X_2, X_3 ของสมการปริมาณความชื้น กิจกรรมของเอนไซม์ Lipoxygenase และคะแนนความเข้มกลืนต่ำ พบว่า มีค่าสัมประสิทธิ์เป็นลบ แสดงให้เห็นว่า เมื่อเพิ่มค่า X_1 คือ เวลาการให้ความร้อนด้วยไมโครเวฟ X_2 คือ อุณหภูมิการให้ความร้อนด้วยตู้อบลมร้อน และ X_3 คือ เวลาการให้ความร้อนด้วยตู้อบลมร้อน มีแนวโน้มให้ค่า Y คือ ค่าที่วิเคราะห์ ได้แก่ ปริมาณความชื้น กิจกรรมของเอนไซม์ Lipoxygenase และคะแนนความเข้มกลืนต่ำลดลง สำหรับสมการของค่า Whiteness พบว่า ค่าสัมประสิทธิ์ของ X_1 เป็นบวก เมื่อเพิ่มค่า X_1 คือ เวลาการให้ความร้อนด้วย

ไมโครเวฟ มีแนวโน้มให้ค่า Y คือ ค่า Whiteness เพิ่มขึ้น ขณะที่ค่าสัมประสิทธิ์ของ X_2 และ X_3 เป็นลบ แสดงให้เห็นว่า เมื่อเพิ่มค่า X_2 คือ อุณหภูมิการให้ความร้อนด้วยตู้อบลมร้อน และ X_3 คือ เวลาการให้ความร้อนด้วยตู้อบลมร้อน มีแนวโน้มให้ค่า Whiteness ลดลง

จากการทวนสอบความแม่นยำของสมการที่ทำนายได้ โดยดำเนินการทดลองซ้ำและเปรียบเทียบค่าตอบสนองที่ได้จากการทดลอง (Y_{ex}) และค่าตอบสนองที่ได้จากการทำนาย (Y_{pred}) รวมทั้งคำนวณค่า Root Mean Square (RMS) ซึ่งบ่งบอกถึงความคลาดเคลื่อนของการทำนาย จากการใช้สมการ พบว่า ค่า RMS ของทุกสมการ ได้แก่ สมการของปริมาณความชื้น ค่า Whiteness กิจกรรมของเอนไซม์ Lipoxygenase และความเข้มข้นของน้ำ มีค่าต่ำกว่า 20% แสดงว่า ค่าที่ได้จากการทำนายมีความคลาดเคลื่อนจากค่าจริงน้อย (Julian, 2004)

เพื่อให้การสร้างกราฟพื้นผิวการตอบสนองแสดงการอธิบายความสัมพันธ์ระหว่าง ปริมาณความชื้น ค่า Whiteness กิจกรรมของเอนไซม์ Lipoxygenase และความเข้มข้นของน้ำ กับค่าคุณภาพมากที่สุด ได้อย่างชัดเจนจึงพิจารณาปัจจัยที่มีผลต่อค่าคุณภาพมากที่สุด โดยพิจารณาจาก ค่า p -value สำหรับค่า t ของค่าสัมประสิทธิ์ของตัวแปร X_1 , X_2 และ X_3 ของในแต่ละสมการร่วมกับการพิจารณาค่าสัมประสิทธิ์หน้าตัวแปร X_1 , X_2 และ X_3 พบว่า ปัจจัยที่มีผลต่อค่าคุณภาพมากที่สุด ได้แก่ ตัวแปร X_1 คือ เวลาการให้ความร้อนด้วยไมโครเวฟ และตัวแปร X_2 คือ อุณหภูมิการให้ความร้อนด้วยตู้อบลมร้อน เนื่องจากค่าสัมประสิทธิ์หน้าตัวแปร X_1 และ X_2 ที่มีค่ามาก แสดงให้เห็นว่า มีอิทธิพลต่อค่า Y สูง สอดคล้องกับที่ อิศรพงษ์ พงษ์ศิริกุล (2544) กล่าวไว้ว่าในการพิจารณาอิทธิพลของตัวแปรต้น (X) ที่มีต่อตัวแปรตาม (Y) สามารถพิจารณาได้จากค่าสัมประสิทธิ์หรือค่าคงที่หน้าตัวแปร X หากสัมประสิทธิ์ของตัวแปรสูงกว่าตัวแปรอื่น แสดงว่า ตัวแปรนั้นมีอิทธิพลต่อค่า Y สูงกว่าตัวแปรอื่น (ไม่คิดเครื่องหมายบวกหรือลบ เครื่องหมายดังกล่าวแสดงว่ามีความสัมพันธ์แบบแปรตามกันหรือแปรผกผันกัน ตามลำดับ) นอกจากนี้ยังสามารถพิจารณาจากค่า p -value สำหรับค่า t ของค่าสัมประสิทธิ์ของตัวแปร หากค่า p -value น้อยกว่าระดับนัยสำคัญที่ทดสอบ หมายถึง ค่าสัมประสิทธิ์ของตัวแปรนั้นมีนัยสำคัญในการอธิบายค่า Y จากผลการวิเคราะห์ในงานวิจัยนี้พบว่า แนวโน้มค่า p -value สำหรับค่า t ของค่าสัมประสิทธิ์ของตัวแปร X_1 และ X_2 มีค่าน้อยกว่า 0.05 แต่แนวโน้มค่า p -value สำหรับค่า t ของค่าสัมประสิทธิ์ของตัวแปร X_3 มีค่ามากกว่า 0.05 (ภาคผนวก จ-8 ถึง จ-11) แสดงให้เห็นว่า ตัวแปร X_1 และ X_2 มีอิทธิพลต่อค่า Y มากกว่าตัวแปร X_3 จึงสรุปได้ว่าปัจจัยที่มีผลต่อค่าคุณภาพมากที่สุด ได้แก่ ตัวแปร X_1 คือ เวลาการให้ความร้อนด้วยไมโครเวฟ และตัวแปร X_2 คือ อุณหภูมิการให้ความร้อนด้วยตู้อบลมร้อน จึงควรนำปัจจัย X_1 และ X_2 นี้มาสร้างกราฟพื้นผิวตอบสนอง แล้วกำหนดให้ค่า X_3 คือ เวลาการให้ความร้อนด้วยตู้อบลมร้อนเป็นค่าคงที่

เมื่อนำสมการทั้งหมดมาสร้างกราฟพื้นผิวการตอบสนอง สามารถพิจารณาได้ดังนี้ ภาพที่ 4-1 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณความชื้นของแป้งถั่วดาวอินคา กับเวลาการให้ความร้อนด้วยไมโครเวฟและอุณหภูมิการให้ความร้อนด้วยตู้อบลมร้อน เมื่อกำหนดให้เวลาการให้ความร้อนด้วยตู้อบลมร้อนคงที่ พบแนวโน้มว่า เมื่อใช้เวลานานการให้ความร้อนด้วยไมโครเวฟในระดับต่ำร่วมกับอุณหภูมิการให้ความร้อนด้วยตู้อบลมร้อนในระดับต่ำ มีผลให้แป้งถั่วดาวอินคา มีปริมาณความชื้นสูง (เช่น สังเกตได้จากพื้นที่สีม่วง มีปริมาณความชื้นมากกว่า 6%) ในขณะที่เมื่อเพิ่มเวลาการให้ความร้อนด้วยไมโครเวฟ และเพิ่มอุณหภูมิการให้ความร้อนด้วยตู้อบลมร้อน มีผลให้แป้งถั่วดาวอินคา มีปริมาณความชื้นลดลง (เช่น สังเกตได้จากบริเวณพื้นที่สีน้ำตาลแดง มีปริมาณความชื้นน้อยกว่า 2%) ทั้งนี้เนื่องจากเป็นสภาวะที่รุนแรงในการให้ความร้อน โดยการให้ความร้อนด้วยไมโครเวฟทำให้น้ำภายในโมเลกุลของแป้งถั่วดาวอินคาเกิดการสั่นสะเทือนและร้อนอย่างรวดเร็ว จึงทำให้น้ำระเหยออกจากแป้งถั่วดาวอินคาได้มาก การใช้เวลานานการให้ความร้อนเพิ่มมากขึ้นเป็นการเพิ่มโอกาสให้น้ำระเหยออกไปได้มาก รวมถึงการเพิ่มอุณหภูมิการให้ความร้อนด้วยตู้อบลมร้อนทำให้แป้งถั่วดาวอินคา มีโอกาสสัมผัสกับความร้อนที่สูง จึงทำให้น้ำระเหยออกจากแป้งถั่วดาวอินคาได้มากและเร็วขึ้น ปริมาณความชื้นจึงลดลงได้มากขึ้น

แป้งถั่วดาวอินคา มีสีออกเหลืองเนื่องจากมีรงควัตถุพวกแคโรทีนอยด์เป็นองค์ประกอบ (Chirinos et al., 2013) การสัมผัสกับความร้อนหรืออากาศมีโอกาสดังกล่าวออกซิเดชันของสารพวกแคโรทีนอยด์ ซึ่งมีโครงสร้างเป็นพันธะคู่จำนวนมาก เมื่อถูกออกซิไดซ์จึงทำให้โครงสร้างของแคโรทีนอยด์เปลี่ยนไป โซเมอร์จากทรานส์ (Trans) ไปเป็นซิส (Cis) ซึ่งเป็นโครงสร้างแคโรทีนอยด์ที่มีสีเหลืองจางลง (รัชนี คัตนพาทนิชกุล, 2535) นั้นแสดงว่าแป้งถั่วดาวอินคาจะมีโอกาสให้สีเหลืองจางลงหรือมีความสว่างมากขึ้นเมื่อสัมผัสกับความร้อนสูงหรือสัมผัสกับอากาศเป็นเวลานาน จากภาพที่ 4-2 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า Whiteness ของแป้งถั่วดาวอินคา กับเวลาการให้ความร้อนด้วยไมโครเวฟและอุณหภูมิการให้ความร้อนด้วยตู้อบลมร้อน เมื่อกำหนดให้เวลาการให้ความร้อนด้วยตู้อบลมร้อนคงที่ พบว่า แป้งถั่วดาวอินคาจะมีค่า Whiteness มาก (เช่น สังเกตได้จากพื้นที่สีม่วง มีค่า Whiteness มากกว่า 75.5) เมื่อใช้อุณหภูมิการให้ความร้อนด้วยตู้อบลมร้อนในระดับสูง แม้ใช้เวลาการให้ความร้อนด้วยตู้อบลมร้อนที่ระดับต่ำ (ค่ารหัส = -1.682) ในทุกระดับของการให้ความร้อนด้วยไมโครเวฟ และแป้งถั่วดาวอินคาจะมีค่า Whiteness มาก เมื่อใช้เวลาการให้ความร้อนด้วยไมโครเวฟในระดับสูง ร่วมกับการใช้เวลาการให้ความร้อนด้วยตู้อบลมร้อนที่ระดับกึ่งกลาง (ค่ารหัส = 0) แม้ใช้อุณหภูมิการให้ความร้อนด้วยตู้อบลมร้อนที่ระดับต่ำ รวมทั้งแป้งถั่วดาวอินคาจะมีค่า Whiteness มาก เมื่อใช้เวลาการให้ความร้อนด้วยตู้อบลมร้อนที่

ระดับสูง (ค่ารหัส = 1.682) แม้ใช้อุณหภูมิการให้ความร้อนด้วยตู้อบลมร้อนในระดับต่ำ ในทุกระดับของการให้ความร้อนด้วยไมโครเวฟ

จากภาพที่ 4-3 เมื่อพิจารณาด้านกิจกรรมของเอนไซม์ Lipoxygenase พบว่า เมื่อเพิ่มเวลาในการให้ความร้อนด้วยไมโครเวฟร่วมกับการใช้อุณหภูมิการให้ความร้อนด้วยตู้อบลมร้อน ทุกระดับมีผลให้แป้งถั่วดาวอินคามีกิจกรรมของเอนไซม์ Lipoxygenase ลดลง (เช่น สังเกตได้จากพื้นที่สีน้ำตาลแดง มีกิจกรรมของเอนไซม์ Lipoxygenase น้อยกว่า 500 Unit/ml) และจากภาพที่ 4-4 เมื่อพิจารณาด้านความเข้มข้นถั่ว พบว่าเมื่อเพิ่มเวลาในการให้ความร้อนด้วยไมโครเวฟ และเพิ่มอุณหภูมิการให้ความร้อนด้วยตู้อบลมร้อน มีผลให้แป้งถั่วดาวอินคามีความเข้มข้นถั่วลดลง (เช่น สังเกตได้จากพื้นที่สีน้ำตาลแดง มีความเข้มข้นถั่ว น้อยกว่า 1) แสดงให้เห็นว่า การให้ความร้อนที่สภาวะดังกล่าวสามารถยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ Lipoxygenase ได้ สอดคล้องกับที่ Baysal and Demirdoven (2007) กล่าวว่า การให้ความร้อนที่อุณหภูมิตั้งแต่ 60°C ขึ้นไป สามารถยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ Lipoxygenase ได้ ทั้งนี้เนื่องจากการให้ความร้อนกับแป้งถั่วดาวอินคามีผลให้เอนไซม์ Lipoxygenase ซึ่งเป็น โปรตีนเสถียรภาพธรรมชาติ ตามหลักการทำงานของไมโครเวฟมีผลให้โมเลกุลของน้ำภายในอาหารเกิดการสั่นสะเทือนและเกิดความร้อน ซึ่งในงานวิจัยนี้ใช้กำลังไฟฟ้าในขั้นตอนไมโครเวฟถึง 900 W จึงมีความรุนแรงมากเพียงพอให้น้ำในแป้งถั่วดาวอินคาเกิดการสั่นสะเทือนและเกิดความร้อนได้สูงขึ้นอย่างรวดเร็ว Jiang et al. (2016) ปรับปรุงกลิ่นถั่วของแป้งถั่วปากอ้า โดยการนำเมล็ดถั่วปากอ้ามาให้ความร้อนด้วยไมโครเวฟที่ 950 W เป็นเวลา 1, 1.5, 2, 3 และ 4 นาที ผลการทดลอง พบว่า การให้ความร้อนด้วยไมโครเวฟ 950 W ทำให้ถั่วปากอ้าได้รับความร้อนอย่างรวดเร็วจากอุณหภูมิห้องถึง 90°C ในช่วง 1 นาทีแรก เมื่อเวลาผ่านไป 1.5 นาที ทำให้อุณหภูมิเพิ่มขึ้นถึง 116°C และมีความชื้นลดลงจาก 11.8% เป็น 10.1% และเมื่อเวลาผ่านไป 4 นาที ทำให้มีอุณหภูมิสูงถึง 170°C และความชื้นลดลงเหลือ 3.0% เมื่อเทียบกับการอบแห้งแบบดั้งเดิมที่อุณหภูมิ 170°C นาน 30 นาที โดยผลการวิเคราะห์ค่ากิจกรรมของเอนไซม์ Lipoxygenase และ Peroxidase พบว่า การให้ความร้อนด้วยไมโครเวฟเป็นระยะเวลา 1 นาที ทำให้กิจกรรมของเอนไซม์ Lipoxygenase และ Peroxidase ลดลง 50% และ 60% ตามลำดับ และเมื่อให้ความร้อนนานยิ่งขึ้นเป็นระยะเวลา 1.5 นาที ไม่พบค่ากิจกรรมของเอนไซม์ Lipoxygenase และ Peroxidase แสดงถึงไม่มีกิจกรรมของเอนไซม์เหลืออยู่ Shin et al. (2013) รายงานว่า การลดกลิ่นถั่วของแป้งถั่วเหลืองโดยการใช้ความร้อน มีแนวโน้มว่าค่ากิจกรรมของเอนไซม์ Lipoxygenase กับความเข้มข้นถั่วที่ทดสอบทางประสาทสัมผัสเป็นไปในทางเดียวกัน กล่าวคือ ค่ากิจกรรมของเอนไซม์ Lipoxygenase ของแป้งถั่วเหลืองที่ไม่ผ่านการลดกลิ่นถั่ว แป้งถั่วเหลืองที่ผ่านการนึ่ง และแป้งถั่วเหลืองที่ผ่านการคั่ว มีค่ากิจกรรมของเอนไซม์ Lipoxygenase เท่ากับ 279, 106 และ

69.1 Unit/g ตามลำดับ ซึ่งมีค่าลดลงสอดคล้องกับคะแนนความเข้มกลิ่นถั่วที่มีค่าเท่ากับ 6.87, 4.87 และ 3.50 ตามลำดับ

ผลจากการสร้างกราฟพื้นผิวตอบสนองเหล่านี้ จะเห็นได้ว่ามีประโยชน์ในการอธิบาย แนวโน้มความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรต้นที่ศึกษากับตัวแปรตามที่วิเคราะห์ โดยสามารถ แสดงให้เห็นถึงแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงของค่าคุณภาพที่สนใจ เมื่อระดับของปัจจัยที่ศึกษา เปลี่ยนแปลงไป นอกจากนี้กราฟพื้นผิวตอบสนองที่ได้สามารถนำมาใช้ในการเลือกสภาวะ ที่เหมาะสม (Optimization) ที่ทำให้ได้ค่าของตัวแปรตามที่วิเคราะห์หรือค่าคุณภาพที่สนใจที่ดีที่สุด ซึ่งสามารถดำเนินการโดยการกำหนดเกณฑ์ของตัวแปรตามที่วิเคราะห์หรือค่าคุณภาพต่างๆ ที่สนใจ เพื่อหาช่วงที่เหมาะสมของตัวแปรต้นที่ศึกษาซึ่งทำให้ได้ค่าคุณภาพต่างๆ อยู่ในเกณฑ์ ที่กำหนดไว้ เมื่อได้พื้นที่ที่ต้องการแล้ว จึงอาศัยเทคนิคการซ้อนทับกราฟพื้นผิวตอบสนอง เพื่อพิจารณาสภาวะที่เหมาะสมได้จากพื้นที่ที่ซ้อนทับกัน

จากการกำหนดให้ค่า X_3 คือ เวลาการให้ความร้อนด้วยตู้อบลมร้อนเป็นค่าคงที่ที่ระดับ ต่างๆ ได้แก่ ระดับต่ำ (ค่ารหัส = -1.682) จุดกึ่งกลาง (ค่ารหัส = 0) และระดับสูง (ค่ารหัส = 1.682) จะเห็นได้ว่า เมื่อกำหนดเวลาการให้ความร้อนด้วยตู้อบลมร้อนที่ระดับต่ำ (ค่ารหัส = -1.682) ต้องใช้เวลาในการให้ความร้อนด้วยไมโครเวฟเป็นระยะเวลาาน ร่วมกับการใช้อุณหภูมิสูงในการ ให้ความร้อนด้วยตู้อบลมร้อนจึงจะสามารถยับยั้งกิจกรรมของเอนไซม์ Lipoxygenase ได้ (ภาพที่ 4-3) และได้รับคะแนนความเข้มกลิ่นถั่วต่ำ (ภาพที่ 4-4) ในขณะที่การใช้เวลาในการให้ความร้อน ด้วยตู้อบลมร้อนที่จุดกึ่งกลาง (ค่ารหัส = 0) มีผลให้ใช้เวลาในการให้ความร้อนด้วยไมโครเวฟและ อุณหภูมิการให้ความร้อนด้วยตู้อบลมร้อนต่ำกว่าสภาวะที่กำหนดใช้เวลาในการให้ความร้อนด้วย ตู้อบลมร้อนที่ระดับต่ำ (ค่ารหัส = -1.682) ก็สามารถยับยั้งกิจกรรมของเอนไซม์ Lipoxygenase ได้ (ภาพที่ 4-3) และได้รับคะแนนความเข้มกลิ่นถั่วต่ำ (ภาพที่ 4-4) โดยมีแนวโน้มไม่แตกต่าง จากการกำหนดเวลาการให้ความร้อนด้วยตู้อบลมร้อนที่ระดับสูง (ค่ารหัส = 1.682) ดังนั้น การกำหนดใช้เวลาในการให้ความร้อนด้วยตู้อบลมร้อนที่จุดกึ่งกลาง (ค่ารหัส = 0) จึงน่าจะเพียงพอ ในการยับยั้งกิจกรรมของเอนไซม์ Lipoxygenase ในแป้งถั่วดาวอินคาและทำให้มีกลิ่นถั่วลดลง โดย ได้รับคะแนนความเข้มกลิ่นถั่วต่ำ

จากภาพที่ 4-5 4-6 4-7 และ 4-8 แสดงกราฟพื้นผิวการตอบสนองของปริมาณความชื้น ค่า Whiteness กิจกรรมของเอนไซม์ Lipoxygenase และความเข้มกลิ่นถั่ว ของแป้งถั่วดาวอินคา กับ เวลาการให้ความร้อนด้วยไมโครเวฟและอุณหภูมิการให้ความร้อนด้วยตู้อบลมร้อน เมื่อกำหนดให้ เวลาการให้ความร้อนด้วยตู้อบลมร้อนที่จุดกึ่งกลาง (ค่ารหัส = 0) ตามลำดับ โดยส่วนที่แรเงาเป็น ขอบเขตพื้นที่สำหรับการคัดเลือกหาสภาวะที่เหมาะสมของคุณภาพด้านปริมาณความชื้น

ค่า Whiteness กิจกรรมของเอนไซม์ Lipoxxygenase และความเข้มกลืนถั่ว ที่สัมพันธ์กับเวลาการให้ความร้อนด้วยไมโครเวฟและอุณหภูมิการให้ความร้อนด้วยตู้อบลมร้อน โดยกำหนดว่าแป้งถั่วดาวอินคาต้องมีปริมาณความชื้นต่ำกว่า 8% เพื่อให้สอดคล้องกับข้อกำหนดมาตรฐานของผลิตภัณฑ์เทียบเคียงคือแป้งถั่วเหลือง เนื่องจากมาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน (มพช.) ของแป้งถั่วเหลือง กำหนดไว้ว่าต้องมีปริมาณความชื้นต่ำกว่า 8% มีค่า Whiteness มากกว่าหรือเท่ากับ 74.81 เนื่องจากต้องการให้สีของแป้งถั่วดาวอินคาไม่แตกต่างจากแป้งถั่วดาวอินคาที่ไม่ผ่านการลดกลืนถั่ว (ค่า Whiteness เท่ากับ 74.81) หรือมีสีแป้งที่ขาวขึ้น เพื่อให้มีสีสอดคล้องกับสีที่ผู้บริโภคคุ้นเคยและเป็นที่ยอมรับของผู้บริโภค มีกิจกรรมของเอนไซม์ Lipoxxygenase น้อยกว่าหรือเท่ากับ 143 Unit/ml เนื่องจากเป็นค่าของกิจกรรมของเอนไซม์ Lipoxxygenase ที่เทียบได้กับระดับคะแนนความเข้มกลืนถั่วต่ำ (ได้คะแนนความเข้มกลืนถั่วเท่ากับ 2 คะแนน) ตามผลการทดลองในตารางที่ 4-3 ซึ่งหมายถึงการมีกิจกรรมของเอนไซม์ Lipoxxygenase และความเข้มกลืนถั่วต่ำกว่าตัวอย่าง Control สำหรับการกำหนดเกณฑ์คะแนนความเข้มกลืนถั่วให้อยู่ในระดับน้อยที่สุดเท่ากับ 2 นั้น มีแนวคิดมาจากการที่ผู้ทดสอบได้รับการฝึกฝนในการให้คะแนนความเข้มกลืนถั่วจาก 0 ถึง 5 ซึ่งคะแนน 0 หมายถึง ไม่มีกลืนถั่ว 1 หมายถึง มีความเข้มกลืนถั่วต่ำที่สุด 2 หมายถึง มีความเข้มกลืนถั่วต่ำ 3 หมายถึง มีความเข้มกลืนถั่วปานกลาง 4 หมายถึง มีความเข้มกลืนถั่วมาก และ 5 หมายถึง มีความเข้มกลืนถั่วมากที่สุด การกำหนดความเข้มกลืนถั่วระดับ 2 แสดงถึงยอมให้แป้งถั่วดาวอินคายังคงมีกลืนถั่วได้ในระดับน้อย ซึ่งจากการประชุมระดมสมอง (Brain storming) ระหว่างนักวิจัยและตัวแทนกลุ่มผู้บริโภค จำนวน 10 คน พบว่า นักวิจัยและตัวแทนกลุ่มผู้บริโภคยอมรับและชอบแป้งถั่วดาวอินคาในระดับนี้แล้ว รวมถึงการลดกลืนถั่วถึงระดับดังกล่าวนี้ มีโอกาสใช้วิธีการลดกลืนถั่วที่ไม่รุนแรงมากเกินไป ซึ่งอาจมีผลให้ยังคงรักษาคุณค่าทางโภชนาการและสารพฤกษเคมีต่างๆ ที่อยู่ในแป้งถั่วดาวอินคาไว้ได้ นอกจากนี้การนำแป้งถั่วดาวอินคาไปใช้เป็นส่วนผสมในผลิตภัณฑ์อาหาร มักมีโอกาใช้ส่วนผสมอื่นร่วมด้วยซึ่งอาจมีผลให้กลบกลืนถั่วหรือทำให้กลืนถั่วจางลงได้ ดังนั้นการกำหนดเกณฑ์คะแนนความเข้มกลืนถั่วให้อยู่ในระดับน้อยเท่ากับ 2 จึงเพียงพอและเหมาะสม ซึ่งงานวิจัยนี้จะมีการศึกษาความเป็นไปได้ในการนำแป้งถั่วดาวอินคาที่ผ่านการลดกลืนถั่วไปใช้เป็นส่วนผสมในผลิตภัณฑ์อาหารเพื่อสุขภาพต่อไป

เมื่อนำพื้นที่ผิวการตอบสนองในภาพที่ 4-5 4-6 4-7 และ 4-8 มาซ้อนทับกัน จะได้พื้นที่ผิวการตอบสนองที่ทำให้ได้ค่าคุณภาพของแป้งถั่วดาวอินคาตามที่กำหนดไว้ จากภาพที่ 4-9 พบว่า การใช้เวลาการให้ความร้อนด้วยไมโครเวฟอยู่ในช่วง 133.285 ถึง 180.000 (ค่ารหัส 0.787 ถึง 1.682) และอุณหภูมิการให้ความร้อนด้วยตู้อบลมร้อนอยู่ในช่วง 65.000 ถึง 72.740 (ค่ารหัส -1.682 ถึง -0.726) เมื่อกำหนดให้เวลาการให้ความร้อนด้วยตู้อบลมร้อนที่จุดกึ่งกลาง (ค่ารหัส = 0, ค่าจริง =

10 นาที) ทำให้ได้แป้งถั่วดาวอินคาที่มีปริมาณความชื้นต่ำกว่า 8% มีค่า Whiteness อยู่ในช่วง 73.48 ถึง 76.27 มีกิจกรรมของเอนไซม์ Lipoxygenase อยู่ในช่วง 70.00 ถึง 126.67 Unit/ml และได้รับคะแนนความเข้มกลิ่นถั่วในช่วง 1.80 ถึง 1.90

งานวิจัยในขั้นตอนนี้ต้องการหาสภาวะการให้ความร้อนที่เหมาะสมที่สุดในการลดกลิ่นถั่วของแป้งถั่วดาวอินคา เพื่อคัดเลือกรูปแบบที่เหมาะสมในการให้ความร้อน จึงพิจารณาที่จุดมูมรวมถึงจุดกึ่งกลาง ซึ่งแสดงขอบเขตของพื้นที่ที่ได้จากการซ้อนทับกัน ได้สภาวะการให้ความร้อนจำนวน 5 สภาวะ (จากจุดมูม 4 จุด และจุดกึ่งกลาง 1 จุด) แต่อย่างไรก็ตามระดับเวลาการให้ความร้อนด้วยไมโครเวฟและอุณหภูมิการให้ความร้อนด้วยตู้อบลมร้อนที่ได้จากกราฟทั้ง 5 สภาวะมีความละเอียดมาก อาจไม่เอื้อกับการปฏิบัติการทดลองจริง ดังนั้นเพื่อให้เกิดความสะดวกในการดำเนินการทดลองจริง จึงมีการปรับเวลาการให้ความร้อนด้วยไมโครเวฟและอุณหภูมิการให้ความร้อนด้วยตู้อบลมร้อน ได้รายละเอียดตามตารางที่ 4-5 จากนั้นทำการทดลองตามสภาวะที่เลือกได้เพื่อหาสภาวะการให้ความร้อนที่เหมาะสมที่สุดโดยวิเคราะห์คุณภาพแป้งถั่วดาวอินคาที่ได้เปรียบเทียบกับ Control คือ แป้งถั่วดาวอินคาที่ไม่ผ่านการลดกลิ่นถั่ว

จากการวิเคราะห์คุณภาพแป้งถั่วดาวอินคาที่ผ่านและไม่ผ่านการให้ความร้อนเพื่อลดกลิ่นถั่ว ได้แก่ ปริมาณความชื้น ค่า Whiteness กิจกรรมของเอนไซม์ Lipoxygenase และความเข้มกลิ่นถั่ว ผลการทดลองแสดงดังตารางที่ 4-6 พบว่า สิ่งทดลองทั้ง 5 สภาวะ มีปริมาณความชื้นต่ำกว่า 8% มีกิจกรรมของเอนไซม์ Lipoxygenase และความเข้มกลิ่นถั่วต่ำกว่าตัวอย่าง Control ($p < 0.05$) โดยสิ่งทดลองที่ 4 การใช้เวลาการให้ความร้อนด้วยไมโครเวฟ 180 วินาที (ค่ารหัส 1.682) ร่วมกับการใช้อุณหภูมิการให้ความร้อนด้วยตู้อบลมร้อนเท่ากับ 65°C (ค่ารหัส -1.682) และเวลาการให้ความร้อนด้วยตู้อบลมร้อนเท่ากับ 10 นาที (ค่ารหัส 0.000) มีผลให้ได้แป้งถั่วดาวอินคาที่มีปริมาณความชื้น (3.31%) มีกิจกรรมของเอนไซม์ Lipoxygenase (70.00 Unit/ml) ได้รับคะแนนความเข้มกลิ่นถั่ว (1.70) ต่ำที่สุด และมีค่า Whiteness (76.27) สูงที่สุด

จากการคำนวณค่า Root Mean Square (RMS) เพื่อทวนสอบความแม่นยำของสมการ ปริมาณความชื้น ค่า Whiteness กิจกรรมของเอนไซม์ Lipoxygenase และความเข้มกลิ่นถั่ว แสดงดังตารางที่ 4-7 4-8 4-9 และ 4-10 ตามลำดับ พบว่า ค่า RMS ของการใช้สมการปริมาณความชื้น ค่า Whiteness กิจกรรมของเอนไซม์ Lipoxygenase และความเข้มกลิ่นถั่ว เท่ากับ 6.96% 1.06% 19.51% และ 19.13% ตามลำดับ ซึ่งมีค่าต่ำกว่า 20% แสดงให้เห็นว่าสมการมีความน่าเชื่อถือและมีความแม่นยำในการทำนายค่า (Julian, 2004) เนื่องจากค่าที่ได้จากการทำนายมีความคลาดเคลื่อนจากค่าจริงน้อย

นอกจากนี้การใช้ฟังก์ชันความพึงพอใจ (Desirability Function) เป็นหนึ่งในวิธีการที่เป็นที่นิยมมากที่สุดในการหาสภาวะที่เหมาะสม (Optimization) ของ Multi-response surface โดยกำหนดให้ค่าฟังก์ชันความพึงพอใจ (d_i) มีค่าระหว่าง 0 ถึง 1 โดยที่ $d_i(Y_i) = 0$ หมายถึง ค่าที่ไม่ต้องการมากที่สุดของ Y_i และ $d_i(Y_i) = 1$ หมายถึง ค่าที่ต้องการมากที่สุดของ Y_i สำหรับค่าเฉลี่ยความพึงพอใจรวม (D) จะใช้แทนความพึงพอใจรวมของทั้ง Multiple-response (Derringer & Suich, 1980) จากภาพที่ 4-10 จะเห็นได้ว่า สภาวะที่เหมาะสมที่สุด คือ การใช้เวลาการให้ความร้อนด้วยไมโครเวฟ 180 วินาที (ค่ารหัส 1.682) ร่วมกับการใช้อุณหภูมิการให้ความร้อนด้วยตู้อบลมร้อนเท่ากับ 65°C (ค่ารหัส -1.682) และเวลาการให้ความร้อนด้วยตู้อบลมร้อนเท่ากับ 10 นาที (ค่ารหัส 0.000) โดยมีค่าทำนายปริมาณความชื้น เท่ากับ 3.50% (ค่าความพึงพอใจ เท่ากับ 0.82) ค่า Whiteness เท่ากับ 75.80 (ค่าความพึงพอใจ เท่ากับ 0.90) กิจกรรมของเอนไซม์ Lipoxygenase เท่ากับ 112.72 Unit/ml (ค่าความพึงพอใจ เท่ากับ 0.97) และคะแนนความเข้มกลิ่นถั่ว เท่ากับ 1.53 (ค่าความพึงพอใจ เท่ากับ 0.79) โดยมีค่าความพึงพอใจรวม (D) เท่ากับ 0.87

จากเกณฑ์ในการพิจารณาเลือกสภาวะที่เหมาะสมที่สุด จากการวิเคราะห์คุณภาพของแป้งถั่วดาวอินคา ได้แก่ ปริมาณความชื้น ค่า Whiteness กิจกรรมของเอนไซม์ Lipoxygenase และความเข้มกลิ่นถั่ว และจากการใช้ฟังก์ชันความพึงพอใจ พบว่า สิ่งทดลองที่ 4 คือ การใช้เวลาการให้ความร้อนด้วยไมโครเวฟ 180 วินาที ร่วมกับการใช้อุณหภูมิการให้ความร้อนด้วยตู้อบลมร้อนเท่ากับ 65°C และเวลาการให้ความร้อนด้วยตู้อบลมร้อนเท่ากับ 10 นาที เป็นสภาวะการให้ความร้อนในการลดกลิ่นถั่วที่เหมาะสมที่สุด จากผลการทดลองให้ความร้อนตามสภาวะที่เลือกได้นี้ พบว่า ได้แป้งถั่วดาวอินคาที่มีปริมาณความชื้นต่ำ (3.31%) มีค่า Whiteness (76.27) ซึ่งขาวมากกว่าตัวอย่าง Control (74.81) รวมถึงมีกิจกรรมของเอนไซม์ Lipoxygenase (70.00 Unit/ml) และได้รับคะแนนความเข้มกลิ่นถั่ว (1.70) ต่ำที่สุด

5.1.2 ผลของการลดกลิ่นถั่วโดยการใช้สารเคมีต่อคุณภาพของแป้งถั่วดาวอินคา

ขั้นตอนนี้ศึกษาผลของชนิดและความเข้มข้นของสารละลายที่ใช้แช่แป้งถั่วดาวอินคา เพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมในการลดกลิ่นถั่ว โดยสารเคมีที่ใช้ได้แก่ 1) สารละลาย EDTA ความเข้มข้น 100 120 และ 140 mmol/L 2) สารละลาย Citric acid ความเข้มข้น 0.1 0.3 และ 0.5% 3) สารละลาย Propyl gallate ความเข้มข้น 0.1 0.3 และ 0.5% เปรียบเทียบกับแป้งถั่วดาวอินคาที่ไม่ผ่านการลดกลิ่นถั่ว (Control) ผลการวิเคราะห์คุณภาพของแป้งถั่วดาวอินคา พบว่า ชนิดและความเข้มข้นของสารละลายที่ใช้แช่แป้งถั่วดาวอินคา มีผลทำให้ค่าปริมาณความชื้น ค่าสี $L^* a^* b^*$ ค่า Whiteness กิจกรรมของเอนไซม์ Lipoxygenase (LOX) และความเข้มกลิ่นถั่วแตกต่างกันอย่างมี

นัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) โดยแป้งถั่วดาวอินคาที่ได้ทุกสิ่งทดลองมีปริมาณความชื้นต่ำกว่า 8% ($p < 0.05$) (ตารางที่ 4-11) โดยมีปริมาณความชื้นอยู่ในช่วง 5.24-7.79% แสดงให้เห็นว่าในขั้นตอนการปั่นเหวี่ยงแยกสารละลายออกจากแป้ง และการให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 35°C เป็นเวลา 6 ชั่วโมง เป็นระยะเวลาที่แป้งสัมผัสกับความชื้นได้เพียงพอจึงสามารถลดความชื้นของแป้งลงได้ ซึ่งสอดคล้องกับข้อกำหนดมาตรฐานของผลิตภัณฑ์เทียบเคียงคือแป้งถั่วเหลือง ที่กำหนดไว้ว่าต้องมีปริมาณความชื้นต่ำกว่า 8% และจากผลการทดลองจะเห็นได้ว่า ปริมาณความชื้นของแป้งที่ผ่านการแช่ในสารละลาย EDTA มีปริมาณความชื้นต่ำกว่าสิ่งทดลองอื่น ทั้งนี้เนื่องจากโครงสร้างของสารเคมีทั้ง 3 ชนิด ได้แก่ EDTA Citric acid และ Propyl gallate มีหมู่ -OH ที่สามารถสร้างพันธะไฮโดรเจนกับน้ำไว้ในโมเลกุลได้ การเติม EDTA น้อยมาก ซึ่งน้อยกว่า Citric acid และ Propyl gallate ทำให้มีหมู่ -OH ที่จับกับน้ำได้น้อยกว่า Citric acid และ Propyl gallate จึงทำให้น้ำอิสระเหลืออยู่มาก มีผลให้องค์ประกอบที่ละลายน้ำได้ เช่น สตาร์ช โปรตีน เส้นใยอาหารที่ละลายน้ำได้ และแร่ธาตุ มีโอกาสสูญเสียในสารละลาย EDTA ที่เจือจางมาก จึงมีของแข็งที่นำไปอบน้อย ความชื้นจึงลดลงมาก และสังเกตเห็นได้ว่าการเพิ่มความเข้มข้นของสารละลายที่ใช้แช่มากขึ้น มีแนวโน้มให้ปริมาณความชื้นเพิ่มขึ้น ทั้งนี้เนื่องจากผลของหมู่ -OH ของสารละลายที่สามารถจับกับน้ำได้มาก จึงมีน้ำอิสระเหลือน้อย องค์ประกอบที่ละลายน้ำได้จึงสามารถละลายได้น้อยลง ปริมาณของแข็งที่ได้จึงเพิ่มมากขึ้น ในการอบด้วยตู้อบลมร้อนปริมาณความชื้นจึงลดลงได้น้อย นอกจากนี้สารเคมีที่ใช้แช่อาจสร้างพันธะกับองค์ประกอบอื่นที่อยู่ในแป้ง จึงมีผลให้ปริมาณของแข็งที่ได้เพิ่มมากขึ้น สำหรับกรณี Citric acid Xie and Liu (2004) รายงานว่า Citric acid สามารถสร้างพันธะกับโพลีแซคคาไรด์ เช่น เม็ดสตาร์ชได้ โดยหลังจากการแช่สตาร์ชในกรดซิตริกแล้วนำมาทำแห้งเพื่อลดความชื้นของแป้งลง เมื่อกรดซิตริกได้รับความร้อนจะสูญเสียโมเลกุลของน้ำไปและเปลี่ยนอยู่ในรูปของซิตริกแอนไฮไดรด์ ที่สามารถทำปฏิกิริยากับหมู่ไฮดรอกซิลของสตาร์ชเกิดเป็นสตาร์ชซีเตรท ซึ่งมีผลให้ปริมาณสตาร์ชที่ต้านทานการย่อย (Resistant starch) เพิ่มมากขึ้น สอดคล้องกับ Olsson et al. (2013) รายงานว่า Citric acid สามารถใช้เป็นพลาสติกไซเซอร์ในการผลิตฟิล์มจากสตาร์ชได้ ซึ่งจะเกิดสตาร์ชซีเตรท ให้ลักษณะฟิล์มที่แข็งแรง ช่วยป้องกันการซึมผ่านของความชื้นได้ดี

จากการสังเกตด้วยตาเปล่า พบว่า แป้งถั่วดาวอินคาที่ผ่านการแช่สารละลาย EDTA และ Citric acid ยังคงมีลักษณะปรากฏสีขาวใกล้เคียงกับตัวอย่าง Control สำหรับแป้งถั่วดาวอินคาที่ผ่านการแช่ในสารละลาย Propyl gallate พบว่า เมื่อความเข้มข้นของสารละลายเพิ่มมากขึ้นถึง 0.3% และ 0.5% มีผลให้แป้งถั่วดาวอินคามีสีแดงเพิ่มมากขึ้น (ภาพที่ 4-11)

สำหรับผลการวิเคราะห์ค่าสีด้วยเครื่องวัดสี แสดงผลดังตารางที่ 4-12 พบว่า แป้งถั่วดาวอินคา มีค่าสี L^* , a^* และ b^* แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) เมื่อพิจารณาค่า L^* แสดงถึง ค่าความสว่าง พบว่า ตัวอย่าง Control มีค่า L^* สูงที่สุด เท่ากับ 83.98 รองลงมาคือ แป้งถั่วดาวอินคาที่ผ่านการแช่ด้วยสารละลาย EDTA Citric acid และ Propyl gallate ตามลำดับ มีค่า L^* อยู่ในช่วง 83.34-83.76 81.25-82.21 และ 74.49-77.99 ตามลำดับ เมื่อพิจารณาค่า a^* และ b^* พบว่า ทุกสิ่งทดลองมีค่าเป็นบวก แสดงถึงมีสีออกทางแดงและเหลือง โดยตัวอย่าง Control มีค่า b^* มากที่สุด เท่ากับ 18.69 และแป้งถั่วดาวอินคาที่ผ่านการแช่สารละลาย Propyl gallate 0.5% มีค่า a^* มากที่สุด เท่ากับ 3.87

เมื่อพิจารณาค่า Whiteness (ตารางที่ 4-12) พบว่า แป้งถั่วดาวอินคา มีค่า Whiteness แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) โดยพบว่า แป้งถั่วดาวอินคาที่ผ่านการแช่สารละลาย EDTA มีค่า Whiteness อยู่ในช่วง 77.00-77.40 ซึ่งมากกว่าตัวอย่าง Control (75.33) ($p < 0.05$) เมื่อพิจารณาผลของการแช่สารละลาย EDTA ที่ความเข้มข้นต่างๆ พบว่า เมื่อใช้ความเข้มข้นของสารละลายเพิ่มขึ้นถึง 120 และ 140 mmol/L มีผลให้แป้งถั่วดาวอินคา มีค่า Whiteness มากที่สุด ($p < 0.05$) ทั้งนี้เนื่องจากกระบวนการแช่แป้งในสารละลายมีผลให้รงควัตถุหรือสารที่ให้อสีที่ละลายน้ำได้ชะออกมามาก (Lamberts et al., 2006) สอดคล้องกับรายงานของ Bayram, Kaya and Oner (2004) ได้ศึกษาการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติของถั่วเหลืองระหว่างการแช่ที่อุณหภูมิ 30°C 50°C และ 70°C เวลา 120 นาที เพื่อผลิต Soy-bulgur พบว่าทุกสิ่งทดลองมีผลให้วิตามิน สารพฤษเคมี และรงควัตถุหรือสารให้อสีที่ละลายน้ำได้ถูกชะออกไป นอกจากนี้เนื่องจาก EDTA เป็นวัตถุเจือปนอาหารที่สามารถป้องกันการเกิดสีน้ำตาลจากเอนไซม์ (Enzymatic browning reaction) ซึ่งเป็นสาเหตุของการเปลี่ยนสีของผักผลไม้ โดย EDTA จะทำปฏิกิริยากับ Transition-metal ions ซึ่งเป็นส่วนประกอบของเอนไซม์ เกิดเป็นสารคีเลตที่เสถียร ทำให้เอนไซม์ไม่สามารถทำงานได้ตามปกติ จึงช่วยรักษาสีของอาหารไว้ได้ นอกจากนี้การใช้ EDTA ยังสามารถป้องกันการออกซิเดชันของรงควัตถุในอาหาร เช่น แคโรทีนอยด์ ได้ โดยทำหน้าที่จับกับไอออนของโลหะ ซึ่งเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาการเกิดออกซิเดชันของรงควัตถุในอาหาร (รัชนี ตัณฑพานิช, 2547; Zohdy, 2015) ดังนั้นการเพิ่มความเข้มข้นของ EDTA มากขึ้นจึงเป็นการเพิ่มประสิทธิภาพการป้องกันการเกิดสีน้ำตาล และป้องกันการเกิดออกซิเดชันของรงควัตถุได้มากขึ้น จึงช่วยรักษาความขาวและลดการสูญเสียรงควัตถุของแป้งถั่วดาวอินคาไว้ได้ อย่างไรก็ตามจากผลการทดลองพบว่า การใช้ความเข้มข้นของสารละลาย EDTA เพียง 120 mmol/L ก็เพียงพอต่อการรักษาสีขาวของแป้งถั่วดาวอินคาไว้ได้ดีกว่าตัวอย่าง Control แล้ว

สำหรับแป้งถั่วดาวอินคาที่ผ่านการแช่สารละลาย Citric acid (ตารางที่ 4-12) พบว่า สิ่งทดลอง Citric acid 0.5% มีค่า Whiteness มากกว่าตัวอย่าง Control (75.33) ($p < 0.05$) ทั้งนี้ เนื่องจาก Citric acid ช่วยป้องกันการออกซิเดชันของรงควัตถุในอาหาร เช่น แคลโรทีนอยด์ได้ โดยทำหน้าที่จับกับไอออนของโลหะ ซึ่งเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาการเกิดออกซิเดชันของรงควัตถุในอาหาร (รัชณี คณทพานิช, 2547; ทิพวรรณ จันทะรักษ์ และคณะ, 2555) นอกจากนี้การแช่แป้งใน สารละลายกรดสามารถฟอกสีของแป้งได้ ภัทรา ปกรณสมบูรณ์ (2550) ศึกษาการใช้กรดอินทรีย์ใน การฟอกขาวแป้งข้าวในการผลิตเส้นก๋วยเตี๋ยว โดยแช่แป้งในสารละลายกรดอินทรีย์ได้แก่ กรด อะซิติก กรดซิตริก และไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ ความเข้มข้น 0.005, 0.05, 0.1, 0.25 และ 0.5 โมลาร์ พบว่า เส้นก๋วยเตี๋ยวที่ผ่านการฟอกสีด้วยกรดอินทรีย์ทั้ง 3 ชนิด ที่ความเข้มข้น 0.5 โมลาร์ มี ค่าความสว่างเพิ่มขึ้น และให้ค่าความแตกต่างของสีโดยรวมใกล้เคียงกับเส้นก๋วยเตี๋ยวที่ผลิตจาก แป้งข้าวที่ผ่านการฟอกด้วยโซเดียมเมตาไบซัลไฟต์มากที่สุด ทั้งนี้เนื่องจากกรดจะไปไฮโดรไลส์ (Hydrolyze) โมเลกุลของแป้งทำให้โมเลกุลของโปรตีนหลุดออกมากับน้ำล้างแป้งได้มากขึ้น จึง เกิดปฏิกิริยามลาร์ด (Maillard reaction) ได้น้อยลง จึงเกิดสีเหลืองน้อยและทำให้แป้งขาวขึ้น (Kasai et al., 2007) นอกจากนี้กรดซิตริกทำหน้าที่เป็นสารคีเลต ในการจับโลหะของทองแดง และ เหล็กซึ่งเป็นองค์ประกอบของเอนไซม์ PPO (Polyphenol oxydase) เกิดเป็นสารที่มีโครงสร้าง โมเลกุลซับซ้อน มีผลทำให้เอนไซม์ทำงานได้ช้าลง และการแช่วัตถุดิบในสภาวะกรดอาจมีผลต่อ การเสถียรภาพธรรมชาติของเอนไซม์ PPO ซึ่งเป็นการปรับสภาวะ pH ที่ไม่เหมาะสมต่อการทำงานของ เอนไซม์ได้ จึงเป็นการยับยั้งการทำงานของเอนไซม์และลดโอกาสการเกิดปฏิกิริยาการเกิด สีน้ำตาลเนื่องจากเอนไซม์ PPO (ทิพวรรณ จันทะรักษ์ และคณะ, 2555) แป้งถั่วดาวอินคาที่ผ่านการ แช่ในสารละลายกรดซิตริกจึงยังคงมีสีขาวคล้ายสีแป้งดั้งเดิม

สำหรับการแช่แป้งถั่วดาวอินคาในสารละลายโพรพิลแกลเลต (ตารางที่ 4-12) พบว่า เมื่อ ความเข้มข้นของสารละลายเพิ่มขึ้นมีผลให้ค่า L^* และค่า Whiteness ลดลง และมีค่าสี a^* เพิ่มขึ้น อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) โดยสิ่งทดลอง Propyl gallate 0.5% มีค่า a^* สูงที่สุด เท่ากับ 3.87 ($p < 0.05$) ทั้งนี้เนื่องจาก โพรพิลแกลเลตเป็นสารคีเลตที่สามารถจับกับเหล็กที่บริเวณ Active site ของ Lipoxygenase ได้ และ/หรือเปลี่ยนรูป Ferric (Fe^{3+}) ของเอนไซม์ เป็นรูป Ferrous (Fe^{2+}) ซึ่ง โดยปกติ Fe^{2+} เกิดการออกซิไดซ์ไปเป็น Fe^{3+} ได้ เมื่ออยู่ในสภาวะที่สัมผัสกับน้ำและออกซิเจน สามารถเกิดเป็นสารเฟอร์ริกออกไซด์ (Ferric oxides) ซึ่งมีสีออกแดง (เทพจางง แสงสุนทร, 2555) จึงทำให้แป้งถั่วดาวอินคามีสีแดงเพิ่มมากขึ้น สอดคล้องกับแป้งถั่วดาวอินคาที่เห็นด้วยตาเปล่า

กลไกการเกิดกลิ่นถั่ว เกิดจากการทำงานของเอนไซม์ Lipoxygenase ทำปฏิกิริยา ออกซิเดชันกับกรดไขมันไม่อิ่มตัวที่มีองค์ประกอบของ 1,4-cis, cis-pentadiene เกิดเป็นสาร

ไฮโดรเพอร์ออกไซด์ ซึ่งสามารถทำปฏิกิริยาต่อจนได้สารระเหยจำพวกอัลดีไฮด์ คีโตน และ แอลกอฮอล์ (Kudre & Benjakul, 2013) Baysal and Demirdoven (2007) รายงานว่า สารระเหยที่เกิดจากปฏิกิริยาออกซิเดชันของกรดไขมันในพืชตระกูลถั่วที่ให้กลิ่นถั่ว มักเป็นสารจำพวกเพนทานอล (Pentanal) และเฮกซานอล (Hexanal) ซึ่งเป็นสารกลุ่มอัลดีไฮด์ ที่เกิดจากการสลายตัวของกรดลิโนเลอิก (Linoleic acid) เป็นส่วนใหญ่ ในงานวิจัยนี้วิเคราะห์การเกิดกิจกรรมของเอนไซม์ Lipoxygenase โดยมีหลักการวิเคราะห์คือ การสกัดเอนไซม์ Lipoxygenase ที่มีอยู่ในแป้งถั่วดาวอินคา แล้วนำมาทำปฏิกิริยากับกรดลิโนเลอิกในสภาวะที่มีออกซิเจน เกิดเป็นสารไฮโดรเพอร์ออกไซด์แล้วนำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ 234 nm (Hamberg & Samuelsson, 1967) ดังนั้นหากเกิดเป็นสารไฮโดรเพอร์ออกไซด์มากแสดงถึงเอนไซม์ Lipoxygenase มีการเกิดกิจกรรมมาก นำมาคำนวณและรายงานเป็นกิจกรรมของเอนไซม์ Lipoxygenase (ค่า LOX) ผลการวิเคราะห์กิจกรรมของเอนไซม์ Lipoxygenase (ค่า LOX) แสดงดังตารางที่ 4-13

จากตารางที่ 4-13 พบว่า แป้งถั่วดาวอินคาที่มีกิจกรรมของเอนไซม์ Lipoxygenase แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) โดยตัวอย่าง Control มีกิจกรรมของเอนไซม์ Lipoxygenase สูงที่สุด เท่ากับ 1470 Unit/ml แสดงถึงเอนไซม์ Lipoxygenase มีการเกิดกิจกรรมมากที่สุด และพบว่า แป้งถั่วดาวอินคาที่ผ่านการแช่สารละลาย EDTA Citric acid และ Propyl gallate ทุกสิ่งทดลองมีกิจกรรมของเอนไซม์ Lipoxygenase น้อยกว่าตัวอย่าง Control ($p < 0.05$) โดยมีค่าอยู่ในช่วง 836.67-913.33 43.33-403.33 และ 123.33-416.67 Unit/ml ตามลำดับ แสดงถึงสารละลายที่ใช้แช่ทั้ง 3 ชนิด ซึ่งมีสมบัติเป็นสารคีเลตมีผลให้เกิดการสร้างพันธะจับกับเหล็กที่อยู่ในเอนไซม์ Lipoxygenase เกิดเป็นสารประกอบเชิงซ้อนที่มีความคงตัว มีผลทำให้เอนไซม์ทำงานได้ช้าลง (Halliwell et al., 1995; ทิพวรรณ จันทะรักษ์ และคณะ, 2555; ขวัญใจ แซ่ลิ้ม, 2552) จึงสามารถยับยั้งกิจกรรมของเอนไซม์ Lipoxygenase ได้

เมื่อพิจารณาแป้งถั่วดาวอินคาที่ผ่านการแช่สารละลาย EDTA (ตารางที่ 4-13) พบว่า เมื่อความเข้มข้นของสารละลายเพิ่มขึ้นมีผลให้กิจกรรมของเอนไซม์ Lipoxygenase ลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) ทั้งนี้เนื่องจาก การเพิ่มความเข้มข้นของสารละลายเป็นการเพิ่มหมู่คีเลตให้มากขึ้น จึงสามารถจับกับเหล็กที่อยู่ในเอนไซม์ Lipoxygenase ได้มากขึ้น สอดคล้องกับรายงานของ Kudre and Benjakul (2014) ได้ศึกษาการเตรียมโปรตีนไอโซเลทจากแป้งถั่วหรั่งหลายวิธี ได้แก่ แป้งถั่วหรั่งที่ไม่ผ่านการสกัดไขมันออก (ND-FBGPI) แป้งถั่วหรั่งที่ผ่านการสกัดไขมันออก (DF-BGPI) และแป้งถั่วหรั่งที่ผ่านการสกัดไขมันออก ผสม EDTA และผ่านการให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 70°C เป็นเวลา 30 นาที (DF-BGPI-HE) นำไปเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 30°C เป็นเวลา 30 วัน ทดสอบทางประสาทสัมผัสด้วยวิธี scoring พบว่า ผลการทดสอบแป้ง DF-BGPI-HE ในวันที่ 0

ผู้ทดสอบไม่ได้กลิ่นถั่ว และในวันที่ 15 มีกลิ่นถั่วเพิ่มขึ้นเล็กน้อย (1.23) สำหรับสารละลาย Citric acid นอกจากจะมีสมบัติเป็นสารคีเลตแล้ว การแข่งแย้งถั่วดาวอินคาในสารละลาย Citric acid ยังเป็นการสร้างสภาวะ pH ที่ไม่เหมาะสมต่อการทำงานของเอนไซม์ Lipoxygenase ซึ่งทำงานได้ดีที่ pH อยู่ในช่วง 6.8-9.0 (Baysal & Demirdoven, 2007) ดังนั้นการปรับสภาวะให้อยู่ในสภาวะกรดอาจมีผลทำให้เอนไซม์ Lipoxygenase เสียสภาพธรรมชาติได้ (ทิพวรรณ จันทะรักษ์ และคณะ, 2555) สำหรับสารละลาย Propyl gallate สามารถยับยั้งเอนไซม์ Lipoxygenase ได้โดยเป็นสารคีเลตที่เปลี่ยนรูปเหล็กที่บริเวณ Active site ของเอนไซม์ Lipoxygenase จากรูป Ferric (Fe^{3+}) เป็นรูป Ferrous (Fe^{2+}) ซึ่งเป็นรูปที่ไม่เหมาะสมกับการทำงานของเอนไซม์ ดังนั้นหากมีการใช้สารคีเลตในความเข้มข้นที่เหมาะสมและเพียงพอกับการเปลี่ยนรูปเป็น Ferrous (Fe^{2+}) แล้ว เอนไซม์ Lipoxygenase จะไม่มีโอกาสในการทำงานได้

สำหรับด้านความเข้มของกลิ่นถั่วของแป้งถั่วดาวอินคาแสดงดังตารางที่ 4-13 พบว่ามีแนวโน้มสอดคล้องกับกิจกรรมของเอนไซม์ Lipoxygenase กล่าวคือ แป้งถั่วดาวอินคาตัวอย่าง Control มีความเข้มกลิ่นถั่วสูงที่สุด ($p < 0.05$) เท่ากับ 4.80 ซึ่งหมายถึง มีความเข้มกลิ่นถั่วมาก ขณะที่แป้งถั่วดาวอินคาที่ผ่านการลดกลิ่นถั่วด้วยวิธีการแข่งแย้งในสารละลาย EDTA Citric acid และ Propyl gallate มีความเข้มกลิ่นถั่ว อยู่ในช่วง 2.50-2.60 0.30-1.70 และ 0.40-1.70 ตามลำดับ ซึ่งหมายถึง ไม่มีความเข้มกลิ่นถั่วถึงมีความเข้มกลิ่นถั่วน้อย และพบแนวโน้มว่า แป้งถั่วดาวอินคาที่ผ่านการแข่งแย้งสารละลาย EDTA Citric acid และ Propyl gallate ที่ความเข้มข้นเพิ่มขึ้น มีผลให้แป้งถั่วดาวอินคาที่มีความเข้มกลิ่นถั่วลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) และจากผลการทดลองพบว่า แป้งถั่วดาวอินคาที่ผ่านการแข่งแย้งสารละลาย Citric acid 0.5% มีความเข้มกลิ่นถั่วต่ำที่สุด (0.30) แต่ไม่แตกต่างจากแป้งถั่วดาวอินคาที่ผ่านการแข่งแย้งสารละลาย Propyl gallate 0.5% (0.40)

จากผลการทดลองที่ได้ชี้ให้เห็นว่าการแข่งแย้งถั่วดาวอินคาในสารละลายทั้ง 3 ชนิดนี้มีผลช่วยลดกลิ่นถั่วในแป้งได้ ซึ่งมีผลสอดคล้องกับกิจกรรมของเอนไซม์ Lipoxygenase จากเกณฑ์ในการพิจารณาเลือกสภาวะที่เหมาะสมที่สุด จากการวิเคราะห์คุณภาพของแป้งถั่วดาวอินคา ได้แก่ ปริมาณความชื้น ค่า Whiteness กิจกรรมของเอนไซม์ Lipoxygenase และความเข้มกลิ่นถั่ว พบว่า สิ่งทดลอง Citric acid 0.5% มีผลให้ได้แป้งถั่วดาวอินคาที่มีปริมาณความชื้นต่ำ (7.37%) มีค่า Whiteness (75.67) ซึ่งแสดงถึงความขาวมากกว่าตัวอย่าง Control (75.33) รวมถึงมีกิจกรรมของเอนไซม์ Lipoxygenase ต่ำที่สุด (43.33 Unit/ml) และได้รับคะแนนความเข้มกลิ่นถั่วต่ำ (0.30) ดังนั้นการแข่งแย้งในสารละลาย Citric acid 0.5% จึงเป็นสภาวะการใช้สารเคมีในการลดกลิ่นถั่วที่เหมาะสมที่สุด

5.2 ผลการวิเคราะห์คุณภาพและสมบัติเชิงหน้าที่ของแป้งถั่วดาวอินคาที่ไม่ผ่านและผ่านการลดกลิ่นถั่ว

กระบวนการลดกลิ่นถั่วที่ใช้อาจมีผลให้องค์ประกอบทางเคมี สารระเหยให้กลิ่น และสมบัติเชิงหน้าที่ของแป้งถั่วดาวอินคาเปลี่ยนแปลงไป รวมถึงสารพฤกษเคมีโดยธรรมชาติที่มีสมบัติต้านอนุมูลอิสระ และเส้นใยอาหารมีโอกาสสูญเสียไประหว่างกระบวนการลดกลิ่นถั่วได้ (Aparicio-Fernandez et al., 2005; Xu & Chang, 2009; Siah et al., 2014) ในขั้นตอนนี้จึงวิเคราะห์คุณภาพของแป้งถั่วดาวอินคาที่ไม่ผ่านและผ่านการลดกลิ่นถั่ว ตามวิธีที่เลือกได้จากข้อที่ 4.1 คือ การให้ความร้อนด้วยไมโครเวฟร่วมกับตู้อบลมร้อน (MW+Hot air) ที่เวลาการให้ความร้อนด้วยไมโครเวฟ 180 วินาที ร่วมกับการให้ความร้อนด้วยตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 65°C เป็นเวลา 10 นาที และการแช่ในสารละลาย Citric acid 0.5% (Citric acid 0.5%) เพื่อใช้เป็นข้อมูลสนับสนุนเพื่อพิจารณาสำหรับการนำแป้งถั่วดาวอินคาไปใช้เป็นส่วนผสมในอาหารต่อไป

เมื่อพิจารณาผลการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของแป้งถั่วดาวอินคา ได้แก่ ความชื้น โปรตีน ไขมัน กากใย เถ้า และคาร์โบไฮเดรต ของแป้งถั่วดาวอินคาที่ไม่ผ่านและผ่านการลดกลิ่นถั่ว (ตารางที่ 4-14) พบว่า แป้งถั่วดาวอินคาทั้ง 3 สิ่งทดลอง มีปริมาณความชื้น โปรตีน ไขมัน กากใย เถ้า และคาร์โบไฮเดรต แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) ด้านปริมาณความชื้น พบว่า ทุกสิ่งทดลองมีปริมาณความชื้นต่ำกว่า 8% โดยสิ่งทดลอง Control สิ่งทดลอง MW+Hot air และสิ่งทดลอง Citric acid 0.5% มีปริมาณความชื้น เท่ากับ 7.59% 3.47% และ 7.42% ตามลำดับ โดยพบว่าสิ่งทดลอง MW+Hot air มีปริมาณความชื้นต่ำที่สุด (3.47%) ($p < 0.05$) ทั้งนี้เนื่องจากการทดลองมีการกำหนดให้ให้ความร้อนด้วยไมโครเวฟร่วมกับตู้อบลมร้อน ซึ่งต้องให้ความรุนแรงเพียงพอต่อการยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ Lipoxygenase ได้ซึ่งความร้อนที่สามารถยับยั้งเอนไซม์ Lipoxygenase ได้คือ การให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 60°C ขึ้นไป (Baysal & Demirdoven, 2007; Shin et al., 2013) ดังนั้นการลดกลิ่นถั่วโดยการให้ความร้อนจึงมีโอกาสลดความชื้นให้กับตัวอย่างได้มาก ตามหลักการการทำงานของไมโครเวฟจะทำให้โมเลกุลของน้ำภายในอาหารเกิดการสั่นสะเทือนและเกิดความร้อนขึ้นอย่างรวดเร็วจึงทำให้น้ำระเหยออกจากตัวอย่างแป้งถั่วดาวอินคาได้อย่างรวดเร็ว (สายสนม ประดิษฐ์ดวง, 2543) อีกทั้งการนำไปให้ความร้อนต่อด้วยตู้อบลมร้อน ซึ่งมีการถ่ายเทความร้อนจากตู้อบลมร้อนไปยังแป้งถั่วดาวอินคา ทำให้น้ำภายในแป้งถั่วดาวอินคา ระเหยกลายเป็นไอน้ำ ซึ่งช่วยเพิ่มการระเหยของน้ำเพิ่มมากขึ้น ปริมาณความชื้นจึงลดลงอย่างรวดเร็ว (วิล รังสาทอง, 2546) สอดคล้องกับงานวิจัยของ Jiao et al. (2014) ได้ศึกษาวิธีการทำแห้งข้าวกล้องสำเร็จรูป โดยแปรวิธีการทำแห้งและสภาวะการทำแห้ง ดังนี้ 1) อุณหภูมิการทำแห้ง

ด้วยตู้อบลมร้อน (T) 70°C 80°C และ 90°C 2) กำลังการให้ความร้อนด้วยไมโครเวฟ (MW) 210W, 300W และ 560W และ 3) การใช้ไมโครเวฟร่วมกับตู้อบลมร้อน ((70°C, 80°C, 90°C) x (210W, 300W, 560W)) พบว่า ปริมาณความชื้นของตัวอย่างที่ผ่านการทำแห้งขึ้นอยู่กับวิธีการทำแห้ง โดยมีปริมาณความชื้นอยู่ในช่วง 7.0% (MW=560 W, T = 70°C) ถึง 11.6% (MW=0 W, T = 70°C) เมื่อเปรียบเทียบวิธีการทำแห้ง พบว่า ตัวอย่างที่มีการทำแห้งด้วยไมโครเวฟร่วมกับตู้อบลมร้อน มีประสิทธิภาพการทำแห้งที่ดีกว่า และมีปริมาณความชื้นสุดท้ายต่ำกว่า ตัวอย่างที่มีการทำแห้งด้วยตู้อบลมร้อนและไมโครเวฟเพียงอย่างเดียว

ด้านปริมาณโปรตีน (ตารางที่ 4-14) แสดงให้เห็นว่า แป้งถั่วดาวอินคาทั้ง 3 สิ่งทดลอง ยังคงเป็นแหล่งที่ดีของโปรตีน โดยสิ่งทดลอง Control สิ่งทดลอง MW+Hot air และสิ่งทดลอง Citric acid 0.5% มีปริมาณโปรตีน เท่ากับ 40.92% 40.80% และ 48.07% dry basis ตามลำดับ โดยสิ่งทดลอง Citric acid 0.5% มีปริมาณโปรตีนมากที่สุด (48.07%) ($p < 0.05$) ขณะที่สิ่งทดลอง Control และสิ่งทดลอง MW+Hot air มีปริมาณโปรตีน ไม่แตกต่างกัน ($p \geq 0.05$) ทั้งนี้อาจเนื่องจากในสภาวะการแช่กรดถึง 1 ชั่วโมง เป็นกระบวนการที่ทำให้ส่วนประกอบอื่นๆ ที่อยู่ในแป้ง เช่น เส้นใยอาหารที่ละลายน้ำ และแร่ธาตุ มีโอกาสแพร่ในสารละลายเพิ่มมากขึ้นและถูกชะออกไปกับน้ำล้างแป้ง (Kajihansa et al., 2014) รวมทั้งการใช้กรดอาจทำให้แป้งตกตะกอน ในขั้นตอนการปั่นเหวี่ยงโปรตีนจึงไม่ถูกชะออกไป จึงทำให้โปรตีนบริสุทธิ์มากขึ้น สัดส่วนของปริมาณโปรตีนจึงเพิ่มมากขึ้นด้วย (Zhang et al., 2017) สอดคล้องกับงานวิจัยของ Kajihansa et al. (2014) ศึกษาผลของการเตรียมขึ้นต้นด้วยการแช่เมล็ดงาในน้ำเป็นเวลา 8 10 12 14 และ 16 ชั่วโมง แล้วเพาะงอก (Sprouted) ต่อเป็นเวลา 36 ชั่วโมง จากนั้นทำแห้งและบดเป็นผงแป้ง (SP) เปรียบเทียบกับแป้งเมล็ดงาที่ไม่ผ่านการแช่และเพาะงอก (UN) พบว่า เมื่อเวลาการแช่เพิ่มมากขึ้นจาก 8-12 ชั่วโมง มีผลให้แป้งเมล็ดงา SP มีปริมาณโปรตีนเพิ่มมากขึ้นอยู่ในช่วง 45.64%-48.27% ในขณะที่แป้งเมล็ดงา UN มีปริมาณโปรตีน 26.09% และสอดคล้องกับรายงานของ Zhang et al. (2017) รายงานว่า การนำกากถั่วเหลืองที่มีโปรตีนสูงมาเตรียมขึ้นต้นด้วยการแช่ในสารละลายกรดซัลฟูริก 0.9% ก่อนนำไปทำโปรตีนไอโซเลท มีผลให้โปรตีนตกตะกอนมีมวลโมเลกุล (>500 kDa) มากกว่าโปรตีนไอโซเลทที่ไม่ผ่านการเตรียมขึ้นต้น (10 kDa)

ด้านปริมาณไขมัน เถ้า และคาร์โบไฮเดรต (ตารางที่ 4-14) มีแนวโน้มไปในทางเดียวกัน กล่าวคือสิ่งทดลอง Control และสิ่งทดลอง MW+Hot air มีปริมาณไขมัน เถ้า และคาร์โบไฮเดรต ไม่แตกต่างกัน ($p \geq 0.05$) โดยมีค่าอยู่ในช่วง 35.47-35.52%, 5.77-6.13%, 4.24-4.29% และ 13.19-13.68% dry basis ตามลำดับ ในขณะที่สิ่งทดลอง Citric acid 0.5% มีปริมาณไขมัน เถ้า และคาร์โบไฮเดรตต่ำที่สุด ($p < 0.05$) เท่ากับ 34.78% 5.44% 2.28% และ 9.43% dry basis ตามลำดับ

สอดคล้องกับงานวิจัยของ Kajihaua et al. (2014) รายงานว่า การแช่เมล็ดงาในน้ำเป็นเวลา 8-12 ชั่วโมง ก่อนการเพาะงอกและบดเป็นผงแป้ง มีผลให้แป้งเมล็ดงามีปริมาณไขมัน (34.40-36.86%) เถົา (1.98-2.33%) และคาร์โบไฮเดรต (0.55-0.97%) ลดลงจากแป้งเมล็ดงาที่ไม่ผ่านการแช่ มีปริมาณไขมัน เถົา และ คาร์โบไฮเดรต เท่ากับ 55.26% 3.96% และ 1.62% ตามลำดับ อย่างไรก็ตามการที่แป้งถั่วดาวอินคามีองค์ประกอบของไขมันมากถึง 35.52% dry basis เนื่องจากถั่วดาวอินคาเป็นพืชน้ำมัน โดยกระบวนการสกัดน้ำมันไม่ได้สกัดน้ำมันออกทั้งหมด ยังคงเหลือน้ำมันที่อยู่ในแป้ง Gullen et al. (2003) รายงานว่า น้ำมันถั่วดาวอินคามีองค์ประกอบของกรดไขมันที่ดี ได้แก่ ω -3 ω -6 และ ω -9 ช่วยป้องกันการเกิดโรคหัวใจและหลอดเลือด ช่วยป้องกันการเกิดโรคไขข้ออักเสบ มะเร็ง และการติดเชื้อไวรัส จึงมีโอกาสดังกล่าวช่วยให้อาหารเป็นส่วนผสมที่น่าสนใจในการนำไปประยุกต์ใช้ในผลิตภัณฑ์อาหาร สำหรับปริมาณเถົาในอาหาร คือ ส่วนของสารอินทรีย์หรือแร่ธาตุที่มีอยู่ในอาหาร ซึ่งเป็นสิ่งที่เหลืออยู่หลังจากน้ำหรือสารอินทรีย์ถูกกำจัดออกด้วยความร้อน ซึ่งแร่ธาตุที่ละลายน้ำได้สามารถละลายออกมาและถูกชะออกไปกับน้ำล้างแป้ง (Kajihaua et al., 2014) สอดคล้องกับงานวิจัยของ Rawdkuen et al. (2016) รายงานว่า pressed-cake ของเมล็ดถั่วดาวอินคาเป็นแหล่งที่ดีของแร่ธาตุ ประกอบด้วยโพแทสเซียม ฟอสฟอรัส แคลเซียม และแมกนีเซียม เท่ากับ 13935.00 13125.00 7616.00 และ 8921.50 mg/kg ตามลำดับ และ Inyang et al. (2015) รายงานว่า การต้มแป้งถั่วโคโนเฟอร์ (Conophor nut) มีผลให้ปริมาณเถົาลดลงจากแป้งถั่วดิบที่ไม่ผ่านการต้มจาก 5.74% dry basis ลดลงเหลือ 3.08% dry basis สำหรับด้านปริมาณคาร์โบไฮเดรตซึ่งได้มาจากการคำนวณหักลบจากปริมาณองค์ประกอบทางเคมีต่าง ๆ ออกจากน้ำหนักตัวอย่าง และคาร์โบไฮเดรตส่วนใหญ่ คือสตาร์ชที่อยู่ในแป้ง ซึ่งสตาร์ชสามารถละลายน้ำและถูกชะออกมากับน้ำที่ใช้แช่ได้ สอดคล้องกับงานวิจัยของ Li et al. (2016) ได้ศึกษาผลของวิธีการปรุงสุก 3 วิธี ได้แก่ การต้ม การคั่ว และการทอด ต่อคุณค่าทางโภชนาการของเมล็ดเกาลัดพบว่า การต้มมีผลให้ปริมาณสตาร์ชลดลงจาก 71.08% เป็น 57.69% เนื่องจากสตาร์ชแตกตัวที่อุณหภูมิสูงและละลายน้ำได้ จึงละลายในน้ำระหว่างการต้ม

ด้านปริมาณกากใย (ตารางที่ 4-14) พบว่า แป้งถั่วดาวอินคาสิ่งทดลอง Control มีปริมาณกากใยมากที่สุด ($p < 0.05$) เท่ากับ 6.13% dry basis รองลงมาคือสิ่งทดลอง MW+Hot air และสิ่งทดลอง Citric acid 0.5% มีปริมาณกากใย เท่ากับ 5.77% และ 5.44% ตามลำดับ ทั้งนี้เนื่องจากกากใย คือ คาร์โบไฮเดรตที่เหลือหลังจากการย่อยด้วยกรดและด่าง ส่วนใหญ่เป็นสารประเภทโพลีแซคคาไรด์ (นิธิยา รัตนานนท์, 2554) ซึ่งโพลีแซคคาไรด์อาจแตกตัวได้ เมื่อผ่านการแปรรูปโดยใช้อุณหภูมิสูง (Johansson, 2012) ดังนั้นจากผลการทดลองจะเห็นได้ว่า แป้งถั่วดาวอินคาที่ผ่านการให้ความร้อนจึงมีโอกาสน้ำให้ปริมาณกากใยลดลงด้วย สอดคล้องกับงานวิจัยของ Ayoola and

Adeyeye (2010) ที่กล่าวว่า เมื่อให้ความร้อนกับแป้งถั่วลิสงด้วยการอบที่อุณหภูมิ 100°C ถึง 105°C มีผลให้ปริมาณกาบาไลดลดลงจาก 2.83% dry basis เหลือ 2.41% dry basis สำหรับสิ่งทดลอง Citric acid 0.5% เป็นการแช่แป้งในสารละลายซึ่งมีผลให้เส้นใยอาหารที่ละลายน้ำมีโอกาสมะพร้าวในสารละลายและถูกชะออกไปกับน้ำล้างแป้ง (Kajihaua et al., 2014)

สำหรับผลการวิเคราะห์องค์ประกอบของสารระเหยให้กลิ่นของแป้งถั่วดาวอินคา แสดงดังตารางที่ 4-15 และ GC-MS profile แสดงดังภาพที่ 4-12 ถึง 4-14 พบว่า แป้งถั่วดาวอินคา ทั้ง 3 สิ่งทดลอง ได้แก่ สิ่งทดลอง Control สิ่งทดลอง MW+Hot air และ สิ่งทดลอง Citric acid 0.5% มีองค์ประกอบของสารระเหยให้กลิ่นแตกต่างกัน โดยพบสารระเหยให้กลิ่นในกลุ่มของ แอลดีไฮด์ (Aldehyde) คีโตน (Ketone) แอลกอฮอล์ (Alcohol) กรด (Acid) และอื่น ๆ เช่น ลิโมนีน (Limonene) โดเดเคน (Dodecane) และเบนซีน (Benzene) เป็นต้น สำหรับสิ่งทดลอง Control คือ แป้งถั่วดาวอินคาที่ไม่ผ่านการลวกถั่ว พบว่ายังคงพบองค์ประกอบของสารระเหยให้กลิ่น ส่วนใหญ่เป็นสารที่ให้กลิ่นถั่วมากกว่าสิ่งทดลองอื่นทั้งสารในกลุ่มแอลดีไฮด์ ได้แก่ บิวทานอล (Butanal) และเฮกซานอล (Hexanal) และสารในกลุ่มคีโตน ได้แก่ อะซิโตน (Acetone) และ เมทาโนน (Methanone) สำหรับสิ่งทดลอง MW+Hot air ยังพบสารในกลุ่มคีโตน และแอลกอฮอล์ ในขณะที่สิ่งทดลอง Citric acid 0.5% พบสารในกลุ่มแอลดีไฮด์ ได้แก่ 2-เฮกซีนอล (2-Hexenal)

สารในกลุ่มแอลดีไฮด์ เป็นสารให้กลิ่นที่เกิดจากการออกซิไดซ์ (Oxidized) ของกรดไขมันไม่อิ่มตัว (Polyunsaturated fatty acid) ซึ่งให้กลิ่นที่ไม่พึงประสงค์ เช่น กลิ่นหืน กลิ่นถั่ว หรือ กลิ่นเหม็นเขียว โดยมักพบในอาหารที่มีกรดไขมันเป็นองค์ประกอบ เช่น ถั่ว และผลิตภัณฑ์จากถั่ว (Sun et al., 2013; Murat et al., 2013) โดยเฉพาะเฮกซานอล จะให้กลิ่นถั่วหรือกลิ่นเหม็นเขียว ที่เกิดจากปฏิกิริยาออกซิเดชันของกรดลิโนเลอิก (Linoleic acid) โดยการทำงานของเอนไซม์ Lipoxxygenase ซึ่งมักพบในถั่วหลายชนิด เช่น ถั่วเหลือง ถั่วหรั่ง และถั่วปากอ้า (Shin et al., 2013; Kudre & Benjakul, 2013; Jiang et al., 2016) Azarnia et al. (2011) กล่าวว่า สารในกลุ่มแอลดีไฮด์ สามารถเกิดจากกิจกรรมของเอนไซม์ (Enzymatic) หรือ การออกซิเดชันของกรดไขมัน (Auto oxidative) ลิโนเลอิก และลิโนเลนิก จากผลการทดลองเป็นการยืนยันให้เห็นได้ว่าแป้งถั่วดาวอินคามีกลิ่นถั่วหรือกลิ่นเหม็นเขียว ซึ่งตรวจพบองค์ประกอบของสารให้กลิ่นของเฮกซานอล และบิวทานอล สำหรับสิ่งทดลอง MW+Hot air ไม่พบองค์ประกอบของสารระเหยให้กลิ่นในกลุ่มแอลดีไฮด์ เนื่องจากเป็นสิ่งทดลองที่ผ่านการให้ความร้อนซึ่งเพียงพอที่สามารถยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ Lipoxxygenase ได้ ซึ่งความร้อนที่สามารถยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ Lipoxxygenase ได้ คือ การใช้อุณหภูมิตั้งแต่ 60°C ขึ้นไป (Baysal & Demirdoven, 2007) แต่อาจยังคงมีกิจกรรมของเอนไซม์ Lipoxxygenase เหลืออยู่เล็กน้อยจึงยังคงตรวจพบสารในกลุ่มคีโตนและแอลกอฮอล์

สำหรับสิ่งทดลอง Citric acid 0.5% ยังตรวจพบสารในกลุ่มแอลดีไฮด์ ได้แก่ 2-เฮกซีนอล (2-Hexenal) มี %Area เท่ากับ 1.94% ลดลงจากสิ่งทดลอง Control ที่มี %Area ของเฮกซานอลและ บิวทานอล เท่ากับ 5.17% และ 3.38% ตามลำดับ โดย 2-เฮกซีนอล เป็นผลิตภัณฑ์ผลได้จากการทำงานของเอนไซม์ Lipoxygenase โดยมีกรดลิโนเลนิกเป็นสารตั้งต้น ในขณะที่เฮกซานอล เป็นผลิตภัณฑ์ผลได้จากการทำงานของเอนไซม์ Lipoxygenase โดยมีกรดลิโนเลอิกเป็นสารตั้งต้น (สุมาลี ปัญญาจิรวุฒิ, 2554) ซึ่งให้กลิ่นถั่วหรือกลิ่นเหม็นเขียวเช่นกัน (Clarke & Bakker, 2008) โดยทั้งกรดลิโนเลอิกและลิโนเลนิกจัดเป็นองค์ประกอบของกรดไขมันไม่อิ่มตัวที่พบในแป้งถั่ว คาวอินคาได้ แสดงให้เห็นว่า วิธีการลดกลิ่นถั่วด้วยการแช่ในสารละลาย Citric acid 0.5% สามารถที่จะลดกลิ่นถั่วลงได้ จากกลไกการทำงานของสารละลาย Citric acid ที่มีสมบัติเป็นสารคีเลต สามารถสร้างพันธะจับกับเหล็กที่อยู่ในเอนไซม์ Lipoxygenase ได้ และยังเป็นการสร้างสภาวะ pH ที่ไม่เหมาะสมต่อการทำงานของเอนไซม์ Lipoxygenase (Halliwell et al., 1995; ทิพวรรณ จันทะรักษ์ และคณะ, 2555) จึงสามารถยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ Lipoxygenase ได้ แต่อาจยังไม่สามารถยับยั้งกิจกรรมของเอนไซม์ Lipoxygenase ได้หมด

สิ่งทดลอง Control พบว่า มีองค์ประกอบของสารในกลุ่มคีโตน ได้แก่ อะซิโตน (Acetone) และ เมทาโนน (Methanone) ในขณะที่สิ่งทดลอง MW+Hot air พบว่า มีองค์ประกอบของสารในกลุ่มคีโตนเช่นกัน โดยตรวจพบไซโคลเฮกซาโนน (Cyclohexanone) ในขณะที่สิ่งทดลอง Citric acid 0.5% ตรวจไม่พบสารในกลุ่มคีโตน Sun et al. (2013) กล่าวว่า สารในกลุ่มคีโตน เกิดจากการสลายตัวของกรดไขมันไม่อิ่มตัวจากความร้อนหรือปฏิกิริยาออกซิเดชัน เกิดจากการสลายตัวของกรดอะมิโน เกิดจากการออกซิเดชันของจุลินทรีย์ และเกิดจากปฏิกิริยาเมลลาร์ด การตรวจพบสารในกลุ่มคีโตนในตัวอย่าง Control อาจเนื่องจากแป้งถั่วคาวอินคามีกรดไขมันไม่อิ่มตัวเป็นองค์ประกอบอยู่มาก ซึ่งอาจเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของกรดไขมันไม่อิ่มตัว จึงได้ผลิตภัณฑ์เป็นสารในกลุ่มคีโตน ได้แก่ อะซิโตน และเมทาโนน ในขณะที่สิ่งทดลอง MW+Hot air มีการให้ความร้อนกับตัวอย่างแป้งถั่วคาวอินคาจึงมีผลให้เกิดการสลายตัวของกรดไขมันไม่อิ่มตัวจากความร้อน จึงตรวจพบสารในกลุ่มคีโตน ได้แก่ ไซโคลเฮกซาโนน แต่สิ่งทดลอง Citric acid 0.5% ไม่พบองค์ประกอบของสารระเหยให้กลิ่นในกลุ่มคีโตน ทั้งนี้อาจเนื่องจาก Citric acid มีสมบัติเป็นสารคีเลต ที่สามารถจับกับเหล็กหรือโลหะที่เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาออกซิเดชันได้ นอกจากนี้ในกระบวนการแช่แป้งถั่วคาวอินคา และขั้นตอนการลดความชื้นของแป้งไม่ได้สัมผัสกับความร้อนที่อุณหภูมิสูง โดยแช่แป้งที่อุณหภูมิห้อง (30 ± 1 °C) และขั้นตอนการลดความชื้นของแป้งลงใช้อุณหภูมิ 35°C เป็นเวลา 6 ชั่วโมง

จากผลการทดลองตรวจพบสารในกลุ่มแอลกอฮอล์ในสิ่งทดลอง MW+Hot air ได้แก่ ไดไซโคลโพรพิลคาร์บินอล (Dicyclopropyl carbinol) อาจเนื่องจากสิ่งทดลอง MW+Hot air ยังคงมีกิจกรรมของเอนไซม์ Lipoxygenase เหลืออยู่จึงเกิดการออกซิเดชันของกรดไขมันได้ และการให้ความร้อนกับแป้งถั่วดาวอินคาที่มีผลให้แป้งถั่วมีความชื้นน้อยซึ่งเป็นสภาวะที่เหมาะสมในการเกิดสารในกลุ่มแอลกอฮอล์ที่มักพบในถั่วเมล็ดแห้ง Azarnia et al. (2011) กล่าวว่า สารในกลุ่มแอลกอฮอล์ เกิดจากการออกซิเดชันของกรดไขมันโดยการทำงานของเอนไซม์ Lipoxygenase พบในถั่วเมล็ดแห้ง แต่ไม่พบหรือพบน้อยมากในถั่วสด และสารในกลุ่มแอลกอฮอล์สามารถผลิตได้เนื่องจากการเสียหายทางกายภาพของเมล็ดถั่วหรือในระหว่างกระบวนการผลิต โดยแอลกอฮอล์แต่ละชนิดจะให้ลักษณะของกลิ่นและรสที่แตกต่างกันในถั่วแต่ละชนิด

นอกจากนี้ยังพบสารกลุ่มอื่น ๆ ตัวอย่างเช่น สารกลุ่มอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอน (Aromatic hydrocarbons) ได้แก่ เบนซีน (Benzene) ซึ่งตรวจพบในสิ่งทดลอง Control ซึ่งเป็นลักษณะกลิ่นและรสของพืชตระกูลถั่ว (Azarnia et al., 2011) สารในกลุ่มแอลเคน (Alkanes) เช่น เดคเคน (Decane) โดเดคเคน (Dodecane) อันเดคเคน (Undecane) นาโนเดคเคน (Nanodecane) และ เฮกเซน (Hexane) โดยส่วนมากมักพบสารกลุ่มนี้ในสิ่งทดลอง Control Azarnia et al. (2011) รายงานว่า สารในกลุ่มแอลเคน เกิดจากการออกซิเดชันของกรดไขมันในอาหาร และเกิดเป็นกลิ่นที่ฉุนหรือกลิ่นที่เป็นลักษณะเฉพาะของถั่วเขียวและพืชตระกูลถั่ว แต่จะพบว่าสารอันเดคเคน ตรวจพบในสิ่งทดลอง MW+Hot air (18.36%) มากกว่าสิ่งทดลอง Control (3.41%) ทั้งนี้เนื่องจากแป้งถั่วดาวอินคาที่ผ่านการให้ความร้อนมีการสัมผัสกับแสงมากกว่าสิ่งทดลอง Control ซึ่งอันเดคเคนจะเพิ่มขึ้นเมื่อสัมผัสกับแสง สอดคล้องกับงานวิจัยของ Lee et al. (2003) ได้ศึกษาองค์ประกอบของสารระเหยให้กลิ่นในแป้งถั่วเหลือง โดยนำแป้งเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 30°C ในที่มืด และมีแสงเป็นเวลา 6 วัน พบว่าเมื่อเวลาการเก็บที่ 6 วัน ตรวจพบอันเดคเคนในที่มีแสงมากกว่าที่เก็บรักษาไว้ในที่มืด นอกจากนี้แป้งถั่วดาวอินคายังตรวจพบสารในกลุ่มเทอร์พีน (Terpene) ได้แก่ ลิโมนีน (Limonene) ซึ่งตรวจพบในสิ่งทดลอง Control และตรวจพบสารเบต้า-ฟีลเลนดรีน (beta-Phellandrene) ในสิ่งทดลอง MW+Hot air ซึ่งมีรายงานว่าตรวจพบสารในกลุ่มเทอร์พีนในเมล็ดถั่วเขียวและถั่วเหลือง และพบมากในน้ำมันหอมระเหย นอกจากนี้ยังเกิดจากการสลายตัวของแคโรทีนอยด์ในพืชตระกูลถั่ว (Azarnia et al., 2011) ดังนั้นจึงตรวจพบลิโมนีนในสิ่งทดลอง Control และเมื่อนำแป้งถั่วดาวอินคาผ่านการให้ความร้อนตามสิ่งทดลอง MW+Hot air นี้จึงตรวจพบเบต้า-ฟีลเลนดรีน ที่เกิดจากการสลายตัวของแคโรทีนอยด์จากความร้อน

จากผลการวิเคราะห์องค์ประกอบของสารระเหยให้กลิ่นของแป้งถั่วดาวอินคาทั้ง 3 สิ่งทดลอง สอดคล้องกับงานวิจัยของ Azarnia et al. (2011) ที่ได้ศึกษาผลของกระบวนการแช่และ

การต้มต่อองค์ประกอบของสารระเหยให้กลิ่นในเมล็ดถั่ว 9 ชนิด พบว่า กระบวนการมีผลต่อองค์ประกอบของสารระเหยให้กลิ่นแตกต่างกัน โดยเมล็ดถั่วที่ผ่านการแช่และต้มจะมีองค์ประกอบของสารระเหยให้กลิ่นลดลงจากเมล็ดถั่วที่ไม่ผ่านการบวนการ เนื่องจากสารระเหยให้กลิ่นบางส่วน เช่น สารในกลุ่มอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอน และแอลเคน ลดลงในระหว่างการแช่และการต้มถั่วในน้ำเดือด และพบว่าหลังจากการต้มพบสารในกลุ่มแอลกอฮอล์และคีโตนเพิ่มขึ้น แต่พบชนิดและปริมาณสารในกลุ่มแอลดีไฮด์ลดลง

สำหรับการวิเคราะห์ค่าโครงสร้างกลิ่นด้วย Electronic nose ซึ่งเป็นเครื่องมือที่เลียนแบบการดมกลิ่นของมนุษย์ โดยใช้เซ็นเซอร์ในการตรวจจับกลิ่น (Aishima, 2004; Cui et al., 2017) โดยเซ็นเซอร์แต่ละชนิดจะตอบสนองต่อกลิ่นหรือก๊าซชนิดเดียวกันแตกต่างกัน เมื่อการตอบสนองไม่เหมือนกัน เซ็นเซอร์แต่ละชนิดจึงส่งสัญญาณไฟฟ้าออกไปต่างกัน ความแตกต่างของสัญญาณไฟฟ้าทำให้เกิดรูปแบบสัญญาณไฟฟ้าเฉพาะ เมื่อเปลี่ยนกลิ่นหรือชนิดสารให้กลิ่นใหม่จะได้ชุดสัญญาณไฟฟ้าเฉพาะอีกแบบที่ต่างออกไป (บุญรักษ์ กาญจนวรวณิชย์, 2552) ซึ่งเซ็นเซอร์แต่ละตัวมีความสามารถในการตอบสนองต่อกลิ่นได้หลากหลาย รวมทั้งมีความสามารถตอบสนองต่อระดับความเข้มข้นระดับที่ตรวจวัดได้ (Detection limit) แตกต่างกัน ตามประสิทธิภาพการทำงานของเซ็นเซอร์แต่ละชนิดแสดงดังภาคผนวก ก-4 ดังตารางที่ ก-1 งานวิจัยนี้ใช้เซ็นเซอร์ที่ตรวจจับกลิ่นของ E-nose รุ่น FOX 4000 มีเซ็นเซอร์ตรวจจับทั้งหมด 18 เซ็นเซอร์ แบ่งเซ็นเซอร์เป็น 3 ชนิด ได้แก่ 1) ชนิด L-type (LY2/LG, LY2/G, LY2/AA, LY2/GH, LY2/gCTI, และ LY2/gCT) ตรวจจับกลิ่นของกรดไขมันสายสั้น และสารในกลุ่มแอลดีไฮด์ 2) ชนิด P-type (P10/1, P10/2, P40/1, P30/1, P30/2, P40/2, และ PA2) ตรวจจับกลิ่นของสารประกอบที่ไม่มีขั้วที่ไฮโดรคาร์บอนต่อกันเป็นเส้นตรง (Aliphatic) และ 3) ชนิด T-type (T30/1, T70/2, T40/2, T40/1, และ TA/2) ตรวจจับกลิ่นของสารประกอบแอลกอฮอล์ที่มีขั้วและสารประกอบไฮโดรคาร์บอนที่มีอะตอมของฮาโลคลอรีนในโมเลกุล (Chlorinated compound) (Raigar et al., 2017) ผลการทดลองในภาพที่ 4-15 พบว่า เซ็นเซอร์ LY2/gCT, LY2/G และ LY2/LG มีพฤติกรรมการตอบสนองต่อตัวอย่างแป้งถั่วดาวอินคาทั้ง 3 สิ่งทดลอง เหมือนกัน แต่เซ็นเซอร์ TA/2, T40/1, T30/1, T40/2, T70/2, P10/1, P10/2, P30/1, P30/2, P40/1, P40/2 และ PA/2 มีพฤติกรรมการตอบสนองต่อแป้งถั่วดาวอินคาตัวอย่าง Control มากกว่าสิ่งทดลอง MW+Hot air และสิ่งทดลอง Citric acid 0.5% ในขณะที่เซ็นเซอร์ LY2/gCTL, LY2/GH และ LY2/AA มีพฤติกรรมการตอบสนองต่อตัวอย่าง Control น้อยกว่าสิ่งทดลองอื่น ซึ่งเซ็นเซอร์ในกลุ่ม L-type ตอบสนองต่อกลิ่นสุก (Cooked flavor) (พจนาน จุลสิงห์ และธงชัย สุวรรณสิขณน์, 2554) จึงตอบสนองต่อสิ่งทดลอง MW+Hot air เนื่องจากเป็นกระบวนการให้ความร้อนกับแป้งถั่วดาวอินคา และตอบสนองต่อสิ่งทดลอง Citric acid 0.5%

เนื่องจากมีขั้นตอนการลดความชื้นของแป้งลงโดยนำไปให้ความร้อนด้วยตู้อบลมร้อน ในขณะที่เซ็นเซอร์ในกลุ่ม P-type และ T-type ตอบสนองต่อกลิ้นจากสารประกอบอินทรีย์ (พจนา จุลสิงห์ และรัชชัย สุวรรณสิขณน์, 2554) ซึ่งสิ่งทดลอง Control เป็นแป้งที่ไม่ผ่านกระบวนการลดกลิ่นถั่ว จึงยังคงมีกลิ่นสดใหม่ที่เป็นธรรมชาติของกลิ่นถั่ว หรือแสดงความเป็นลักษณะเฉพาะของกลิ่นถั่ว จากพฤติกรรมตอบสนองของเซ็นเซอร์ต่อแป้งถั่วคาวอินคา แสดงให้เห็นว่า แป้งถั่วคาวอินคา ทั้ง 3 สิ่งทดลอง มีเค้าโครงคุณภาพกลิ่นที่แตกต่างกัน สอดคล้องกับงานวิจัยของ Cui et al. (2017) ได้ศึกษาการแยกความแตกต่างระหว่างโสมอเมริกาและโสมเอเชียโดยใช้ Electronic nose และ GC-MS พบว่า บางเซ็นเซอร์มีพฤติกรรมตอบสนองต่อโสมอเมริกาและโสมเอเชียที่เหมือนกัน แต่บางเซ็นเซอร์มีพฤติกรรมตอบสนองต่อโสมอเมริกาและโสมเอเชียแตกต่างกัน ซึ่งรูปแบบของการแสดงออกของพฤติกรรมของเซ็นเซอร์ที่ต่างกัน เกิดจากกลิ่นที่ต่างกัน ดังนั้นจึงสามารถใช้แยกความแตกต่างของกลิ่นได้ และสอดคล้องกับงานวิจัยของ พจนา จุลสิงห์ และรัชชัย สุวรรณสิขณน์ (2554) ได้จำแนกกลุ่มผลิตภัณฑ์กะทิสำเร็จรูปทางการค้าด้วย Electronic nose พบว่า กะทิสำเร็จรูปที่ผ่านการพาสเจอร์ไรส์ ยูเอชที สเตอริไลส์ และทำแห้งแบบพ่นฝอย มีการตอบสนองของเซ็นเซอร์ในกลุ่ม L-type มากกว่ากะทิสด เนื่องจากเป็นเซ็นเซอร์กลุ่มของสารที่มีซัลเฟอร์เป็นองค์ประกอบและกลุ่มของกรดไขมันอิสระที่ถูกออกซิไดซ์ หรือเป็นผลิตภัณฑ์ที่มีกลิ่นที่เกิดจากความร้อน (กลิ่นสุก) ที่ใช้ในกระบวนการแปรรูป ขณะที่กะทิสดมีการตอบสนองของเซ็นเซอร์ในกลุ่ม P-type และ T-type มากกว่ากะทิที่ผ่านการแปรรูป ทั้งนี้เนื่องจากเซ็นเซอร์ในกลุ่มนี้ตอบสนองต่อสารไฮโดรคาร์บอน อโรมาติก และแอลกอฮอล์ ซึ่งเป็นกลิ่นสารประกอบอินทรีย์ที่แสดงความสดใหม่ของตัวอย่าง

จากการนำตัวอย่างแป้งถั่วคาวอินคาทั้ง 3 สิ่งทดลอง มาวิเคราะห์กลิ่นด้วย Electronic nose โดยวิเคราะห์สิ่งทดลองละ 15 ตัวอย่าง และนำข้อมูลที่ได้มาจัดกลุ่มตัวแปรโดยใช้หลักการวิเคราะห์องค์ประกอบหลัก (PCA) (ภาพที่ 4-16) พบว่า สามารถจัดกลุ่มตัวแปรองค์ประกอบหลักได้เป็น 2 องค์ประกอบ (PC) และอธิบายความผันแปรสะสมได้ 99.61% ซึ่งหากค่าความผันแปรสะสมมีค่ามากกว่า 90% แสดงให้เห็นว่ามีประสิทธิภาพเพียงพอที่จะอธิบายความผันแปรของชุดข้อมูลได้ (Hong et al., 2015) โดย PC1 และ PC2 อธิบายความผันแปรได้ 98.86% และ 0.75% ตามลำดับ จากภาพจะเห็นได้ว่า แป้งถั่วคาวอินคาทั้ง 3 สิ่งทดลอง แบ่งเป็น 3 กลุ่มชัดเจนใน PC1 โดยตัวอย่าง Control แยกออกจากตัวอย่างอื่นอย่างชัดเจน อย่างไรก็ตามสิ่งทดลอง MW+Hot air และตัวอย่าง Citric acid 0.5% มีบางส่วนที่ซ้อนทับกันอยู่ แสดงให้เห็นว่า แป้งถั่วคาวอินคา สิ่งทดลอง Control มีกลิ่นที่แตกต่างจากแป้งถั่วคาวอินคาที่ผ่านการลดกลิ่นถั่วทั้งสิ่งทดลอง MW+Hot air และสิ่งทดลอง Citric acid 0.5% ในขณะที่สิ่งทดลอง MW+Hot air และสิ่งทดลอง

Citric acid 0.5% มีบางกลิ่นที่คล้ายกัน และมีบางกลิ่นที่แตกต่างกัน เนื่องจากกระบวนการลดกลิ่นตัวของแป้งโดยการให้ความร้อน และการแช่ในสารละลายกรดมีผลให้องค์ประกอบของสารให้กลิ่นในแป้งถั่วดาวอินคาเปลี่ยนแปลงไป ซึ่งสอดคล้องกับผลการวิเคราะห์องค์ประกอบของสารระเหยให้กลิ่นในแป้งถั่วดาวอินคาโดยใช้ SPME-GC/MS (ตารางที่ 4-15) ที่พบว่า ตรวจพบสารระเหยให้กลิ่นบางสารในสิ่งทดลอง Control แต่ไม่พบในสิ่งทดลองที่ผ่านการลดกลิ่นด้วยตัวอย่างเช่น ตรวจพบสารในกลุ่มแอลเคน เช่น เกลเคน และ โดเดเคน ซึ่งเป็นสารประกอบไฮโดรคาร์บอนที่เป็นสารอินทรีย์ที่แสดงถึงกลิ่นเฉพาะของกลิ่นถั่ว และตรวจพบคาร์บอน ไดออกไซด์ ซึ่งมีพฤติกรรมการตอบสนองของเซนเซอร์ในกลุ่ม P-type และ T-type มาก เช่น เซนเซอร์ PA/2 และ T30/1 และสอดคล้องกับงานวิจัยของ Chen et al. (2018) รายงานว่าผลการวิเคราะห์องค์ประกอบหลักของพุทราจีน 10 สายพันธุ์ พบว่า มีตัวอย่างบางสายพันธุ์ที่ซ้อนทับกันหรือใกล้เคียงตัวอย่างอื่น แสดงถึงมีกลิ่นที่คล้ายกัน ในขณะที่บางสายพันธุ์อยู่ไกลกัน แสดงถึงมีกลิ่นที่แตกต่างกันอย่างชัดเจน

จากผลการวิเคราะห์ปริมาณเส้นใยอาหารทั้งหมดของแป้งถั่วดาวอินคา แสดงดังตารางที่ 4-16 พบว่า ทั้ง 3 สิ่งทดลอง มีปริมาณเส้นใยอาหารทั้งหมดแตกต่างกัน ($p < 0.05$) โดยสิ่งทดลอง Control มีปริมาณเส้นใยอาหารทั้งหมดมากที่สุด เท่ากับ 42.00 %dry basis รองลงมาคือสิ่งทดลอง MW+Hot air และสิ่งทดลอง Citric acid 0.5% มีปริมาณเส้นใยอาหารทั้งหมด เท่ากับ 38.81% และ 32.35% dry basis ตามลำดับ แสดงให้เห็นว่า การให้ความร้อนและการแช่แป้งในสารละลายมีผลต่อการลดปริมาณเส้นใยอาหารทั้งหมดจากแป้งถั่วดาวอินคาได้ สอดคล้องกับงานวิจัยของ Johansson (2012) พบว่า การอบแป้งถั่วลิสงที่อุณหภูมิ 80°C มีผลให้ปริมาณเส้นใยอาหารทั้งหมดลดลงจาก 25.29% dry basis เป็น 18.29% dry basis เนื่องจากการแปรรูปโดยใช้อุณหภูมิที่สูง มีผลให้เกิดการแตกตัว (Fragmentation) ของโพลีแซคคาไรด์ ซึ่งเป็นองค์ประกอบหนึ่งของเส้นใยอาหาร ทำให้โครงสร้างของเส้นใยอาหารมีความสมบูรณ์ลดลง ปริมาณเส้นใยอาหารที่วิเคราะห์ได้จึงน้อยลง โดยเส้นใยอาหารที่มักเกิดการแตกตัวสูญเสียไประหว่างการให้ความร้อนมักเป็นเส้นใยอาหารส่วนที่ละลายน้ำได้ เช่น เพคตินและกัม การแช่แป้งในสารละลายอาจมีผลให้เส้นใยอาหารที่ละลายน้ำได้ละลายออกไปกับน้ำที่ใส่แช่ จึงมีผลให้ปริมาณเส้นใยอาหารทั้งหมดลดลงไปด้วย (Kajihaua et al., 2014) สอดคล้องกับงานวิจัยของ Kutos et al. (2003) การแช่ถั่วพินโต (Pinto) ในน้ำเป็นเวลาข้ามคืนที่อุณหภูมิห้อง มีผลให้ปริมาณใยอาหารทั้งหมดลดลงจาก 23.3% dry basis เหลือ 20.1% dry basis

จากตารางที่ 4-17 พบว่า แป้งถั่วดาวอินคาทั้ง 3 สิ่งทดลอง มีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด สมบัติการต้านอนุมูลอิสระ DPPH และสมบัติการต้านอนุมูลอิสระ FRAP ต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) โดยสิ่งทดลอง Control มีปริมาณสารประกอบฟีนอลิก

ทั้งหมด และ % inhibition มากที่สุด ($p < 0.05$) เท่ากับ 53.17 mg GAE/100 g และ 74.23% ตามลำดับ รองลงมาคือ สิ่งทดลอง MW+Hot air และสิ่งทดลอง Citric acid 0.5% มีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด เท่ากับ 51.33 และ 26.45 mg GAE/100 g ตามลำดับ และมี % Inhibition เท่ากับ 72.32% และ 49.48% ตามลำดับ สำหรับสมบัติการต้านอนุมูลอิสระ FRAP พบว่า แป้งถั่วดาวอินคาตัวอย่าง Control และสิ่งทดลอง MW+Hot air มีสมบัติการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระ FRAP มากที่สุด ($p < 0.05$) เท่ากับ 550.88 และ 536.39 $\mu\text{mol/L}$ ตามลำดับ โดยสิ่งทดลอง Citric acid 0.5% มีสมบัติการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระ FRAP น้อยที่สุด เท่ากับ 332.70 $\mu\text{mol/L}$ จากผลการทดลองจะเห็นได้ว่า แป้งถั่วดาวอินคาที่ผ่านการลดกลิ่นถั่วทั้ง 2 สิ่งทดลองมีปริมาณสารประกอบฟีนอลิก สมบัติการต้านอนุมูลอิสระ (DPPH และ FRAP) ลดลง ทั้งนี้เนื่องจากสารประกอบฟีนอลิกสลายตัวจากความร้อน โดยความร้อนมีผลให้สารประกอบฟีนอลิกโมเลกุลเล็ก ๆ สามารถระเหยกลายเป็นไอได้ ตัวอย่างเช่น สารประกอบฟีนอลิก กลุ่มฟลาโวนอยด์ (Flavonoid) ที่มีโครงสร้างแบบ $C_6-C_3-C_6$ โดยมีลักษณะเป็นวงแหวน 3 วงต่อกัน คือ A B และ C ตามลำดับ ซึ่งมีคุณสมบัติละลายน้ำได้ เมื่อได้รับความร้อนจะเกิดการแตกตัวของวงแหวน C และสลายตัวไป ทำให้วงแหวน B เปลี่ยนโครงสร้างเป็นกรดคาร์บอกซิลิก (Carboxylic acid) และวงแหวน A เปลี่ยนโครงสร้างเป็นคาร์บอกซิลอัลดีไฮด์ (Carboxyl aldehyde) ตามลำดับ ซึ่งสามารถระเหยไปพร้อมกับไอน้ำได้ (Siah et al., 2014; Xu & Chang, 2008; งามราช หมั่นศรีธาราม, 2550) และการแช่มีผลให้ผนังเซลล์ของเนื้อเยื่ออ่อนตัวลงซึ่งมีผลให้สารประกอบโพลีฟีนอลที่ละลายน้ำได้ถูกชะออกมากับน้ำที่ใส่แช่ในระหว่างกระบวนการได้ (Boateng et al., 2008; Siah et al., 2014) สารประกอบฟีนอลิกส่วนใหญ่มีสมบัติการต้านอนุมูลอิสระ ดังนั้นการที่ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกลดลงจึงมีผลให้สมบัติการต้านอนุมูลอิสระลดลงด้วย สอดคล้องกับงานวิจัยของ Xu and Chang (2008) ได้ศึกษาผลของการแช่ การต้ม และการนึ่ง ต่อปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดและสมบัติการต้านอนุมูลอิสระของถั่วเขียว ถั่วเหลือง ถั่วลูกไก่ และถั่วเลนทิล เปรียบเทียบกับถั่วที่ไม่ผ่านกระบวนการต่าง ๆ พบว่า ทุกกระบวนการมีผลให้ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดและสมบัติการต้านอนุมูลอิสระ DPPH ลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) และสอดคล้องกับงานวิจัยของ Siah et al. (2014) ได้ศึกษาผลของการแช่ การต้ม และการอบโอโตเคลฟต่อปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดและสมบัติการต้านอนุมูลอิสระของเมล็ดถั่วปากอ้า (Faba bean) 5 สายพันธุ์ พบว่า การแช่ การต้ม และการอบโอโตเคลฟ มีผลให้ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดและสมบัติการต้านอนุมูลอิสระ FRAP ของเมล็ดถั่วปากอ้าทุกสายพันธุ์ลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) โดยเมล็ดถั่วปากอ้าสายพันธุ์ TF Nura และ Rassa ที่ไม่ผ่านกระบวนการ (Unproceesed) มีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด เท่ากับ 2.8 10.9 และ 11.2 mgGAE/g dry

bean ตามลำดับ และมีสมบัตการต้านอนุมูลอิสระ FRAP เท่ากับ 10.92 18.22 และ 20.14 $\mu\text{mol/g}$ dry bean ตามลำดับ โดยการแช่มีผลให้ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดลดลงเหลือ 2.8 6.5 และ 7.7 mgGAE/g dry bean ตามลำดับ และมีสมบัตการต้านอนุมูลอิสระ FRAP ลดลงเหลือ 9.04 18.47 และ 19.58 $\mu\text{mol/g}$ dry bean ตามลำดับ การต้มมีผลให้ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดลดลงเหลือ 0.7 2.4 และ 2.4 mgGAE/g dry bean ตามลำดับ และมีสมบัตการต้านอนุมูลอิสระ FRAP ลดลงเหลือ 1.92 6.60 และ 6.97 $\mu\text{mol/g}$ dry bean ตามลำดับ การอบโตเคลพมีผลให้ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดลดลงเหลือ 0.7 1.8 และ 1.9 mgGAE/g dry bean ตามลำดับ และมีสมบัตการต้านอนุมูลอิสระ FRAP ลดลงเหลือ 4.37 9.01 และ 11.78 $\mu\text{mol/g}$ dry bean ตามลำดับ

งานวิจัยนี้มีการวิเคราะห์สมบัตการต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี DPPH scavenging activity assay และ Ferric reducing antioxidant power เนื่องจากองค์ประกอบของแป้งถั่วมีสารพฤษเคมีที่ออกฤทธิ์ต้านอนุมูลทั้งแบบ DPPH และ FRAP สอดคล้องกับ Siah et al. (2014) ได้วิเคราะห์สมบัตการต้านอนุมูลอิสระ DPPH และ FRAP ของเมล็ดถั่วปากอ้า และ Rawdkuen et al. (2016) ได้วิเคราะห์สมบัตการต้านอนุมูลอิสระของ Press-cake จากเมล็ดถั่วดาวอินคาด้วยทั้ง 2 วิธีนี้เช่นกัน สำหรับสมบัตการต้านอนุมูลอิสระ DPPH เป็นอนุมูลอิสระที่ค่อนข้างเสถียร มีสีม่วง อยู่ในรูปอนุมูลอยู่แล้ว ไม่ต้องทำปฏิกิริยาเพื่อให้เกิดอนุมูล เป็นการวัดความสามารถของสารทดสอบในการกำจัดอนุมูลอิสระโดยวิธีให้ไฮโดรเจนอะตอม ซึ่งเป็นวิธีเบื้องต้นที่นิยมใช้ในการทดสอบการต้านอนุมูลอิสระโดยทั่วไป สำหรับสมบัตการต้านอนุมูลอิสระ FRAP เป็นการศึกษสมบัตการเป็นตัวให้อิเล็กตรอนของสารตัวอย่างแก่อนุมูลอิสระที่สังเคราะห์ขึ้นภายในระบบ โดยอาศัยการวัดปฏิกิริยา Reduction ของ Fe^{3+} -TPTZ ไปเป็น Fe^{2+} -TPTZ ดังนั้นสารตัวอย่างที่มีสมบัต FRAP มาก หมายถึง สารสกัดที่สามารถให้อิเล็กตรอนได้ดี เพื่อเปลี่ยนรูปให้อยู่ในสถานะที่เสถียรสูงที่สุด (สุชาดา มานอก และปวีณา ลิมเจริญ, 2558)

เพื่อให้เห็นถึงลักษณะโครงสร้างของเม็ดสตาร์ชและโปรตีนของแป้งถั่วดาวอินคา งานวิจัยนี้เตรียมตัวอย่างแป้งโดยคัดแปลงจากวิธีของ Jiang et al. (2016) ทำได้โดยนำแป้งถั่วดาวอินคาผสมกับน้ำ (อัตราส่วน 1 : 10) แล้วนำไปบ่มที่อุณหภูมิ 50°C เป็นเวลา 20 นาที จากนั้นนำสารละลายแป้งผสมกับ Coomassie brilliant blue ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 10 นาที เพื่อย้อมสีแป้งถั่วดาวอินคา โดย Coomassie brilliant blue จะย้อมติดโปรตีนและให้สีน้ำเงิน เมื่อดูโครงสร้างของสารละลายแป้งถั่วดาวอินคาภายใต้กล้องจุลทรรศน์แบบใช้แสง จึงสามารถแยกโครงสร้างของสตาร์ชและโปรตีนได้โดยเม็ดสตาร์ชจะมีลักษณะกลมและมีสีขาว ในขณะที่โปรตีนจะมีสีน้ำเงิน จากภาพที่ 4-17 พบว่า แป้งถั่วดาวอินคาล้างทดลอง Control เม็ดสตาร์ชมีลักษณะกลมและกระจายตัวไม่เกาะกลุ่มกัน (ภาพ ก) สำหรับแป้งถั่วดาวอินคาที่ผ่านการลดกลั่นถั่ว จะเห็นได้ว่า

สิ่งทดลอง MW+Hot air มีเม็ดสตาร์ชบางส่วนเกาะกลุ่มกัน (ภาพ ค) เช่นเดียวกับสิ่งทดลอง Citric acid 0.5% (ภาพ จ) ทั้งนี้เนื่องจากองค์ประกอบส่วน โปรตีนเมื่อได้รับความร้อนหรือผ่านการแช่ด้วยกรด จะมีโอกาสเกิดการเสียสภาพธรรมชาติ เกิดการสร้างพันธะ (Crosslink) กับองค์ประกอบอื่น และมีโอกาสสร้างพันธะที่บริเวณผิวของเม็ดสตาร์ช (Jiang et al., 2016) แต่จะสังเกตเห็นว่า สิ่งทดลอง Citric acid 0.5% มีการรวมกลุ่มของเม็ดสตาร์ชมากกว่าสิ่งทดลอง MW+Hot air ทั้งนี้อาจเนื่องจากการแช่แป้งในสารละลายกรดอาจมีผลให้โปรตีนเสียสภาพธรรมชาติมากกว่าการให้ความร้อนด้วยไมโครเวฟร่วมกับตู้อบลมร้อน รวมถึงอาจสัมพันธ์กับปริมาณโปรตีนที่อยู่ในแป้ง ซึ่งสิ่งทดลอง Citric acid 0.5% มีปริมาณโปรตีน (48.07% dry basis) มากกว่า สิ่งทดลอง MW+Hot air (40.80% dry basis) จึงส่งผลให้โปรตีนมีโอกาสเสียสภาพธรรมชาติและสร้างพันธะกับเม็ดสตาร์ชได้มากกว่า

การพิจารณาโครงสร้างทางจุลภาคภายใต้แสงโพลาไรส์ จะช่วยให้เห็นโครงสร้างของเม็ดสตาร์ชได้ง่ายขึ้น เนื่องจากเม็ดสตาร์ชมีโครงสร้างหรือลักษณะที่เรียกว่า ไบรีฟริงเจนซ์ (Birefringence) ซึ่งมีความสามารถในการเบี่ยงเบนระนาบแสงโพลาไรซ์ได้ (กล้าณรงค์ ศรีรอด และ เกื้อกุล ปิยะจอมขวัญ, 2546) จากภาพ ข ง และ ฉ จะเห็นเงาสะท้อนของการบิดระนาบแสงของเม็ดสตาร์ช จากผลการทดลองจะเห็นได้ว่า ลักษณะของเม็ดสตาร์ชของสิ่งทดลอง Control และเม็ดสตาร์ชที่รวมตัวกันของสิ่งทดลอง MW+Hot air และสิ่งทดลอง Citric acid 0.5% ยังคงมีโครงสร้างผลึกที่สมบูรณ์ (ภาพ ข, ค และ ง) แสดงให้เห็นว่าการให้ความร้อนและการแช่แป้งในสารละลายกรดไม่ส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงของเม็ดสตาร์ชที่อยู่ในแป้งถั่วดาวอินคา สอดคล้องกับงานวิจัยของ Jiang et al. (2016) ได้ปรับปรุงกลิ่นถั่วของเมล็ดถั่วปากอ้าโดยการให้ความร้อนด้วยไมโครเวฟ ผลการวิเคราะห์ลักษณะโครงสร้างทางจุลภาค พบว่า เมื่อเวลาการให้ความร้อนด้วยไมโครเวฟเพิ่มมากขึ้น มีผลให้แป้งเกาะกลุ่มกันมากขึ้น ซึ่งเกิดจากการเสียสภาพธรรมชาติของโปรตีนและการสร้างพันธะระหว่างโปรตีนและสตาร์ช และสอดคล้องกับงานวิจัยของ Ma et al. (2011) ได้ศึกษาผลของกระบวนการให้ความร้อนต่อโครงสร้างทางจุลภาคของแป้งจากถั่วเลนทิล (Lentil) ถั่วลูกไก่ (Chickpea) และพี (Pea) โดยการใช้กล้องจุลทรรศน์แบบส่องกราด (Scanning electron microscopy) พบว่า แป้งถั่วที่ไม่ผ่านกระบวนการให้ความร้อนทั้ง 3 ชนิด มีลักษณะของเม็ดสตาร์ชที่มีลักษณะกลมรี และมีโปรตีนซึ่งมีลักษณะทั้งโปรตีนก้อนกลม (Globular) และโปรตีนที่เป็นอนุภาคไม่สม่ำเสมอ เกาะติดกับเม็ดสตาร์ช และอยู่ระหว่างเม็ดสตาร์ช โดยแป้งถั่วที่ผ่านการคั่วที่อุณหภูมิ 80°C นาน 1 นาที มีโครงสร้างทางจุลภาคไม่เปลี่ยนแปลงจากแป้งถั่วที่ไม่ผ่านกระบวนการมากนัก แต่แป้งถั่วที่ผ่านการคั่วที่อุณหภูมิ 90°C นาน 20 นาที มองเห็นโครงสร้าง

สตาร์ชเป็นผลึกที่ไม่มีรูปร่าง (Amorphous) เนื่องจากสตาร์ชเกิดการเจลาติไนเซชันและสร้างพันธะกับโปรตีนรวมเป็นเนื้อเดียวกัน

สำหรับลักษณะของแป้งถั่วดาวอินคาที่ได้ แสดงดังภาพที่ 4-18 จากการสังเกตด้วยตาเปล่า พบว่า แป้งถั่วดาวอินคาที่ผ่านการลดกลิ่นถั่วด้วยการใช้สารเคมี (Citric acid 0.5%) มีสีขาวมากกว่าแป้งถั่วดาวอินคาที่ผ่านการลดกลิ่นถั่วด้วยการให้ความร้อน (MW+Hot air) และสิ่งทดลอง Control โดยสิ่งทดลอง MW+Hot air มีสีขาวใกล้เคียงกับสิ่งทดลอง Control สอดคล้องกับผลการวิเคราะห์ค่าสี แสดงดังตารางที่ 4-18 พบว่า สิ่งทดลอง Citric acid 0.5% มีค่าความสว่าง (L*) และค่า Whiteness สูงที่สุด ($p < 0.05$) ซึ่งมีสีขาวสอดคล้องกับสีที่มองเห็นด้วยตาเปล่า ในขณะที่สิ่งทดลอง Control มีค่า L* ต่ำที่สุด และมีค่าความเป็นสีแดง (a*) สูงที่สุด และตัวอย่าง MW+Hot air มีค่าความเป็นสีเหลือง (b*) สูงที่สุด อย่างไรก็ตาม แป้งถั่วดาวอินคาที่ผ่านการลดกลิ่นถั่วทั้ง 2 สิ่งทดลอง มีค่า Whiteness มากกว่าสิ่งทดลอง Control ($p < 0.05$) ทั้งนี้เนื่องจากแป้งถั่วดาวอินคาที่มีสีออกเหลืองเนื่องจากมีรงควัตถุพวกแคโรทีนอยด์เป็นองค์ประกอบ (Chirinos et al., 2013) การสัมผัสกับความชื้นหรืออากาศมีโอกาสเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของสารพวกแคโรทีนอยด์ ซึ่งทำให้โครงสร้างแคโรทีนอยด์ที่มีสีเหลืองจางลง (รัชณี ดัชนีพนาณิชกุล, 2535) สำหรับ Citric acid ทำหน้าที่จับกับไอออนของโลหะ ซึ่งเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาการเกิดออกซิเดชันของรงควัตถุในอาหาร (รัชณี ดัชนีพนาณิช, 2547; ทิพวรรณ จันทะรักษ์ และคณะ, 2555) นอกจากนี้การแช่แป้งในสารละลายกรดยังสามารถช่วยฟอกสีของแป้งได้

แป้งถั่วดาวอินคาที่มีปริมาณ โปรตีนสูง จึงมีการวัดสมบัติเชิงหน้าที่ของแป้ง ผลการวิเคราะห์สมบัติเชิงหน้าที่ของแป้งแสดงดังตารางที่ 4-19 โดยค่า Water absorption capacity หรือความสามารถในการดูดซับน้ำ มีความเกี่ยวข้องกับความสามารถในการดูดซับ และเก็บกักน้ำไว้ในโครงสร้างของแป้ง ซึ่งเป็นคุณสมบัติเชิงหน้าที่ที่สำคัญในการประยุกต์ใช้ในผลิตภัณฑ์อาหารหลายชนิด (Singh, Sharma, & Singh, 2017) โดยในตัวอย่างแป้ง 1 กรัม ทุกตัวอย่างสามารถดูดซับน้ำไว้ได้มากกว่าน้ำหนักแป้ง โดยมีค่า Water absorption capacity อยู่ในช่วง 2.81-3.41 g/g flour แต่แป้งถั่วดาวอินคาที่ผ่านการลดกลิ่นถั่วทั้ง 2 สิ่งทดลอง มีความสามารถในการดูดซับน้ำลดลงจากสิ่งทดลอง Control ($p < 0.05$) Bhat and Yahya (2014) กล่าวว่า การที่แป้งสามารถดูดซับและเก็บกักของเหลวไว้ได้ มีผลมาจากปริมาณใยอาหารทั้งหมด ปริมาณโปรตีน และการเกิดเจลของคาร์โบไฮเดรต โดยตัวอย่าง Control มีปริมาณคาร์โบไฮเดรต (13.19% dry basis) และปริมาณเส้นใยอาหารทั้งหมดมาก (42.00% dry basis) จึงส่งผลให้สามารถดูดซับน้ำไว้ได้มาก ในขณะที่สิ่งทดลอง MW+Hot air มีการให้ความร้อนกับแป้ง ซึ่งกระบวนการให้ความร้อนอาจทำให้โปรตีนบางส่วนเสียสภาพธรรมชาติ ทำให้หมู่มีซัลฟอนลดลง นอกจากนี้ยังเกิดการสร้างพันธะระหว่างโปรตีน

และสตาร์ช โดยโปรตีนจะสร้างพันธะที่บริเวณผิวของเม็ดสตาร์ช ทำให้โปรตีนยึดติดบริเวณผิวของเม็ดสตาร์ชไว้ จะเห็นได้จากโครงสร้างทางจุลภาค (ภาพ ค) เม็ดสตาร์ชจึงไม่สามารถดูดซับน้ำไว้ได้ (Jiang et al., 2016) สำหรับการแช่แป้งในสารละลายกรดอาจทำให้โปรตีนบางส่วนเสียสภาพธรรมชาติรวมตัวกันตกตะกอน จะเห็นได้จากโครงสร้างทางจุลภาค (ภาพ จ) จึงทำให้โอกาสการสัมผัสกับน้ำน้อยกว่าสิ่งทดลอง Control

ในขณะที่ความสามารถในการดูดซับน้ำมัน หรือค่า Oil absorption เกี่ยวข้องกับโมเลกุลส่วนที่ไม่ชอบน้ำของโปรตีน ที่สามารถแทรกตัวตรงกับส่วนที่เป็นน้ำมัน (Seena & Srihar, 2005) พบว่า สิ่งทดลอง Citric acid 0.5% มีค่า Oil absorption มากที่สุด ($p < 0.05$) เท่ากับ 2.49 g/g flour ทั้งนี้เนื่องจากการแช่ในสารละลายกรดอาจทำให้โปรตีนเสียสภาพธรรมชาติ (สังเกตได้จากโครงสร้างทางจุลภาค ภาพ ง) ซึ่งโปรตีนในถั่วส่วนใหญ่เป็น โปรตีนก้อนกลมซึ่งจะหันด้านที่มีขี้ (ชอบน้ำ) ออกด้านนอกและด้านที่ไม่มีขี้ (ไม่ชอบน้ำ) อยู่ด้านใน เมื่อมีการเสียสภาพของโปรตีน ส่งผลให้โปรตีนเกิดการคลายตัว มีผลให้หมู่ที่ไม่ชอบน้ำของโปรตีนเพิ่มมากขึ้น น้ำมันจึงสามารถจับกับผิวหน้าของโปรตีนได้ดี (Seena & Srihar, 2005) นอกจากนี้การแช่แป้งถั่วดาวอินคาในสารละลายเป็นเวลา 60 นาที มีผลให้องค์ประกอบอื่นที่ละลายน้ำได้แพร่ออกมากับน้ำที่ใช้แช่ และถูกชะออกไปกับน้ำล้างแป้ง มีผลให้ได้โปรตีนบริสุทธิ์เพิ่มมากขึ้น จึงมีความสามารถในการดูดซับน้ำมันที่ดี และการแช่แป้งในสารละลายอาจมีผลให้โครงสร้างของเม็ดสตาร์ชเกิดการคลายตัวและอยู่ในสภาพที่เอื้อต่อการสร้างพันธะกับน้ำและน้ำมัน หรือกล่าวได้ว่าแป้งที่ผ่านการแช่มีลักษณะที่อ่อนนุ่ม จึงสามารถดูดซับน้ำมันได้ง่าย และมากกว่าสิ่งทดลองอื่น สำหรับสิ่งทดลอง MW+Hot air อาจเป็นไปได้ว่าการให้ความร้อน มีโอกาสให้โปรตีนเสียสภาพธรรมชาติ จนเกิดพันธะยึดเหนี่ยวกับน้ำมันได้แข็งแรงน้อยลง จึงมีโอกาสดูดซับน้ำมันได้น้อยลง สอดคล้องกับงานวิจัยของ Ma et al. (2011) ได้ศึกษาสมบัติเชิงหน้าที่ของแป้งถั่วเลนทิล (Lentil) ถั่วลูกไก่ (Chickpea) และพี (Pea) ที่ไม่ผ่านและผ่านกระบวนการคั่วและการต้ม พบว่า แป้งถั่วทุกชนิดที่ผ่านการต้มมีความสามารถในการดูดซับน้ำมันมากกว่าสิ่งทดลองอื่น เนื่องจากการคลายตัวของโปรตีนก้อนกลมเมื่อได้รับความร้อน มีผลให้กรดอะมิโนที่ไม่มีขี้เพิ่มมากขึ้น จึงช่วยเพิ่มพื้นผิวการดูดซับน้ำมัน นอกจากนี้การต้มมีผลให้โครงสร้างทางกายภาพของเม็ดแป้งมีความเป็นรูพรุนสามารถคักจับไขมันไว้ในโครงสร้างได้มากกว่าสิ่งทดลองอื่น

สำหรับสมบัติการเป็นอิมัลชัน (Emulsifying properties) จะวิเคราะห์ค่า Emulsion activity หรือความสามารถในการเกิดอิมัลชัน ซึ่งหมายถึง การผสมเป็นเนื้อเดียวกันของ 2 เฟส คือน้ำและน้ำมัน โดยมีผิวหน้าของโปรตีนเป็นตัวผสม ดังนั้นความสามารถในการเกิดอิมัลชันจึงเป็นค่าที่บ่งชี้ถึงปริมาณน้ำมันมากที่สุดที่สามารถจับกับผิวหน้าของโปรตีนแล้วเกิดเป็นอิมัลชันได้

(Bhat & Yahya, 2014) ผลการทดลอง พบว่า แป้งถั่วดาวอินคาที่ได้มีค่า Emulsion activity อยู่ในช่วง 47.28-53.85% และวิเคราะห์ค่า Emulsion stability หมายถึง ความสามารถของอิมัลชันที่จะรักษาการกระจายตัวของหยดของเหลวไม่ให้รวมตัวกันแล้วเกิดการแยกชั้น (Bhat & Yahya, 2014) ซึ่งวิเคราะห์ได้โดยการรบกวนระบบอิมัลชัน เช่น การนำอิมัลชันไปให้ความร้อนแล้ววัดความสูงของชั้นอิมัลชันที่ยังคงตัว โดยแป้งถั่วดาวอินคาที่ได้มีค่า Emulsion stability อยู่ในช่วง 32.79-35.09% และพบว่าแป้งถั่วดาวอินคาสีงทดลอง Citric acid 0.5% มีค่า Emulsion activity และ Emulsion stability มากที่สุด ($p < 0.05$) เท่ากับ 53.85% และ 35.09% ตามลำดับ ทั้งนี้เนื่องจากสิ่งทดลอง Citric acid 0.5% มีปริมาณ โปรตีนมากที่สุด เท่ากับ 48.07% dry basis และเป็น โปรตีนที่มีความบริสุทธิ์มากกว่าสิ่งทดลองอื่น และการแช่แป้งถั่วดาวอินคาในสารละลายกรด อาจมีผลทำให้โปรตีนเสียสภาพธรรมชาติ เกิดการคลายตัว จึงสามารถแทรกตัวระหว่างน้ำและน้ำมัน ช่วยให้ น้ำและน้ำมันสามารถจับกับผิวหน้าของโปรตีนเกิดเป็นอิมัลชันได้ดี (Seena & Srihar, 2005) ในขณะที่สิ่งทดลอง Control และสิ่งทดลอง MW+Hot air มีปริมาณโปรตีนที่น้อยกว่า โดยมีปริมาณโปรตีนเท่ากับ 40.92% และ 40.80% ตามลำดับ จึงทำให้มีปริมาณโปรตีนที่สามารถจับกับน้ำและน้ำมันได้น้อยกว่าสิ่งทดลอง Citric acid 0.5% นอกจากนี้การให้ความร้อน มีโอกาสทำให้โปรตีนเสียสภาพธรรมชาติ จนเกิดพันธะยึดเหนี่ยวกับน้ำและน้ำมัน ได้แข็งแรงน้อยลง จึงมีโอกาสเกิดอิมัลชันและมีความคงตัวที่จะรักษาการกระจายตัวของหยดของเหลวไม่ให้รวมตัวแล้วเกิดการแยกชั้นได้น้อยลง Bhat and Yahya (2014) ยังกล่าวว่า สมบัติการเป็นอิมัลชันยังขึ้นอยู่กับความสามารถในการดูดซับน้ำหรือดูดซับน้ำมันอีกด้วย ซึ่งจากผลการทดลองจะเห็นได้ว่าสมบัติการเป็นอิมัลชันของแป้งถั่วดาวอินคามีแนวโน้มความสัมพันธ์ไปในทิศทางเดียวกันกับสมบัติการดูดซับน้ำมันอีกด้วย

สำหรับสมบัติด้านการพองตัว หรือ Swelling properties เกี่ยวข้องกับความสามารถในการพองตัวของเมล็ดสตาร์ชได้อย่างอิสระในระหว่างการให้ความร้อนในน้ำที่มากเกินไป (Singh et al., 2017) แป้งถั่วดาวอินคา นอกจากจะมีโปรตีนสูงยังมีคาร์โบไฮเดรตเป็นองค์ประกอบด้วย และมีสตาร์ชเป็นองค์ประกอบประมาณ 0.04% dry basis (Jagersberger, 2013) กรณีแป้งที่มีองค์ประกอบของสตาร์ช เม็ดสตาร์ชในแป้งจะมีความสามารถที่จะพองตัวได้ ผลการวิเคราะห์สมบัติการพองตัวของแป้งถั่วดาวอินคา (ตารางที่ 4-19) พบว่า สิ่งทดลอง Citric acid 0.5% มีสมบัติการพองตัวมากที่สุด ($p < 0.05$) เท่ากับ 4.01 g/g flour ขณะที่แป้งถั่วดาวอินคาตัวอย่าง Control และสิ่งทดลอง MW+Hot air มีสมบัติการพองตัวไม่แตกต่างกัน ($p \geq 0.05$) ทั้งนี้เนื่องจากแป้งถั่วดาวอินคาสีงทดลอง Citric acid มีการแช่แป้งในสารละลายเป็นเวลา 60 นาที ซึ่งมีผลให้เมล็ดสตาร์ชที่อยู่ในแป้งอ่อนนุ่ม และสามารถดูดซับน้ำไว้ได้บางส่วน การนำแป้งที่ได้มาวิเคราะห์สมบัติการ

พองตัวโดยเติมน้ำและให้ความร้อนกับแป้ง จึงมีโอกาสนี้ให้เม็ดแป้งสามารถที่จะพองตัวได้อย่างอิสระในน้ำมากกว่าตัวอย่างอื่น (ปทุมธรรมา วิไลพล, 2553)

จากการวิเคราะห์คุณภาพทางเคมี กายภาพ และสมบัติเชิงหน้าที่ ของแป้งถั่วดาวอินคาที่ผ่านการลดกลิ่นถั่วทั้ง 2 สิ่งทดลอง คือ สิ่งทดลอง MW+Hot air และสิ่งทดลอง Citric acid 0.5% พบว่า แป้งถั่วดาวอินคาทั้ง 2 สิ่งทดลอง มีปริมาณความชื้นต่ำกว่า 8% (3.47-7.42%) ซึ่งเป็นไปตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชนของแป้งถั่วเหลือง และยังคงเป็นแหล่งที่ดีของโปรตีน (40.80-48.07% dry basis) แต่อย่างไรก็ตามพบว่า สิ่งทดลอง Citric acid 0.5% มีปริมาณไขมัน กากใย เถ้า และคาร์โบไฮเดรต น้อยกว่าสิ่งทดลอง MW+Hot air ($p < 0.05$) ซึ่งเกิดจากสารอาหารสูญเสียไปกับน้ำที่ใช้แช่ในระหว่างกระบวนการ นอกจากนี้แป้งถั่วดาวอินคาสิ่งทดลอง MW+Hot air มีปริมาณเส้นใยอาหารทั้งหมด ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด และสมบัติการต้านอนุมูลอิสระ (DPPH และ FRAP) มากกว่าแป้งถั่วดาวอินคาที่ผ่านการแช่สารละลาย Citric acid 0.5% ($p < 0.05$) สำหรับสมบัติเชิงหน้าที่ของแป้งถั่วดาวอินคา พบว่า แป้งถั่วดาวอินคาทั้ง 2 สิ่งทดลอง มีความสามารถในการดูดซับน้ำ ความสามารถในการดูดซับน้ำมัน มีสมบัติการเป็นอิมัลชัน และสมบัติการพองตัวที่ดี ซึ่งมีศักยภาพในการใช้เป็นส่วนผสมในผลิตภัณฑ์อาหารเพื่อสุขภาพได้ ทั้งเครื่องดื่มน้ำนมถั่วดาวอินคา และถั่วดาวอินคาสเปรด

เมื่อพิจารณาเปรียบเทียบด้านความยุ่งยากในการดำเนินการและความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ พบว่า วิธีการลดกลิ่นถั่วโดยวิธีการแช่แป้งถั่วดาวอินคาในสารละลายกรด (สิ่งทดลอง Citric acid 0.5%) ต้องมีการใช้น้ำในการแช่ และล้างแป้งถั่วดาวอินคา ซึ่งมีโอกาสเป็นของเสีย (Waste) ที่ต้องจัดการหลังการผลิต รวมถึงมีการใช้ระยะเวลาในการดำเนินการรวมประมาณ 8 ชั่วโมง ในขณะที่วิธีการลดกลิ่นถั่วโดยการใช้ความร้อนด้วยไมโครเวฟร่วมกับตู้อบลมร้อน (สิ่งทดลอง MW+Hot air) มีความยุ่งยากในการดำเนินการน้อยกว่า ไม่มีของเสียที่ต้องจัดการหลังการผลิต และใช้ระยะเวลาในการดำเนินการรวมประมาณ 1 ชั่วโมง จากภาพรวมผลการศึกษาทั้งหมด ทั้งด้านคุณภาพของแป้งถั่วดาวอินคาที่ได้ ด้านเคมีกายภาพ สมบัติเชิงหน้าที่ คุ้มค่าทางโภชนาการ ศักยภาพด้านสารพฤกษเคมีและสาระสำคัญต่าง ๆ จึงพบว่า วิธีการลดกลิ่นถั่วที่เหมาะสมมากที่สุด คือ การใช้ความร้อนด้วยไมโครเวฟร่วมกับตู้อบลมร้อน ที่เวลาการให้ความร้อนด้วยไมโครเวฟ 180 วินาที ร่วมกับอุณหภูมิการให้ความร้อนด้วยตู้อบลมร้อน 65°C เป็นเวลา 10 นาที เนื่องจากมีคุณค่าทางโภชนาการ ปริมาณเส้นใยอาหารทั้งหมด สารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด และสมบัติการต้านอนุมูลอิสระ (DPPH และ FRAP) มากกว่าสิ่งทดลองจากวิธีการแช่แป้งถั่วดาวอินคาในสารละลายกรดซिटริกความเข้มข้น 0.5% โดยใช้ระยะเวลาในการดำเนินการรวมประมาณ 1 ชั่วโมง และไม่มีของเสียเกิดขึ้นในระหว่างกระบวนการผลิต

5.3 ผลของการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของแป้งถั่วดาวอินคาที่ไม่ผ่านและผ่านการลดกลิ่นถั่วระหว่างการเก็บ

ในขั้นตอนนี้ นำแป้งถั่วดาวอินคาที่ไม่ผ่านการลดกลิ่นถั่ว (Control) และผ่านการลดกลิ่นถั่วโดยใช้ความร้อน (MW+Hot air) ที่เวลาการให้ความร้อนด้วยไมโครเวฟ 180 วินาที ร่วมกับการให้ความร้อนด้วยตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 65°C เป็นเวลา 10 นาที และแช่ในสารละลาย Citric acid 0.5% (Citric acid 0.5%) ตามวิธีที่เลือกได้จากข้อ 4.1 บรรจุในถุงโพลีเอทิลีนความหนาแน่นต่ำเคลือบอลูมิเนียมฟอยล์ เก็บรักษาที่อุณหภูมิแช่เย็น ($4\pm 1^{\circ}\text{C}$) และที่อุณหภูมิห้อง ($30\pm 1^{\circ}\text{C}$) เป็นเวลา 21 วัน ผลการวิเคราะห์คุณภาพด้านปริมาณความชื้น การทำงานของเอนไซม์ Lipoxygenase ค่า Peroxide value ค่า TBARS ค่า a_w ค่า Whiteness คะแนนความเข้มกลิ่นถั่ว และความเข้มกลิ่นหืน แสดงดังภาพที่ 4-19 ถึง 4-26 ปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด ปริมาณยีสต์และรา แสดงดังตารางที่ 4-20 และ 4-21 ตามลำดับ

จากการเก็บรักษาแป้งถั่วดาวอินคาที่อุณหภูมิแช่เย็นและอุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 21 วัน พบว่า เมื่อเวลาการเก็บนานขึ้นมีผลให้แป้งถั่วดาวอินคาที่ไม่ผ่านและผ่านการลดกลิ่นถั่ว ปริมาณความชื้นมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเล็กน้อย แต่ไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p\geq 0.05$) (ภาพที่ 4-18) ทั้งนี้ เนื่องจากปริมาณความชื้นของแป้งถั่วดาวอินคาค่อนข้างต่ำมาก (3.47-7.59) จึงเสถียรต่อการเปลี่ยนแปลงด้วยอุณหภูมิ นอกจากนี้ถุงโพลีเอทิลีนความหนาแน่นต่ำเคลือบอลูมิเนียมฟอยล์ มีคุณสมบัติช่วยป้องกันการซึมผ่านของความชื้น ออกซิเจน แก๊สอื่น ๆ สารระเหยให้กลิ่น และป้องกันแสงได้ดี (Lamberti & Escher, 2007) จึงช่วยป้องกันการแพร่ผ่านของความชื้นจากภายนอกเข้าสู่ถุง ส่งผลความชื้นของแป้งมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อยในระหว่างการเก็บรักษา สอดคล้องกับงานวิจัยของ จารุวรรณ บางแว และคณะ (2558) ได้นำแป้งกล้วยจำนวน 5 ชนิด ได้แก่ กล้วยหอม กล้วยน้ำว้า กล้วยไข่ กล้วยหักมุก และกล้วยเล็บมือนาง ที่มีความชื้นแป้งกล้วย 7% บรรจุในถุงอลูมิเนียมฟอยล์ แล้วเก็บรักษาเป็นเวลา 6 เดือน ที่อุณหภูมิ 4°C ผลการทดลอง พบว่าความชื้นแป้งกล้วยมีการเปลี่ยนแปลงน้อยมาก

สำหรับกิจกรรมของเอนไซม์ Lipoxygenase ของแป้งถั่วดาวอินคาที่ไม่ผ่านและผ่านการลดกลิ่นถั่ว ในระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิแช่เย็นและอุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 21 วัน (ภาพที่ 4-20) พบว่า สิ่งทดลอง Control มีแนวโน้มค่ากิจกรรมของเอนไซม์ Lipoxygenase มากกว่าสิ่งทดลอง MW+Hot air และสิ่งทดลอง Citric acid 0.5% ($p<0.05$) ทั้งนี้เนื่องจากสิ่งทดลอง Control ยังไม่ผ่านกระบวนการยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ Lipoxygenase จึงยังคงมีเอนไซม์ Lipoxygenase อยู่ และสิ่งทดลอง Control ยังคงมีปริมาณไขมันมาก (35.52% dry basis) ซึ่งไขมัน

เป็นสารตั้งต้นในการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันสำหรับการทำงานของเอนไซม์ Lipoxygenase (Basal & Demirdoven, 2007) สำหรับสิ่งทดลอง MW+Hot air มีการให้ความร้อนเพื่อยับยั้งกิจกรรมของเอนไซม์ Lipoxygenase โดยความร้อนมีผลให้เอนไซม์ Lipoxygenase เสียสภาพธรรมชาติ (Basal & Demirdoven, 2007) จึงส่งผลให้กิจกรรมของเอนไซม์ Lipoxygenase น้อยกว่าสิ่งทดลอง Control สำหรับสิ่งทดลอง Citric acid 0.5% นำแป้งถั่วดาวอินคาแช่ในสารละลาย Citric acid ซึ่งมีสมบัติเป็นสารคีเลต สามารถจับกับเหล็กที่เป็นองค์ประกอบของเอนไซม์ Lipoxygenase ได้ รวมทั้งการแช่ในสารละลายกรดเป็นการปรับ pH ที่ไม่เหมาะสมต่อการทำงานของเอนไซม์ Lipoxygenase จึงมีผลให้ยับยั้งกิจกรรมของเอนไซม์ Lipoxygenase ได้ สิ่งทดลอง Citric acid 0.5% จึงมีกิจกรรมของเอนไซม์ Lipoxygenase น้อยกว่าสิ่งทดลอง Control เมื่อเวลาการเก็บนานขึ้นที่อุณหภูมิแช่เย็นและอุณหภูมิห้อง มีผลให้แป้งถั่วดาวอินคาที่ไม่ผ่านและผ่านการลดกลิ่นถั่วทุกสิ่งทดลอง มีกิจกรรมของเอนไซม์ Lipoxygenase เพิ่มขึ้น ($p < 0.05$) ทั้งนี้เนื่องจากแป้งถั่วดาวอินคายังคงมีกิจกรรมของเอนไซม์ Lipoxygenase เหลืออยู่ จึงอาจมีผลให้เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของกรดไขมันไม่อิ่มตัวที่มีอยู่ในแป้งถั่วดาวอินคาได้

ค่า Peroxide value ของแป้งถั่วดาวอินคาที่ไม่ผ่านและผ่านการลดกลิ่นถั่ว ในระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิแช่เย็นและอุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 21 วัน (ภาพที่ 4-21) พบว่า สิ่งทดลอง Control มีแนวโน้มค่า Peroxide value มากกว่าสิ่งทดลอง MW+Hot air และสิ่งทดลอง Citric acid 0.5% ทั้งนี้เนื่องจากเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของไขมัน (Lipid oxidation) ในแป้งถั่วดาวอินคา สิ่งทดลอง Control ในระหว่างการเก็บ โดยแป้งถั่วดาวอินคาสิ่งทดลอง Control มีปริมาณไขมัน (35.52% dry basis) สูงกว่าสิ่งทดลอง MW+Hot air (35.47% dry basis) และสิ่งทดลอง Citric acid 0.5% (34.78% dry basis) Kudre and Benjakul (2013) กล่าวว่า ปฏิกิริยาออกซิเดชันของไขมันในแป้งถั่ว เกิดจากฟอสโฟลิปิด (Phospholipid) ของกรดไขมันไม่อิ่มตัวเกิดการออกซิเดชัน และเกิดจากกิจกรรมของเอนไซม์ Lipoxygenase ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีกลิ่นถั่วหรือกลิ่นเหม็นเขียว สำหรับแป้งถั่วดาวอินคาที่ผ่านการลดกลิ่นถั่วมีค่า Peroxide value ต่ำกว่าสิ่งทดลอง Control เนื่องจากมีปริมาณไขมันและกิจกรรมของเอนไซม์ Lipoxygenase ที่ต่ำกว่าสิ่งทดลอง Control และเมื่อเปรียบเทียบการเก็บรักษาที่อุณหภูมิแช่เย็นและอุณหภูมิห้อง พบว่า แป้งถั่วดาวอินคาที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง ทุกสิ่งทดลองมีค่า Peroxide value มากกว่าแป้งถั่วดาวอินคาที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิแช่เย็น ทั้งนี้เนื่องจากอุณหภูมิห้องเป็นอุณหภูมิที่เอื้อให้เกิดปฏิกิริยาการออกซิเดชันของไขมัน ทั้งแบบเกิดจากตัวไขมันเอง (Autooxidation) หรือ เกิดจากกิจกรรมของเอนไซม์ Lipoxygenase สอดคล้องกับรายงานของ Basal and Demirdoven (2007) รายงานว่า เอนไซม์ Lipoxygenase จากแป้งถั่วเหลืองจะเร่งปฏิกิริยาออกซิเดชันของไขมัน และเปลี่ยนกรดไขมันไม่อิ่มตัวอิสระเป็น

9- และ 13-ไฮโดรเปอร์ออกไซด์ (Hydroperoxide) ที่อุณหภูมิห้อง เมื่อเวลาการเก็บรักษามากขึ้น พบว่า แป้งถั่วดาวอินคาที่เก็บที่อุณหภูมิแช่เย็นและอุณหภูมิห้องมีแนวโน้มค่า Peroxide value เพิ่มขึ้น ($p < 0.05$) เนื่องจากเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของไขมันและสร้างไฮโดรเปอร์ออกไซด์ (Hydro peroxide) เพิ่มขึ้น ทั้งนี้เนื่องจากแป้งถั่วดาวอินคามีองค์ประกอบของไขมันอยู่ในช่วง 34.78-35.52% dry basis ที่เป็นสารตั้งต้นในการเกิดออกซิเดชันของไขมัน อย่างไรก็ตามจะเห็นได้ว่าการเพิ่มขึ้นของ Peroxide value ยังคงอยู่ในช่วงเริ่มต้นเท่านั้น แม้จะเก็บรักษาเป็นเวลา 21 วัน ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากแป้งถั่วดาวอินคาที่ยังคงมีองค์ประกอบของโทโคฟีรอล โดยโทโคฟีรอลมีสมบัติการต้านการเกิดออกซิเดชันได้ โดยมีรายงานว่าในน้ำมันถั่วดาวอินคาตรวจพบโทโคฟีรอลมากถึง 161.78 mg/100g ซึ่งเป็นองค์ประกอบสำคัญในน้ำมันที่เป็นสารต้านอนุมูลอิสระ ช่วยต้านการเกิดออกซิเดชันของไขมันได้ ซึ่งพบว่าน้ำมันถั่วดาวอินคาที่เก็บรักษาเป็นเวลา 12 เดือน ยังคงมีคุณภาพดี (Liu et al., 2014) นอกจากนี้ในแป้งถั่วดาวอินคายังมีปริมาณสารประกอบฟีนอลิก ทั้งหมด อยู่ในช่วง 26.45-53.17 mgGAE/100 g และมีสารต้านอนุมูลอิสระ DPPH และ FRAP อยู่ในช่วง 49.48-74.23% Inhibition และ 332.70-550.88 $\mu\text{mol/L}$ ตามลำดับ ซึ่งช่วยต้านออกซิเดชันของไขมันได้เช่นกัน

การวัดปริมาณกรดไฮโดรเปอร์ออกไซด์ (TBAR) เป็นการวัดค่ามัลโล-อัลดีไฮด์ (Malonaldehyde) ซึ่งเป็นผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการออกซิเดชันขั้นที่ 2 (Secondary oxidation product) จากปฏิกิริยาออกซิเดชันของไขมัน (Lipid oxidation) ส่งผลให้ผลิตภัณฑ์เกิดการเสื่อมเสีย มีกลิ่นเหม็นหืนและไม่เป็นที่ยอมรับของผู้บริโภค (กฤตลักษณ์ ปะสะกะวี และคณะ, 2553) โดยในระหว่างการเก็บรักษาแป้งถั่วดาวอินคาที่อุณหภูมิแช่เย็นและอุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 21 วัน (ภาพที่ 4-22) พบว่า ค่า TBAR มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น ($p < 0.05$) ทั้งนี้เนื่องจากแป้งถั่วดาวอินคามีปริมาณไขมันสูง (34.78%-35.52% dry basis) เมื่อสัมผัสกับออกซิเจนจึงเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันเกิดเป็นสารเชิงซ้อนไฮโดรเปอร์ออกไซด์และสลายตัวต่อเป็นสารจำพวกแอลดีไฮด์ที่ให้กลิ่นหืนได้ (กฤตลักษณ์ ปะสะกะวี และคณะ, 2553; Kudre & Benjakul, 2013) และการที่แป้งถั่วดาวอินคามีค่า a_w อยู่ในช่วง 0.25-0.38 ซึ่งเป็นช่วงที่ปฏิกิริยาออกซิเดชันของไขมันเกิดได้ช้าผลิตภัณฑ์เริ่มต้นจึงมีค่า TBAR ต่ำ ทั้งนี้เป็นไปตามความสัมพันธ์ระหว่างการเปลี่ยนแปลงทางเคมีของอาหารและปริมาณน้ำอิสระ ที่เมื่อค่า a_w อยู่ในช่วง 0.1-0.4 อัตราการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของไขมันจะลดลง แต่ถ้าวัดค่า a_w มีค่ามากกว่า 0.4 อัตราการเกิดออกซิเดชันของไขมันจะเพิ่มขึ้น (กฤตลักษณ์ ปะสะกะวี และคณะ, 2553) นอกจากนี้สังเกตได้ว่าแป้งถั่วดาวอินคาที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้องค่า TBAR มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นมากกว่าแป้งถั่วดาวอินคาที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิแช่เย็น ทั้งนี้เนื่องจากสภาวะการเก็บที่อุณหภูมิห้องเอื้อให้เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันมากกว่าอุณหภูมิแช่เย็น สอดคล้องกับงานวิจัยของ Kudre and

Benjakul (2013) ได้ศึกษาผลของการปรับปรุงกลิ่นตัวของแป้งถั่วหรั่งโดยการกำจัดไขมันออกจากแป้งด้วยตัวทำละลายอินทรีย์ผสม แล้วเก็บรักษาแป้งที่อุณหภูมิแช่เย็น ($4\pm 1^{\circ}\text{C}$) และอุณหภูมิห้อง ($29\pm 1^{\circ}\text{C}$) เป็นเวลา 30 วัน พบว่า เมื่อเวลาการเก็บนานขึ้นแป้งถั่วหรั่งทุกสิ่งทดลองมีค่า TBAR เพิ่มมากขึ้น โดยแป้งถั่วหรั่งสิ่งทดลอง Control คือ แป้งถั่วหรั่งที่ไม่มีการสกัดไขมันออก มีปริมาณ TBAR มากที่สุด ($p < 0.05$) และพบว่าตัวอย่างที่เก็บที่อุณหภูมิห้องมีค่า TBAR มากกว่าอุณหภูมิแช่เย็น ($p < 0.05$) อย่างไรก็ตามการเพิ่มขึ้นของค่า TBAR ยังคงอยู่ในช่วงเริ่มต้นเท่านั้น แม้จะเก็บรักษามาเป็นเวลา 21 วัน ซึ่งสอดคล้องกับค่า Peroxide value ที่ยังคงอยู่ในช่วงเริ่มต้น เนื่องจากในน้ำมันถั่วดาวอินคามีปริมาณโทโคฟีรอล ($161.78 \text{ mg}/100\text{g}$) ที่มีสมบัติการต้านการเกิดออกซิเดชันได้ นอกจากนี้ในแป้งถั่วดาวอินคามีปริมาณสารประกอบฟีนอลิก ($26.45\text{-}53.17 \text{ mgGAE}/100 \text{ g}$) และสมบัติการต้านอนุมูลอิสระ (DPPH และ FRAP) ($49.48\text{-}74.23\%$ Inhibition และ $332.70\text{-}550.88 \mu\text{mol}/\text{L}$) ซึ่งช่วยต้านการออกซิเดชันของกรดไขมัน จึงมีผลให้ค่า Peroxide value และ TBAR เพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อย

ปริมาณน้ำอิสระ เป็นปัจจัยสำคัญในการควบคุมและป้องกันการเสียของผลิตภัณฑ์อาหาร จึงมีผลโดยตรงต่อการกำหนดอายุการเก็บรักษาของผลิตภัณฑ์ เนื่องจากค่า a_w เป็นปัจจัยที่ชี้ระดับปริมาณน้ำต่ำสุดในอาหารที่เชื้อจุลินทรีย์สามารถนำไปใช้ในการเจริญเติบโตได้ ในขณะที่ค่าความชื้นจะเป็นค่าที่ใช้อ้างอิงถึงปริมาณน้ำในอาหารเท่านั้น (กฤตลักษณ์ ปะสะกะวี และคณะ, 2553) จากการวิเคราะห์ค่า a_w ของแป้งถั่วดาวอินคาระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิแช่เย็นและอุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 21 วัน (ภาพที่ 4-23) พบว่า เมื่อเวลาการเก็บนานขึ้นที่อุณหภูมิแช่เย็นและอุณหภูมิห้องมีผลให้ค่า a_w เพิ่มขึ้นเล็กน้อย ($0.26\text{-}0.56$) เนื่องจากความเสถียรของ a_w ที่ค่อนข้างต่ำ ตัวอย่างเช่น ทูเรียนผง ที่มีค่า a_w ค่อนข้างต่ำ (0.13) เมื่อเก็บรักษาในถุงอูมิเนียมพอลิเอทิลีนเป็นเวลานานถึง 9 เดือน มีค่า a_w เพิ่มขึ้นเล็กน้อย (0.28) (ศุภมาศ กลิ่นขจร และคณะ, 2550) โดยผลการทดลองสอดคล้องกับปริมาณความชื้นที่มีการเปลี่ยนแปลงเล็กน้อยเช่นเดียวกัน (ภาพที่ 4-19)

การเปลี่ยนแปลงค่า Whiteness ของแป้งถั่วดาวอินคาในระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิแช่เย็นและอุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 21 วัน (ภาพที่ 4-24) พบว่า เมื่อเวลาการเก็บนานขึ้นที่อุณหภูมิแช่เย็นและอุณหภูมิห้องมีผลให้แป้งถั่วดาวอินคาทุกสิ่งทดลองมีแนวโน้มค่า Whiteness ลดลง ($p < 0.05$) ทั้งนี้อาจเนื่องจากการเปลี่ยนแปลงจากการเกิดปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลแบบไม่ใช้เอนไซม์ ซึ่งเป็นปฏิกิริยาสำคัญที่เกิดขึ้นในอุตสาหกรรมอาหารเป็นปฏิกิริยาของหมู่คาร์บอนิลและหมู่อะมิโนที่เป็นอิสระ ซึ่งนำไปสู่การเกิดเม็ดสีน้ำตาลของเมลานอยดิน (Melanoidin) โดยการเกิดสีน้ำตาลจากปฏิกิริยาที่ไม่มีเอนไซม์เกี่ยวข้องมักเกิดในช่วงทำแห้ง และในช่วงการเก็บรักษา การเกิดสีน้ำตาลของอาหารภายหลังจากการเก็บรักษาไว้นาน ๆ เกิดเนื่องมาจากปฏิกิริยาของ Reducing

sugar ที่มีในอาหารทำปฏิกิริยากับ Amino acids ให้สารสีน้ำตาลอ่อนจนเป็นสีดำในที่สุดโดยการเกิดสีน้ำตาลในอาหารจะเกิดขึ้นได้มากน้อยขึ้นอยู่กับปัจจัยต่าง ๆ ได้แก่ สารตั้งต้นของการเกิดปฏิกิริยา เช่น หากองค์ประกอบของน้ำตาลเป็นสารประกอบคาร์บอนิลและเอมีนที่มีความคงตัวต่ำและสลายตัวได้ง่ายจะสามารถเกิดปฏิกิริยาได้ที่อุณหภูมิห้อง อาหารที่มีปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์สูงจะสามารถเกิดปฏิกิริยาได้อย่างรวดเร็ว และหากมีองค์ประกอบของกรดอะมิโนชนิดแอลฟาจะสามารถเกิดปฏิกิริยาได้ดีที่สุด รวมถึงปัจจัยด้านอุณหภูมิโดยอัตราเร็วของปฏิกิริยาจะเพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นอย่างไรก็ตามการเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้องก็สามารถมีโอกาสเกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาลแบบไม่ใช้เอนไซม์ได้เพียงแต่อัตราเร็วจะเพิ่มขึ้นเป็น 2-3 เท่าเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นทุก 10°C เป็นต้น (Jennifer, 1998) Maltini et al. (2003) รายงานว่า ค่า a_w ส่วนใหญ่ที่ทำให้เกิดปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลแบบไม่ใช้เอนไซม์ คืออยู่ในช่วง 0.300-0.700 และจะมีอัตราการเกิดปฏิกิริยาสูงในช่วงประมาณ 0.600-0.700

สำหรับผลของคะแนนความเข้มกลิ่นถั่วแสดงดังภาพที่ 4-25 พบว่า เมื่อเวลาการเก็บนานขึ้นที่อุณหภูมิแช่เย็นและอุณหภูมิห้องมีผลให้แป้งถั่วดาวอินคาทุกสิ่งทดลองได้รับคะแนนความเข้มกลิ่นถั่วเพิ่มขึ้น ($p < 0.05$) โดยแป้งถั่วดาวอินคาสิ่งทดลอง Control ได้รับคะแนนความเข้มกลิ่นถั่วเพิ่มขึ้นจาก 3.6 เป็น 4.8 หมายถึง มีความเข้มกลิ่นถั่วในระดับปานกลางถึงมาก ทั้งนี้เนื่องจากสิ่งทดลอง Control คือแป้งถั่วดาวอินคาที่ไม่ผ่านการลดกลิ่นถั่ว ซึ่งมีกิจกรรมของเอนไซม์ Lipoxigenase สูง (1470 Unit/ml) และมีปริมาณไขมันมาก (35.52% dry basis) ซึ่งเป็นสารตั้งต้นในการเกิดกลิ่นถั่ว สำหรับแป้งถั่วดาวอินคาที่ผ่านการลดกลิ่น พบว่า ได้รับคะแนนความเข้มกลิ่นถั่วเพิ่มขึ้นเล็กน้อยจาก 0.3-2.4 หมายถึง ไม่มีกลิ่นถั่วถึงมีความเข้มกลิ่นถั่วน้อย ทั้งนี้เนื่องจากเมื่อเวลาเก็บเพิ่มขึ้นเอนไซม์ Lipoxigenase ที่ยังหลงเหลืออยู่จึงยังมีโอกาสทำปฏิกิริยาได้ อย่างไรก็ตามเก็บที่อุณหภูมิตู้เย็น ช่วยชะลอการเกิดปฏิกิริยาได้ช้ากว่า จากผลการทดลองจะเห็นได้ว่า ที่อุณหภูมิแช่เย็น ในช่วง 0-14 วัน แป้งถั่วดาวอินคาทุกสิ่งทดลองได้รับคะแนนความเข้มกลิ่นถั่วในระดับที่คงที่ ในขณะที่การเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง ในช่วง 0-21 วัน ได้รับคะแนนความเข้มกลิ่นถั่วมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น

สำหรับผลของคะแนนความเข้มกลิ่นหืน แสดงดังภาพที่ 4-26 พบว่า เมื่อเวลาการเก็บนานขึ้นที่อุณหภูมิแช่เย็นและอุณหภูมิห้องมีผลให้แป้งถั่วดาวอินคา ได้รับคะแนนความเข้มกลิ่นหืนเพิ่มขึ้น ($p < 0.05$) สอดคล้องกับค่า TBAR โดยแป้งถั่วดาวอินคาได้รับคะแนนความเข้มกลิ่นหืนในช่วง 0-1.3 หมายถึง ไม่มีความเข้มกลิ่นหืนถึงมีความเข้มกลิ่นหืนเล็กน้อย ทั้งนี้เนื่องจากแป้งถั่วดาวอินคาที่มีปริมาณไขมันสูง (34.78%-35.52% dry basis) เมื่อสัมผัสกับออกซิเจนจึงเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันเกิดเป็นสารเชิงซ้อนไฮโดรเปอร์ออกไซด์และสลายตัวต่อเป็นสารจำพวกแอลดีไฮด์ที่ให้

กลั่นหั่นได้ (กฤตลักษณ์ ปะสะกวี และคณะ, 2553; Kudre & Benjakul, 2013) จากผลการทดลอง จะเห็นได้ว่า ที่อุณหภูมิแช่เย็น ในช่วง 0-21 วัน แป้งถั่วดาวอินคาทุกสิ่งทดลองได้รับคะแนน ความเข้มกลั่นหั่นเพิ่มขึ้นเล็กน้อย ในขณะที่การเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง ในช่วง 0-21 วัน ได้รับ คะแนนความเข้มกลั่นหั่นมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นมากกว่าที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิแช่เย็น

สำหรับผลการวิเคราะห์ปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดของแป้งถั่วดาวอินคา แสดงดังตารางที่ 4-20 และผลการวิเคราะห์ปริมาณยีสต์และรา แสดงดังตารางที่ 4-21 พบว่า แป้งถั่วดาวอินคาที่ เก็บรักษาที่อุณหภูมิแช่เย็นมีปริมาณจุลินทรีย์เริ่มต้น (0 วัน) น้อยกว่า 1.0×10^1 ถึง 8.0×10^2 โคโลนีต่อกรัม และตรวจพบปริมาณยีสต์และราน้อยกว่า 1.0×10^1 โคโลนีต่อกรัม สำหรับแป้งถั่ว ดาวอินคาที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้องมีปริมาณจุลินทรีย์เริ่มต้น (0 วัน) น้อยกว่า 1.0×10^1 ถึง 9.5×10^2 โคโลนีต่อกรัม และตรวจพบปริมาณยีสต์และรา น้อยกว่า 1.0×10^1 โคโลนีต่อกรัม ซึ่งมีค่าอยู่ใน เกณฑ์มาตรฐานของผลิตภัณฑ์ที่มีลักษณะใกล้เคียงกับแป้งถั่วดาวอินคา คือ ผลิตภัณฑ์ถั่วเหลืองผง โดยเกณฑ์มาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชนของถั่วเหลืองผง (มผช. 688/2547) กำหนดว่า ผลิตภัณฑ์ใน กลุ่มนี้ต้องมีปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด น้อยกว่า 1×10^4 โคโลนีต่อกรัม และปริมาณยีสต์และรา น้อยกว่า 100 โคโลนีต่อกรัม และปริมาณยีสต์และรายังอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชนของ แป้งถั่วเหลือง (มผช. 1377/2550) ที่กำหนดว่าน้อยกว่า 500 โคโลนีต่อกรัม จึงจะปลอดภัยสำหรับการบริโภค และเมื่อเก็บรักษาที่อุณหภูมิแช่เย็นและอุณหภูมิห้องเป็นเวลา 21 วัน พบว่า ปริมาณ จุลินทรีย์ทั้งหมดมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น แต่อย่างไรก็ตามปริมาณจุลินทรีย์ที่ตรวจพบยังคงไม่เกิน มาตรฐานเช่นกัน โดยในวันที่ 21 แป้งถั่วดาวอินคาที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิแช่เย็นมีปริมาณจุลินทรีย์ ทั้งหมด เท่ากับ 5.5×10^3 ถึง 8.0×10^3 โคโลนีต่อกรัม และตรวจพบยีสต์และรา น้อยกว่า 1.0×10^1 โคโลนีต่อกรัม และแป้งถั่วดาวอินคาที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้องมีปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด เท่ากับ 8.0×10^3 ถึง 12.5×10^3 โคโลนีต่อกรัม ทั้งนี้เนื่องจากผลิตภัณฑ์มีความชื้น และค่า a_w ต่ำ ซึ่งเป็นระดับ ที่ต่ำกว่าเชื้อจุลินทรีย์ในกลุ่มดังกล่าวจะเจริญได้ โดยเชื้อจุลินทรีย์ในกลุ่มของการเสื่อมเสียของ ผลิตภัณฑ์ในกลุ่มนี้จะเจริญเติบโตที่ a_w มากกว่า 0.60 (กฤตลักษณ์ ปะสะกวี และคณะ, 2553)

จากการเก็บรักษาแป้งถั่วดาวอินคาที่ผ่านการลดกลิ่นถั่วที่อุณหภูมิแช่เย็นและ อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 21 วัน พบว่า สิ่งทดลอง MW+Hot air มีปริมาณความชื้นที่ต่ำมาก (3.94%) และมีค่า a_w (0.26) ที่น้อยกว่าสิ่งทดลอง Citric acid 0.5% ในการเก็บรักษาเป็นเวลานานขึ้น (มากกว่า 21 วัน) สิ่งทดลอง Citric acid 0.5% อาจมีโอกาสดังกล่าวที่มีความชื้น และค่า a_w มากขึ้นถึง ระดับที่จุลินทรีย์ทั้งหมด และยีสต์รา เจริญเติบโตได้เร็วกว่าสิ่งทดลอง MW+Hot air ซึ่งมีผลให้อายุการเก็บรักษาที่สั้นกว่าสิ่งทดลอง MW+Hot air ได้

5.4 ผลการนำแป้งถั่วดาวอินคาไปเป็นส่วนผสมในผลิตภัณฑ์อาหารเพื่อสุขภาพ ต้นแบบ

จากการนำแป้งถั่วดาวอินคาที่ผ่านการลดกลั่นถั่วโดยการให้ความร้อนด้วยไมโครเวฟ ร่วมกับผู้อบลมร้อน ที่เวลาการให้ความร้อนด้วยไมโครเวฟ 180 วินาที ร่วมกับอุณหภูมิการให้ความร้อนด้วยผู้อบลมร้อนที่ 65°C เป็นเวลา 10 นาที มาศึกษาความเป็นไปได้ในการนำมาใช้เป็นส่วนผสมในผลิตภัณฑ์อาหารเพื่อสุขภาพต้นแบบ 2 ชนิด ได้แก่ เครื่องดื่มน้ำนมถั่วดาวอินคาสูตรน้ำตาลต่ำ และถั่วดาวอินคาสเปรด โดยแปรปริมาณการเติมแป้งถั่วดาวอินคาที่ผ่านการลดกลั่นถั่ว โดยการให้ความร้อนและประเมินผลการเติมต่อคุณภาพผลิตภัณฑ์ด้านต่าง ๆ ผลการศึกษามีรายละเอียดดังนี้

5.4.1 ผลของปริมาณแป้งถั่วดาวอินคาที่ผ่านการลดกลั่นถั่วต่อคุณภาพของเครื่องดื่มน้ำนมถั่วดาวอินคาสูตรน้ำตาลต่ำ

เครื่องดื่มประเภทน้ำนมจากพืชเป็นอาหารสุขภาพชนิดหนึ่งที่ได้รับนิยมนิยมมาก ซึ่งจะเห็นได้จากแนวโน้มทางการตลาด ที่มีผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มน้ำนมจากพืชออกมาจำหน่ายหลายชนิด (จุฬารัตน์ เลิศบรรจง และรติดา โอสถานนท์, 2551) เครื่องดื่มน้ำนมถั่วดาวอินคาสูตรน้ำตาลต่ำจัดเป็นเครื่องดื่มประเภทน้ำนมจากพืชชนิดหนึ่ง ซึ่งเป็นอาหารเพื่อสุขภาพที่มีลักษณะคล้ายคลึงกับน้ำนมถั่วเหลือง จากการนำแป้งถั่วดาวอินคาที่ผ่านการลดกลั่นถั่วโดยการให้ความร้อนมาแปรปริมาณการเติมในเครื่องดื่มน้ำนมถั่วดาวอินคาสูตรน้ำตาลต่ำเป็น 4 ระดับ ได้แก่ 1 2 3 และ 4% โดยน้ำหนัก ผลการวิเคราะห์ค่าสีแสดงดังตารางที่ 4-22 ลักษณะเครื่องดื่มน้ำนมถั่วดาวอินคาสูตรน้ำตาลต่ำที่ได้แสดงดังภาพที่ 4-27 ค่าความหนืด ค่าการแยกตัวของของเหลว และปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดแสดงดังตารางที่ 4-23 และผลการทดสอบความชอบทางประสาทสัมผัสแสดงดังตารางที่ 4-24 ผลการทดลองมีรายละเอียดดังนี้

ผลการวิเคราะห์ค่าสี L^* a^* และ b^* ของเครื่องดื่มน้ำนมถั่วดาวอินคาสูตรน้ำตาลต่ำที่แปรปริมาณแป้งถั่วดาวอินคาที่ผ่านการลดกลั่นถั่วที่ระดับต่าง ๆ แสดงดังตารางที่ 4-22 และลักษณะเครื่องดื่มน้ำนมถั่วดาวอินคาสูตรน้ำตาลต่ำที่ได้แสดงดังภาพที่ 4-27 พบว่า ปริมาณการเติมแป้งถั่วดาวอินคาที่ผ่านการลดกลั่นถั่วมีผลต่อค่าสีของเครื่องดื่มน้ำนมถั่วดาวอินคาสูตรน้ำตาลต่ำ ($p < 0.05$) จากการสังเกตด้วยตาเปล่าพบว่า เมื่อเติมแป้งถั่วดาวอินคาที่ผ่านการลดกลั่นถั่วเพิ่มมากขึ้น ทำให้เครื่องดื่มน้ำนมถั่วดาวอินคามีสีขาวอมเหลืองอ่อนเพิ่มขึ้น เมื่อพิจารณาค่าความสว่าง (L^*) และค่าสีเหลือง (b^*) พบว่า มีแนวโน้มคล้ายกัน กล่าวคือ เมื่อเติมปริมาณแป้งถั่วดาวอินคาที่ผ่านการลดกลั่นถั่วเพิ่มมากขึ้นมีแนวโน้มให้ค่าสี L^* และ b^* เพิ่มขึ้น โดยการเติมแป้งถั่วดาวอินคาที่ผ่านการ

ลดกลิ่นฉุนที่ 4% มีค่า L^* และ b^* สูงที่สุด ($p < 0.05$) เท่ากับ 80.51 และ 10.71 ตามลำดับ ซึ่งมีสีขาวอมเหลืองเพิ่มขึ้น สอดคล้องกับสีที่มองเห็นด้วยตาเปล่า (ภาพที่ 4-26) ด้านค่า a^* มีค่าติดลบ แสดงถึงมีสีออกทางสีเขียว พบว่า เครื่องคั้นนํ้านมถั่วดาวอินคาสูตรนํ้าตาลต่ำที่เติมแป้งถั่วดาวอินคาที่ผ่านการลดกลิ่นฉุน 1% มีค่า a^* สูงที่สุด ($p < 0.05$) เท่ากับ 1.69 เมื่อเติมแป้งถั่วดาวอินคาที่ผ่านการลดกลิ่นฉุนเพิ่มขึ้น มีแนวโน้มให้ค่า a^* ลดลง โดยการเติมแป้งถั่วดาวอินคาที่ผ่านการลดกลิ่นฉุนเป็น 4% มีค่า a^* ต่ำที่สุด ($p < 0.05$) เท่ากับ 0.14

เครื่องคั้นนํ้านมถั่วดาวอินคาสูตรนํ้าตาลต่ำที่เติมแป้งถั่วดาวอินคาที่ผ่านการลดกลิ่นฉุนเพิ่มมากขึ้น มีสีขาวอมเหลืองเพิ่มขึ้น เนื่องจากสีของแป้งถั่วดาวอินคาที่ผ่านการลดกลิ่นฉุนโดยการใช้ความร้อนมีสีขาวอมเหลืองอ่อน (L^* เท่ากับ 80.89, a^* เท่ากับ 1.61 และ b^* เท่ากับ 18.25) โดยสีออกเหลืองของแป้งถั่วดาวอินคาเป็นสีจากการมีรงควัตถุพวกแคโรทีนอยด์เป็นองค์ประกอบ (Chirinos et al., 2013) การเติมปริมาณแป้งถั่วดาวอินคาเพิ่มมากขึ้นจึงเป็นการเพิ่มเนื้อให้ผลิตภัณฑ์ จึงมีโอกาสให้ผลิตภัณฑ์เครื่องคั้นนํ้านมถั่วดาวอินคามีสีตามแป้งถั่วดาวอินคาที่ละลายอยู่และมีแนวโน้มให้เครื่องคั้นนํ้านมถั่วดาวอินคามีสีขาวอมเหลืองเพิ่มขึ้น

ผลการวิเคราะห์ค่าความหนืด ค่าการแยกตัวของของเหลว และปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด ของเครื่องคั้นนํ้านมถั่วดาวอินคาสูตรนํ้าตาลต่ำที่แปรปริมาณแป้งถั่วดาวอินคาที่ผ่านการลดกลิ่นฉุนที่ระดับต่างๆ แสดงดังตารางที่ 4-23 พบว่า ปริมาณการเติมแป้งถั่วดาวอินคาที่ผ่านการลดกลิ่นฉุนมีผลต่อค่าความหนืด และค่าการแยกตัวของของเหลว ของเครื่องคั้นนํ้านมถั่วดาวอินคาสูตรนํ้าตาลต่ำ ($p < 0.05$) แต่ไม่มีผลต่อปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด ($p \geq 0.05$) เมื่อพิจารณา ค่าความหนืด พบว่า เมื่อเติมแป้งถั่วดาวอินคาที่ผ่านการลดกลิ่นฉุนโดยการใช้ความร้อนเพิ่มมากขึ้น มีผลให้ค่าความหนืดเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) โดยการเติมแป้งถั่วดาวอินคาที่ผ่านการลดกลิ่นฉุน 4% มีผลให้มีค่าความหนืดสูงที่สุด ($p < 0.05$) เท่ากับ 141.00 cP ทั้งนี้เนื่องจากแป้งถั่วดาวอินคามีสตาร์ชเป็นองค์ประกอบ ซึ่งสตาร์ชมักประกอบด้วยอะไมโลสและอะไมโลเพกติน โดยปกติเมื่ออยู่ในสภาพผงแห้งอะไมโลสและอะไมโลเพกตินมักจับตัวกันอย่างหนาแน่นมีโครงสร้างผลึกที่แข็งแรง (นิธิยา รัตนานนท์, 2553) แต่เมื่อนํ้าแป้งถั่วดาวอินคาผสมกับนํ้า อะไมโลสและอะไมโลเพกตินเกิดการคลายตัว และสร้างพันธะกับนํ้าที่เม็ดสตาร์ชดูดซับนํ้าไว้ โดยการที่สตาร์ชดูดซับนํ้าไว้นี้ยังไม่เกิดการพองตัว เมื่อมีการให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 93°C เป็นเวลา 15 วินาที ในขั้นตอนการผลิตเครื่องคั้นนํ้านมถั่วดาวอินคา ความร้อนมีโอกาสรุกละลายพันธะไฮโดรเจนภายในโมเลกุลของสตาร์ชในเม็ดแป้ง จึงมีผลให้อะไมโลสและอะไมโลเพกตินที่จับตัวกันอย่างหนาแน่นเกิดการคลายตัว สตาร์ชจึงสามารถดูดซับนํ้าเพิ่มมากขึ้นและเกิดการพองตัว มีผลให้สารละลายแป้งมีความหนืดและความใสเพิ่มขึ้น เรียกว่าการเกิดเจลาติไนเซชัน (นิธิยา รัตนานนท์, 2553) ส่งผล

ให้ผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มน้ำนมถั่วดาวอินคาที่มีความหนืดเพิ่มมากขึ้น นอกจากนี้แป้งถั่วดาวอินคา มีโปรตีนเป็นองค์ประกอบด้วย (40.80% dry basis) เมื่อได้รับความร้อนในระหว่างการแปรรูปจึงมี โอกาสให้โปรตีนเกิดการเสียสภาพธรรมชาติ เกิดการคลายตัว และหันหมู่ที่มีขั้วจับกับน้ำได้มากขึ้น รวมถึงแป้งถั่วดาวอินคาที่มีเส้นใยอาหารเป็นองค์ประกอบปริมาณมาก (38.81% dry basis) ซึ่งมี ทั้งส่วนเส้นใยอาหารที่ละลายน้ำและไม่ละลายน้ำ โดยโครงสร้างของเส้นใยอาหารที่ละลายน้ำได้ ประกอบด้วยหมู่ไฮดรอกซิล (Hydroxyl group) จำนวนมาก จึงมีโอกาสรสร้างพันธะไฮโดรเจน (Hydrogen bonding) กับน้ำได้ดีมีความเป็น Hydrophilicity สูง โดยใยอาหารที่ละลายน้ำสามารถ ดูดซับน้ำไว้แล้วเพิ่มความหนืด และยังมีโอกาสเกิดเจลได้ภายใต้สภาวะที่เหมาะสม ในขณะที่ เส้นใยอาหารที่ไม่ละลายน้ำ ไม่สามารถเกิดเจลแต่จะดูดซับน้ำปริมาณมากไว้ในส่วนที่ชอบน้ำได้ (Hydrophilic) แล้วอาจเกิดการพองตัวได้ซึ่งมีโอกาสนำให้ผลิตภัณฑ์มีความหนืดเพิ่มขึ้น (หยาดฝน ทนงการกิจ, 2557; Lertphatcharanon, 2007) ดังนั้นเมื่อเติมปริมาณแป้งถั่วดาวอินคาในปริมาณ สูงถึง 4% จึงเพิ่มโอกาสให้มีปริมาณสตาร์ช โปรตีน และเส้นใยอาหารที่สามารถจับกับน้ำได้มาก ส่งผลให้ความหนืดของเครื่องดื่มน้ำนมถั่วดาวอินคาเพิ่มขึ้น

การแยกตัวของของเหลว แสดงถึงการไม่รวมเป็นเนื้อเดียวกันของของแข็งและของเหลว วิเคราะห์ได้โดยนำเครื่องดื่มน้ำนมถั่วดาวอินคาปั่นเหวี่ยงแล้วชั่งน้ำหนักของของเหลวที่ได้หลัง การปั่นเหวี่ยง คำนวณเทียบกับน้ำหนักเริ่มต้น หากมีค่ามากแสดงถึง มีการแยกตัวระหว่างของแข็ง และของเหลวมาก ผลการทดลองด้านค่าการแยกตัวของของเหลว แสดงดังตารางที่ 4-23 พบว่า เมื่อ เติมแป้งถั่วดาวอินคาที่ผ่านการลดกลิ่นถั่ว โดยการให้ความร้อนเพิ่มมากขึ้น มีผลให้ค่าการแยกตัว ของของเหลวลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) โดยการเติมแป้งถั่วดาวอินคาที่ผ่านการล ดกลิ่นถั่ว 1% มีผลให้มีค่าการแยกตัวของเหลวสูงที่สุด ($p < 0.05$) เท่ากับ 91.71% ขณะที่การเติมแป้ง ถั่วดาวอินคาที่ผ่านการลดกลิ่นถั่ว 4% มีผลให้ค่าการแยกตัวของเหลวต่ำที่สุด ($p < 0.05$) เท่ากับ 84.49% ทั้งนี้เนื่องจากการเติมแป้งถั่วดาวอินคาที่ผ่านการให้ความร้อน มีผลให้โมเลกุลของสตาร์ช และโปรตีนใกล้เคียงกันมากขึ้น เมื่อเริ่มผสมแป้งถั่วดาวอินคาในน้ำและนำไปให้ความร้อนจึงช่วย ส่งเสริมให้เกิดโครงสร้างร่างแหในระหว่างการให้ความร้อน ซึ่งเกิดการสร้างพันธะเชื่อมข้าม (Cross-link) ระหว่างโปรตีนที่เสียสภาพธรรมชาติและสตาร์ชที่เกิดเจลาคิในเซชันทำให้เกิด ส่วนผสมเจลที่แข็งแรง (Ma et al., 2011) จึงช่วยให้เครื่องดื่มน้ำนมถั่วดาวอินคาที่มีความเป็น เนื้อเดียวกัน นอกจากนี้แป้งถั่วดาวอินคายังมีเส้นใยอาหารที่ช่วยในการดูดซับน้ำ และเกิดการ พองตัว ช่วยให้ส่วนผสมมีความเป็นเนื้อเดียวกันเพิ่มมากขึ้น ซึ่งผลการทดลองสอดคล้องกับค่า ความหนืดที่ พบว่า เมื่อความหนืดเพิ่มขึ้นมีผลให้ ค่าการแยกตัวของเหลวลดลง (ตารางที่ 4-23) การ เติมแป้งถั่วดาวอินคาปริมาณมากขึ้นทำให้ผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มน้ำนมถั่วดาวอินคาที่มีความหนืดเพิ่มมากขึ้น

จากการมีสัดส่วนของสตาร์ช โปรตีน และเส้นใยอาหารเพิ่มมากขึ้นจึงมีโอกาสดเกิดการสร้างพันธะเชื่อมข้ามระหว่างสตาร์ช โปรตีน และเส้นใยอาหารเพิ่มมากขึ้น ความหนืดจึงเพิ่มขึ้น มีผลให้ส่วนผสมที่เป็นน้ำและของแข็งเกิดการผสมรวมตัวกันได้อย่างดีจึงมีโอกาสดแยกตัวออกจากกันได้ยากขึ้น ดังนั้นการเติมแป้งถั่วดาวอินคาเพิ่มมากขึ้น (1%-4%) จึงมีผลให้ค่าการแยกตัวของของเหลวลดลง

สำหรับปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด หมายถึง ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ในน้ำทั้งหมด ทั้งนี้ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดแสดงถึงส่วนประกอบที่ละลายได้ เช่น น้ำตาล กรดอะมิโน กรดอินทรีย์ และวิตามินที่ละลายน้ำ เป็นต้น (วัชร เทพโยธิน, นันทัชพร เสนาวงศ์ และ จุฑาทิพย์ เมืองพรม, 2559) จากผลการทดลองแสดงดังตารางที่ 4-23 พบว่า การแปรปริมาณแป้งถั่วดาวอินคาที่ระดับต่างๆ ผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มถั่วดาวอินคามีปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดไม่แตกต่างกัน ($p \geq 0.05$) โดยมีค่าอยู่ในช่วง 11.8-12.0 °Brix ทั้งนี้เนื่องมาจากในสูตรการผลิตมีการใช้น้ำตาล 20% ในปริมาณมากกว่าส่วนผสมอื่น จึงทำให้ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ส่วนใหญ่ที่วิเคราะห์ได้จึงมาจากน้ำตาล การเติมแป้งถั่วดาวอินคาเพียง 1%-4% จึงไม่ได้มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงปริมาณของแข็งที่ละลายได้มากนัก

ผลการประเมินความชอบโดยวิธี 9-point hedonic scale แสดงผลดังตารางที่ 4-24 พบว่า ปริมาณการเติมแป้งถั่วดาวอินคาที่ผ่านการลดกลิ่นถั่วมีผลต่อความชอบทางประสาทสัมผัสด้านลักษณะปรากฏ สี กลิ่น รสชาติ เนื้อสัมผัส และความชอบโดยรวม ($p < 0.05$) โดยเครื่องดื่มน้ำนมถั่วดาวอินคาสูตรน้ำตาลต่ำที่เติมแป้งถั่วดาวอินคาที่ผ่านการลดกลิ่นถั่ว 2% ได้รับความชอบโดยรวมสูงสุดด้านสี รสชาติ และความชอบโดยรวมสูงสุด ($p < 0.05$) เท่ากับ 7.83 7.47 และ 7.90 ตามลำดับ หมายถึง ชอบปานกลาง ทั้งนี้เนื่องจากเครื่องดื่มน้ำนมถั่วดาวอินคามีสีก่อนข้างขาว มีรสชาติกลมกล่อม ผู้ทดสอบจึงให้คะแนนความชอบด้านสี รสชาติ และความชอบโดยรวมมากกว่าสูตรอื่นๆ สำหรับความชอบด้านเนื้อสัมผัส พบว่า เครื่องดื่มน้ำนมถั่วดาวอินคาสูตรน้ำตาลต่ำที่เติมแป้งถั่วดาวอินคาที่ผ่านการลดกลิ่นถั่ว 4% ได้รับความชอบต่ำที่สุด ($p < 0.05$) เท่ากับ 6.30 หมายถึง ชอบเล็กน้อย ทั้งนี้เนื่องจากเป็นสูตรที่มีการเติมแป้งถั่วดาวอินคามากที่สุด จึงส่งผลให้เครื่องดื่มน้ำนมถั่วดาวอินคาสูตรน้ำตาลต่ำที่ได้มีความหนืดมากกว่าสูตรอื่น อาจส่งผลให้ผู้ทดสอบรู้สึกไม่คุ้นเคย มีความหนืดติดคอและกลืนได้ลำบากกว่าสิ่งทดลองที่ใช้แป้งถั่วดาวอินคาในปริมาณน้อยกว่า จึงได้รับความชอบด้านเนื้อสัมผัสต่ำที่สุด

จากเกณฑ์การพิจารณาเลือกสิ่งทดลองที่เหมาะสม ที่ได้รับความชอบโดยรวมสูงสุดร่วมกับการพิจารณาคุณภาพด้านอื่น ๆ จากการพิจารณา พบว่า การใช้แป้งถั่วดาวอินคาที่ผ่านการลดกลิ่นถั่วโดยการใช้ความร้อน 2% และ 3% ได้รับความชอบโดยรวมสูงสุด

(7.90 และ 7.70) โดยไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \geq 0.05$) รวมทั้งได้คะแนนความชอบทุกด้าน ได้แก่ ลักษณะปรากฏ สี กลิ่น รสชาติ เนื้อสัมผัส และความชอบโดยรวม อยู่ในช่วง 8.07-8.13, 7.43-7.83, 7.23-7.37, 7.03-7.47 และ 7.23-7.40 ตามลำดับ ซึ่งหมายถึง ชอบปานกลางถึงชอบมาก โดยเครื่องคั้นน้ำมันถั่วดาวอินคาที่ได้ยังมีสีค่อนข้างขาว ซึ่งเป็นลักษณะปรากฏที่ยอมรับของผู้บริโภค ไม่หนืดมากจนทำให้ผู้บริโภคไม่คุ้นเคยหรือกลืนลำบาก จึงเลือกสิ่งทดลองที่เหมาะสม คือ การใช้แปรงถั่วดาวอินคาผ่านการลดกลิ่นถั่วโดยการใช้ความร้อน 3% เนื่องจากสามารถใช้แปรงถั่วดาวอินคาได้มากที่สุด ซึ่งมีผลให้เครื่องคั้นน้ำมันถั่วดาวอินคาที่ได้มีคุณค่าทางโภชนาการเพิ่มมากขึ้นและยังคงได้รับคะแนนความชอบโดยรวมสูงที่สุด รวมทั้งมีคุณภาพด้านอื่น ๆ เป็นที่ยอมรับได้

5.4.2 ผลของปริมาณแปรงถั่วดาวอินคาที่ผ่านการลดกลิ่นถั่วต่อคุณภาพของถั่วดาวอินคาสเปรด

จากการนำแปรงถั่วดาวอินคาที่ผ่านการลดกลิ่นถั่วโดยการใช้ความร้อน มาใช้เป็นส่วนผสมในการผลิตถั่วดาวอินคาสเปรด โดยแปรสัดส่วนระหว่างแปรงถั่วดาวอินคาที่ผ่านการลดกลิ่นถั่วกับน้ำมันมะพร้าว 3 ระดับ ได้แก่ 40:60 45:55 และ 50:50% โดยน้ำหนัก ผลการวิเคราะห์ค่าสีแสดงดังตารางที่ 4-25 ลักษณะของถั่วดาวอินคาสเปรดที่ได้แสดงดังภาพที่ 4-28 ลักษณะเนื้อสัมผัส ได้แก่ Hardness Spreadability และ Adhesiveness แสดงดังตารางที่ 4-26 และผลการทดสอบความชอบทางประสาทสัมผัสแสดงดังตารางที่ 4-27

สำหรับผลการวิเคราะห์ค่าสี L^* a^* และ b^* ของถั่วดาวอินคาสเปรดที่แปรสัดส่วนระหว่างแปรงถั่วดาวอินคาที่ผ่านการลดกลิ่นถั่วโดยการใช้ความร้อน กับน้ำมันมะพร้าวที่ระดับต่างๆ แสดงดังตารางที่ 4-25 และลักษณะถั่วดาวอินคาสเปรดที่ได้แสดงดังภาพที่ 4-28 พบว่า สัดส่วนแปรงถั่วดาวอินคาที่ผ่านการลดกลิ่นถั่วโดยการใช้ความร้อน ต่อน้ำมันมะพร้าวมีผลต่อค่าสีของถั่วดาวอินคาสเปรด ($p < 0.05$) จากการสังเกตด้วยตาเปล่าพบว่า เมื่อสัดส่วนแปรงถั่วดาวอินคาที่ผ่านการลดกลิ่นถั่วโดยการใช้ความร้อนเพิ่มมากขึ้น มีผลให้ถั่วดาวอินคาสเปรดมีสีน้ำตาลอมเหลืองเพิ่มขึ้น สอดคล้องกับผลการวิเคราะห์ค่าสี โดยเครื่องวัดสี พบว่า เมื่อสัดส่วนแปรงถั่วดาวอินคาเพิ่มมากขึ้นมีผลให้ค่าสีแดง (a^*) และค่าสีเหลือง (b^*) เพิ่มมากขึ้น และมีค่าความสว่าง (L^*) ลดลง โดยถั่วดาวอินคาสเปรดสูตรที่มีสัดส่วนแปรงถั่วดาวอินคาต่อน้ำมันมะพร้าว เท่ากับ 50:50 มีค่าสี a^* และ b^* มากที่สุด ($p < 0.05$) เท่ากับ 4.23 และ 24.89 ตามลำดับ และมีค่าสี L^* ต่ำที่สุด ($p < 0.05$) เท่ากับ 60.55 ในขณะที่ถั่วดาวอินคาสเปรดสูตรที่มีสัดส่วนแปรงถั่วดาวอินคาต่อน้ำมันมะพร้าว เท่ากับ 40:60 มีแนวโน้มค่าสี a^* และ b^* ต่ำที่สุด เท่ากับ 4.04 และ 24.43 ตามลำดับ และมีค่าสี L^* สูงที่สุด เท่ากับ 62.33

แป้งถั่วอินคาเป็นแหล่งที่คิของโปรตีน ซึ่งมีองค์ประกอบของกรดอะมิโนเป็นองค์ประกอบและในส่วนผสมมีการใช้น้ำเชื่อมซึ่งมีน้ำตาลเป็นองค์ประกอบ จัดเป็นพวก reducing sugar ในระหว่างการแปรรูปผลิตภัณฑ์สเปรดมีการให้ความร้อนร่วมด้วยจึงสามารถเกิดปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลแบบไม่มีเอนไซม์เข้ามาเกี่ยวข้อง (Non-enzymatic Browning) ที่เรียกว่า ปฏิกิริยาเมลลาร์ด ซึ่งเป็นปฏิกิริยาระหว่างหมู่คาร์บอนิลในน้ำตาลรีดิวซ์กับอะมิโนอิสระ ในสถานะที่มีความร้อนเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา เกิดผลผลิตเป็นสารสีน้ำตาลเรียกว่า เมลานอยดิน (Melanoidins) (รัชณี ศักทพาณิชกุล, 2535) ดังนั้นเมื่อเติมปริมาณแป้งถั่วอินคาเพิ่มมากขึ้นจึงมีแนวโน้มให้เห็นว่าผลิตภัณฑ์ถั่วอินคาสเปรดมีสีน้ำตาลอมเหลืองเพิ่มขึ้น

สำหรับผลการวิเคราะห์ลักษณะเนื้อสัมผัสของถั่วอินคาสเปรด ได้แก่ ค่า Hardness Spreadability และ Adhesiveness โดย ค่า Hardness แสดงถึงความแข็งของผลิตภัณฑ์ เป็นค่าที่ได้จากแรงที่ใช้ในการกดหัววัดลงบนตัวอย่าง รายงานจากค่าแรงสูงสุดของพีคแรก จากผลการทดลอง (ตารางที่ 26) พบว่า เมื่อใช้สัดส่วนแป้งถั่วอินคาเพิ่มมากขึ้น มีแนวโน้มให้ค่า Hardness เพิ่มขึ้น โดยถั่วอินคาสเปรดสูตรที่มีสัดส่วนแป้งถั่วอินคาต่อน้ำมันมะพร้าวเท่ากับ 50:50 มีค่า Hardness มากที่สุด ($p < 0.05$) เท่ากับ 1165.39 g ทั้งนี้เนื่องจากสูตรนี้ปริมาณของแข็งมาก ส่งผลให้แป้งถั่วอินคาเกาะตัวกันแน่น (สังเกตได้จากภาพที่ 4-27 ค) ซึ่งผลการทดลองสอดคล้องกับค่า Spreadability หมายถึง ความสามารถในการปาดทา และค่า Adhesiveness หมายถึง ค่าการยึดติดของตัวอย่างอาหารกับหัววัดหลังการถอนหัววัดขึ้น โดยถั่วอินคาสเปรดสูตรที่มีสัดส่วนแป้งถั่วอินคาต่อน้ำมันมะพร้าวเท่ากับ 50:50 มีค่า Spreadability และ Adhesiveness มากที่สุด ($p < 0.05$) เท่ากับ 11884.95 และ 204.78 g.sec นอกจากนี้แป้งถั่วอินคามีสสมบัติการดูดซับน้ำมัน จึงส่งผลให้สิ่งทดลองที่มีการใช้แป้งมากจะใช้น้ำมันน้อยลง ดังนั้นจึงมีโอกาสส่งผลกระทบต่อความสมดุลระหว่างปริมาณแป้งกับน้ำมันที่ใช้ หากมีการใช้แป้งมากและมีน้ำมันพอเหมาะจะทำให้การดูดซับน้ำมันไว้ในแป้งมีความเหมาะสมส่งผลให้แป้งกระจายตัวและเกิดโครงสร้างกับน้ำมันมะพร้าวได้ดี เนื้อสัมผัสไม่แน่นแข็งเกินไป และมีการปาดทาได้เรียบลื่น รวมทั้งไม่มีส่วนผสมของแป้งหรือน้ำมันที่เหลืติดหัววัด หลังการถอนหัววัด เป็นต้น

ผลการทดสอบความชอบ โดยวิธี 9-point hedonic scale แสดงผลดังตารางที่ 4-27 พบว่าการแปรปริมาณสัดส่วนแป้งถั่วอินคาโดยการให้ความร้อน ต่อน้ำมันมะพร้าว มีผลต่อความชอบทางประสาทสัมผัสด้านการทานขนมนุ่มบึง กลิ่น รสชาติ เนื้อสัมผัส และความชอบโดยรวม ($p < 0.05$) แต่ไม่มีผลต่อความชอบด้านสี ($p \geq 0.05$) โดยถั่วอินคาสเปรดสูตรที่มีสัดส่วนแป้งถั่วอินคาต่อน้ำมันมะพร้าว 45:55 ได้รับคะแนนความชอบด้านกลิ่น รสชาติ เนื้อสัมผัส และความชอบโดยรวมสูงที่สุด ($p < 0.05$) เท่ากับ 7.17 7.13 7.00 และ 7.27 ตามลำดับ ทั้งนี้เนื่องจาก

ถั่วดาวอินคาสเปรคที่ได้มีรสชาติกลมกล่อม มีลักษณะเนื้อสัมผัสเรียบเนียนหลังจากปาดทา ไม่ติดเพดานปาก ไม่มีน้ำมันหลงเหลือเคลือบลิ้น และไม่มีความเป็นแป็ง

อย่างไรก็ตามเมื่อพิจารณาคะแนนความชอบด้านการทานขนมปังพบข้อสังเกตว่า ถั่วดาวอินคาสเปรคสูตรที่มีสัดส่วนแป็งถั่วดาวอินคาต่อน้ำมันมะพร้าว 40:60 % ได้รับความชอบด้านการทานขนมปังมากที่สุด ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากเป็นสูตรที่มีปริมาณน้ำมันมะพร้าวมาก ถั่วดาวอินคาสเปรคที่ได้จึงมีลักษณะค่อนข้างนุ่มและมีความเป็นเนื้อเดียวกัน ปาดทาได้ง่าย สังเกตเห็นลักษณะการเป็นน้ำมัน ผู้ทดสอบจึงชอบคุณลักษณะด้านการปาดทานขนมปังมากกว่าสูตรอื่น

จากเกณฑ์การพิจารณาเลือกสิ่งทดลองที่เหมาะสม ที่ได้รับคะแนนความชอบโดยรวมสูงที่สุดร่วมกับการพิจารณาคุณภาพด้านอื่น ๆ พบว่า สิ่งทดลองที่เหมาะสม คือ สัดส่วนแป็งถั่วดาวอินคาต่อน้ำมันมะพร้าว เท่ากับ 45:55 โดยได้รับความชอบโดยรวมสูงที่สุด (7.27) รวมทั้งมีลักษณะเนื้อสัมผัสเรียบเนียนหลังจากปาดทา ไม่ติดเพดานปาก ไม่มีน้ำมันหลงเหลือเคลือบลิ้น โดยมีค่า Hardness Spreadability และ Adhesiveness เท่ากับ 658.82 g 6620.88 g.sec และ -181.04 g.sec ตามลำดับ

5.5 ผลการวิเคราะห์คุณภาพผลิตภัณฑ์อาหารเพื่อสุขภาพต้นแบบที่มีการใช้แป้งถั่วดาวอินคาที่ผ่านการลดกลิ่นถั่วเปรียบเทียบกับการใช้แป้งถั่วดาวอินคาที่ไม่ผ่านการลดกลิ่นถั่ว

ในขั้นตอนนี้เป็นการเปรียบเทียบคุณภาพทางเคมี ทางกายภาพ และทางประสาทสัมผัสของเครื่องคั้นนํ้านมถั่วดาวอินคาสูตรนํ้าตาลต่ำและถั่วดาวอินคาสเปรด สูตรที่มีการใช้แป้งถั่วดาวอินคาที่ผ่านการลดกลิ่นถั่วโดยการใช้ความร้อน โดยพบว่าสูตรที่ดีที่สุดของเครื่องคั้นนํ้านมถั่วดาวอินคาสูตรนํ้าตาลต่ำ คือ การใช้แป้งถั่วดาวอินคาที่ผ่านการลดกลิ่นถั่ว 3% และสูตรที่ดีที่สุดของถั่วดาวอินคาสเปรด คือ การใช้สัดส่วนแป้งถั่วดาวอินคาต่อนํ้ามันมะพร้าว เท่ากับ 45:55 เปรียบเทียบกับเครื่องคั้นนํ้านมถั่วดาวอินคาสูตรนํ้าตาลต่ำและถั่วดาวอินคาสเปรดสูตรที่มีการใช้แป้งถั่วดาวอินคาที่ไม่ผ่านการลดกลิ่นถั่วในปริมาณเท่ากัน

5.5.1 ผลการวิเคราะห์คุณภาพเครื่องคั้นนํ้านมถั่วดาวอินคาสูตรนํ้าตาลต่ำที่มีการใช้แป้งถั่วดาวอินคาที่ผ่านการลดกลิ่นถั่วและไม่ผ่านการลดกลิ่นถั่ว

จากการนำแป้งถั่วดาวอินคาที่ผ่านการลดกลิ่นถั่วมาเติมเป็นส่วนผสมในเครื่องคั้นนํ้านมถั่วดาวอินคาสูตรนํ้าตาลต่ำ สูตรที่ดีที่สุดคือ การเติมแป้งถั่วดาวอินคาที่ผ่านการลดกลิ่นถั่ว 3% ในเครื่องคั้นนํ้านมถั่วดาวอินคาสูตรนํ้าตาลต่ำ เปรียบเทียบคุณภาพทางเคมี ทางกายภาพ และทางประสาทสัมผัส กับเครื่องคั้นนํ้านมถั่วดาวอินคาสูตรนํ้าตาลต่ำที่ใช้แป้งถั่วดาวอินคาที่ไม่ผ่านการลดกลิ่นถั่วในปริมาณเท่ากัน ผลการวิเคราะห์ปริมาณองค์ประกอบทางเคมีแสดงดังตารางที่ 4-28 ปริมาณเส้นใยอาหารทั้งหมด ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด และสมบัติการต้านอนุมูลอิสระโดยวิธี DPPH scavenging activity assay และ Ferric reducing antioxidant power แสดงดังตารางที่ 4-29 ค่าสีแสดงดังตารางที่ 4-30 ค่าความหนืด ค่าการแยกตัวของเหลว และปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดแสดงดังตารางที่ 4-31 และคะแนนความชอบทางประสาทสัมผัสแสดงดังตารางที่ 4-32

จากการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี ได้แก่ ความชื้น โปรตีน ไขมัน กากใย เถ้า และคาร์โบไฮเดรต ของเครื่องคั้นนํ้านมถั่วดาวอินคาสูตรนํ้าตาลต่ำที่เติมแป้งถั่วดาวอินคาที่ผ่านและไม่ผ่านการลดกลิ่นถั่ว ผลการทดลองแสดงดังตารางที่ 4-28 พบว่า ชนิดของแป้งถั่วดาวอินคาที่ผ่านและไม่ผ่านการลดกลิ่นถั่วมีผลต่อปริมาณ โปรตีน กากใย และคาร์โบไฮเดรต ($p < 0.05$) แต่ไม่มีผลต่อปริมาณความชื้น ไขมัน และเถ้า ($p \geq 0.05$) โดยพบว่า เครื่องคั้นนํ้านมถั่วดาวอินคาสูตรนํ้าตาลต่ำที่เติมแป้งถั่วดาวอินคาที่ไม่ผ่านการลดกลิ่นถั่วมีปริมาณ โปรตีน และกากใย เท่ากับ 5.26 และ 0.16% wet basis ตามลำดับ มากกว่า เครื่องคั้นนํ้านมถั่วดาวอินคาสูตรนํ้าตาลต่ำที่เติมแป้งถั่วดาวอินคาที่

ผ่านการลดกลิ่นฉุน มีปริมาณโปรตีน และกากใย เท่ากับ 4.90 และ 0.10% wet basis ตามลำดับ ทั้งนี้ เนื่องจากแป้งถั่วดาวอินคาที่ผ่านการให้ความร้อน มีผลให้กรดอะมิโนบางชนิดสลายตัวไปจากความร้อนได้ ซึ่งมีรายงานว่า การให้ความร้อนในการแปรรูปอาหารที่อุณหภูมิสูง (ตั้งแต่ 100-150°C) มีผลให้กรดอะมิโนบางชนิดสลายตัว (Degradation) ไป เช่น กรดอะมิโนไลซีน (Nwosu et al., 2008) นอกจากนี้การให้ความร้อนอาจมีผลให้เกิดการแตกตัว (Fragmentation) ของโพลีแซคคาไรด์ ที่เป็นองค์ประกอบหนึ่งของเส้นใยอาหาร และเนื่องจากกากใยเป็นส่วนหนึ่งของเส้นใยอาหารและเป็นโพลีแซคคาไรด์ ดังนั้นจึงมีโอกาที่แป้งที่ผ่านการให้ความร้อนจะมีปริมาณกากใยลดลงด้วย (Johansson, 2012) สำหรับปริมาณคาร์โบไฮเดรต พบว่า เครื่องคั้นนํ้ามถั่วดาวอินคาสุตรนํ้าตาลต่ำที่เติมแป้งถั่วดาวอินคาที่ผ่านการลดกลิ่นฉุนที่มีปริมาณคาร์โบไฮเดรต (3.91% wet basis) มากกว่า เครื่องคั้นนํ้ามถั่วดาวอินคาสุตรนํ้าตาลต่ำที่เติมแป้งถั่วดาวอินคาที่ไม่ผ่านการลดกลิ่นฉุน (1.96% wet basis) ทั้งนี้เนื่องจากความร้อนมีผลทำให้ปริมาณองค์ประกอบทางเคมีบางอย่าง เช่น โปรตีน สูญเสียสภาพทางธรรมชาติ จึงเป็นผลให้สารประกอบประเภทคาร์โบไฮเดรตมีความเป็นอิสระมากขึ้น (Ayoola & Adeyeye, 2010) และสอดคล้องกับปริมาณคาร์โบไฮเดรตซึ่งคำนวณจากการหักลบปริมาณองค์ประกอบทางเคมีต่างๆ ออกจากนํ้าหนักตัวอย่าง จึงมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นด้วย

สำหรับผลการวิเคราะห์ปริมาณใยอาหารทั้งหมด (ตารางที่ 4-29) พบว่า เครื่องคั้นนํ้ามถั่วดาวอินคาสุตรนํ้าตาลต่ำที่เติมแป้งถั่วดาวอินคาที่ไม่ผ่านการลดกลิ่นฉุน มีปริมาณเส้นใยอาหารทั้งหมด เท่ากับ 5.57% wet basis มากกว่า เครื่องคั้นนํ้ามถั่วดาวอินคาสุตรนํ้าตาลต่ำที่เติมแป้งถั่วดาวอินคาที่ไม่ผ่านการลดกลิ่นฉุน มีปริมาณเส้นใยอาหารทั้งหมด เท่ากับ 2.34% dry basis ทั้งนี้ ปริมาณเส้นใยอาหารทั้งหมดมีทั้งปริมาณเส้นใยอาหารที่ละลายนํ้า และไม่ละลายนํ้า โดยเส้นใยอาหารที่มักเกิดการแตกตัวสูญเสียไประหว่างการให้ความร้อนมักเป็นเส้นใยอาหารส่วนที่ละลายนํ้าได้ เช่น เพคตินและกัม สอดคล้องกับงานวิจัยของ Johansson (2012) พบว่า การอบแป้งถั่วลิสงที่อุณหภูมิ 80°C มีผลให้ปริมาณเส้นใยอาหารทั้งหมดลดลงจาก 25.29% dry basis เป็น 18.29% dry basis

สำหรับผลการวิเคราะห์ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด สมบัติการต้านอนุมูลอิสระ DPPH รายงานเป็นค่า % Inhibition และค่า FRAP ผลการทดลองแสดงดังตารางที่ 4-29 จากผลการทดลองพบว่า ชนิดของแป้งถั่วดาวอินคาที่ผ่านและไม่ผ่านการลดกลิ่นฉุนไม่มีผลต่อปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด และสมบัติการต้านอนุมูลอิสระ (DPPH และ FRAP) ของเครื่องคั้นนํ้ามถั่วดาวอินคาสุตรนํ้าตาลต่ำ ($p \geq 0.05$) โดยมีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด % Inhibition และค่า FRAP อยู่ในช่วง 5.53-5.63 mg GAE/100 g 7.16-7.36% และ 30.15-30.69 $\mu\text{mol/L}$ ตามลำดับ การที่แป้งถั่วดาวอินคาที่ผ่านการให้ความร้อนยังคงมีปริมาณสารประกอบฟีนอลิก และ

สมบัติการต้านอนุมูลอิสระใกล้เคียงกับแป้งถั่วดาวอินคาที่ไม่ผ่านการให้ความร้อน ทั้งนี้อาจเนื่องจาก กระบวนการให้ความร้อนอาจมีผลให้สารประกอบฟีนอลิกโมเลกุลใหญ่ แยกตัวเป็นสารประกอบฟีนอลิกโมเลกุลเล็ก ๆ หรือการเกิดสารประกอบใหม่ ที่สามารถให้อนุมูลอิสระได้มากขึ้น (Siah et al., 2014) Xu and Chang (2008) กล่าวว่า กิจกรรมของสารต้านอนุมูลอิสระเป็นผลมาจากการสร้างอะไกลโคโคน (Aglycones) จากการแตกตัวของ กลูโคไซด์ (Glucosides) ของฟลาโวนอยด์ ทำให้มีฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระเพิ่มมากขึ้น จึงมีผลให้แป้งถั่วดาวอินคาที่ผ่านการให้ความร้อนเมื่อนำมาผลิตเป็นเครื่องดื่มน้ำนมถั่วดาวอินคาจึงยังคงมีสารประกอบฟีนอลิกและสารต้านอนุมูลอิสระใกล้เคียงกับสิ่งทดลอง Control

สำหรับผลการวิเคราะห์ค่าสีของเครื่องดื่มน้ำนมถั่วดาวอินคาสูตรน้ำตาลต่ำที่ผ่านและไม่ผ่านการลดกลิ่นถั่ว แสดงดังตารางที่ 4-30 พบว่า ชนิดของแป้งถั่วดาวอินคาที่ผ่านและไม่ผ่านการลดกลิ่นถั่วมีผลต่อค่าสีของเครื่องดื่มน้ำนมถั่วดาวอินคาสูตรน้ำตาลต่ำ ($p < 0.05$) โดยเครื่องดื่มน้ำนมถั่วดาวอินคาสูตรน้ำตาลต่ำที่เติมแป้งถั่วดาวอินคาที่ผ่านการลดกลิ่นถั่วมีค่าสี L^* แสดงถึงความสว่าง และค่าสี b^* แสดงถึงความเหลือง เท่ากับ 75.38 และ 8.89 ตามลำดับ มากกว่าเครื่องดื่มน้ำนมถั่วดาวอินคาสูตรน้ำตาลต่ำที่เติมแป้งถั่วดาวอินคาที่ไม่ผ่านการลดกลิ่นที่มีค่าเท่ากับ 70.61 และ 4.93 ตามลำดับ ($p < 0.05$) สำหรับค่าสี a^* มีค่าเป็นลบ แสดงถึงความเขียว พบว่าเครื่องดื่มน้ำนมถั่วดาวอินคาสูตรน้ำตาลต่ำที่เติมแป้งถั่วดาวอินคาที่ผ่านการลดกลิ่นถั่ว มีค่า a^* (-0.83) น้อยกว่าเครื่องดื่มน้ำนมถั่วดาวอินคาสูตรน้ำตาลต่ำที่เติมแป้งถั่วดาวอินคาที่ไม่ผ่านการลดกลิ่น (-1.74) จากผลการวิเคราะห์จะเห็นได้ว่า เครื่องดื่มน้ำนมถั่วดาวอินคาสูตรน้ำตาลต่ำที่เติมแป้งถั่วดาวอินคาที่ผ่านการลดกลิ่นถั่วมีสีเหลืองอ่อนมากกว่าเครื่องดื่มน้ำนมถั่วดาวอินคาสูตรน้ำตาลต่ำที่เติมแป้งถั่วดาวอินคาที่ไม่ผ่านการลดกลิ่น ทั้งนี้อาจเนื่องจากแป้งถั่วดาวอินคาที่ผ่านการลดกลิ่นถั่วมีสีดั้งเดิมของแป้ง ($L^* = 80.89$, $a^* = 1.61$ และ $b^* = 18.25$) ที่เหลืองกว่าแป้งถั่วดาวอินคาที่ไม่ผ่านการลดกลิ่นถั่ว ($L^* = 79.86$, $a^* = 1.75$ และ $b^* = 17.51$) การนำมาใช้เป็นส่วนผสมในเครื่องดื่มน้ำนมถั่วดาวอินคาจึงมีผลให้มีสีเหลืองมากกว่าแป้งถั่วดาวอินคาที่ไม่ผ่านการลดกลิ่นถั่ว รวมถึงการลดกลิ่นถั่วของแป้งโดยการให้ความร้อน อาจส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างภายในแป้ง และอาจทำให้กรดอะมิโนที่อยู่ในแป้งเกิดการแตกตัวซึ่งง่ายต่อการเกิดปฏิกิริยาเมลลาร์ดในระหว่างการพาสเจอร์ไรส์ ดังนั้นเครื่องดื่มน้ำนมถั่วดาวอินคาสูตรน้ำตาลต่ำที่เติมแป้งถั่วดาวอินคาที่ผ่านการลดกลิ่นถั่วจึงมีสีเหลืองมากกว่าเครื่องดื่มน้ำนมถั่วดาวอินคาสูตรน้ำตาลต่ำที่เติมแป้งถั่วดาวอินคาที่ไม่ผ่านการลดกลิ่นถั่ว

สำหรับผลการวิเคราะห์ค่าความหนืด ค่าการแยกตัวของเหลว และปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด ของเครื่องดื่มน้ำนมถั่วดาวอินคาสูตรน้ำตาลต่ำที่เติมแป้งถั่วดาวอินคาที่ผ่านและไม่ผ่านการลด

กลั่นตัวแสดงดังตารางที่ 4-31 พบว่า ชนิดของแป้งถั่วดาวอินคาที่ผ่านและไม่ผ่านการลดกลั่นตัวมีผลต่อค่าความหนืดของเครื่องคั้นน้ำนมถั่วดาวอินคาสูตรน้ำตาลต่ำ ($p < 0.05$) แต่ไม่มีผลต่อค่าการแยกตัวของของเหลว และปริมาณของแข็งที่ละลายได้ ($p \geq 0.05$) ผลการวิเคราะห์ค่าความหนืด พบว่า เครื่องคั้นน้ำนมถั่วดาวอินคาสูตรน้ำตาลต่ำที่เติมแป้งถั่วดาวอินคาที่ผ่านการลดกลั่นตัวมีความหนืด (103.88 cP) มากกว่าเครื่องคั้นน้ำนมถั่วดาวอินคาสูตรน้ำตาลต่ำที่เติมแป้งถั่วดาวอินคาที่ไม่ผ่านการลดกลั่นตัว (97.95 cP) ($p < 0.05$) ทั้งนี้เนื่องจากแป้งถั่วดาวอินคาที่มีสตาร์ชเป็นองค์ประกอบ ซึ่งสตาร์ชเมื่อละลายอยู่ในน้ำ และมีการให้ความร้อน สตาร์ชจะดูดซับน้ำไว้ในขั้นตอนการแปรรูป เครื่องคั้นน้ำนมถั่วดาวอินคาที่มีการให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 93°C เป็นเวลา 15 วินาที จึงมีโอกาสให้สตาร์ชที่ดูดซับน้ำไว้แล้ว เกิดการพองตัว จนเกิดการเจลาติไนซ์ (Gelatinization) เกิดลักษณะของน้ำแป้งข้น มีความหนืดเพิ่มขึ้น ส่งผลให้ผลิตภัณฑ์เครื่องคั้นน้ำนมถั่วดาวอินคาที่มีความหนืดเพิ่มขึ้น นอกจากนี้แป้งถั่วดาวอินคาที่มีโปรตีนเป็นองค์ประกอบด้วย (40.80% dry basis) เมื่อได้รับความร้อนในระหว่างการแปรรูปจึงมีโอกาสให้โปรตีนเกิดการเสียสภาพธรรมชาติ เกิดการคลายตัว และหันหมู่ที่มีขั้วจับกับน้ำได้มากขึ้น ดังนั้นจึงส่งผลให้เครื่องคั้นน้ำนมถั่วดาวอินคาสูตรน้ำตาลต่ำที่เติมแป้งถั่วดาวอินคาที่ผ่านการลดกลั่นตัวมีความหนืดมากกว่าเครื่องคั้นน้ำนมถั่วดาวอินคาสูตรน้ำตาลต่ำที่เติมแป้งถั่วดาวอินคาที่ไม่ผ่านการลดกลั่นตัว

สำหรับผลการทดสอบความชอบทางประสาทสัมผัส ได้แก่ ลักษณะปรากฏ สี กลิ่น รสชาติ เนื้อสัมผัส และความชอบโดยรวม ของเครื่องคั้นน้ำนมถั่วดาวอินคาสูตรน้ำตาลต่ำที่เติมแป้งถั่วดาวอินคาที่ผ่านและไม่ผ่านการลดกลั่นตัวแสดงผลดังตารางที่ 4-32 พบว่า ชนิดแป้งถั่วดาวอินคาที่ผ่านการลดกลั่นตัวมีผลต่อความชอบทางประสาทสัมผัสด้านกลิ่น รสชาติ และความชอบโดยรวม ($p < 0.05$) แต่ไม่มีผลต่อความชอบด้านลักษณะปรากฏ สี และเนื้อสัมผัส ($p \geq 0.05$) โดยพบว่า ผู้ทดสอบชอบด้านลักษณะปรากฏ สี และเนื้อสัมผัส อยู่ในช่วง 7.63-7.67 7.17-7.30 และ 7.03-7.10 ตามลำดับ ซึ่งมีความชอบในระดับปานกลาง สำหรับความชอบด้านกลิ่น รสชาติ และความชอบโดยรวม พบว่า ผู้ทดสอบชอบเครื่องคั้นน้ำนมถั่วดาวอินคาสูตรน้ำตาลต่ำที่เติมแป้งถั่วดาวอินคาที่ผ่านการลดกลั่นตัว เท่ากับ 7.73 7.33 และ 8.03 ตามลำดับ มากกว่าเครื่องคั้นน้ำนมถั่วดาวอินคาสูตรน้ำตาลต่ำที่เติมแป้งถั่วดาวอินคาที่ไม่ผ่านการลดกลั่นตัว ได้รับคะแนนความชอบด้านกลิ่น รสชาติ และความชอบโดยรวม เท่ากับ 4.67 6.53 และ 4.80 ตามลำดับ ($p < 0.05$) ทั้งนี้อาจเนื่องจากเครื่องคั้นน้ำนมถั่วดาวอินคาสูตรน้ำตาลต่ำที่เติมแป้งถั่วดาวอินคาที่ไม่ผ่านการลดกลั่นตัวยังคงมีกลิ่นเหม็นเขียวของถั่ว (beany flavor) ซึ่งเป็นกลิ่นที่ไม่ยอมรับของผู้บริโภคที่ไม่คุ้นชิน จึงได้รับคะแนนความชอบด้านกลิ่น รสชาติ และความชอบโดยรวมต่ำกว่าเครื่องคั้นน้ำนมถั่วดาวอินคาสูตรน้ำตาลต่ำที่เติมแป้งถั่วดาวอินคาที่ผ่านการลดกลั่นตัว

5.5.2 ผลการวิเคราะห์คุณภาพถั่วดาวอินคาสเปรดที่มีการใช้แป้งถั่วดาวอินคาที่ผ่านการลวกถั่วและไม่ผ่านการลวกถั่ว

ผลการวิเคราะห์ปริมาณองค์ประกอบทางเคมีของถั่วดาวอินคาสเปรดที่เติมแป้งถั่วดาวอินคาที่ผ่านการลวกถั่ว โดยการใช้ความร้อนและไม่ผ่านการลวกถั่ว แสดงดังตารางที่ 4-33 ปริมาณเส้นใยอาหารทั้งหมด ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด และสมบัติการต้านอนุมูลอิสระ โดยวิธี DPPH scavenging activity assay และ Ferric reducing antioxidant power แสดงดังตารางที่ 4-34 ค่าสีแสดงดังตารางที่ 4-35 ลักษณะเนื้อสัมผัส ได้แก่ Hardness Spreadability และ Adhesiveness แสดงดังตารางที่ 4-36 และคะแนนความชอบทางประสาทสัมผัสแสดงดังตารางที่ 4-37

สำหรับผลการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี ได้แก่ ปริมาณความชื้น โปรตีน ไขมัน กากใย เถ้า และคาร์โบไฮเดรต ของถั่วดาวอินคาสเปรดที่เติมแป้งถั่วดาวอินคาที่ผ่านและไม่ผ่านการลวกถั่วแสดงดังตารางที่ 4-33 พบว่า ชนิดของแป้งถั่วดาวอินคาที่มีผลต่อปริมาณ โปรตีน ไขมัน กากใย และคาร์โบไฮเดรตของถั่วดาวอินคาสเปรด ($p < 0.05$) แต่ไม่มีผลต่อปริมาณความชื้น และเถ้า ($p \geq 0.05$) โดยพบว่า ถั่วดาวอินคาสเปรดสูตรที่เติมแป้งถั่วดาวอินคาที่ไม่ผ่านการลวกถั่ว มีปริมาณโปรตีน ไขมัน และกากใย เท่ากับ 18.41 62.40 และ 1.64% wet basis ตามลำดับ มากกว่า ถั่วดาวอินคาสเปรดสูตรที่เติมแป้งถั่วดาวอินคาที่ผ่านการลวกถั่ว มีปริมาณโปรตีน ไขมัน และกากใย เท่ากับ 17.22 60.80 และ 1.47% wet basis ตามลำดับ ทั้งนี้เนื่องจากความร้อนมีผลให้กรดอะมิโนบางชนิดสลายตัว เช่น กรดอะมิโนไลซีน (Nwosu et al., 2008) ปริมาณโปรตีนจึงลดลง Li et al. (2016) ยังกล่าวว่า การให้ความร้อนสามารถลดปริมาณไขมันดิบได้โดยการสลาย (Decomposing) ไขมันที่อุณหภูมิสูง นอกจากนี้การให้ความร้อนอาจมีผลให้เกิดการแตกตัว (Fragmentation) ของโพลีแซคคาไรด์ที่เป็นองค์ประกอบหนึ่งของเส้นใยอาหาร ซึ่งกากใยเป็นส่วนหนึ่งของใยอาหารและเป็นโพลีแซคคาไรด์ ดังนั้นจึงมีโอกาสที่แป้งที่ผ่านการให้ความร้อนจะมีปริมาณกากใยลดลงด้วย (Johansson, 2012) สำหรับปริมาณคาร์โบไฮเดรตพบว่า แป้งถั่วดาวอินคาที่ผ่านการลวกถั่วมีปริมาณคาร์โบไฮเดรต (10.67% wet basis) มากกว่าแป้งถั่วดาวอินคาที่ไม่ผ่านการลวกถั่ว (9.28% wet basis) ทั้งนี้เนื่องจากความร้อนมีผลให้โปรตีนที่สร้างพันธะจับกับคาร์โบไฮเดรตเสียสภาพธรรมชาติ จึงมีผลให้มีคาร์โบไฮเดรตอิสระมากยิ่งขึ้น มีผลให้ปริมาณคาร์โบไฮเดรตเพิ่มมากขึ้น

สำหรับผลการวิเคราะห์ปริมาณเส้นใยอาหารทั้งหมด แสดงดังตารางที่ 4-34 พบว่า ถั่วดาวอินคาสเปรดสูตรที่เติมแป้งถั่วดาวอินคาที่ไม่ผ่านการลวกถั่ว มีปริมาณเส้นใยอาหารทั้งหมด เท่ากับ 22.03% wet basis มากกว่าถั่วดาวอินคาสเปรดสูตรที่เติมแป้งถั่วดาวอินคาที่ผ่านการ

ลดกลิ่นฉุน มีปริมาณเส้นใยอาหารทั้งหมด เท่ากับ 16.52% wet basis ทั้งนี้เส้นใยอาหารที่มักเกิดการแตกตัวสูญเสียไประหว่างการให้ความร้อนมักเป็นเส้นใยอาหารส่วนที่ละลายน้ำได้ เช่น เพคติน และกัม สำหรับผลการวิเคราะห์ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด สมบัติการต้านอนุมูลอิสระ DPPH รายงานเป็นค่า % Inhibition และค่า FRAP ผลการทดลองแสดงดังตารางที่ 4-34 จากผลการทดลองพบว่า ชนิดของแป้งถั่วดาวอินคาที่ผ่านและไม่ผ่านการลดกลิ่นฉุนไม่มีผลต่อปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด และสมบัติการต้านอนุมูลอิสระ (DPPH และ FRAP) ของถั่วดาวอินคาสดเปรด ($p \geq 0.05$) โดยมีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด % Inhibition และค่า FRAP อยู่ในช่วง 115.08-115.97 mg GAE/100 g 25.76-26.08% และ 861.49-900.33 $\mu\text{mol/L}$ ตามลำดับ

ผลการวิเคราะห์ค่าสีของถั่วดาวอินคาสดเปรดที่เติมแป้งถั่วดาวอินคาที่ผ่านและไม่ผ่านการลดกลิ่นฉุน (ตารางที่ 4-35) พบว่า ชนิดของแป้งถั่วดาวอินคาไม่มีผลต่อค่า L^* a^* และ b^* ($p \geq 0.05$) โดยถั่วดาวอินคาสดเปรดที่ได้มีค่าสี L^* a^* และ b^* อยู่ในช่วง 63.25-64.94 3.88-3.89 และ 24.53-24.58 ตามลำดับ

สำหรับผลการวิเคราะห์ลักษณะเนื้อสัมผัสของถั่วดาวอินคาสดเปรด ได้แก่ ค่า Hardness Spreadability และ Adhesiveness โดยค่า Hardness แสดงถึงความแข็งของผลิตภัณฑ์ เป็นค่าที่ได้จากแรงที่ใช้ในการกดหัววัดลงบนตัวอย่าง รายงานจากค่าแรงสูงสุดของพีคแรก ค่า Spreadability หมายถึง ความสามารถในการปาดทา และค่า Adhesiveness หมายถึง ค่าการยึดติดของตัวอย่างอาหารกับหัววัดหลังการถอนหัววัดขึ้น จากผลการทดลอง (ตารางที่ 4-36) พบว่า ถั่วดาวอินคาสดเปรดสูตรที่มีการเติมแป้งถั่วดาวอินคาที่ไม่ผ่านการลดกลิ่นฉุนมีค่า Hardness ค่า Spreadability และค่า Adhesiveness เท่ากับ 957.78 g 9472.10 g.sec และ 202.26 g.sec ตามลำดับ ซึ่งมากกว่าถั่วดาวอินคาสดเปรดสูตรที่เติมแป้งถั่วดาวอินคาที่ผ่านการลดกลิ่นฉุน ทั้งนี้เนื่องจากแป้งถั่วดาวอินคาที่ผ่านการลดกลิ่นฉุนโดยการให้ความร้อน มีผลให้เม็ดสตาร์ชอ่อนนุ่ม โปรตีนเกิดการเสียสภาพธรรมชาติ และคลายตัว จึงสามารถอุ้มน้ำมันได้มาก มีผลให้ถั่วดาวอินคาสดเปรดที่ได้มีความเป็นเนื้อเดียวกันมากกว่าสูตรที่เติมแป้งถั่วดาวอินคาที่ไม่ผ่านการลดกลิ่นฉุน

ผลการทดสอบความชอบ โดยวิธี 9-point hedonic scale แสดงผลดังตารางที่ 4-37 พบว่า ชนิดของแป้งถั่วดาวอินคาไม่มีผลต่อความชอบทางประสาทสัมผัสด้านกลิ่น และความชอบโดยรวม ($p < 0.05$) แต่ไม่มีผลต่อความชอบด้านการทาบขนมนมปั่น สี รสชาติ และเนื้อสัมผัส ($p \geq 0.05$) โดยถั่วดาวอินคาสดเปรดสูตรที่เติมแป้งถั่วดาวอินคาที่ผ่านการลดกลิ่นฉุน ได้รับคะแนนความชอบด้านกลิ่น และความชอบโดยรวม เท่ากับ 7.63 และ 7.73 ตามลำดับ มากกว่า ($p < 0.05$) สูตรที่เติมแป้งถั่ว

ดาวอินคาที่ไม่ผ่านการลดกลิ่นถั่ว ได้รับคะแนนความชอบด้านกลิ่น และความชอบ โดยรวม เท่ากับ 4.73 และ 4.93 ตามลำดับ

จากผลการทดสอบความชอบทางประสาทสัมผัสเป็นการยืนยันให้เห็นได้ว่า ผู้ทดสอบยอมรับผลิตภัณฑ์สูตรที่เติมแป้งถั่วดาวอินคาที่ผ่านการลดกลิ่นถั่วมากกว่าสูตรที่เติมแป้งถั่วดาวอินคาที่ไม่ผ่านการลดกลิ่นถั่ว ในผลิตภัณฑ์อาหารเพื่อสุขภาพทั้ง 2 แบบ ได้แก่ เครื่องดื่มน้ำนมถั่วดาวอินคาสูตรน้ำตาลต่ำ และถั่วดาวอินคาสเปรด กระบวนการลดกลิ่นถั่วที่ใช้ในงานวิจัยนี้ไม่ทำให้สูญเสียคุณค่าทางโภชนาการเมื่อเทียบกับแป้งที่ไม่ได้ลดกลิ่นถั่ว โดยยังคงเป็นแหล่งที่ดีของโปรตีน (40.80% dry basis) อีกทั้งยังมีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด (51.33 mg GAE/100g) และมีสมบัติการต้านอนุมูลอิสระ (DPPH เท่ากับ 72.32 % inhibition, FRAP เท่ากับ 536.39 $\mu\text{mol/L}$) รวมถึงมีสมบัติเชิงหน้าที่ด้านความสามารถในการดูดซับน้ำ (2.81 g/g flour) ความสามารถในการดูดซับน้ำมัน (1.62 g/g flour) สมบัติการเป็นอิมัลชัน (47.28%) และสมบัติการพองตัวที่ดี (3.28 g/g flour) แสดงให้เห็นว่า แป้งถั่วดาวอินคาที่ผ่านกระบวนการลดกลิ่นถั่วในงานวิจัยนี้ มีความเป็นไปได้ในการนำไปใช้ในผลิตภัณฑ์อาหาร โดยสามารถลดข้อจำกัดด้านกลิ่นถั่ว (Beany flavor) หรือกลิ่นเหม็นเขียว (Grassy flavor) ซึ่งเป็นกลิ่นที่ไม่พึงประสงค์ โดยมีผลต่อการยอมรับของผู้บริโภค ดังนั้นการกำจัดกลิ่นถั่ว หรือการทำให้กลิ่นถั่วลดลง จึงทำให้ง่ายต่อการเติมลงในอาหารต่าง ๆ ทำให้คุณภาพด้านกลิ่นของอาหารนั้น ๆ ไม่เปลี่ยนแปลง สามารถขยายขอบเขตการใช้แป้งถั่วดาวอินคาได้มากขึ้น

สรุปผลการวิจัย

1. ผลการศึกษาหาวิธีการลดกลิ่นตัวของแป้งถั่วดาวอินคาที่เหมาะสม

1.1 ผลของการลดกลิ่นถั่วโดยการใช้ความร้อนด้วยไมโครเวฟร่วมกับตู้อบลมร้อน โดยศึกษา 3 ปัจจัย ได้แก่ ปัจจัยที่ 1 เวลาการให้ความร้อนด้วยไมโครเวฟ 0 - 180 วินาที ปัจจัยที่ 2 อุณหภูมิการให้ความร้อนด้วยตู้อบลมร้อน 65 - 95°C และปัจจัยที่ 3 เวลาการให้ความร้อนด้วยตู้อบลมร้อน 5 - 15 นาที จัดตั้งทดลองแบบ Central composite design (CCD) พบว่าการใช้เวลาการให้ความร้อนด้วยไมโครเวฟ 180 วินาที ร่วมกับอุณหภูมิการให้ความร้อนด้วยตู้อบลมร้อน 65°C และเวลาการให้ความร้อนด้วยตู้อบลมร้อนเท่ากับ 10 นาที เป็นสภาวะการให้ความร้อนในการลดกลิ่นถั่วที่เหมาะสมที่สุด ได้แป้งถั่วดาวอินคาที่มีปริมาณความชื้นต่ำ (3.31%) มีค่า Whiteness (76.27) รวมถึงมีกิจกรรมของเอนไซม์ Lipoxygenase (70.00 Unit/ml) และได้รับคะแนนความเข้มกลิ่นถั่ว (1.70) ต่ำที่สุด

1.2 ผลของการลดกลิ่นถั่วโดยการใช้สารเคมี โดยศึกษาผลของชนิดและความเข้มข้นของสารละลายที่ใช้แช่แป้งถั่วดาวอินคา โดยสารเคมีที่ใช้ได้แก่ 1) สารละลาย EDTA ความเข้มข้น 100 120 และ 140 mmol/L 2) สารละลาย Citric acid ความเข้มข้น 0.1 0.3 และ 0.5% 3) สารละลาย Propyl gallate ความเข้มข้น 0.1 0.3 และ 0.5% เปรียบเทียบกับแป้งถั่วดาวอินคาที่ไม่ผ่านการลดกลิ่นถั่ว (Control) พบว่า การแช่แป้งในสารละลาย Citric acid 0.5% จึงเป็นสภาวะการใช้สารเคมีในการลดกลิ่นถั่วที่เหมาะสมที่สุด มีผลให้ได้แป้งถั่วดาวอินคาที่มีปริมาณความชื้นต่ำ (5.41%) มีค่า Whiteness (75.67) รวมถึงมีกิจกรรมของเอนไซม์ Lipoxygenase ต่ำที่สุด (43.33 Unit/ml) และได้รับคะแนนความเข้มกลิ่นถั่วต่ำ (0.30)

2. ผลการวิเคราะห์คุณภาพและสมบัติเชิงหน้าที่ของแป้งถั่วดาวอินคาที่ไม่ผ่านและผ่านการลดกลิ่นถั่ว โดยการใช้ความร้อนด้วยไมโครเวฟร่วมกับตู้อบลมร้อน (เวลาการให้ความร้อนด้วยไมโครเวฟ 180 วินาที ร่วมกับอุณหภูมิการให้ความร้อนด้วยตู้อบลมร้อน 65°C เป็นเวลา 10 นาที) และการใช้สารเคมี (การแช่แป้งในสารละลาย Citric acid 0.5%) พบว่า แป้งถั่วดาวอินคาทั้ง 3 สิ่งทดลองมีปริมาณความชื้นต่ำกว่า 8% (3.47-7.59%) และยังคงเป็นแหล่งที่ดึกของโปรตีน (40.80-48.07% dry basis) สำหรับผลการวิเคราะห์องค์ประกอบของสารระเหยให้กลิ่นของแป้งถั่วดาวอินคาโดยใช้ SPME/GC-MS พบว่าแป้งถั่วดาวอินคาทั้ง 3 สิ่งทดลอง มีองค์ประกอบของสารระเหยให้กลิ่นแตกต่างกัน ผลการวิเคราะห์ที่เค้าโครงคุณภาพกลิ่นด้วย Electronic nose และวิเคราะห์องค์ประกอบหลัก (Principle Component Analysis: PCA) สามารถจัดองค์ประกอบหลักได้ 2 องค์ประกอบ โดยองค์ประกอบที่ 1 และองค์ประกอบที่ 2 อธิบายความผันแปรได้ 98.86% และ

0.75% ตามลำดับ และแป้งถั่วดาวอินคา แบ่งเป็น 3 กลุ่มชัดเจนในองค์ประกอบที่ 1 โดยแป้งถั่วดาวอินคาที่ผ่านการให้ความร้อนมีปริมาณเส้นใยอาหารทั้งหมด ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด และสมบัติการต้านอนุมูลอิสระ (DPPH และ FRAP) มากกว่าแป้งถั่วดาวอินคาที่ผ่านการแช่สารละลาย Citric acid 0.5% ($p < 0.05$)

3. ผลการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของแป้งถั่วดาวอินคาที่ไม่ผ่านและผ่านการลดกลิ่นถั่ว ระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิแช่เย็น ($4 \pm 1^{\circ}\text{C}$) และอุณหภูมิห้อง ($30 \pm 1^{\circ}\text{C}$) เป็นเวลา 21 วัน พบว่าเมื่อเวลาการเก็บนานขึ้นมีผลให้แป้งถั่วดาวอินคาที่ไม่ผ่านและผ่านการลดกลิ่นถั่ว มีกิจกรรมของเอนไซม์ Lipoxygenase ค่า Peroxide value ค่า TBARS ค่า a_w คະแนนความชื้นกลิ่นถั่ว และความชื้นกลิ่นหืน มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น ($p < 0.05$) ในขณะที่มีปริมาณความชื้นไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p \geq 0.05$) แต่อย่างไรก็ตามแป้งถั่วดาวอินคาทุกสิ่งทดลองมีปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด น้อยกว่า 1.0×10^4 โคโลนีต่อกรัม ปริมาณยีสต์และรา น้อยกว่า 1.0×10^1 โคโลนีต่อกรัม ซึ่งอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานที่ปลอดภัยต่อการบริโภค

4. ผลของการนำแป้งถั่วดาวอินคามาใช้เป็นส่วนผสมในผลิตภัณฑ์อาหารเพื่อสุขภาพต้นแบบ

4.1 ผลของปริมาณแป้งถั่วดาวอินคาที่ผ่านการลดกลิ่นถั่วต่อคุณภาพของเครื่องดื่ม น้ำนมถั่วดาวอินคาสูตรน้ำตาลต่ำ โดยแปรปริมาณแป้งถั่วดาวอินคาที่ผ่านการลดกลิ่นถั่วโดยการให้ความร้อน (เวลาการให้ความร้อนด้วยไมโครเวฟ 180 วินาที ร่วมกับอุณหภูมิการให้ความร้อนด้วยตู้อบลมร้อน 65°C เป็นเวลา 10 นาที) เป็น 4 ระดับ ได้แก่ 1 2 3 และ 4% โดยน้ำหนัก พบว่า การเติมแป้งถั่วดาวอินคาที่ผ่านการลดกลิ่นถั่ว 3% ได้รับคะแนนความชอบโดยรวมสูงที่สุด (7.20) มีค่าสี $L^* a^*$ และ b^* เท่ากับ 79.09 -0.48 และ 9.33 ตามลำดับ มีค่าความหนืด ค่าการแยกตัวของเหลว และปริมาณของแข็งที่ละลายได้ เท่ากับ 111.67 cP 86.38% และ 12.0°Brix ตามลำดับ

4.2 ผลของปริมาณแป้งถั่วดาวอินคาที่ผ่านการลดกลิ่นถั่วต่อคุณภาพของถั่วดาวอินคาสเปรด โดยแปรสัดส่วนระหว่างแป้งถั่วดาวอินคาที่ผ่านการลดกลิ่นถั่วโดยการให้ความร้อน (เวลาการให้ความร้อนด้วยไมโครเวฟ 180 วินาที ร่วมกับอุณหภูมิการให้ความร้อนด้วยตู้อบลมร้อน 65°C เป็นเวลา 10 นาที) กับน้ำมันมะพร้าว 3 ระดับ ได้แก่ 40:60 45:55 และ 50:50% โดยน้ำหนัก พบว่า ถั่วดาวอินคาสเปรดสูตรที่มีสัดส่วนแป้งถั่วดาวอินคาต่อน้ำมันมะพร้าว 45:55% ได้รับคะแนนความชอบโดยรวมสูงที่สุด (7.29) มีค่าสี $L^* a^*$ และ b^* เท่ากับ 62.26 4.13 และ 24.46 ตามลำดับ มีค่า Hardness Spreadability และ Adhesiveness เท่ากับ 658.82 g 6620.88 g.sec และ 181.04 g.sec ตามลำดับ

5. ผลการวิเคราะห์คุณภาพผลิตภัณฑ์อาหารเพื่อสุขภาพต้นแบบที่มีการใช้แป้งถั่วดาวอินคาที่ผ่านการลดกลั่นถั่วเปรียบเทียบกับการใช้แป้งถั่วดาวอินคาที่ไม่ผ่านการลดกลั่นถั่ว

5.1 ผลการวิเคราะห์คุณภาพเครื่องดื่มน้ำนมถั่วดาวอินคาสูตรน้ำตาลต่ำที่มีการใช้แป้งถั่วดาวอินคาที่ผ่านการลดกลั่นถั่วโดยการให้ความร้อนและไม่ผ่านการลดกลั่นถั่ว พบว่าเครื่องดื่มน้ำนมถั่วดาวอินคาสูตรน้ำตาลต่ำที่มีการใช้แป้งถั่วดาวอินคาที่ผ่านการลดกลั่นถั่ว ได้รับคะแนนความชอบโดยรวม (8.03) มากกว่าสูตรที่ใช้แป้งถั่วดาวอินคาที่ไม่ผ่านการลดกลั่นถั่ว (4.80) และได้เครื่องดื่มน้ำนมถั่วดาวอินคาที่มีปริมาณเส้นใยอาหารทั้งหมด เท่ากับ 4.89% dry basis มีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด และสมบัติการต้านอนุมูลอิสระ โดยวิธี DPPH scavenging activity assay และ Ferric reducing antioxidant power เท่ากับ 5.53 mg GAE/100g 7.16 % Inhibition และ 30.69 $\mu\text{mol/L}$ ตามลำดับ

5.2 ผลการวิเคราะห์คุณภาพถั่วดาวอินคาสเปรดที่มีการใช้แป้งถั่วดาวอินคาที่ผ่านการลดกลั่นถั่วโดยการให้ความร้อนและไม่ผ่านการลดกลั่นถั่ว พบว่า ถั่วดาวอินคาสเปรดสูตรที่มีการเติมแป้งถั่วดาวอินคาที่ผ่านการลดกลั่นถั่ว ได้รับคะแนนความชอบโดยรวม (7.73) มากกว่าสูตรที่ใช้แป้งถั่วดาวอินคาที่ไม่ผ่านการลดกลั่นถั่ว (4.93) และได้ถั่วดาวอินคาสเปรดที่มีปริมาณเส้นใยอาหารทั้งหมด เท่ากับ 17.84% dry basis มีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด และสมบัติการต้านอนุมูลอิสระ โดยวิธี DPPH scavenging activity assay และ Ferric reducing antioxidant power เท่ากับ 115.08 mg GAE/100g 26.08 % Inhibition และ 900.33 $\mu\text{mol/L}$ ตามลำดับ

ข้อเสนอแนะ

1. อาจศึกษาการนำแป้งถั่วดาวอินคาที่ผ่านการลดกลั่นถั่ว ไปใช้เป็นส่วนผสมในผลิตภัณฑ์อาหารชนิดอื่น ๆ เช่น ผลิตภัณฑ์เบเกอรี่ และผลิตภัณฑ์เนื้อสัตว์
2. ควรติดตามผลการเปลี่ยนแปลงระหว่างการเก็บรักษาแป้งถั่วดาวอินคาเป็นระยะเวลานานขึ้นจนกระทั่งแป้งถั่วดาวอินคาเสื่อมเสียหรือไม่เป็นที่ยอมรับ
3. สามารถนำสภาวะที่เหมาะสมในการลดกลั่นถั่วที่ศึกษาได้ รวมถึงสูตรการผลิตไปใช้ในแป้งถั่วชนิดอื่นที่มีปัญหาเรื่องกลิ่นถั่วได้

บรรณานุกรม

- กระวี ตรีอำรรค. (2547). *การศึกษาวิธีการที่เหมาะสมในการสกัดน้ำมันงาดิบด้วยวิธีการสกัดเย็น*.
วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต, สาขาวิชาวิศวกรรมเกษตร,
คณะวิศวกรรมศาสตร์, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- กระวี ตรีอำรรค. (2551). *การออกแบบสร้างเครื่องทำแห้งด้วยคลื่นไมโครเวฟในสุญญากาศ*.
ปทุมธานี: ภาควิชาวิศวกรรมเกษตร, คณะวิศวกรรม, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคล
ธัญบุรี.
- กล้าณรงค์ ศรีรอด และเกื้อกูล ปิยะจอมขวัญ. (2546). *เทคโนโลยีของแป้ง* (พิมพ์ครั้งที่ 3).
กรุงเทพฯ: มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- กฤตลักษณ์ ปะสะกวี, ปนิตา บรรจงสินศิริ, วรณิ สุทธิวัฒนเวช, พรภัทรา ศรีนรคุตร, สุภาภรณ์
พิศพันธ์, เรวดี มีสัจย์, เกศรา แซ่ไคว้ และวรัญญา วรรณคุณ. (2553). *การศึกษาอายุการ
เก็บรักษาขนมขบเคี้ยวเพื่อสุขภาพรูปแท่ง*. ฝ่ายเทคโนโลยีอาหาร สถาบันวิจัย
วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย (วว.). *อาหาร*, 40, 318-326.
- ขวัญใจ แซ่ลิ้ม. (2552). *ผลของกระบวนการแปรรูปต่อสมบัติการต้านออกซิเดชันของสาคอ*.
วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต, สาขาวิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีอาหาร,
คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี, มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.
- คัตนางค์ ทองสุก. (2542). *ถั่วเหลืองอาหารเพื่อสุขภาพ*. *วารสารอาหาร*, 29(3), 212-213.
- จริยา คุณะวิทยากร. (2542). *การพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหารว่างจากข้าวกล้องหักหอมมะลิผสม
เนยถั่วลิสง*. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต, สาขาวิชาพัฒนาอุตสาหกรรมเกษตร,
คณะอุตสาหกรรมเกษตร, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- จารุวรรณ บางแวก, อรวรรณ จิตต์ธรรม, จารุรัตน์ พุ่มประเสริฐ, นฤเทพ เวชภิบาล, อนุวัฒน์
รัตนชัย, กนกศักดิ์ ลอยเลิศ, ศิริพร เต็งรัง และนภัสสร เลียบวัน. (2558). *โครงการวิจัย
วิจัยพัฒนาและการใช้ประโยชน์จากแป้งพืชศักยภาพ*. กรุงเทพฯ: กรมวิชาการเกษตร.
- เจนจิรา จิรัมย์ และประสงค์ สีหานาม. (2554). *อนุมูลอิสระและสารต้านอนุมูลอิสระ: แหล่งที่มา
และกลไกการเกิดปฏิกิริยา Oxidants and antioxidants: Sources and mechanism*.
วารสารวิชาการมหาวิทยาลัยราชภัฏกาฬสินธุ์, 1 (1), 59-70.
- จันทนา มังคะลา. (2549). *พฤติกรรมผู้บริโภคเครื่องดื่มเพื่อสุขภาพ (Functional Drink)
ของผู้บริโภคสตรีในกรุงเทพมหานคร*. วิทยานิพนธ์บริหารธุรกิจมหาบัณฑิต, สาขาวิชา
การตลาด, คณะสังคมศาสตร์, มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ.

- จุฬารักษ์ เลิศบวรวงศ์ และรสิตา โอสถานนท์. (2551). การศึกษากระบวนการผลิตเครื่องดื่มน้ำเพื่อสุขภาพจากข้าวแดง. *วารสารวิจัยรามคำแหง*, 11(1), 1-10.
- จุฬาลักษณ์ พระสว่าง. (2554). เครื่องดื่มน้ำเพื่อสุขภาพจากข้าวกล้องหอมมะลิเสริมโปรไบโอติก. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต, สาขาวิชาเทคโนโลยีการอาหาร, คณะเทคโนโลยี, มหาวิทยาลัยมหาสารคาม.
- เฉลิมพล ถนอมวงศ์. (2547). การพัฒนาไส้ขนมจากเนยถั่วลิสงผสมงาขาว. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต, สาขาวิชาพัฒนาผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมเกษตร, คณะอุตสาหกรรมเกษตร, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- ณภัทร ปวีณพงษ์พัฒน์. (2553). ผลของกรดซิตริก กรดแอสคอร์บิก โซเดียมอริทอร์เบต และแคลเซียมคลอไรด์ต่อสีของลำไยอบแห้งพันธุ์ดอ. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต, สาขาวิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีอาหาร, คณะอุตสาหกรรมเกษตร, มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.
- ทิพวรรณ จันทะรักษ์, ศิริรักษา คำภู, อรรณพ ทศนอุดม และเฉลิมพล ถนอมวงศ์. (2555). ผลของสารเคมีกลุ่ม GRAS ต่อคุณภาพของเปลือกแดงโมแซอิมอบแห้ง. *วารสารวิทยาศาสตร์มหาวิทยาลัยขอนแก่น*, 40(4), 1250-1259.
- เทพจันทร์ แสงสุนทร. (2555). การสุกก่อนของโลหะและการป้องกัน. คู่มือการสอนวิชาเคมี สำนักงานคณะกรรมการการศึกษาขั้นพื้นฐาน และคณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. กรุงเทพฯ: สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี กระทรวงศึกษาธิการ.
- ธีรวิทย์ วราธร ไพบูลย์. (2557). พฤติกรรมการบริโภค : อาหารนิยมบริโภคกับอาหารเพื่อสุขภาพ. *วารสารปัญญาภิวัฒน์*, 5(2), 255-264.
- นรินทร์ เจริญพันธ์. (2552). การศึกษาสูตรและอายุการเก็บของผลิตภัณฑ์สเปรดจากโปรตีนมะพร้าว. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต, สาขาวิชาวิทยาศาสตร์การอาหาร, คณะอุตสาหกรรมเกษตร, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- นภาพร เชี่ยวชาญ. (2556). โครงการผลของกระบวนการผลิตต่อสารพิษเคมีและสมบัติเชิงหน้าที่ของผงใยอาหารสูงผลิตจากกากมะนาวหลังการคั้นน้ำ. กรุงเทพฯ: ภาควิชาวิศวกรรมอาหาร, คณะวิศวกรรมศาสตร์, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.
- นิธิยา รัตนาปนนท์. (2554). หลักการวิเคราะห์อาหาร. กรุงเทพฯ: โอ. เอส. พรีนติ้ง เฮ้าส์.
- นิธิยา รัตนาปนนท์. (2553). เคมีอาหาร (พิมพ์ครั้งที่ 4). กรุงเทพฯ: โอเดียนสโตร์.

- บุญรักษ์ กาญจนวรวณิชย์. (2552). สารานุกรม: ู้จักภูมิอเล็กทรอนิกส์. ศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ. เข้าถึงได้จาก <https://www.mtec.or.th/2013-05-29-09-06-21/2013-05-29-09-39-49/807>
- ประสิทธิ์ จันตัน. (2550). ผลของไอโซนและกรดซิตริกต่ออายุการเก็บรักษาลำไยพันธุ์ดอ. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต, สาขาวิชาพืชสวน, คณะเกษตรศาสตร์, มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.
- ปทุมทริกา วิไลพล. (2553). ผลของขนาดเมล็ดสตาร์ชต่อขนาดทางเคมีกายภาพและสมบัติเชิงหน้าที่ของสตาร์ชถั่วมะแฮะ *Cajanus cajan* (L.). วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต, สาขาวิชาเทคโนโลยีทางอาหาร, คณะวิทยาศาสตร์, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- พจนา จุลสิงห์ และธงชัย สุวรรณสิขณณ์. (2554). การเปรียบเทียบการวัดค่าด้วยวิธีภูมิอเล็กทรอนิกส์และวิธีการประเมินทางประสาทสัมผัสแบบซอร์ทิงเพื่อจำแนกกลุ่มผลิตภัณฑ์กะทิสำเร็จรูปทางการค้า. ใน การประชุมทางวิชาการของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 49 (หน้า 481-488). กรุงเทพฯ: มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- พรพินิต การกลจักร. (2553). การพัฒนาเครื่องคั้นผักผลไม้ที่มีไลโคปีนและเบต้าแคโรทีนบรรจุกระป๋อง. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต, สาขาวิชาวิทยาศาสตร์การอาหาร, คณะอุตสาหกรรมเกษตร, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าคุณทหารลาดกระบัง.
- พิมพ์เพ็ญ พรเฉลิมพงศ์ และนิธิยา รัตนาปนนท์. (ม.ป.ป.). ถั่วเขียว. เข้าถึงได้จาก <http://www.foodnetworksolution.com/wiki/word/2889/mung-bean-ถั่วเขียว>
- พิมพ์เพ็ญ พรเฉลิมพงศ์ และนิธิยา รัตนาปนนท์. (ม.ป.ป.). EDTA. เข้าถึงได้จาก <http://www.foodnetworksolution.com/wiki/word/1991/ethylenediaminetetraacetic-acid-EDTA>
- พิมพ์เพ็ญ พรเฉลิมพงศ์ และนิธิยา รัตนาปนนท์. (ม.ป.ป.). Antinutritional factor. เข้าถึงได้จาก <http://www.foodnetworksolution.com/wiki/word/4460/antinutritional-factor>
- พิมพ์เพ็ญ พรเฉลิมพงศ์ และนิธิยา รัตนาปนนท์. (ม.ป.ป.). ไมโครเวฟ. เข้าถึงได้จาก <http://www.foodnetworksolution.com/wiki/word/0401/microwave>
- พิมพ์เพ็ญ พรเฉลิมพงศ์ และนิธิยา รัตนาปนนท์. (ม.ป.ป.). Dehydration / การทำแห้ง. เข้าถึงได้จาก <http://www.foodnetworksolution.com/wiki/word/0277/dehydration-การทำแห้ง>

- ภัทรา ปกรณ์สมบูรณ์. (2550). *การใช้กรดอินทรีย์ทดแทนโซเดียมเมตาไบซัลไฟต์ในการฟอกขาวเส้นก๋วยเตี๋ยวที่ทำจากข้าว*. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต, สาขาวิชาเทคโนโลยีอาหาร, คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยีอุตสาหกรรม, มหาวิทยาลัยศิลปากร.
- รัชณี ตันตพานิช. (2535). *เคมีอาหาร (พิมพ์ครั้งที่ 2)*. กรุงเทพฯ: มหาวิทยาลัยรามคำแหง.
- รามราช หมิ่นศรีธาราม. (2550). *การเปลี่ยนแปลงปริมาณสารประกอบฟีนอลิกและสมบัติการต้านอนุมูลอิสระของกล้วยตากและกล้วยทอดกรอบแผ่นบางในระหว่างกระบวนการแปรรูปและการเก็บรักษา*. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต, สาขาวิชาวิทยาศาสตร์การอาหาร, คณะวิทยาศาสตร์, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.
- รุ่งนภา พงศ์สวัสดิ์มานิต. (ม.ป.ป.). *การใช้ไมโครเวฟในการแปรรูปอาหาร*. เอกสารประกอบการสอน. กรุงเทพฯ: ภาควิชาพัฒนาผลิตภัณฑ์, คณะอุตสาหกรรมเกษตร, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- วันเพ็ญ ญัฐวุฒิ. (2548). *การพัฒนาผลิตภัณฑ์เนยถั่วลิสงผสมรำข้าว*. วิทยานิพนธ์คหกรรมศาสตรมหาบัณฑิต, สาขาวิชาคหกรรมศาสตร์, คณะเกษตร, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- วัชร เทพโยธิน, นันทพัพร เสนาวงค์ และจุฑาทิพย์ เมืองพรม. (2559). *คุณภาพและการยอมรับของผู้บริโภคต่อน้ำนมข้าวโพดที่ผลิตโดยวิธีเคลือบผิวน้ำตาลและการพาสเจอร์ไรส์วารสารวิชาการและวิจัย มทร.พระนคร ฉบับพิเศษ, 192-202.*
- วรวัลย์ ชารวล. (2557). *การเปรียบเทียบคุณสมบัติทางเคมีและชีวภาพของสารสกัดจากถั่วเหลืองและถั่วเหลืองหมัก*. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต, สาขาวิชาเทคโนโลยีอาหาร, คณะวิทยาศาสตร์, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี.
- วิไล รังสาดทอง. (2546). *เทคโนโลยีการแปรรูปอาหาร*. กรุงเทพฯ: สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ.
- ศิริพร ตันจ้อ, วนิดา เทวารุทธิ์ ชิตีสรค์กุล, สมจิต อ่อนเหม และเนตรนภิส วัฒนสุชาติ. (2555). *อิทธิพลของการแปรรูปถั่วเหลืองเพาะงอกต่อการดูดซึมธาตุเหล็กและความสามารถในการย่อยโปรตีน*. กรุงเทพฯ: โครงการวิจัยทุนอุดหนุนวิจัย สถาบันวิจัยและพัฒนาแห่งมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- ศุภมาส กลิ่นขจร, ชุติมา อัสวเสถียร, จิตติมา วรรณแก้ว และภคินี อัครเวสสะพงศ์. (2550). *การวิจัยและพัฒนาการแปรรูปทุเรียนผง*. กรุงเทพฯ: สำนักวิจัยและพัฒนาวิทยาการหลังเก็บเกี่ยวและแปรรูปผลิตภัณฑ์ผลเกษตร.
- สถาบันอาหาร. (2558). *10 เทรนด์ที่มีอิทธิพลต่ออุตสาหกรรมอาหาร*. เข้าถึงได้จาก http://fic.nfi.or.th/broadcast/WFMR_Feb2015.pdf

- สายสนม ประดิษฐ์ดวง. (2543). *การให้ความร้อนด้วยพลังงานไมโครเวฟและการฉายรังสีอาหาร วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร (พิมพ์ครั้งที่ 3)*. กรุงเทพฯ: ภาควิชา วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัย เกษตรศาสตร์.
- สุชาติ ภูษณะดิลก และลูกจันทร์ ภัครษ์พันธุ์. (2525). การกำจัดกลิ่นฉุนเพื่อปรับปรุงคุณภาพโปรตีน จากถั่วเหลือง: ผลของการแช่ถั่วในสารละลายต่าง ๆ ต่อกลิ่นถั่ว. ใน *การประชุมทาง วิชาการ ครั้งที่ 20 ของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ สาขาอุตสาหกรรมเกษตร 1-3 กุมภาพันธ์* (หน้า 62-73). กรุงเทพฯ: มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- สุชดา มานอก และปวีณา ถิมเจริญ. (2558). การวิเคราะห์ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระโดยวิธี DPPH, ABTS และ FRAP และปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดของสารสกัดสมุนไพรใน ตำรับยาหอมเทพจิตร. *ก้าวทันโลกวิทยาศาสตร์*, 15(1), 106-117.
- สุมาลี ปัญญาจิรวุฒิ. (2554). *การคัดเลือกสายพันธุ์แบคทีเรียแลคติกที่สามารถลดกลิ่นฉุนและลด น้ำตาลโอลิโกแซคคาไรด์ที่เป็นสาเหตุของการเกิดอาการท้องอืด ท้องเฟ้อในผลิตภัณฑ์ โยเกิร์ตพร้อมดื่มจากนมถั่วเหลือง*. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต, สาขาวิชา เทคโนโลยีอาหาร, คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยีอุตสาหกรรม, มหาวิทยาลัย ศิลปากร.
- โสธยา เกิดพิบูลย์, จักรพงษ์ ไสวะพันธ์, ประกาย ผิวทอง และอรอนงค์ ฐาปนพันธ์นติกุล. (2554). ผลของอิมัลซิไฟเออร์และเวลาที่ใช้ในการผสมต่อสมบัติเชิงกายภาพของฟักทองสเปรด. *วารสารวิจัยมหาวิทยาลัยขอนแก่น*, 16(1), 32-40.
- สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม. (2547). *มาตรฐานผลิตภัณฑ์ถั่วเหลืองผง: มผช. 688/2547*. กรุงเทพฯ: สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม.
- สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม. (2550). *มาตรฐานผลิตภัณฑ์แป้งถั่วเหลือง: มผช. 1377/2550*. กรุงเทพฯ: สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม.
- หยาดฝน ทนงการกิจ. (2557). การใช้ประโยชน์จากเศษผักผลไม้เหลือทิ้งเพื่อผลิตเป็นโยอาหารผง. *วารสารเทคโนโลยีการอาหาร มหาวิทยาลัยสยาม*, 9(1), 31-38.
- อุดมวิทย์ ไวยทการ, กัญญรัตน์ จำปาทอง และเถลิงศักดิ์ วีรวุฒิ. (2557). *ดาวอินคา พืชมหัศจรรย์ สูดยอดโภชนาการ*. เข้าถึงได้จาก http://www.doa.go.th/pibai/pibai/n17/v_10-nov/rai.html

- อิศรพงษ์ พงษ์ศิริกุล. (2544). *การวิเคราะห์ผลทางสถิติโดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูปสำหรับอุตสาหกรรมเกษตร*. เชียงใหม่: ภาควิชาเทคโนโลยีการพัฒนาลิขิตภัณฑ์ คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.
- Achouri, A. B. J. I., & Zamani, Y. (2006). Identification of compounds in soymilk using solid-phase microextraction-gas chromatography. *Food chemistry*, 99, 759-766.
- Aishima, T. (2004). Correlating sensory attributes to gas chromatography-mass spectrometry profiles and e-nose responses using partial least squares regression analysis. *Journal of Chromatography A*, 1054, 39-46.
- AOAC. (1995). *Official method of analysis* (16th ed.). Washington, DC: Association of official analytical chemists.
- AOAC. (2000). *Official method of analysis of AOAC international* (17th ed.). Gaithersburg, MD: Association of Official Analytical Chemists.
- Aparicio-Fernández, X., Manzo-Bonilla, L., & Loarca-Piña, G. (2005). Comparison of Antimutagenic Activity of Phenolic Compounds in Newly Harvested and Stored Common Beans *Phaseolus vulgaris* against Aflatoxin B1. *Journal of Food Science*, 70 (1), 573–578.
- Arif, S., Ahmad, A., Masud, T., Khalid, N., Hayat, I., Siddique, F., & Ali, M. (2012). Effect of flour processing on the quality characteristics of a soy-based beverage. *International Journal of Food Sciences and Nutrition*, 63(8), 940-946.
- Ayoola, P. B., & Adeyeye, A. (2010). Effect of heating on the chemical composition and physico-chemical properties of *Arachis hypogea* (Groundnut) seed flour and oil. *Pakistan Journal of Nutrition*, 9, 751-754.
- Azarnia, S., Boye, J. I., Warkentin, T., Malcolmson, L., & Sabik, H. (2011). Volatile flavour profile changes in selected field pea cultivars as affected by crop year and processing. *Food Chemistry*, 124, 326-335.
- Bate, N. J., Sivasankar, S., Moxon, C., Riley, J. M. C., Thompson, J. E., & Rothstein, S. J. (1998). Molecular Characterization of an *Arabidopsis* Gene Encoding Hydroperoxide Lyase, a Cytochrome P-450 That Is Wound Inducible. *Plant Physiol*, 117, 1393–1400.

- Bayram, M., Kaya, A., & Oner, M. D. (2004). Water absorption, leaching and color or changes during the soaking for production of soy-bulgur. *Journal of Food Process Engineering*, 27(2), 119-141.
- Baysal, T., & Demirdoven, A. (2007). Lipoxygenase in fruits and vegetables: A review. *Enzyme and Microbial Technology*, 40, 491-496.
- Bhat, R., & Yahya, N. B. (2014). Evaluating belinjau (*Gnetum gnemon* L.) seed flour quality as a base for development of novel food products and food formulations. *Food Chemistry*, 156, 42–49.
- Boabright, W. I., & Hetiarachchy, N. S. (1995). Effect of lipid on soy protein isolate solubility. *Journal of American Oil Chemical Society*, 72, 1439 – 1444.
- Boateng, J., Verghese, M., Walker, L. T., & Ogutu, S. (2008). Effect of processing on antioxidant contents in selected dry beans (*Phaseolus* spp. L.). *LWT - Food Science and Technology*, 41, 1541-1547.
- Braudo, E. E., Danilenko, A. N., Dianova, V. T., & Krokha, N. G. (2001). Alternative approaches to the manufacture of plant protein products from grailegumes. *Food / Nahrung*, 45(6), 405–407.
- Buege, J. A., & Aust, S. D. (1978). Microsomal lipid peroxidation methods. *Methods in Enzymology*, 52, 302–310.
- Campbell, J. M., Crenshaw, J. D., Russell, L. E., & Hayes, S. K. (2008). Influence of Dietary Plasma Proteins on Supporting Animal Immunity Systems. In *Proceeding of the 19th Annual Meeting Florida Ruminant Nutrition Symposium* (pp. 1-11). Gainesville: Florida University.
- Campbell, L., Euston, S. R., & Ahmed, M. A. (2016). Effect of addition of thermally modified cowpea protein on sensory acceptability and textural properties of wheat bread and sponge cake. *Food Chemistry*, 194, 1230-1237.
- Chalajit, L., Srichamnong, W., Suttisansanee, U., Sapwarabol, S., Somboonpanyakul, P., & Hadthagosol, C. (2015). Phenolic Compounds and Antioxidant Capacity of raw and processed Kra-bok (*Irvingia malayana* Oliv. ex A.W. Benn.) and Sacha Inchi (*Plukenetia volubilis* L.) Seeds. In *Food ingredient Asia Conference 10-11 September 2015* (pp. 35-42). Bangkok: BITEC.

- Chedea, V. S., & Jisaka, M. (2011). *Inhibition of Soybean Lipoxygenases Structural and Activity Models for the Lipoxygenase Isoenzymes Family. Recent Trends for Enhancing the Diversity and Quality of Soybean Products*. Retrieved from <http://www.intechopen.com/books/recent-trends-for-enhancing-the-diversity-and-quality-of-soybean-products/inhibition-of-soybean-lipoxygenases-structural-and-activity-models-for-the-lipoxygenase-isoenzymes-f>
- Chen, Q., Song, J., Bi, J., Meng, J., & Wu, X. (2018). Characterization of volatile profile from ten different varieties of Chinese jujubes by HS-SPME/GC-MS couple with E-nose. *Food Research International*, *105*, 605-615.
- Chirinos, R., Zuloeta, G., Pedreschi, R., Mignolet, E., Larondelle, Y., Campos, D. (2013). Sacha inchi (*Plukenetia volubilis*): A seed source of polyunsaturated fatty acids, tocopherols, phytosterols, phenolic compounds and antioxidant capacity. *Food Chemistry*, *141*, 1732–1739.
- Cisneros, F. H., Paredes, D., Arana, A., & Cisneros-Zevallos, L. (2014). Chemical Composition, Oxidative Stability and Antioxidant Capacity of Oil Extracted from Roasted Seeds of Sacha-Inchi (*Plukenetia volubilis* L.). *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, *62*, 5191-5197.
- Cui, S., Wu, J., Wang, J., & Wang, X. (2017). Discrimination of American ginseng and Asian ginseng using electronic nose and gas chromatography-mass spectrometry coupled with chemometrics. *Journal of Ginseng Research*, *41*, 85-95.
- Damodaran, S. (1996). Amino acids, peptides and proteins. *Food Chemistry*, *3*, 321-429.
- Derringer, G., & Suich, R. (1980). Simultaneous optimization of several response variables. *Journal of Quality Technology*, *12*, 214–219.
- Eldridge, A. C., Fridrich, J. P., Warner, K., & Kwolek, W. F. (1986). Preparation and Evaluation of Supercritical Carbon dioxide Defatted Soybean Flakes. *Journal of food science*, *51*(3), 584-587.
- Fanali, C., Dugo, L., Cacciola, F., Beccaria, M., Grasso, S., Dach, M., Dugo, P., & Mondello, L. (2011). Chemical Characterization of Sacha Inchi (*Plukenetia volubilis* L.) Oil. *Journal Agricultural and Food Chemistry*, *59*, 13043–13049.

- Guillén, M. D., Ruiz, A., Cabo, N., Chirinos, R., & Pascual, G. (2003). Characterization of Sacha Inchi (*Plukenetia volubilis* L.) Oil by FTIR Spectroscopy and H NMR. Comparison with Linseed Oil. *Journal of the American Oil Chemists' Society*, 80(8), 755-762.
- Gutiérrez, L. F., Rosada, L. M., & Jiménez, A. (2011). Chemical composition of Sacha Inchi (*Plukenetia volubilis* L.) seeds and characteristics of their lipid fraction. *Grasas y Aceites*, 62(1), 76-83, 2011.
- Halliwell, B., Aeschbach, R., Loliger, J., & Aruoma, O. I. (1995). The Characterization of Antioxidants. *Food Chem. Toxic*, 33(7), 601-617.
- Hamberg, M., & Samuelsson, B. (1967). On the Specificity of the Oxygenation of Unsaturated Fatty Acids Catalyzed by Soybean Lipoxidase. *Journal of biological Chemistry*, 242, 5329-5335.
- Hong, X., Wang, J., & Qi, G. (2015). E-nose combined with chemometrics to trace tomato-juice quality. *Journal of Food Engineering*, 149, 38-43.
- Huang, Y., Hua, Y., & Qiu, A. (2006). Soybean protein aggregation induced by lipoxygenase catalyzed linoleic acid oxidation. *Food Research International*, 39, 240-249.
- Hu, R. (1999). *Food product design a computer-aided statistical approach*. U.S.A: Technomic.
- Inyang, U. E., Akpan, E. O., & Bello, F. A. (2015). Effect of boiling and roasting on the nutrient and anti-nutrient contents in conophor nut flour. *International Journal of Information Research and Review*, 2(6), 769-772.
- Jagersberger, J. (2013). *Development of novel products on basis of Sacha Inchi – Use of press cakes and hulls*. Master's thesis, Life sciences, Faculty of Life sciences, Vienna University.
- Janette, E. P. S. (2005). *Development evaluation and characterization of protein isoflavone enriched soymilk*. Baton Rouge: The Department of Food Science. Louisiana State University and Agricultural and Mechanical College.
- Jennifer, M. A. (1998). Applications of the Maillard reaction in the food industry. *Food Chemistry*, 62(4), 431-439.

- Jiang, Z., Pulkkinen, M., Wang, Y., Lampi, A., Stoddard, F. L., Salovaar, H., Piironen, V., & Sontag-Strohm, T. (2016). Faba bean flavor and technological property improvement by thermal pre-treatments. *LWT-Food Science and Technology*, *68*, 295-305.
- Jiao, A., Xu, X., & Jin, Z. (2014). Modelling of dehydration–rehydration of instant rice in combined microwave-hot air drying. *Food and Bioprocesses processing*, *92*, 259–265.
- Johansson, M. (2012). *Dietary fibre composition and sensory analysis of heat treated wheat and rye bran*. Alnarp: Department of Food Science, Faculty of Natural Resources and Agricultural Sciences, Swedish University of Agricultural Sciences.
- Julian, J. F. (2004). *Linear Model with R*. London: Chapman and Hall.
- Kajihauusa, O. E., Fasasi, R. A., & Atolagbe, Y. M. (2014). Effect of different soaking time and boiling on the proximate composition and functional properties of sprouted sesame seed flour. *Nigerian Food Journal*, *32*(2), 8-15.
- Kermasha, S., Dioum, N., Bisakowski, B., & Vega, M. (2002). Biocatalysis by immobilized lipoxygenase in a ternary micellar system. *Journal of Molecular Catalysis B: Enzymatic*, *19*(20), 305–317.
- Kong, X., Li, X., Wang, H., Hua, Y., & Huang, Y. (2008). Effect of lipoxygenase activity in defatted soybean flour on the gelling properties of soybean protein isolate. *Food Chemistry*, *106*, 1093–1099.
- Kubo, I., Ha, T. J., & Shimizu, K. (2013). Molecular Design of Soybean Lipoxygenase Inhibitors Based on Natural Products. *licensee InTech*, 183-197. Retrieved from <http://creativecommons.org/licenses/by/3.0>
- Kudre, T., & Benjakul, S. (2014). Effect of Bambara Groundnut Protein Isolates and Microbial Transglutaminase on Textural and Sensorial Properties of Surimi Gel from Sardine (*Sardinella albella*). *Food Bioprocess Technol*, *7*, 1570-1580.
- Kudre, T. G., & Benjakul, S. (2013). Effects of binary organic solvents and heating on lipid removal and the reduction of beany odour in Bambara groundnut (*Vigna subterranean*) flour. *Food Chemistry*, *141*, 1390-1397.
- Kutos, T., Golob, T., Kac, M., & Plestenjak, A. (2003). Dietary fibre content of dry and processed beans. *Food Chemistry*, *80*, 231–235.

- Lamberts, L., Brijs, K., Mohamed, R., Verhelst, N., & Delcour, J. A. (2006). Impact of browning reactions and bran pigments on color of parboiled rice. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, *54*(26), 9924-9929.
- Lee, J. Y., Min, S., Bho, E. O., & Min, D. B. (2003). Formation of volatile compounds in soy flour by singlet oxygen oxidation during storage under light. *Journal of food science*, *68*(6), 1933-1937.
- León, K., Mery, D., Pedreschi, F., & Leon, J. (2006). Color measurement in L*a*b* units from RGB digital images. *Food Research International*, *39*(10), 1084-1091.
- Lertphatcharanon, S. (2007). *The extraction and application of dietary fiber from by-product of fresh ground turmeric (Curcuma longa Linn.)*. Master's thesis, Nutrition, Faculty of Institute of Nutrition, Mahidol University.
- Li, Q., Shi, X., Zhao, Q., Cui, Y., Ouyang, J., & Xu, F. (2016). Effect of cooking methods on nutritional quality and volatile compounds of Chinese chestnut (*Castanea mollissima* Blume). *Food Chemistry*, *201*, 80–86.
- Liu, Q., Xu, Y. K., Zhang, P., Na, Z., Tang, T., & Shi, Y. X. (2014). Chemical composition and oxidative evolution of Sacha Inchi (*Plukenetia volubilis* L.) oil from Xishuangbanna (China). *Grasas Aceites*, *65*(1), 1-9.
- Ma, Z., Boye, J. I., Simpson, B. K., Pasher, S. O., Monpetit, D., & Malcolmson, L. (2011). Thermal processing effects on the functional properties and microstructure of lentil, chickpea, and pea flours. *Food research international*, *44*, 2534-2544.
- Maestri, D. M., Labuckas, D. O., & Guzman, C. A. (2000). Chemical and physical characteristics of a soybean beverage with improved flavor by addition of ethylenediaminetetraacetic acid. *Grases y Aceites*, *51*(5), 316-319.
- Maltini, E., Torreggiani, D., Venir, E., & Bertolo, G. (2003). Water activity and the preservation of plant foods. *Food Chemistry*, *82*, 79–86.
- Marston, K., Khouryieh, H., & Aramouni, F. (2016). Effect of heat treatment of sorghum flour on the functional properties of gluten-free bread and cake. *LWT - Food Science and TechnologyII*, *65*, 637-644.

- Maurer, N. E., Hatta-Sakoda, B., Pascual-Chagman, G., & Rodriguez-Saona, L. E. (2012). Characterization and authentication of a novel vegetable source of omega-3 fatty acid, sacha inchi (*Plukenetia volubilis* L.) oil. *Food Chemistry*, *134*, 1173-1180.
- Murat, C., Bard, M. H., Dhalleine, C., & Cayot, N. (2013). Characterisation of odour active compound along extraction process from pea flour to pea protein extract. *Food Research International*, *53*, 31-41.
- Nwosu, J. N., Ubbaonu, C. N., Banigo, E .O. I., & Uzomah, A. (2008). *The effects of processing on the amino acid profile of Oze (Bosqueia angolensis) seed flour*. Owerri: Food Science and Technology, Federal University of Technology.
- Obaidy, H. M., & Siddhiqui, A. M. (1982). Properties of broad bean lipoxygenase. *Journal of Food Science*, *46*, 622.
- Oladele, A. K., & Aina, J. O. (2007). Chemical composition and functional properties of flour produced from two varieties of tigernut (*Cyperus esculentus*). *African Journal of Biotechnology*, *6*, 2473-2476.
- Olsson, E., Hedenqvist, M. S., Johansson, C., & Jarnstrom, L. (2013). Influence of citric acid and curing on moisture sorption, diffusion and permeability of starch films. *Carbohydrate Polymers*, *94*, 765-772.
- Qiao, T., Mao-feng, H., & Su-chun, L. (2014). Screening of Beany-flavor Removal Yeast from Fermented Soybean Meal Modern. *Food Science & Technology*, *6*, 116-120.
- Raigar, R. K., Upadhyay, R., & Mishra, H. N. (2017). Storage quality assessment of shelled peanuts using non-destructive electronic nose combine with fuzzy logic approach. *Postharvest Biology and Technology*, *132*, 43-50.
- Rawdkuen, S., Murdayanti, D., Ketnawa, S., & Phongthai, S. (2016). Chemical properties and nutritional factors of pressed-cake from tea and sacha inchi seeds. *Food Bioscience*, *15*, 64–71.
- Remeuf, F., Mohammed, S., Sodimi, I., & Tissier, J. P. (2003). Preliminary observations on the effect of milk fortification and heating on microstructure and physical properties of stirred yogurt. *International Dairy Journal*, *13*, 773-782.

- Richards, M. P., & Hultin, H. O. (2002). Contribution of blood and blood components to lipid oxidation in fish muscle. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, *50*, 555–564.
- Runyon, J. R., Sunilkumar, B. A., Nilsson, L., & Rascon, A. (2015). The effect of heat treatment on the soluble protein content of oats. *Journal of Cereal Science*, *65*, 119-124.
- Seena S., & Sridhar, K. R. (2005). Physicochemical, functional and cooking properties of under explored legumes, Canavalia of the southwest coast of India. *Food Research International*, *38*(7), 803–814.
- Shin, D. J., Kim, W., & Kim, Y. (2013). Physicochemical and sensory properties of soy bread made with germinated, steamed, and roasted soy flour. *Food Chemistry*, *141*, 517-523.
- Siah, S., Wood, J. A., Agboola, S., Konczak, I., & Blanchard, C. L. (2014). Effects of soaking, boiling and autoclaving on the phenolic contents and antioxidant activities of faba beans (*Vicia faba* L.) differing in seed coat colours. *Food Chemistry*, *142*, 461–468.
- Siddiq, M., Kelkar, S., Harte, J. B., Dolan, K. D., & Nyombaire, G. (2013). Functional properties of flour from low-temperature extruded navy and pinto beans (*Phaseolus vulgaris* L.). *LWT – Food Science and Technology*, *50*, 215-219.
- Singh, A., Sharma, S., & Singh, B. (2017). Effect of germination time and temperature on the functionality and protein solubility of sorghum flour. *Journal of Cereal Science*, *76*, 131-139.
- Sirivongpaisal, P. (2007). Structure and functional properties of starch and flour from bambarra groundnut. *Songklanakarin Journal of Science and Technology*, *30*, 51-56.
- Souza, A. H. P., Gohara, A. K., Rodrigues, A. C., Souza, N. E., Visentainer, J. V., & Matsushita, M. (2013). Sacha inchi as potential source of essential fatty acids and tocopherols: multivariate study of nut and shell. *Acta Scientiarum. Technology Maringá*, *35*(4), 757-763.
- Srinivas, H., Swamylingappa, B., & Chand, N. (1992). Secondary Extraction of Soybeans Using Hexane-Acetic Acid: Effect on Beany Flavor Removal and Physicochemical Properties. *Journal Agriculture Food Chemistry*, *40*, 276-279.

- Sunprasert, J. (2010). *Physical properties of a model food incorporated with dietary fiber powder from lime residues*. Master's thesis, Food Engineering, Engineering, King Mongkut's University of Technology Thonburi.
- Sun, J., Wang, Q. J., Huang, J., Hou, Y. D., Chen, Y. F., & Su, X. R. (2013). Influence of heating temperature on the development of volatile compounds in bigeye tuna meat (*Thunnus obesus*) as assessed by E-nose and SPME-GC/MS. *International Food Research Journal*, 20(6), 3077-3083.
- Swamylingappa, B., & Srinivas, H. (1994). Preparation and Properties of Protein Isolate from Hexane-Acetic Acid Treated Commercial Soybean Meal. *Journal Agriculture Food Chemistry*, 42, 2907-2911.
- Ugwuona, F. U., & Suwaba, S. (2013). Effects of Defatted Jack Bean Flour and Jack Bean Protein Concentrate on Physicochemical and Sensory Properties of Bread. *Nigerian Food Journal*, 31(2), 25 – 32.
- Vijayvaragiya, R. R., & Pai, J. S. (1991). Lowering of lipoxygenase activity in soy milk preparation by propyl gallate. *Food Chemistry*, 41(1), 63-67.
- Wang, T. (2011). Soybean Oil. In F. D. Gunstone (Ed.), *Vegetable Oils in Food Technology: Composition, Properties and Uses* (pp. 59-105). Hoboken: Blackwell.
- Wilson, L. A., Birmingham, V. A., Moon, D. P., & Snyder, H. E. (1978). Isolation and characterization of starch from mature soybeans. *Cereal Chemistry*, 55, 661-670.
- Xie, X., & Liu, Q. (2004). Development and physicochemical characterization of new resistant citrate starch from different corn starch. *Starch/Starke*, 56, 364-370.
- Xu, B., & Chang, S. K. (2008). Effect of soaking, boiling, and steaming on total phenolic content and antioxidant activities of cool season food legumes. *Food Chemistry*, 110, 1-13.
- Xu, B., & Chang, S. K. (2009). Total Phenolic, Phenolic Acid, Anthocyanin, Flavan-3-ol, and Flavonol Profiles and Antioxidant Properties of Pinto and Black Beans (*Phaseolus vulgaris* L.) as Affected by Thermal Processing. *Journal of agricultural and food chemistry*, 57(11), 4754–4764.

- Zhang, Y., Yang, R., Zhang, W., Hu, Z., & Zhao, W. (2017). Structural characterization and physicochemical properties of protein extracted from soybean meal assisted by steam flash-explosion with dilute acid soaking. *Food Chemistry*, *219*, 48–53.
- Zohdy, K. M. (2015). Surface Protection of Carbon Steel in Acidic Solution Using Ethylenediaminetetraacetic Disodium Salt. *International Journal of Electrochemical science*, *10*, 414-413.

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก
การวิเคราะห์คุณภาพทางเคมี

ก-1 ปริมาณความชื้น ปริมาณโปรตีน ปริมาณไขมัน ปริมาณกากใย ปริมาณเถ้า และ ปริมาณคาร์โบไฮเดรต (AOAC, 2000)

การวิเคราะห์ปริมาณความชื้น

เครื่องมือและอุปกรณ์

- 1) ภาชนะอะลูมิเนียมสำหรับหาความชื้น (Moisture can)
- 2) ตู้อบลมร้อน (Hot air oven)
- 3) โถดูดความชื้น (Desiccator)
- 4) เครื่องชั่งไฟฟ้าทศนิยม 4 ตำแหน่ง

การวิเคราะห์

- 1) อบอุ่นสำหรับหาความชื้นในตู้อบไฟฟ้าที่อุณหภูมิ $105 \pm 2^{\circ}\text{C}$ นาน 2-3 ชั่วโมง นำออกจากตู้อบใส่ไว้ในโถดูดความชื้น ปล่อยให้เย็นแล้วชั่งน้ำหนัก
- 2) ทำเช่นเดียวกับข้อ 1 ชั่งจนได้ผลต่างของน้ำหนักทั้ง 2 ครั้งติดต่อกันไม่เกิน 1-3 มิลลิกรัม
- 3) ชั่งตัวอย่างให้ได้น้ำหนักที่แน่นอนอย่างละเอียดประมาณ 1-2 กรัม ใส่ในภาชนะหาความชื้นที่ทราบน้ำหนักแน่นอนแล้ว
- 4) นำไปอบในตู้อบที่อุณหภูมิ $105 \pm 2^{\circ}\text{C}$ นาน 5-6 ชั่วโมง
- 5) นำออกจากตู้อบใส่โถดูดความชื้น ปล่อยให้เย็นแล้วชั่งน้ำหนักขณะพร้อมตัวอย่าง
- 6) อบซ้ำอีกครั้งประมาณ 30 นาที และทำเช่นเดิมจนได้ผลต่างของน้ำหนักทั้ง 2 ครั้งติดต่อกันไม่เกิน 1-3 มิลลิกรัม
- 7) คำนวณหาปริมาณความชื้นจากสูตร

$$\text{ปริมาณความชื้น (เปอร์เซ็นต์)} = (W_1 - W_2 / W_1) \times 100\%$$

เมื่อ W_1 คือน้ำหนักก่อนอบ (กรัม)

W_2 คือน้ำหนักหลังอบ (กรัม)

การวิเคราะห์ปริมาณโปรตีน

เครื่องมือและอุปกรณ์

- 1) อุปกรณ์การย่อยโปรตีน ประกอบด้วยเตาเผาและเครื่องดักจับไอกรด
- 2) อุปกรณ์กั่นโปรตีน
- 3) ขวดรูปชมพู่ ขนาด 125 และ 250 มิลลิลิตร
- 4) ขวดปรับปริมาตรขนาด 100 มิลลิลิตร
- 5) ปิเปต ขนาด 5 และ 10 มิลลิลิตร
- 6) บิวเรตขนาด 25 มิลลิลิตร
- 7) เครื่องชั่งไฟฟ้าทศนิยม 4 ตำแหน่ง

สารเคมี

- 1) สารผสมระหว่างคอปเปอร์ซัลเฟต ($\text{CuSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$) และ โพแทสเซียมซัลเฟต (K_2SO_4)

อัตราส่วน 1:10

- 2) กรดซัลฟิวริกเข้มข้น
- 3) โซเดียมไฮดรอกไซด์ ความเข้มข้น 40%
- 4) กรดบอริก ความเข้มข้น 3.2%
- 5) กรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น 0.2 N
- 6) อินดิเคเตอร์เป็นสารผสมระหว่างเมทิลเรด เมธิลีนบลู และ โบร โมครีซอลกรีน

การเตรียมสาร

- 1) สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ ความเข้มข้น 40%

เตรียมโดย ชั่งโซเดียมไฮดรอกไซด์ 40 กรัม ละลายในน้ำกลั่น แล้วปรับปริมาตรเป็น 100 มิลลิลิตร ด้วยน้ำกลั่นในขวดปรับปริมาตร

- 2) กรดบอริก ความเข้มข้น 3.2%

เตรียมโดย ชั่งกรดบอริก 3.2 กรัม ละลายในน้ำกลั่น แล้วปรับปริมาตรเป็น 100 มิลลิลิตร ด้วยน้ำกลั่นในขวดปรับปริมาตร

- 3) กรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น 0.2 N

เตรียมโดย ปิเปตกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น 1.65 มิลลิลิตร ละลายในน้ำกลั่น แล้วปรับปริมาตรเป็น 100 มิลลิลิตร ด้วยน้ำกลั่นในขวดปรับปริมาตร

การวิเคราะห์

ขั้นตอนการย่อย

- 1) ชั่งตัวอย่างให้ได้น้ำหนักแน่นอน 1-3 กรัมใส่ลงในหลอดย่อยโปรตีน
- 2) ใส่สารผสมระหว่างคอปเปอร์ซัลเฟตและโพแทสเซียมซัลเฟต ปริมาณ 10 กรัม
- 3) เติมกรดซัลฟูริกปริมาณ 20 มิลลิลิตร
- 4) วางหลอดย่อยในเตาย่อยแล้วประกอบสายยางระหว่างฝาครอบ ขวดใส่ด่างและเครื่อง

ดักจับไอกรดให้เรียบร้อย

- 5) เปิดสวิตช์เครื่องดักจับไอกรดและเตาย่อยแล้วตั้งอุณหภูมิ 200 องศาเซลเซียส นาน 10 นาที จากนั้นปรับเพิ่มอุณหภูมิเป็น 400 องศาเซลเซียส ย่อยต่ออีก 50 นาที จนได้สารละลายใส

ขั้นตอนการกลั่นและไตเตรท

- 1) จัดอุปกรณ์กลั่น แล้วเปิดสวิตช์ให้ความร้อน และเปิดน้ำหล่อเย็นเครื่องควบแน่น
- 2) นำขวดรูปชมพู่ ขนาด 250 มิลลิลิตร ซึ่งบรรจุกรดบอริก (ความเข้มข้น 3.2%) ปริมาตร 25 มิลลิลิตร เติมอินดิเคเตอร์แล้วไปรองรับของเหลวที่กลั่นได้ โดยให้ส่วนปลายของอุปกรณ์ควบแน่นจุ่มลงในสารละลายกรด
- 3) เติมน้ำกลั่นลงในหลอดย่อย 20 มิลลิลิตร จากนั้นเติมโซเดียมไฮดรอกไซด์ให้ทำปฏิกิริยาเกินพอสังเกตให้สารละลายเปลี่ยนเป็นสีน้ำตาลขุ่น
- 4) กลั่นให้ได้ของเหลวอยู่ในระดับ 125 มิลลิลิตร
- 5) ไตเตรทสารละลายที่กลั่นได้ด้วยกรดไฮโดรคลอริกที่มีความเข้มข้น 0.2 N จนสารละลายเปลี่ยนเป็นใสไม่มีสี
- 6) คำนวณหาปริมาณโปรตีนจากสูตร

$$\text{ปริมาณ โปรตีน (\%)} = \frac{[(A - B) \times N \times 1.4007 \times F]}{W_1}$$

$$\text{(ฐานเปียก)}$$

$$\text{ปริมาณ โปรตีน (\%)} = \frac{[(A - B) \times N \times 1.4007 \times F]}{W_2}$$

$$\text{(ฐานแห้ง)}$$

เมื่อ A คือ ปริมาณกรดที่ใช้ไตเตรทกับตัวอย่าง (มิลลิลิตร)

B คือ ปริมาณกรดที่ใช้ไตเตรทกับแบลนด์ (มิลลิลิตร)

N คือ ความเข้มข้นของกรด (N)

F คือ แฟกเตอร์ (6.25)

W_1 คือ น้ำหนักตัวอย่างเริ่มต้น (กรัม)

W_2 คือ น้ำหนักตัวอย่างเริ่มต้น - น้ำหนักน้ำในตัวอย่าง (กรัม)

การวิเคราะห์ปริมาณไขมัน

เครื่องมือและอุปกรณ์

- 1) เครื่องวิเคราะห์ไขมัน (Soxhlet)
- 2) ทิมเบิล (Thimble)
- 3) ตู้อบไฟฟ้า
- 4) กระดาษกรอง
- 5) ซ้อนดักสาร

สารเคมี

- 1) สารละลายปิโตรเลียมอีเทอร์

การวิเคราะห์

- 1) ชั่งตัวอย่าง 1-3 กรัม ใส่บนกระดาษกรองและห่อให้มิดชิด แล้วนำไปใส่ลงในทิมเบิล
- 2) นำทิมเบิลใส่ใน Extraction cup ที่ผ่านการอบแล้วชั่งน้ำหนักที่แน่นอน
- 3) เติมปิโตรเลียมอีเทอร์ลงใน Extraction cup ประมาณ 150 มิลลิลิตร จากนั้นประกอบ

เข้าเครื่อง Soxhlet

4) ทำการสกัดไขมันจากตัวอย่างนานประมาณ 2 ถึง 3 ชั่วโมง โดยปรับความร้อนให้หยดของสารทำละลายกลั่นจาก condenser มีอัตราหยด 150 หยดต่อนาที

5) ระเหยปิโตรเลียมอีเทอร์ออกจากไขมัน โดยนำ Extraction cup ไปวางไว้ใน hood จากนั้นนำไปอบที่อุณหภูมิ $105 \pm 2^{\circ}\text{C}$ นาน 30 นาที ทำให้เย็นในโถดูดความชื้น ชั่งน้ำหนักที่แน่นอน

- 6) อบซ้ำนานครั้งละ 30 นาที และชั่งน้ำหนักจนได้น้ำหนักคงที่

การคำนวณ

$$\text{ปริมาณไขมัน (\%)} = \frac{\text{น้ำหนัก Extraction cup หลังสกัด} - \text{น้ำหนัก Extraction cup ก่อนสกัด}}{\text{น้ำหนักตัวอย่าง (g)}} \times 100$$

การวิเคราะห์ปริมาณกากใย

เครื่องมือและอุปกรณ์

- 1) บีกเกอร์ 600 มิลลิลิตร
- 2) กระดาษกรอง Whatman เบอร์ 54

สารเคมี

- 1) สารละลายกรดซัลฟูริกเข้มข้น 0.1275 M
- 2) สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 0.313 M
- 3) สารละลายไฮโดรคลอริกความเข้มข้น 1%
- 4) เอซิลแอลกอฮอล์ความเข้มข้น 95%
- 5) ไดเอทิลอีเทอร์

การเตรียมสารเคมี

- 1) สารละลายกรดซัลฟูริกเข้มข้น 0.1275 M
เตรียมโดย ปิเปตกรดซัลฟูริกเข้มข้น 1.25 มิลลิลิตร ละลายในน้ำกลั่น แล้วปรับปริมาตรเป็น 100 มิลลิลิตร ด้วยน้ำกลั่นในขวดปรับปริมาตร
- 2) สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 0.313 M
เตรียมโดย ชั่งโซเดียมไฮดรอกไซด์ 1.25 กรัม ละลายในน้ำกลั่น แล้วปรับปริมาตรเป็น 100 มิลลิลิตร ด้วยน้ำกลั่นในขวดปรับปริมาตร
- 3) สารละลายไฮโดรคลอริกความเข้มข้น 1%
เตรียมโดย ปิเปตกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น 1 มิลลิลิตร ละลายในน้ำกลั่น แล้วปรับปริมาตรเป็น 100 มิลลิลิตร ด้วยน้ำกลั่นในขวดปรับปริมาตร

การวิเคราะห์

- 1) ชั่งตัวอย่าง 5 กรัม สกัดเอาไขมันออก แล้วมาหาปริมาณกากใย โดยนำตัวอย่างใส่ลงในบีกเกอร์ขนาด 600 มิลลิลิตร
- 2) เติมสารละลายกรดซัลฟูริกเข้มข้น 0.1275 M ปริมาตร 200 มิลลิลิตร ลงในบีกเกอร์ 600 มิลลิลิตร แล้วนำไปรีฟลักซ์เป็นเวลา 30 นาที
- 3) นำสารละลายที่ต้มกับตัวอย่าง วางทิ้งไว้ 1 นาที กรองด้วยกระดาษกรอง Whatman เบอร์ 54 โดยใช้ suction ล้างด้วยน้ำร้อนหลายๆ ครั้งจนครบหมด แล้วเทกากใยในบีกเกอร์
- 4) เติมสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 0.313 M ปริมาตร 200 มิลลิลิตร แล้วนำไปรีฟลักซ์เป็นเวลา 30 นาที

- 5) กรองผ่านกระดาษกรอง โดยใช้ suction ล้างด้วยน้ำร้อนหลายๆ ครั้ง จนหมดค้าง แล้วเทกากใส่ในบีกเกอร์
- 6) ล้างกากด้วยสารละลายไฮโดรคลอริกความเข้มข้น 1% ปริมาตร 50 มิลลิลิตร แล้วตามด้วยน้ำร้อนจนครบหมด
- 7) ล้างกากด้วยเอทิลแอลกอฮอล์ความเข้มข้น 95% สองครั้ง ครั้งละ 25 มิลลิลิตร ตามด้วยไดเอทิลอีเทอร์สามครั้ง ครั้งละ 25 มิลลิลิตร
- 8) นำกากใส่ crucible dish (ที่ผ่านการอบแห้งที่อุณหภูมิ $105 \pm 2^{\circ}\text{C}$ และชั่งจนทราบน้ำหนักที่แน่นอน = a กรัม) ไประเหยบนอ่างน้ำร้อน
- 9) นำไปอบที่อุณหภูมิ $105 \pm 2^{\circ}\text{C}$ นาน 3 ชั่วโมงหรือจนน้ำหนักคงที่ (= b กรัม)
- 10) นำ crucible dish ไปเผาในเตาเผาที่อุณหภูมิ $550 \pm 2^{\circ}\text{C}$ จนเป็นเถ้าสีขาว ปล่อยให้เย็นใน desiccator
- 11) ชั่งหาน้ำหนักเถ้า (= c กรัม)

การคำนวณ

$$\text{ปริมาณกากใย (\%)} = \frac{[(b-a) - (c-a)] \times 100}{\text{น้ำหนักตัวอย่าง (g)}}$$

การวิเคราะห์ปริมาณเถ้า

เครื่องมือและอุปกรณ์

- 1) ตู้อบไฟฟ้า
- 2) โถดูดความชื้น (Desiccator)
- 3) ครุชชีเบิ้ล (crucible)
- 4) เตาเผา

การวิเคราะห์

- 1) อบ crucible ที่อุณหภูมิ $105 \pm 2^\circ\text{C}$ จนน้ำหนักคงที่ ทำให้เย็นใน desiccator นำมาชั่งน้ำหนักที่แน่นอน
- 2) ชั่งตัวอย่างประมาณ 3 กรัม ใส่ลง crucible ที่ทราบน้ำหนักที่แน่นอน แล้วนำไปเผาในตู้ดูดควันจนไม่มีควัน แล้วจึงนำไปเผาต่อในเตาเผาที่อุณหภูมิ $550 \pm 2^\circ\text{C}$ จนได้เถ้าสีขาว
- 3) นำออกมาทำให้เย็นใน desiccator แล้วชั่งน้ำหนักที่แน่นอน

การคำนวณ

$$\text{ปริมาณเถ้า (\%)} = \frac{\text{น้ำหนักเถ้า (g)} \times 100}{\text{น้ำหนักตัวอย่าง (g)}}$$

การวิเคราะห์ปริมาณคาร์โบไฮเดรต

เมื่อทราบปริมาณความชื้น โปรตีน ไขมัน เถ้า และกากใย นำค่าดังกล่าวนี้มาคำนวณปริมาณคาร์โบไฮเดรตตามสูตร

$$\text{ปริมาณคาร์โบไฮเดรต (\%)} = 100 - (\text{ความชื้น} + \text{โปรตีน} + \text{ไขมัน} + \text{เถ้า} + \text{กากใย})$$

ก-2 การทำงานของเอนไซม์ Lipoxygenase (ดัดแปลงจาก Kudre & Benjakul, 2013; Hamberg & Samuelsson, 1967)

เครื่องมือและอุปกรณ์

- 1) เครื่องกวนสารละลาย (Magnetic stirrer)
- 2) เครื่องผสมสารละลาย (Vertex mixer)
- 3) เครื่องปั่นเหวี่ยง (Centrifuge)
- 4) เครื่องวัดการดูดกลืนแสง ยูวี-วิสิเบิล สเปกโตรโฟโตมิเตอร์ (UV-1601 SHIMADZU)

สารเคมี

- 1) น้ำกลั่น
- 2) โซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้น 1 M
- 3) เอทานอล 95%
- 4) Reagent A: บอเรตบัฟเฟอร์ความเข้มข้น 0.2 M (pH 9.0)
- 5) Reagent B: กรดคลอโรเลอิกความเข้มข้น 0.017%
- 6) Reagent C: สารสกัดเอนไซม์ Lipoxygenase

การเตรียมสารเคมี

1) สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้น 1 M
ชั่งโซเดียมไฮดรอกไซด์ 4 กรัม ละลายด้วยน้ำกลั่น แล้วปรับปริมาตรเป็น 100 มิลลิลิตร ด้วยน้ำกลั่นในขวดปรับปริมาตร

2) Reagent A: บอเรตบัฟเฟอร์ความเข้มข้น 0.2 M (pH 9.0)
ชั่งกรดบอริก 1.2366 กรัม ละลายด้วยน้ำกลั่น แล้วปรับปริมาตรเป็น 100 มิลลิลิตร ด้วยน้ำกลั่นในขวดปรับปริมาตร จากนั้นนำไปปรับ pH ด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้น 1 M จนกระทั่งสารละลายมี pH เท่ากับ 9.0

3) Reagent B: กรดคลอโรเลอิกความเข้มข้น 0.017%
ผสมเอทานอล 95% ปริมาตร 0.05 มิลลิลิตร กับ กรดคลอโรเลอิก 0.05 มิลลิลิตร ผสมให้เข้ากัน แล้วเติม Reagent A อย่างช้าๆ ปริมาตร 50 มิลลิลิตร กวนผสมตลอดเวลาเป็นเวลา 15 นาที จากนั้นเปิดสารละลายที่ได้ มา 5 มิลลิลิตร ผสมกับ Reagent A ปริมาตร 20 มิลลิลิตร และน้ำกลั่น 5 มิลลิลิตร ผสมให้เข้ากันเป็นเวลา 5 นาที

การเตรียมสารสกัดตัวอย่าง (Reagent C)

ชั่งแป้งถั่วดาวอินคา 2 กรัม ผสมกับ Reagent A ปริมาตร 25 มิลลิลิตร กวนผสมตลอดเวลา เป็นเวลา 60 นาที จากนั้นนำไปปั่นเหวี่ยงที่ความเร็วรอบ 6,000 g อุณหภูมิ 4°C เป็นเวลา 30 นาที นำสารละลายส่วนใสที่ได้กรองผ่านกระดาษกรอง เก็บส่วนสารละลายที่ได้และนำไปใช้เป็นสารสกัดเอนไซม์ Lipoxygenase (Reagent C)

การวิเคราะห์

- 1) ผสม Reagent A ปริมาตร 0.90 มิลลิลิตร กับ Reagent B ปริมาตร 2.00 มิลลิลิตร ผสมให้เข้ากันในหลอดทดลอง
- 2) เติม Reagent C ปริมาตร 0.10 มิลลิลิตร ผสมทันที ตั้งทิ้งไว้เป็นเวลา 3 นาที ที่อุณหภูมิ 25°C
- 3) นำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 234 นาโนเมตร โดยใช้เครื่องยูวี-วิสิเบิลสเปกโตรโฟโตมิเตอร์
- 4) Blank เตรียมโดยนำสารสกัดเอนไซม์ Lipoxygenase ที่สกัดได้จากแป้งถั่วดาวอินคา มาให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 100°C นาน 20 นาที ในอ่างน้ำควบคุมอุณหภูมิ
- 5) กำหนดให้ เอนไซม์ Lipoxygenase 1 หน่วย ทำให้ค่าการดูดกลืนแสงเพิ่มขึ้น 0.001 หน่วยต่อนาที

การคำนวณ

$$\text{Units/ml} = \frac{\text{ค่าการดูดกลืนแสงของตัวอย่าง} - \text{ค่าการดูดกลืนแสงของ Blank}}{(0.001)(0.1)}$$

ก-3 องค์ประกอบของสารระเหยให้กลิ่น (Volatile compounds profile) โดยใช้ SPME-GC-MS (ดัดแปลงจาก Azarnia et al., 2011)

เครื่องมือและอุปกรณ์

- 1) Glass bottle with a screw-top lid (20 ml)
- 2) SPME fiber types: 50/30 μ m DVB/CarboxenTM/PDMS StableFlexTM
- 3) HP-5MS: 0.25mm * 29.8m * 0.25 μ m
- 4) Gas chromatograph model 6890 (Agilent 6890 N Technology) and 7694 Headspace

sampler

การเตรียมตัวอย่าง

นำตัวอย่างแป้งถั่วดาวอินคา 5 กรัม บรรจุลงในขวดแก้วขนาด 20 มิลลิลิตร ปิดด้วยฝาเกลียวเคลือบเทฟลอน

สภาวะของ SPME

- SPME fiber types: 50/30 μ m DVB/CarboxenTM/PDMS StableFlexTM
- Equilibrium temperature: 50°C
- Equilibrium time: 45 min
- Exposure time: 15 min
- Desorption: 5min, 220 °C

สภาวะของ GC-MS

- HP-5MS: 0.25mm * 29.8m * 0.25 μ m
- OVEN: Initial temp: 30°C hold 3.00 min

Ramps: Rate (°C/min)	Final temp (°C)	Final time (min)
6.00	80	-
20.00	280	5.0

Post Run: 280°C, 2 min, Run time: 25 min

- Inlet temperature: 220°C
- Gas flow: 1 ml/min
- Split mode: splitless
- Scan mass: 35-650 m/z

การวิเคราะห์

ระบุสารระเหยให้กลิ่น โดยเปรียบเทียบกับ Mass spectra library (Wiley 7n database)

ก-4 เค้าโครงคุณภาพกลิ่น โดยใช้ Electronic nose (ดัดแปลงจาก Raigar et al., 2017)

เครื่องมือและอุปกรณ์

- 1) FOX 4000 e-nose system (Alpha MOS, Toulouse, France)
- 2) 18 metal oxide semiconductors (MOS) sensor (L-type, P-type, and T-type)
- 3) Glass bottle with a screw-top lid (20 ml)

การเตรียมตัวอย่าง

นำตัวอย่างแป้งถั่วคาวอินคา 0.5 กรัม บรรจุลงในขวดแก้วขนาด 20 มิลลิลิตร ปิดด้วยฝาเกลียวเคลือบเทฟลอน

สภาวะการทดสอบ

Acquisition

- Acquisition duration : 120 sec.
- Acquisition period : 1.0 sec.
- Acquisition time : 30 min
- Flow : 150 :mL/min

Injection

- Injection volume : 500 μ l
- Injection speed : 500 μ l/s

Oven

- Incubation time : 30 min
- Incubation temperature : 60°C

การวิเคราะห์

วิเคราะห์องค์ประกอบหลัก (Principle Component Analysis: PCA) โดยใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์สำเร็จรูป E-nose system Alpha soft 12.4 software (Alpha MOS).

ตารางภาคผนวก ก-1 ประสิทธิภาพการทำงานของเซ็นเซอร์แต่ละชนิดใน Electronic nose

Gas species	Alpha MOS Sensor Type	Detection range	Detection limit	AQ: Air quality (Outside) LTE: Long term exposure Limit (8h)	Olfactory perception
Acetone (C ₃ H ₆ O)	P40/2-PA2	0-1000 ppm	1 ppm	AQ: 25 ppm	-
	LY/G-LY/AA			LTE: 1000 ppm	
	P30/2-P30/1	0-300 ppm	1 ppm		
Ethanol (C ₂ H ₅ O)	P30/1-PA2	0-1000 ppm	1 ppm	LTE: 1000 ppm	-
	LY/G-LY/gCT				
Ammonia (NH ₃)	P30/1	0-10 ppm	1 ppm	LTE: 25 ppm	5 ppm
	P40/2-PA2	10-1000 ppm			
	P10/1-P30/2	100-3000 ppm			
	LY/AA	10-100 ppm			
Hydrogen Chloride (HCL)	T30/1	0-1000 ppm	<5 ppm	LTE: 5 ppm	-
	P10/1-PA2				
Chlorine (Cl ₂)	LY/LG	0-5 ppm	0.2 ppm	LIE: 1 ppm	-
	P40/1-P40/2				

ตารางภาคผนวก ก-1 (ต่อ)

Gas species	Alpha MOS Sensor Type	Detection range	Detection limit	AQ: Air quality (Outside) LTE: Long term exposure Limit (8h)	Olfactory perception
Nitrogen dioxide (NO ₂)	LY/LG-PA2	0-5 ppm	0.2 ppm	AQ: 70 ppb LTE: 3 ppm	-
Nitrogen Sulphide (H ₂ S)	LY/gCTI	0-10 ppm	1 ppm	LTE: 10 ppm	7 ppb
	P30/1-P30/2	0-1 ppm	0.3 ppm		
	PA2	1-5 ppm			
	P40/2	5-10 ppm			
Sulfur Dioxide (SO ₂)	LY/LG-PA2	0-3 ppm	0.1 ppm	AQ: 50 ppb LTE: 2 ppm	-
Carbon monoxide (CO)	T30/1-T70/2	0-400 ppm	0.5 ppm	AQ: 8.7 ppm	
	LY/LG			LTE: 50 ppm	
Nitrous oxide (N ₂ O)	LY/LG-PA2	2-10 ppm			
	CHCIF2-Freon R22				
	P40/1	10-3000 ppm			
	B40/1	50-1000 ppm			

ตารางภาคผนวก ก-1 (ต่อ)

Gas species	Alpha MOS Sensor Type	Detection range	Detection limit	AQ: Air quality (Outside) LTE: Long term exposure Limit (8h)	Olfactory perception
C2H2F4-Freon R134a	P40/2	10-1000 ppm			
	B40/2	50-1000 ppm			
Hydrogen (H ₂)	LY/H23	50-5000 ppm			
	P10/9	10-1000 ppm			
	B10/9	10-1000 ppm			
Ozone (O ₃)	LY/LG	0-300 ppb	30 ppb	HP: 55 ppb LTE: 0.1 ppm	10 ppb

ก-5 ปริมาณเส้นใยอาหารทั้งหมด โดยวิธี Enzymatic and gravimetric method

(AOAC, 1995)

เครื่องมือและอุปกรณ์

- 1) เครื่องชั่งไฟฟ้าสำหรับงานวิเคราะห์ (Electronic analytical balance)
- 2) เครื่องวัดค่าความเป็นกรดด่าง (pH-meter)
- 3) โถดูดความชื้น (Desiccator)
- 4) เต้าเผาไฟฟ้า
- 5) ตู้อบลมร้อนไฟฟ้า
- 6) อ่างน้ำแบบควบคุมอุณหภูมิ
- 7) ชุดกรอง suction flask
- 8) เทอร์โมมิเตอร์
- 9) บีกเกอร์ขนาด 250 และ 1000 มิลลิลิตร
- 10) ครุชีเบิล (crucible)
- 11) แท่งแก้วคนสาร
- 12) ซ้อนตักสาร
- 13) กรวยแยก
- 14) อะลูมิเนียมฟอยล์
- 15) เครื่องกวนสารละลาย (Magnetic Stirrer)
- 16) แท่งแม่เหล็กกวนสาร (Magnetic Bar)
- 17) ภาชนะอะลูมิเนียมสำหรับหาความชื้น (Moisture can)
- 18) ไมโครปิเปต
- 19) ปิเปต

สารเคมีและเอนไซม์

- 1) สารละลาย Tris (hydroxymethyl) aminomethane ความเข้มข้น 0.1 M
- 2) สารละลายกรดไฮโดรคลอริก ความเข้มข้น 0.1 M
- 3) สารละลายทริสบัฟเฟอร์ ความเข้มข้น 0.05 M pH 8.2
- 4) สารละลายกรดไฮโดรคลอริก ความเข้มข้น 0.561 M
- 5) สารละลายกรดไฮโดรคลอริก ความเข้มข้น 5%
- 6) สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ ความเข้มข้น 5%

- 7) สารละลายเอทานอล ความเข้มข้น 95%
- 8) สารละลายเอทานอล ความเข้มข้น 78%
- 9) อะซิโตน
- 10) เอนไซม์อัลฟาอะมัยเลส (Megazyme International Ireland)
- 11) เอนไซม์โปรตีเอส (Megazyme International Ireland)
- 12) เอนไซม์อะไมโลกูโคซิเดส (Megazyme International Ireland)

การเตรียมสารละลาย

- 1) สารละลาย Tris ความเข้มข้น 0.1 M
เตรียมโดยชั่ง Tris 6.057 กรัม ละลายในน้ำกลั่น แล้วปรับปริมาตรเป็น 500 มิลลิลิตร ด้วยน้ำกลั่นในขวดปรับปริมาตร
- 2) สารละลายกรดไฮโดรคลอริก ความเข้มข้น 0.1 M
เตรียมโดย ปิเปตกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น 2.15 มิลลิลิตร ละลายในน้ำกลั่น แล้วปรับปริมาตรเป็น 250 มิลลิลิตร ด้วยน้ำกลั่นในขวดปรับปริมาตร
- 3) สารละลายทริสไฮโดรคลอไรด์บัฟเฟอร์ ความเข้มข้น 0.05 M pH 8.2
เตรียมโดยผสม Tris ความเข้มข้น 0.1 M ปริมาตร 500 มิลลิลิตร กับสารละลายกรดไฮโดรคลอริก ความเข้มข้น 0.1 M ปริมาตร 220.9 มิลลิลิตร แล้วปรับปริมาตรให้ได้ 1000 มิลลิลิตร ด้วยน้ำกลั่นในขวดปรับปริมาตร ตรวจวัด pH ด้วยเครื่องวัดความเป็นกรดต่าง
- 4) สารละลายกรดไฮโดรคลอริก ความเข้มข้น 0.561 M
เตรียมโดย ปิเปตกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น 4.82 มิลลิลิตร ละลายในน้ำกลั่น แล้วปรับปริมาตรเป็น 100 มิลลิลิตร ด้วยน้ำกลั่นในขวดปรับปริมาตร
- 5) สารละลายกรดไฮโดรคลอริก ความเข้มข้น 5%
เตรียมโดย ปิเปตกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น 5 มิลลิลิตร ละลายในน้ำกลั่น แล้วปรับปริมาตรเป็น 100 มิลลิลิตร ด้วยน้ำกลั่นในขวดปรับปริมาตร
- 6) สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ ความเข้มข้น 5%
เตรียมโดย ชั่งโซเดียมไฮดรอกไซด์ 5 กรัม ละลายในน้ำกลั่น แล้วปรับปริมาตรเป็น 100 มิลลิลิตร ด้วยน้ำกลั่นในขวดปรับปริมาตร
- 7) สารละลายเอทานอล ความเข้มข้น 78%
เตรียมโดย ปิเปตเอทานอล 95% มา 410.53 มิลลิลิตร ละลายในน้ำกลั่น แล้วปรับปริมาตรเป็น 500 มิลลิลิตร ด้วยน้ำกลั่นในขวดปรับปริมาตร

การวิเคราะห์

ขั้นตอนการย่อยและตกตะกอน

- 1) ชั่งตัวอย่าง (M_1 และ M_2) 1 ± 0.005 กรัม ใส่ในบีกเกอร์ทรงสูง 400 มิลลิลิตร โดยมี Blank (B_1 และ B_2) เพื่อควบคุมความแปรปรวนจากการใช้สารเคมี
- 2) เติมสารละลายทริสไฮโดรคลอไรด์บัฟเฟอร์ ความเข้มข้น 0.05 M pH 8.2 ปริมาตร 40 มิลลิลิตร ลงในแต่ละบีกเกอร์ใส่แท่งแม่เหล็กกวนสาร และคนให้เข้ากันด้วยเครื่องกวนสารละลายจนละลาย
- 3) เติมเอนไซม์อัลฟาอะมัยเลส ปริมาตร 50 ไมโครลิตร ด้วยไมโครปิเปตลงในแต่ละบีกเกอร์ ปิดปากบีกเกอร์ด้วยอะลูมิเนียมฟอยล์ แล้วนำมาบ่มในอ่างน้ำแบบควบคุมอุณหภูมิ ที่อุณหภูมิ 98-100°C เป็นเวลา 30 นาที โดยเขย่าบีกเกอร์เบาๆ ตลอดเวลา จากนั้นทำให้สารละลายเย็นจนถึงอุณหภูมิ 60°C ชูตัวอย่างที่ติดตามขอบบีกเกอร์ด้วยข้อตักสาร แล้วล้างน้ำกลั่น 10 มิลลิลิตร
- 4) เติมเอนไซม์โปรตีเอส ปริมาตร 100 ไมโครลิตร ด้วยไมโครปิเปต ลงในแต่ละบีกเกอร์ ปิดบีกเกอร์ด้วยอะลูมิเนียมฟอยล์ แล้วนำไปบ่มในอ่างน้ำแบบควบคุมอุณหภูมิ ที่อุณหภูมิ 60°C เป็นเวลา 30 นาที โดยเขย่าบีกเกอร์เบาๆ ตลอดเวลา แล้ววัดและปรับพีเอชให้ได้ 4.5 โดยเติมสารละลายกรดไฮโดรคลอริกความเข้มข้น 0.561 M ปริมาตร 5 มิลลิลิตร ปรับพีเอชต่อด้วยสารละลายกรดไฮโดรคลอริกความเข้มข้น 5% และสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้น 5% จนได้พีเอช 4.5 หรือประมาณ 4.1-4.8
- 5) เติมเอนไซม์อะไมโลกลูโคซิเดส ปริมาตร 200 ไมโครลิตร ด้วยไมโครปิเปต ลงในแต่ละบีกเกอร์ ปิดปากบีกเกอร์ด้วยอะลูมิเนียมฟอยล์ แล้วนำไปบ่มในอ่างน้ำแบบควบคุมอุณหภูมิ ที่อุณหภูมิ 60°C เป็นเวลา 30 นาที โดยเขย่าบีกเกอร์เบาๆ ตลอดเวลา
- 6) เติมเอทานอล 95% ที่อุ่น (60°C) ปริมาตร 225 มิลลิลิตร (อัตราส่วนเอทานอลต่อปริมาณของตัวอย่าง ควรจะเป็น 4:1) นำออกจากอ่างควบคุมอุณหภูมิ แล้วปล่อยให้ตกตะกอนที่อุณหภูมิห้องใช้เวลาประมาณ 1 ชั่วโมง

ขั้นตอนการกรอง

- 7) เตรียม crucible สำหรับใช้ในการกรองโดยนำ crucible ไปอบในเตาเผาที่ $105 \pm 2^\circ\text{C}$ ซ้ำมึน ทิ้งไว้ให้เย็นในโถดูดความชื้น
- 8) ชั่ง celite ประมาณ 1 กรัม ใส่ลงใน crucible และนำไปอบที่ $105 \pm 2^\circ\text{C}$ จนมีน้ำหนักคงที่ ชั่งน้ำหนัก crucible ที่มี celite (D)
- 9) นำ crucible ที่มี celite ไปใส่ในเครื่องกรอง เทสารละลายปฏิกิริยาที่ได้จากข้อ 6 ลงไป เปิดปั๊มดูดเอาสารละลายที่ผ่านการย่อยด้วยเอนไซม์ออก

10) สังกสารที่อยู่ใน crucible ด้วย 78% เอทานอล 95% และอะซิโตน ปริมาตร 15 มิลลิลิตร 2 ครั้ง ตามลำดับ

11) นำ crucible ที่มีสารที่ได้จากการกรองและ celite ไปอบให้แห้งที่ $105 \pm 2^\circ\text{C}$ ซ้ำมึนในตู้อบจนน้ำหนักคงที่ หลังจากนั้นนำออกมาทิ้งไว้ให้เย็นในโถดูดความชื้น และนำไปชั่งน้ำหนัก (B) นำน้ำหนักที่ชั่งได้ลบออกจากน้ำหนัก crucible ที่มี celite (D) จะได้น้ำหนักตัวอย่างที่เหลือจากขั้นตอนการย่อยและการกรอง (Sample residue, R)

12) นำตัวอย่าง M_1 ที่เหลือใน crucible ไปวิเคราะห์โปรตีนที่ย่อยไม่ได้ (undigestible protein) ด้วยวิธี Kjeldahl ส่วนตัวอย่าง M_2 นำไปวิเคราะห์หาปริมาณเถ้า โดยนำไปเผาในเตาเผาที่อุณหภูมิ $550 \pm 2^\circ\text{C}$ จนกระทั่งเป็นเถ้าสีขาว แล้วปล่อยให้เย็นในโถดูดความชื้น และนำไปชั่งน้ำหนัก (C) นำน้ำหนักที่ชั่งได้ลบออกจากน้ำหนัก crucible ที่มี celite (D) จะได้น้ำหนักเถ้า (Ash sample residue, A)

การคำนวณ

1) Blank (B, mg)

$$B = [(BR_1 + BR_2)/2] - P_B - A_B$$

เมื่อ BR_1, BR_2 = Blank Residue (g)

P_B = Protein on blank residue (g)

A_B = Ash on blank residue (g)

2) Dietary fiber (DF, g/100 g)

$$DF = \{[(R_1 + R_2)/2] - P - A - B\} / [(M_1 + M_2)/2] \times 100$$

เมื่อ R_1, R_2 = Sample Residue (g)

P = Protein on sample residue (g)

A = Ash on sample residue (g)

B = Blank weight (g)

M_1, M_2 = Sample weight (g)

ก-6 ปริมาณสารประกอบฟีนอลิก (ดัดแปลงจาก Rawdkuen et al., 2016)

เครื่องมือและอุปกรณ์

- 1) เครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ (SPECTRONIC GENESYSTH5, USA)
- 2) เครื่องผสมสาร (Vortex mixer) (Heidolph, REAX 2000, Germany)
- 3) ปิเปต ชนิด Measuring ขนาด 5 มิลลิลิตร
- 4) ขวดปรับปริมาตร ขนาด 100 มิลลิลิตร

สารเคมี

- 1) โฟลีน ซีโอแคลทู รีเอเจนต์ (Folin-Ciocalteu reagent) (Garlo ERBA) (Sigma; USA)
- 2) กรดแกลลิก (Gallic acid: C₇H₆O₃) 98% (Fluka, Switzerland)
- 3) อะซีโตน
- 4) โซเดียมคาร์บอเนต (Sodium carbonate anhydrous: Na₂CO₃) (Ajax Finechem, Australia)

การเตรียมสารสกัดตัวอย่าง

ซึ่งตัวอย่าง 10 กรัม ทำการสกัดด้วยตัวทำละลายอะซีโตนผสมกับน้ำอัตราส่วน 75 : 25 ปริมาตร 100 มิลลิลิตร ผสมให้เป็นเนื้อเดียวกันโดยใช้แท่งแก้วคน นำไปกวนตลอดเวลาที่อุณหภูมิ 25°C เป็นเวลา 90 นาที จากนั้นนำมาปั่นเหวี่ยงที่ความเร็วรอบ 950g เป็นเวลา 15 นาที เก็บสารละลายที่ได้ในขวดแก้วสีชา ที่สภาวะแช่แข็ง (อุณหภูมิประมาณ -20 องศาเซลเซียส) จนกว่าจะนำมาวิเคราะห์ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด สมบัติการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระโดยวิธี DPPH free radical Scavenging activity และวิธี Ferric reducing antioxidant power (FRAP)

การเตรียมสารเคมี

- 1) เตรียมสารละลายโซเดียมคาร์บอเนตความเข้มข้น 20% โดยชั่งโซเดียมคาร์บอเนต 20 กรัม ละลายในน้ำกลั่นและปรับปริมาตรให้ได้ 100 มิลลิลิตรด้วยน้ำกลั่น
- 2) เตรียมสารละลายโฟลีน ซีโอแคลทู โดยปิเปตโฟลีน ซีโอแคลทู 2 มิลลิลิตร ผสมน้ำ 20 มิลลิลิตร จากนั้นเก็บในขวดสีชา

การทำกราฟมาตรฐานกรดแกลลิก

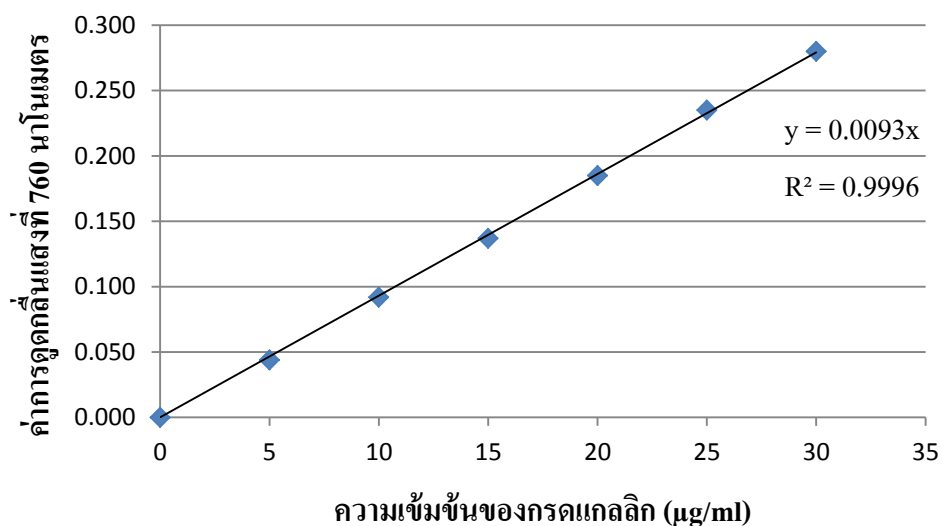
เตรียมกรดแกลลิก 100 ไมโครกรัม/มิลลิลิตรโดยชั่งกรดแกลลิก 0.01 กรัม ละลายด้วยเอทานอล (ใส่เอทานอลแค่ละลายกรดให้หมด) เติมน้ำกลั่นและปรับปริมาตรเป็น 100 มิลลิลิตร จากนั้นเตรียมสารละลายมาตรฐานกรดแกลลิก โดยผสมกรดแกลลิกและน้ำกลั่นให้มีความเข้มข้นแตกต่างกัน 7 ระดับ คือ 0, 5, 10, 15, 20, 25 และ 30 µg/mL

1) ปิเปตสารละลายมาตรฐานกรดแกลลิก แต่ละความเข้มข้นมา 1 มิลลิลิตร เติมน้ำกลั่น 7 มิลลิลิตร เติมสารละลายฟอสฟอรัส โมลิบเดต 0.5 มิลลิลิตร ผสมให้เข้ากันด้วย Vortex เป็นเวลา 3 วินาที และตั้งทิ้งไว้ 30 นาที

2) เติมสารละลายโซเดียมคาร์บอเนตความเข้มข้น 20% ปริมาตร 1.5 มิลลิลิตร ผสมให้เข้ากัน และตั้งทิ้งไว้ 2 ชั่วโมง โดยสารละลายจะเปลี่ยนเป็นสีน้ำเงิน

3) วัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 765 นาโนเมตร ด้วยเครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ ทำการทดลองซ้ำ 3 ครั้ง

4) พล็อตกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเข้มข้นของกรดแกลลิก (แกน X) และค่าการดูดกลืนแสง (แกน Y)



ภาพภาคผนวก ก-1 กราฟมาตรฐานของกรดแกลลิก

การวิเคราะห์

1) ปิเปตสารละลายตัวอย่างมา 1 มิลลิลิตร เติมน้ำกลั่น 7 มิลลิลิตร เติมสารละลายฟอสฟอรัส โมลิบเดต 0.5 มิลลิลิตร ผสมให้เข้ากันด้วย Vortex เป็นเวลา 3 วินาที และตั้งทิ้งไว้ 30 นาที

2) เติมสารละลายโซเดียมคาร์บอเนตความเข้มข้น 20% ปริมาตร 1.5 มิลลิลิตร ผสมให้เข้ากัน และตั้งทิ้งไว้ 2 ชั่วโมง โดยสารละลายจะเปลี่ยนเป็นสีน้ำเงิน

3) วัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 765 นาโนเมตร ด้วยเครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ ทำการทดลองซ้ำ 3 ครั้ง

4) กำหนดหาปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดได้จากการแทนค่าการดูดกลืนแสงที่ได้จากการวัดจากตัวอย่าง (ค่า Y) ในสมการเส้นตรงที่ได้ จะได้ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดในรูปกรดแกลลิก (ค่า X) จากนั้นนำมาคำนวณหาปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด

ตัวอย่างการคำนวณ

จากกราฟมาตรฐานได้สมการ คือ $y = 0.0093x$

แทนค่าการดูดกลืนแสงของตัวอย่าง (y) = 0.232 จะได้ $0.232 = 0.0093x$

$$x = 24.95 \mu\text{g/ml}$$

การคำนวณ โดยเทียบกับน้ำหนักตัวอย่างที่ใช้ในการวิเคราะห์

สารละลายตัวอย่าง 100 ml

มีตัวอย่างสารสกัด 4.6852 g

ปิเปตสารละลายตัวอย่างมา 1.0 ml

มีตัวอย่างสารสกัด $1 \times 4.6852 = 0.0469 \text{ g}$

100

ตัวอย่างสารสกัด 0.0469 g

มีสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด 24.95 μg

ตัวอย่างสารสกัด 100 g

มีสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด 24.95×100

0.0469

$$= 53,198.2942 \mu\text{g}/100\text{g}$$

$$= 53.20 \text{ mg}/100\text{g}$$

ก-7 สมบัติการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระโดยวิธี DPPH free radical Scavenging

activity test (ดัดแปลงจากวิธีของ Rawdkuen et al., 2016)

เครื่องมือและอุปกรณ์

- 1) บีเปต ชนิด Measuring ขนาด 1 ml
- 2) ขวดปรับปริมาตร ขนาด 100 ml
- 3) หลอดทดลอง
- 4) เครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ (SPECTRONIC GENESYS™ 5, USA)

สารเคมี

- 1) ดีพีพีเอช (2-diphenyl-1-picrylhydrazyl: $C_{18}H_{12}N_5O_6$) 90 % บริษัท Sigma ประเทศเยอรมัน
- 2) เมทานอล (Methanol: CH_3OH) บริษัท Labscan ประเทศไทย

การเตรียมสารเคมี

เตรียมสารละลาย DPPH ทันทีก่อนใช้ให้มีความเข้มข้น 0.1 mM ปริมาตร 100 มิลลิลิตร โดยชั่ง DPPH 0.004 กรัม ละลายในเมทานอล แล้วปรับปริมาตรให้ได้ 100 มิลลิลิตร ด้วยเมทานอล เก็บในภาชนะปิดสนิทป้องกันแสงจนกว่าจะนำมาวิเคราะห์

การวิเคราะห์

ใช้สารสกัดตัวอย่างที่เตรียมได้เหมือนกับที่วิเคราะห์ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด

1) บีเปตสารละลายตัวอย่าง 1 มิลลิลิตร ผสมกับสารละลาย DPPH ความเข้มข้น 0.1 mM ปริมาตร 3 มิลลิลิตร ในหลอดทดลองให้เข้ากันและตั้งทิ้งไว้ในที่มืดประมาณ 30 นาที (สำหรับตัวอย่าง blank โดยทำเช่นเดียวกัน แต่ใช้เมทานอลแทนสารละลายตัวอย่าง)

2) นำหลอดทดลองที่เป็นสารละลายตัวอย่างและ blank ไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 517 นาโนเมตร ด้วยเครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ ทำการทดลอง 3 ซ้ำ

การคำนวณ

$$\% \text{ Inhibition} = [(A_0 - A_1) / A_0] \times 100$$

กำหนดให้ A_0 คือ ค่าการดูดกลืนแสงของ blank

A_1 คือ ค่าการดูดกลืนแสงของตัวอย่าง

ก-8 สมบัติการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระ โดยวิธี Ferric reducing antioxidant power (FRAP) (ดัดแปลงจาก Rawdkuen et al., 2016)

เครื่องมือและอุปกรณ์

- 1) แท่งแก้วคน
- 2) หลอดทดลอง
- 3) ขวดปรับปริมาตร ขนาด 1000 มิลลิลิตร
- 4) ปิเปตขนาด 5 มิลลิลิตร
- 5) เครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ (SPECTRONIC GENESYSTH5, USA)
- 6) เครื่องผสมสาร (Vortex mixer) (Heidolph, REAX 2000, Germany)
- 7) ปีกเกอร์
- 8) ไมโครปิเปต

สารเคมี

- 1) เมทานอล (Methanol: CH₃OH) บริษัท Labscan ประเทศไทย
- 2) โซเดียมอะซิเตท (sodium acetate : C₂H₃NaO₂ / CH₃COONa)
- 3) กรดแอซิติค (acetic acid : CH₃COOH)
- 4) 2,4,6-Tripyridyl-s-triazine (TPTZ)
- 5) กรดไฮโดรคลอริก (hydrochloric acid : HCL)
- 6) เฟอริกคลอไรด์ (ferric chloride : FeCl₃.6H₂O)

การเตรียมสารละลาย

- 1) 300 mM acetate buffer pH. 3.6 (Benzie & strain, 1996)

โดยชั่งโซเดียมอะซิเตท 3.1 กรัม ผสมกับกรดแอซิติค 16 มิลลิลิตร แล้วปรับปริมาตรให้ได้ 1000 มิลลิลิตร ด้วยน้ำกลั่นโดยใช้ขวดปรับปริมาตร

- 2) FRAP Solution

ผสม 300 mM acetate buffer pH. 3.6 ปริมาตร 25 มิลลิลิตร กับ 10 mM TPTZ solution ที่เจือจางใน 40 mM HCL ปริมาตร 2.5 มิลลิลิตร และ 20 mM FeCl₃.6H₂O ปริมาตร 2.5 มิลลิลิตร จากนั้นนำสารละลายผสมไปบ่มที่ 37°C เป็นเวลา 30 นาที

- 3) 10 mM TPTZ solution

โดยชั่ง TRTZ 0.1562 กรัม ละลายใน 40 mM HCL แล้วปรับปริมาตรให้ได้ 50 มิลลิลิตร ด้วย 40 mM HCL โดยใช้ขวดปรับปริมาตร

4) 40 mM HCL

โดยปีเปตกรด HCL เข้มข้น 0.33 มิลลิลิตร ผสมกับน้ำกลั่น แล้วปรับปริมาตรให้ได้ 100 มิลลิลิตร ด้วยน้ำกลั่น โดยใช้ขวดปรับปริมาตร

5) 20 mM FeCl₃.6H₂O

โดยชั่ง FeCl₃.6H₂O 0.3244 กรัม ละลายในน้ำกลั่น แล้วปรับปริมาตรให้ได้ 100 มิลลิลิตร ด้วยน้ำกลั่น โดยใช้ขวดปรับปริมาตร

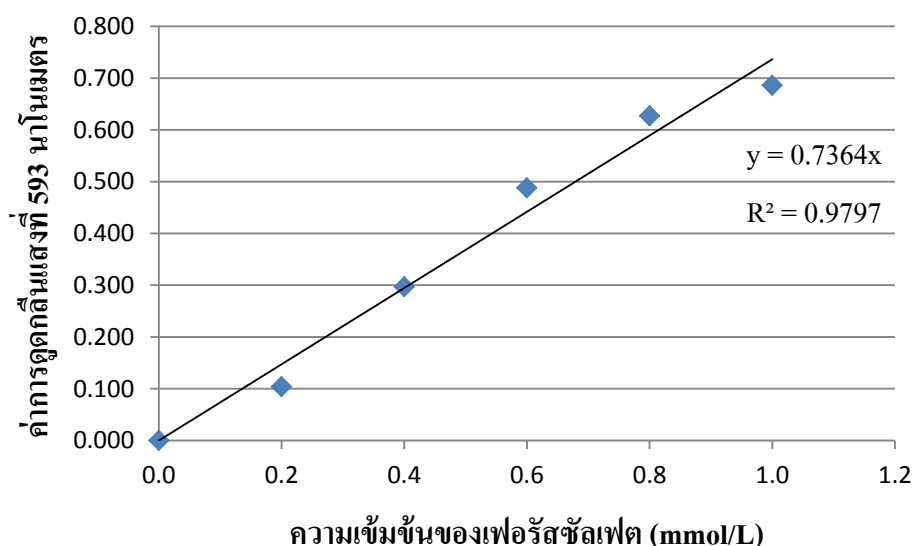
การวิเคราะห์

ใช้สารสกัดตัวอย่างที่เตรียมได้เหมือนกับที่วิเคราะห์ปริมาณสารประกอบฟีนอลิก ทั้งหมด

1) ปีเปตสารละลายตัวอย่าง 0.15 มิลลิลิตร ใส่ในหลอดทดลอง แล้วเติมสารละลาย FRAP 2.85 มิลลิลิตร ผสมให้เข้ากัน เก็บไว้ในที่มืด ที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 30 นาที

2) วัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 593 นาโนเมตร ด้วยเครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ (เตรียม Blank โดยผสมสารตัวอย่างเหมือนกันแต่เปลี่ยนมาเติมน้ำกลั่นแทนสารละลายตัวอย่าง)

3) พล็อตกราฟมาตรฐานโดยใช้สารเฟอร์รัสซัลเฟต โดยมีความเข้มข้นระหว่าง 1-10 mM คำนวณ Ferric reducing antioxidant power ได้จากกราฟมาตรฐาน รายงานเป็น $\mu\text{mol FeSO}_4/\text{L}$



ภาพภาคผนวก ก-2 กราฟมาตรฐานของเฟอร์รัสซัลเฟต

ตัวอย่างการคำนวณ

จากกราฟมาตรฐานได้สมการ คือ $y = 0.7364x$

แทนค่าการดูดกลืนแสงของตัวอย่าง (y) = 0.406 จะได้ $0.406 = 0.7364x$

$$x = 0.55133 \text{ mmol/L}$$

$$= 551.33 \text{ } \mu\text{mol/L}$$

ก-9 ค่า Peroxide value (คัดแปลงจาก Richards & Hultin, 2000)

เครื่องมือและอุปกรณ์

- 1) เครื่องโฮโมจิไนเซอร์ (Homogenizer)
- 2) ปิเปต
- 3) หลอดทดลอง
- 4) เครื่องผสมสารละลาย (Vertex mixer)
- 5) ไมโครปิเปต
- 6) เครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ (SPECTRONIC GENESYSTM5, USA)
- 7) เครื่องปั่นเหวี่ยง (Centrifuge)
- 8) อ่างน้ำควบคุมอุณหภูมิ (Water bath)

สารเคมี

- 1) สารละลายผสม กรดอะซิติกและกลอโรฟอร์ม ในอัตราส่วน 2:1
- 2) โซเดียมไธโอซัลเฟต 0.002 M
- 3) โปแตสเซียมไอโอไดด์
- 4) โปแตสเซียมไอโอไดด์ 5%
- 5) น้ำแข็ง 1%

การเตรียมสารเคมี

- 1) สารละลายโปแตสเซียมไอโอไดด์ 5%

เตรียมโดยชั่งโปแตสเซียมไอโอไดด์ 5 กรัม ละลายด้วยน้ำกลั่น แล้วปรับปริมาตรเป็น 100 มิลลิลิตร ด้วยน้ำกลั่นในขวดปรับปริมาตร

- 2) สารละลายโซเดียมไธโอซัลเฟต 0.002 M

เตรียมโดยชั่งโซเดียมไธโอซัลเฟต 0.4964 กรัม ละลายด้วยน้ำกลั่น แล้วปรับปริมาตรเป็น 1000 มิลลิลิตร ด้วยน้ำกลั่นในขวดปรับปริมาตร

3) น้ำแป้ง 1%

เตรียมโดยชั่งแป้งมัน 1 กรัม ละลายด้วยน้ำกลั่นปริมาตร 100 มิลลิลิตร แล้วนำไปต้มเดือด จนกระทั่งน้ำแป้งเป็นสารละลายใส แล้วทิ้งไว้ให้เย็น

การวิเคราะห์

- 1) ชั่งแป้งถั่วดาวอินคา 1 กรัม (บันทึกน้ำหนักที่แน่นอน) ผสมกับสารละลายผสม (กรดอะซิติกและคลอโรฟอร์มในอัตราส่วน 2:1) ปริมาตร 40 มิลลิลิตร และปั่นให้เป็นเนื้อเดียวกันด้วย Homogenizer ที่ความเร็วรอบ 12,000 rpm เป็นเวลา 2 นาที
- 2) นำไปปั่นเหวี่ยงที่ความเร็วรอบ 6000xg เป็นเวลา 3 นาที ที่อุณหภูมิ 4°C
- 3) นำสารละลายที่ได้กรองโดยใช้กระดาษกรอง No. 1 แล้วใส่ลงในหลอดแก้วที่สะอาดและแห้งสนิท
- 4) เติมโปแตสเซียมไอโอไดด์ 1 กรัม แล้วนำสารละลายที่ได้ไปต้มในน้ำเดือดเป็นเวลา 1 นาที
- 5) เทสารละลายที่ได้ลงในพลาสติกขนาด 250 มิลลิลิตร ที่มีสารละลายโปแตสเซียมไอโอไดด์ 5% ปริมาตร 20 มิลลิลิตร และล้างหลอดแก้วด้วยน้ำกลั่น 2 ครั้ง ครั้งละ 15 และ 10 มิลลิลิตร ตามลำดับ เทน้ำที่ล้างลงในพลาสติก
- 6) ไตเตรตสารละลายในพลาสติกด้วยสารละลายโซเดียมไซโอซัลเฟต 0.002 M โดยใช้ น้ำแป้งเป็นอินดิเคเตอร์ ไตเตรตจนถึงจุดยุติคือ สีเทาจะจางหายไปจนไม่มีสี
- 7) จดปริมาตรของสารละลายโซเดียมไซโอซัลเฟตที่ใช้กับตัวอย่าง (A มิลลิลิตร)
- 8) เตรียม Blank ทำเช่นเดียวกับสภาวะข้างต้นแต่ไม่ใส่ตัวอย่าง (B มิลลิลิตร)

การคำนวณ

$$P.V. = \frac{A-B \text{ (มิลลิลิตร)}}{\text{น้ำหนักของตัวอย่างที่ใช้ (กรัม)}}$$

หรือคำนวณเป็นมิลลิมมอลของเปอร์ออกไซด์ออกซิเจนต่อกิโลกรัมตัวอย่าง

$$P.V. = \frac{2 \times A-B \text{ (มิลลิลิตร)}}{\text{น้ำหนักของตัวอย่างที่ใช้ (กรัม)}}$$

- เมื่อ A คือ ปริมาตรของสารละลายโซเดียมไซโอซัลเฟตที่ใช้ไตเตรตกับตัวอย่าง
B คือ ปริมาตรของสารละลายโซเดียมไซโอซัลเฟตที่ใช้ไตเตรตกับ Blank

ก-10 การวัดค่า Thiobarbituric acid-reactive substance (TBARS) (Buege & Aust, 1978)

เครื่องมือและอุปกรณ์

- 1) เครื่องโฮโมจีไนเซอร์ (Homogenizer)
- 2) เครื่องเซนตริฟิวก์ (Centrifuge)
- 3) เครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ (Spectrophotometer)
- 4) อ่างน้ำควบคุมอุณหภูมิ (Water bath)
- 5) เครื่องผสมสารละลาย (Vertex mixer)
- 6) ปิเปต ขนาด 1 และ 10 มิลลิลิตร
- 7) ขวดปรับปริมาตร ขนาด 10 50 และ 500 มิลลิลิตร
- 8) บีกเกอร์ ขนาด 100 มิลลิลิตร

สารเคมี

- 1) กรดไทโอบาบิพูริก (Thiobarbituric acid)
- 2) กรดไทรคลอโรอะซิติก (Trichloroacetic acid)
- 3) กรดไฮโดรคลอริก (Hydrochloric acid)
- 4) 1, 1, 3, 3-tetraethoxypropane
- 5) เอทานอล

การเตรียมสารเคมี

- 1) กรดไฮโดรคลอริก 0.25 M

ปิเปตกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้นมา 0.2 มิลลิลิตร แล้วปรับปริมาตรจนได้ 10 มิลลิลิตร

ด้วยน้ำกลั่นในขวดปรับปริมาตร

- 2) สารละลาย TBARS

ผสมกรดไทโอบาบิพูริก 0.1875 กรัม กรดไทรคลอโรอะซิติก 75 กรัม และกรด

ไฮโดรคลอริก 0.25 M ปริมาตร 4.4 มิลลิลิตรให้เข้ากัน แล้วปรับปริมาตรจนได้ 500 มิลลิลิตรด้วย

น้ำกลั่นในขวดปรับปริมาตร

การทำกราฟมาตรฐาน

เตรียมสารมาตรฐานมาลอนดีไฮด์ให้มีความเข้มข้นแตกต่างกัน 5 ระดับ คือ 0.4, 0.8, 1.2,

1.6 และ 2 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร ดังนี้

- 1) ปิเปตสารมาตรฐาน 1, 1, 3, 3-tetraethoxypropane 0.5 มิลลิลิตร แล้วปรับปริมาตร

จนได้ 50 มิลลิลิตรด้วยเอทานอล จะได้สารละลายสีเหลืองของมาลอนดีไฮด์ เข้มข้น 10 mg/ml

2) ปิเปตสารละลายมาลอนดีไฮด์ เข้มข้น 10 mg/ml มา 2, 4, 6, 8 และ 10 มิลลิลิตร แล้วปรับปริมาตรจนได้ 50 มิลลิลิตรด้วยเอทานอล จะได้สารละลายมาลอนดีไฮด์ เข้มข้น 0.4, 0.8, 1.2, 1.6 และ 2 mg/ml ตามลำดับ

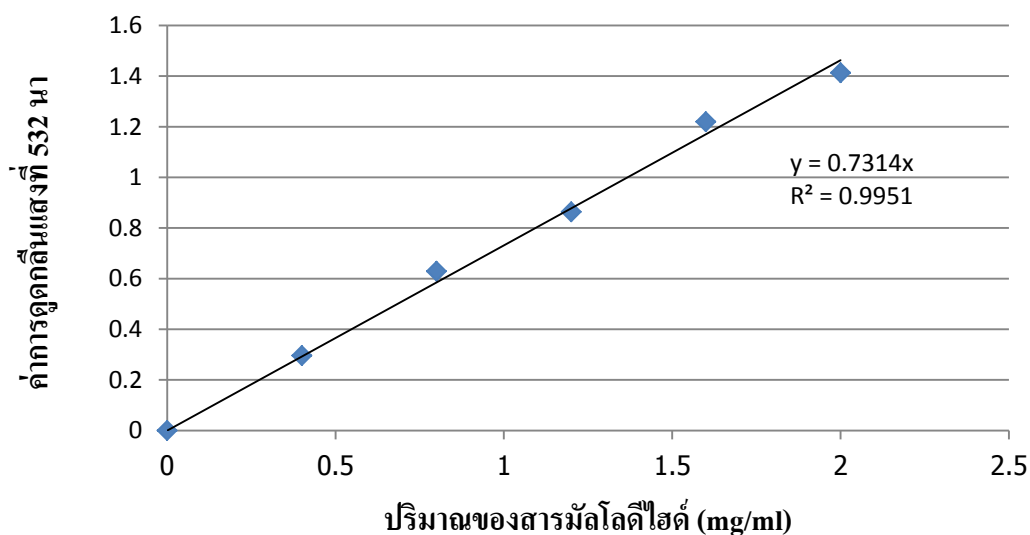
3) ปิเปตสารละลายมาลอนดีไฮด์แต่ละความเข้มข้นมา 10 มิลลิลิตร ลงในบีกเกอร์ แล้วผสมกับสารละลาย TBARS 50 มิลลิลิตร และโซโมจิไนส์ที่ความเร็วรอบ 12,000 rpm เป็นเวลา 2 นาที

4) นำสารละลายที่ได้ไปวางในอ่างควบคุมอุณหภูมิที่ 95 – 100°C เป็นเวลา 10 นาที สารละลายจะเปลี่ยนเป็นสีชมพู

5) ทำให้เย็น โดยนำบีกเกอร์แช่ในน้ำเป็นเวลา 2 นาที

6) นำสารละลายที่ได้มาวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ 532 นาโนเมตร ด้วยเครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์

7) พล็อตกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเข้มข้นของมาลอนดีไฮด์ (แกน X) และค่าการดูดกลืนแสง (แกน Y)



ภาพภาคผนวก ก-3 กราฟมาตรฐานของมาลอนดีไฮด์

การวิเคราะห์

1) ชั่งตัวอย่างแป้งถั่วดาวอินคา 2 กรัม ลงในบีกเกอร์ แล้วผสมกับสารละลาย TBARS 50 มิลลิลิตร และโฮโมจิไนส์ที่ความเร็วรอบ 12,000 rpm เป็นเวลา 2 นาที

2) นำตัวอย่างไปวางในอ่างควบคุมอุณหภูมิที่ 95 – 100°C เป็นเวลา 10 นาที สารละลายจะเปลี่ยนเป็นสีชมพู

3) ทำให้เย็น โดยนำบีกเกอร์แช่ในน้ำ เป็นเวลา 2 นาที

4) นำตัวอย่างไปเหวี่ยงแยกที่ความเร็วรอบ 3600 xg ที่อุณหภูมิ 25°C เป็นเวลา 20 นาที

5) นำสารละลายสีที่ได้มาวัดค่าการดูดกลืนแสงด้วยเครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ ที่ 532 นาโนเมตร ทำการทดลอง 3 ครั้ง

6) คำนวณหาปริมาณมาลอนดีไฮด์ได้จากการแทนค่าการดูดกลืนแสงที่ได้จากการวัดจากตัวอย่าง (ค่า Y) ในสมการเส้นตรงที่ได้ จะได้ปริมาณมาลอนดีไฮด์ (ค่า X) จากนั้นนำมาคำนวณหาปริมาณมาลอนดีไฮด์ รายงานในรูปแบบของ mg malondehyde/kg flour

ภาคผนวก ข
การวิเคราะห์คุณภาพทางกายภาพ

ข-1 ค่าสี (Leon et al., 2006)

วิเคราะห์ค่าสี ด้วยเครื่องวัดสี (Colorimeter) Hunter LAB รุ่น MiniScan XE Plus โดยทำการทดลองตามขั้นตอนการวิเคราะห์ค่าสีดังนี้

การวิเคราะห์

1) ก่อนทำการวัดสีทุกครั้ง ต้องทำการปรับมาตรฐานของเครื่อง (Calibration) โดยการวางหัววัดทาบบนแผ่นสำหรับ Calibrate สีขาวแล้วกดปุ่ม Measure ซึ่งเครื่องวัดสีจะบันทึกข้อมูลค่าสีขาวของแผ่นสำหรับ Calibrate ไว้

2) นำตัวอย่างใส่ภาชนะสำหรับวัดค่าสีโดยใส่ให้เต็มภาชนะไม่ให้มีช่องที่แสงผ่านได้ ขณะวัดตัวอย่างให้ใช้แผ่นสีดำปิดตัวอย่าง

3) ทำการวัดสีของตัวอย่างด้วยระบบ CIE ซึ่งวัดค่า L^* a^* และ b^* ซึ่งบอกค่าดังนี้

L^* คือ ความสว่าง โดยสีดำมีค่าเท่ากับ 0 และสีขาวมีค่าเท่ากับ 100

a^* คือ ค่าความเป็นสีแดงและสีเขียว โดยค่าบวกแสดงความเป็นสีแดง และค่าลบแสดงความเป็นสีเขียว

b^* คือ ค่าความเป็นสีเหลืองและสีน้ำเงิน โดยค่าบวกแสดงความเป็นสีเหลือง และค่าลบแสดงความเป็นสีน้ำเงิน

4) คำนวณค่า Whiteness

$$\text{Whiteness} = 100 - [(100-L^*)^2 + a^{*2} + b^{*2}]^{1/2}$$

ข-2 โครงสร้างทางจุลภาค โดยใช้กล้องจุลทรรศน์แบบใช้แสง (Optical microscope)

(Jiang et al., 2016)

การวิเคราะห์

- 1) นำแป้งถั่วดาวอินคาผสมกับน้ำกลั่น อัตราส่วน 1:10 ผสมให้เข้ากันเป็นเวลา 1 นาที และนำไปต้มในตู้บ่มที่อุณหภูมิ 50°C เป็นเวลา 20 นาที
- 2) นำสารละลายที่ได้ผสมกับสีย้อม Coomassie brilliant blue staining buffer (Brilliant blue R 0.05% ใน เอทานอล 10%) ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 10 นาที
- 3) นำสารละลายที่ผ่านการย้อมสีแล้ว หยดลงบนสไลด์ 1 หยด แล้วนำไปส่องด้วยกล้องจุลทรรศน์กำลังขยาย 20X สังเกตโครงสร้างทางจุลภาคของแป้งถั่วดาวอินคา โดยปราศจากการใช้แสงโพลาไรส์ และมีการใช้แสงโพลาไรส์

ข-3 การวิเคราะห์สมบัติเชิงหน้าที่

เครื่องมือและอุปกรณ์

- 1) เครื่องชั่งละเอียด Sartorius รุ่น BA 2115 ประเทศเยอรมนี
- 2) หลอดเซนตริฟิวส์
- 3) เครื่องปั่นเหวี่ยง (Centrifuge)
- 4) เครื่องโฮโมจีไนเซอร์ (Homogenizer)
- 5) อ่างน้ำควบคุมอุณหภูมิ (Water bath)
- 6) กระจกบอกตวงขนาด 100 มิลลิลิตร

ความสามารถในการดูดซับน้ำ (Water absorption capacity) (ดัดแปลงจาก Bhat & Yahya, 2014)

การวิเคราะห์

- 1) ชั่งแป้งถั่วดาวอินคา 2.5 กรัมลงในหลอดเซนตริฟิวส์ เติมน้ำกลั่น 25 มิลลิลิตร
- 2) นำไปปั่นเหวี่ยงที่ความเร็วรอบ 3000g เป็นเวลา 15 นาที พักไว้ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 30 นาที ชั่งน้ำหนักสารละลายที่เหลือ

การคำนวณ

$$\text{Water absorption capacity} = \frac{\text{น้ำหนักน้ำที่ดูดซับ (g)}}{\text{น้ำหนักตัวอย่าง (g)}}$$

ความสามารถในการดูดซับน้ำมัน (Oil absorption capacity) (ดัดแปลงจาก Bhat & Yahya, 2014)

การวิเคราะห์

- 1) ชั่งแป้งถั่วดาวอินคา 2.5 กรัมลงในหลอดเซนตริฟิวส์ เติมน้ำมันพืช 25 มิลลิลิตร
- 2) นำไปปั่นเหวี่ยงที่ความเร็วรอบ 3000g เป็นเวลา 15 นาที พักไว้ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 30 นาที ชั่งน้ำหนักสารละลายที่เหลือ

การคำนวณ

$$\text{Oil absorption capacity} = \frac{\text{น้ำหนักน้ำมันที่ดูดซับ (g)}}{\text{น้ำหนักตัวอย่าง (g)}}$$

สมบัติการเป็นอิมัลซิไฟเออร์ (Eulsifying properties) (ดัดแปลงจาก Seena & Sridhar, 2005; Oladele & Aina, 2007; Bhat & Yahya, 2014)

การวิเคราะห์

- 1) ชั่งแป้งถั่วดาวอินคา 0.5 กรัม ละลายในน้ำกลั่น 100 มิลลิลิตร (0.5% w/v) กวนเป็นเวลา 30 นาที
- 2) นำสารละลายที่ได้มา 30 มิลลิลิตร ใส่ลงในกระบอกตวงขนาด 100 มิลลิลิตร เติมน้ำมันพืช 10 มิลลิลิตร ปั่นผสมด้วยเครื่องโฮโมจิไนเซอร์ที่ 10,000 rpm เป็นเวลา 10 นาที
- 3) วัดความสูงของชั้นอิมัลชันและชั้นของเหลวทั้งหมดในกระบอกตวง เพื่อคำนวณหาค่า Emulsion activity
- 4) นำไปให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 80 °C ในอ่างน้ำควบคุมอุณหภูมิ เป็นเวลา 30 นาที วัดความสูงของชั้นอิมัลชันและชั้นของเหลวทั้งหมดในกระบอกตวงเพื่อคำนวณหาค่า

Emulsion stability

การคำนวณ

$$\text{Emulsion activity (\%)} = \frac{\text{ความสูงของชั้นอิมัลชัน}}{\text{ความสูงของชั้นของเหลวทั้งหมด}} \times 100$$

$$\text{Emulsion stability (\%)} = \frac{\text{ความสูงของชั้นอิมัลชันหลังให้ความร้อน}}{\text{ความสูงของชั้นของเหลวทั้งหมดหลังให้ความร้อน}} \times 100$$

สมบัติการพองตัว (Swelling properties) (ดัดแปลงจาก Oladele & Aina, 2007)

การวิเคราะห์

- 1) ชั่งแป้งถั่วดาวอินคา 1 กรัม ใส่หลอดเซนตริฟิวส์ และเติมน้ำกลั่น 10 มิลลิลิตร
- 2) นำไปให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 80°C ในอ่างน้ำควบคุมอุณหภูมิ เป็นเวลา 30 นาที โดยเขย่าตลอดเวลา
- 3) นำมาปั่นเหวี่ยงที่ความเร็วรอบ 1000g เป็นเวลา 15 นาที จากนั้นกรองเอาสารละลายออก นำของแข็งที่เหลือไปชั่งน้ำหนัก

การคำนวณ

$$\text{Swelling properties} = \frac{\text{น้ำหนักของแข็งที่เหลือ (g)}}{\text{น้ำหนักตัวอย่าง (g)}}$$

ข-4 ค่า Water activity (a_w)

วิเคราะห์ค่า Water activity (a_w) ด้วยเครื่อง NOVASINA โดยทำการทดลอง 3 ซ้ำ
การวิเคราะห์

เตรียมตัวอย่างโดย บรรจุตัวอย่างประมาณ 2 ใน 3 ในตลับพลาสติก แล้ววัดค่าด้วย
เครื่องวัดค่า a_w ตามขั้นตอนดังนี้

- 1) เปิดสวิตช์ ON ทางด้านขวาหน้าเครื่อง
- 2) เปิดเครื่องทิ้งไว้ 10 นาที ก่อนใช้งาน
- 3) เปิดฝาเครื่อง ใส่ตลับที่มีตัวอย่าง (เปิดฝา) ลงในช่องใส่ตัวอย่างแล้วปิดฝาเครื่อง
- 4) กดปุ่มสีเหลืองที่อยู่ด้านขวาของข้อความ Start ปุ่มไฟสีส้มหน้า Analyzing จะกะพริบ (เครื่องกำลังวิเคราะห์ค่า)
- 5) เมื่อการวิเคราะห์เสร็จสิ้น ปุ่มไฟสีเขียว Stable จะติดพร้อมมีเสียงเตือน บันทึกค่า a_w

ข-5 ค่าความหนืด โดยใช้เครื่องวัดความหนืด

วัสดุและอุปกรณ์

- 1) เครื่อง Brookfield viscometer

การวิเคราะห์

- 1) ตรวจสอบระดับลูกน้ำและเปิดสวิตช์ Power ด้านหลังเครื่อง Brookfield DV III (Rheometer)

- 2) เปิดเครื่อง computer และ double click ที่ icon Rheocal
- 3) ตรวจสอบให้แน่ใจว่าไม่มีหัวหมุนต่ออยู่ที่เครื่อง Brookfield
- 4) กดปุ่ม zero ที่โปรแกรม Rheocal ในหน้า Dashboard ซึ่งตัวเครื่อง Brookfield จะทำการปรับศูนย์ที่แกนหมุน ซึ่งเมื่อเสร็จแล้ว ตรงค่า %Torque จะเป็นศูนย์
- 5) ใส่หัวหมุน (LV1) ที่จะใช้วัดเข้ากับแกนหมุนของเครื่อง และใส่ Guardleg
- 6) บรรจุตัวอย่างที่ต้องการวัดในบีกเกอร์ขนาดเหมาะสม โดยให้หัวหมุนจุ่มลงในตัวอย่างจนถึงระดับที่กำหนด (รอย mark ที่หัวหมุน) และตัวอย่างไม่ควรมีฟอง
- 7) เข้าไปที่หน้า Programme แล้วกำหนดความเร็วรอบ ชนิดของหัวหมุน ตามที่ต้องการ
 - Set speed : SSN = 10 (จากที่ไปหาค่าที่เหมาะสม)

- LSC : จำนวนครั้งที่วัด 4 ครั้ง
- WTI : เวลาที่วัดแต่ละครั้ง 30 วินาที หมุนไป 30 วินาที จะ detect ครั้ง

แรก

- DSP : ไม่ใส่ค่า
- SSI : ความเร็วรอบเพิ่มขึ้นในการวัดครั้งที่ 2 20
- LEC : (หยุดการทำงานเมื่อทำงานครบ 4 ครั้ง) ไม่ต้องใส่

8) กดปุ่ม Start หัวหมุนจะเริ่มทำงานตามขั้นตอนใน Programme ที่เรากำหนดไว้ และแสดงค่า %Torque, viscosity บนหน้าจอ

ข-6 ค่าการแยกตัวของของเหลว (คัดแปลงจาก Remeuf et al., 2003)

การวิเคราะห์

1) ปั่นผสมตัวอย่างให้เป็นเนื้อเดียวกัน หลังจากนั้นนำตัวอย่างเก็บไว้ในตู้เย็น เป็นเวลา 72 ชั่วโมง นำตัวอย่างมาประมาณ 20 กรัม และนำไปปั่นเหวี่ยงที่ความเร็วรอบ 5000 rpm ที่อุณหภูมิ 7°C เป็นเวลา 40 นาที นำน้ำที่ได้ออกมาไปชั่งน้ำหนัก

การคำนวณ

$$\text{การแยกตัวของเหลว} = \frac{\text{น้ำที่ออกมา} \times 100}{\text{น้ำหนักตัวอย่าง}}$$

ข-7 ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด ด้วย Hand refractometer

การวิเคราะห์

- 1) นำตัวอย่างตั้งทิ้งไว้ให้ตกตะกอนประมาณ 2 ชั่วโมง
- 2) นำส่วนใสของตัวอย่าง วัดด้วย Hand refractometer อ่านปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดในหน่วย องศาบริกซ์ (°Brix)

ข-8 การวิเคราะห์ลักษณะเนื้อสัมผัส (ดัดแปลงจากวิธีของ โสธยา เกิดพิบูลย์ และคณะ, 2554)

นำตัวอย่าง 150 กรัม ใส่ในบีกเกอร์ให้เนื้อตัวอย่างสม่ำเสมอ และปาดตัวอย่างให้ผิวหน้าเรียบ วิเคราะห์ลักษณะเนื้อสัมผัส ด้วยเครื่องวัดลักษณะเนื้อสัมผัส (Texture analyzer) โดยรายงานเป็นค่า Hardness Spreadability และ Adhesiveness

อุปกรณ์

- 1) เครื่องวัดลักษณะเนื้อสัมผัส (Texture Analysis)
- 2) หัววัดชนิดรูปกรวย (Conical probe) มุม 60 องศา (P60/C)
- 3) Probe adapter
- 4) Flat Plate

วิธีการวิเคราะห์

- 1) เปิดคอมพิวเตอร์และเครื่อง Texture Analysis
- 2) เข้าโปรแกรม Texture Exponent 32 คลิก OK จะปรากฏหน้าจอที่พร้อมสำหรับการทดสอบ

ทดสอบ

3) จากนั้นทำการ Calibrate Force โดยไปที่เมนู T.A. จากนั้นไปที่ Calibrate และเลือก Calibrate Force ตั้งค่า Capacity ว่าถูกต้องหรือไม่ (50 Kg) จากนั้นคลิก Next พิมพ์น้ำหนัก ลูกตุ้มที่ใช้ 1000 g วางลูกตุ้มน้ำหนักบน Calibration Platform → Next → Finish

4) จากนั้นทำการ Calibrate Height โดยไปที่เมนู T.A. จากนั้นไปที่ Calibrate และเลือก Calibrate Height จากนั้นเลื่อนหัววัดลงมาให้ใกล้ฐานมากที่สุด → OK

5) ตั้งค่า T.A. Setting โดยไปที่เมนู T.A. จากนั้นคลิก T.A. Setting

- ความเร็ว Pre-Test Speed 1 mm/sec
- ความเร็ว Test Speed 1 mm/sec
- ความเร็ว Post-Test Speed 10 mm/sec
- ระยะ Distance 30 mm

6) วางตัวอย่าง เลือกเมนู T.A แล้วเลือก Run a test

7) ตั้งชื่อตัวอย่าง และบันทึกข้อมูล

ภาคผนวก ค

การประเมินทางประสาทสัมผัส

ค-1 แบบสอบถามเกี่ยวกับการแพ้อาหาร

แบบสอบถามนี้เป็นส่วนหนึ่งของโครงการวิจัยเรื่อง การลดกลิ่นฉุนเพื่อปรับปรุงคุณภาพ แป้งถั่วดาวอินคาและการใช้เป็นส่วนผสมในผลิตภัณฑ์อาหารเพื่อสุขภาพ โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อ ต้องการทราบว่าท่านเคยมีอาการแพ้อาหารหรือไม่ เพื่อเป็นการคัดเลือกผู้ทดสอบชิมเบื้องต้น ทั้งนี้ ขอให้ท่านตอบแบบสอบถามนี้ตามความเป็นจริง โดยข้อมูลของท่านจะเป็นประโยชน์อย่างยิ่ง สำหรับงานวิจัยนี้ และเป็นความลับโดยไม่มีผลกระทบบใด ๆ ต่อท่านทั้งสิ้น

คำชี้แจง โปรดทำเครื่องหมาย ลงใน หรือเติมข้อความลงในช่องว่างให้ตรงตามความเป็นจริง ข้อมูลทั่วไป

1. เพศ

ชาย

หญิง

2. อายุ (โปรดระบุ).....

ข้อมูลการแพ้อาหาร

3. ท่านเคยมีประวัติการแพ้อาหารหรือไม่ โดยลักษณะอาการแพ้อาหาร จะมีผื่นลมพิษ บวมและ คัน บวมบริเวณริมฝีปาก หน้า ลิ้น และคอ หายใจลำบาก คัดจมูก คันตา คันจมูก ปวดท้อง ท้องร่วง คลื่นไส้ และอาเจียน หลังจากได้รับประทานอาหารเข้าไป

ไม่เคยมีอาการแพ้

เคยมีอาการแพ้

ไม่แน่ใจ (โปรดระบุ).....

4. ท่านเคยมีอาการแพ้อาหารที่มีส่วนประกอบของถั่ว เช่น ขนมหั่วตัด นมถั่วเหลือง หรือไม่ โดยลักษณะอาการแพ้ถั่ว จะมีอาการเป็นลมพิษรอบปาก ไอ หอบ หายใจไม่สะดวก เสียงแหบ แห้ง ปวดท้องและอาเจียน

ไม่เคยมีอาการแพ้

เคยมีอาการแพ้

ไม่แน่ใจ (โปรดระบุ).....

ขอขอบพระคุณในความร่วมมือของท่าน

ค-2 เอกสารชี้แจงข้อมูลสำหรับการเข้าร่วมการวิจัยของกลุ่มตัวอย่าง (ประเมินความเข้ม กลืน)

หัวข้อวิทยานิพนธ์ : การลดกลิ่นฉุนเพื่อปรับปรุงคุณภาพแป้งถั่วดาวอินคาและการใช้เป็นส่วนผสม
ในผลิตภัณฑ์อาหารเพื่อสุขภาพ

เรียน ผู้ร่วม โครงการวิจัย (กรณีสำหรับการประเมินความเข้มกลืนถั่วและกลืนหีน)

ข้าพเจ้า นางสาวปณิดา ชัยปັນ นิสิตภาควิชาวิทยาศาสตร์การอาหาร คณะวิทยาศาสตร์
มหาวิทยาลัยบูรพา ขอเรียนเชิญท่านเข้าร่วมโครงการวิจัยนี้ ก่อนที่ท่านจะตกลงเข้าร่วมการวิจัย
ขอเรียนให้ท่านทราบรายละเอียดของโครงการวิจัยดังนี้

โครงการวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อลดกลิ่นฉุนของแป้งถั่วดาวอินคา และการใช้เป็นส่วน
ผสมในผลิตภัณฑ์อาหารเพื่อสุขภาพ โดยการทดลองส่วนแรกเป็นการศึกษาผลของวิธีการลด
กลิ่นฉุนโดยการนำแป้งถั่วดาวอินคามาให้ความร้อน และการนำแป้งถั่วดาวอินคามาแช่ใน
สารละลาย EDTA Propyl gallate และ Citric acid ซึ่งเป็นสารเคมีที่อนุญาตให้ใช้ในผลิตภัณฑ์
อาหารได้ ส่วนที่สองเป็นการศึกษาผลของการใช้แป้งถั่วดาวอินคาในผลิตภัณฑ์อาหารเพื่อสุขภาพ
ต้นแบบ 2 ชนิด ได้แก่ เครื่องคั้นน้ำนมถั่วดาวอินคาสูตรน้ำตาลต่ำ และถั่วดาวอินคาสเปรด

โดยผู้ที่เข้าร่วมการศึกษาวิจัยในครั้งนี้ท่านจะต้องไม่เป็นผู้ที่แพ้อาหาร โดยลักษณะการ
แพ้จะมีอาการดังนี้ ผิวหนังมีผื่นลมพิษ บวมและคัน บวมบริเวณริมฝีปาก หน้า ลิ้น และคอ คัดจมูก
คันตา คันจมูก หายใจลำบาก ปวดท้อง ท้องร่วง คลื่นไส้ อาเจียน หากท่านตกลงที่จะเข้าร่วมการ
ศึกษาวิจัยนี้ คณะผู้วิจัยจะขอความร่วมมือให้ท่านเป็นผู้ทดสอบทางประสาทสัมผัส โดยจะมีการ
ฝึกฝนท่านก่อนที่จะทำการทดสอบจริง เพื่อให้สามารถปรับความรู้สึกกลิ่นถั่วและกลืนหีนของ
แต่ละคนให้ตรงกัน โดยจะใช้เวลาในการฝึกฝนสัปดาห์ละ 2 ครั้ง ครั้งละประมาณ 30 นาที รวม
เวลา 3 สัปดาห์ แล้วจึงดำเนินการทดสอบดมกลิ่นแป้งถั่วดาวอินคาต่อไป ในการทดสอบดำเนินการ
โดยให้ผู้ทดสอบดมกลิ่นและกลืนหีนแป้งถั่วดาวอินคาแล้วให้คะแนนความเข้มของกลิ่นถั่วและ
กลืนหีน โดยกรอกแบบประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสที่เตรียมไว้ให้ ซึ่งจะใช้เวลาประมาณ
10 นาที ทั้งนี้หากมีอาการแพ้ในระหว่างการฝึกฝนหรือการทดสอบจะมีการจัดเตรียมการ
ปฐมพยาบาลเบื้องต้น โดยผู้มีความรู้ทางการแพทย์ และนำส่งโรงพยาบาลทันที หากมีอาการแพ้
รุนแรง

การเข้าร่วมการศึกษานี้จะเป็นไปโดยสมัครใจ ท่านอาจจะปฏิเสธที่จะเข้าร่วมหรือถอนตัวจากการศึกษานี้ได้ทุกเมื่อ โดยไม่มีผลกระทบใด ๆ ต่อท่านที่เข้าร่วมวิจัย ประการสำคัญที่ท่านควรทราบคือ

ผลของการเข้าร่วมวิจัยในครั้งนี้จะเป็นประโยชน์ต่องานวิจัยและใช้ปรับปรุงผลิตภัณฑ์ต่อไป โดยจะเก็บข้อมูลต่าง ๆ ของท่านไว้เป็นความลับและจะไม่มีการเปิดเผยชื่อของผู้ให้ข้อมูล การนำเสนอข้อมูลจะเป็นไปในภาพรวม ทั้งนี้จะเก็บข้อมูลไว้เป็นเวลา 1 ปี หลังการเผยแพร่ผลการวิจัย และจะนำไปทำลายหลังจากนั้น

หากท่านมีคำถามหรือข้อสงสัยประการใด ท่านสามารถสอบถามได้โดยตรงจากผู้วิจัย ในวันที่ทำการเก็บข้อมูล หรือสามารถติดต่อสอบถามข้าพเจ้านางสาวปณิดา ชัยปิ่น ได้ตลอดเวลา ที่ภาควิชาวิทยาศาสตร์การอาหาร คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา

เมื่อท่านพิจารณาแล้วเห็นสมควรเข้าร่วมในการวิจัยนี้ ขอความกรุณาลงนามในใบยินยอมร่วมโครงการที่แนบมาด้วยนี้ และขอขอบพระคุณในความร่วมมือของท่าน

ลงชื่อ.....

(นางสาวปณิดา ชัยปิ่น)

ค-3 เอกสารชี้แจงข้อมูลสำหรับการเข้าร่วมการวิจัยของกลุ่มตัวอย่าง (ประเมินความชอบ)

หัวข้อวิทยานิพนธ์ : การลดกลิ่นฉุนเพื่อปรับปรุงคุณภาพแป้งถั่วดาวอินคาและการใช้เป็นส่วนผสม
ในผลิตภัณฑ์อาหารเพื่อสุขภาพ

เรียน ผู้ร่วมโครงการวิจัย (กรณีสำหรับการประเมินความชอบผลิตภัณฑ์)

ข้าพเจ้า นางสาวปณิดา ชัยปิ่น นิสิตภาควิชาวิทยาศาสตร์การอาหาร คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา ขอเรียนเชิญท่านเข้าร่วมโครงการวิจัยนี้ ก่อนที่ท่านจะตกลงเข้าร่วมการวิจัย ขอเรียนให้ท่านทราบรายละเอียดของโครงการวิจัยดังนี้

โครงการวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อลดกลิ่นฉุนของแป้งถั่วดาวอินคา และการใช้เป็นส่วนผสมในผลิตภัณฑ์อาหารเพื่อสุขภาพ โดยการทดลองส่วนแรกเป็นการศึกษาผลของวิธีการลดกลิ่นฉุนโดยการนำแป้งถั่วดาวอินคาให้ความร้อน และการนำแป้งถั่วดาวอินคาใส่ในสารละลาย EDTA Propyl gallate และ Citric acid ซึ่งเป็นสารเคมีที่อนุญาตให้ใช้ในผลิตภัณฑ์อาหารได้ ส่วนที่สองเป็นการศึกษาผลของการใช้แป้งถั่วดาวอินคาในผลิตภัณฑ์อาหารเพื่อสุขภาพ ต้นแบบ 2 ชนิด ได้แก่ เครื่องคั้นน้ำนมถั่วดาวอินคาสูตรน้ำตาลต่ำ และถั่วดาวอินคาสเปรด

โดยผู้ที่เข้าร่วมการศึกษาวิจัยในครั้งนี้ท่านจะต้องไม่เป็นผู้ที่แพ้อาหาร โดยลักษณะการแพ้จะมีอาการดังนี้ ผิวหนังมีผื่นลมพิษ บวมและคัน บวมบริเวณริมฝีปาก หน้า ลิ้น และคอ คัดจมูก คันตา คันจมูก หายใจลำบาก ปวดท้อง ท้องร่วง คลื่นไส้ อาเจียน หากท่านตกลงที่จะเข้าร่วมการศึกษาวิจัยนี้ คณะผู้วิจัยจะขอความร่วมมือให้ท่านเป็นผู้ทดสอบทางประสาทสัมผัส โดยชิมผลิตภัณฑ์แล้วให้คะแนนความชอบแต่ละคุณลักษณะของผลิตภัณฑ์ โดยกรอกแบบประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสที่เตรียมไว้ให้ ซึ่งจะใช้เวลาประมาณ 10 นาที ทั้งนี้หากมีอาการแพ้ ในระหว่างการทดสอบจะมีการจัดเตรียมการปฐมพยาบาลเบื้องต้น โดยผู้มีความรู้ทางการแพทย์ และนำส่งโรงพยาบาลทันที หากมีอาการแพ้รุนแรง

การเข้าร่วมการศึกษานี้จะเป็นไปโดยสมัครใจ ท่านอาจจะปฏิเสธที่จะเข้าร่วมหรือถอนตัวจากการศึกษานี้ได้ทุกเมื่อ โดยไม่มีผลกระทบใด ๆ ต่อท่านที่เข้าร่วมวิจัย

ประการสำคัญที่ท่านควรทราบคือ

ผลของการเข้าร่วมวิจัยในครั้งนี้จะเป็นประโยชน์ต่องานวิจัยและใช้ปรับปรุงผลิตภัณฑ์ต่อไป โดยจะเก็บข้อมูลต่าง ๆ ของท่านไว้เป็นความลับและจะไม่มีการเปิดเผยชื่อของผู้ให้ข้อมูล

การนำเสนอข้อมูลจะเป็นไปในภาพรวม ทั้งนี้จะเก็บข้อมูลไว้เป็นเวลา 1 ปี หลังการเผยแพร่
ผลการวิจัยและจะนำไปทำลายหลังจากนั้น

หากท่านมีคำถามหรือข้อสงสัยประการใด ท่านสามารถสอบถามได้โดยตรงจากผู้วิจัย
ในวันที่ทำการเก็บข้อมูล หรือสามารถติดต่อสอบถามข้าพเจ้านางสาวปณิดา ชัยปิ่น ได้ตลอดเวลา ที่
ภาควิชาวิทยาศาสตร์การอาหาร คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา

เมื่อท่านพิจารณาแล้วเห็นสมควรเข้าร่วมในการวิจัยนี้ ขอความกรุณาลงนามในใบ
ยินยอมร่วมโครงการที่แนบมาด้วยนี้ และขอขอบพระคุณในความร่วมมือของท่าน

ลงชื่อ.....

(นางสาวปณิดา ชัยปิ่น)

ค-4 ใบยินยอมเข้าร่วมการวิจัย

หัวข้อวิทยานิพนธ์: การลดกลิ่นถั่วเพื่อปรับปรุงคุณภาพแป้งถั่วอินคาและการใช้

เป็นส่วนผสมในผลิตภัณฑ์อาหารเพื่อสุขภาพ

(REDUCTION OF BEANY FLAVOR FOR SACHA INCHI FLOUR

QUALITY IMPROVEMENT AND UTILIZATION AS INGREDIENT IN

FUNCTIONAL FOOD PRODUCT)

วันที่ให้คำยินยอม วันที่ เดือน..... พ.ศ.

ก่อนที่จะลงนามในใบยินยอมเข้าร่วมการวิจัยนี้ ข้าพเจ้าได้รับการอธิบายจากผู้วิจัยชื่อ นางสาวปณิดา ชัยปิ่น ถึงวัตถุประสงค์ของการวิจัย วิธีการวิจัย ประโยชน์ที่จะเกิดขึ้นจากการวิจัย อย่างละเอียดและมีความเข้าใจดีแล้ว ข้าพเจ้ายินดีเข้าร่วมโครงการวิจัยนี้ด้วยความสมัครใจ และ ข้าพเจ้ามีสิทธิที่จะบอกเลิกการเข้าร่วมในโครงการวิจัยนี้เมื่อใดก็ได้ และการบอกเลิกการเข้าร่วม การวิจัยนี้ จะไม่มีผลกระทบใด ๆ ต่อข้าพเจ้า

ผู้วิจัยรับรองว่าจะตอบคำถามต่าง ๆ ที่ข้าพเจ้าสงสัยด้วยความเต็มใจไม่ปิดบัง จนข้าพเจ้า พอใจ ข้อมูลเฉพาะเกี่ยวกับตัวข้าพเจ้าจะถูกเก็บเป็นความลับและจะเปิดเผยในภาพรวมที่เป็น การสรุปผลการวิจัย

ข้าพเจ้าได้อ่านข้อความข้างต้นแล้ว และมีความเข้าใจดีทุกประการ และได้ลงนามใน ใบยินยอมนี้ด้วยความเต็มใจ

ลงนาม.....ผู้ยินยอม

(.....)

ลงนาม.....พยาน

(.....)

ลงนาม.....ผู้ทำวิจัย

(.....)

ค-5 การฝึกฝนผู้ทดสอบประเมินกลิ่นถั่ว

การคัดเลือก

คัดเลือกผู้ทดสอบที่เป็นนิสิตระดับปริญญาตรีและปริญญาโท ภาควิชาวิทยาศาสตร์การอาหาร มหาวิทยาลัยบูรพา โดยคัดเลือกจากการสอบถามเกี่ยวกับการแพ้อาหาร และการแพ้อาหารที่มีส่วนประกอบของถั่ว เช่น ขนมหั่วตัด นมถั่วเหลือง เป็นต้น หากบุคคลใดมีอาการแพ้ หรือไม่แน่ใจว่าแพ้อาหารหรือไม่ จะไม่เลือกมาเป็นกลุ่มตัวอย่าง

การฝึกฝน

นำแป้งถั่วดาวอินคาที่ไม่ผ่านการลดกลิ่นถั่วเป็นตัวอย่างอ้างอิง โดยฝึกฝนให้ผู้ทดสอบสามารถจดจำกลิ่นถั่ว (Beany flavor) ได้อย่างชัดเจน โดยควบคุมวิธีการดมให้เป็นรูปแบบเดียวกัน เมื่อผู้ทดสอบจดจำกลิ่นถั่วได้อย่างชัดเจนแล้วจะฝึกฝนการใช้สเกล โดยกำหนดระดับความเข้มกลิ่นถั่ว และคำแนะนำเกี่ยวกับค่าของคะแนนความเข้มกลิ่นถั่ว ดังนี้

- 0 หมายถึง ไม่มีความเข้มกลิ่นถั่ว
- 1 หมายถึง ความเข้มกลิ่นถั่วน้อยที่สุด
- 2 หมายถึง ความเข้มกลิ่นถั่วน้อย
- 3 หมายถึง ความเข้มกลิ่นถั่วปานกลาง
- 4 หมายถึง ความเข้มกลิ่นถั่วมาก
- 5 หมายถึง ความเข้มกลิ่นถั่วมากที่สุด

ทำการฝึกฝนการใช้สเกลจนกระทั่งผู้ทดสอบสามารถปรับความรู้สึกการรับกลิ่นถั่วของแต่ละคนให้ตรงกัน ให้เปรียบเสมือนกับเครื่องมีวัด เมื่อผู้ทดสอบผ่านการฝึกฝนสำเร็จจนสามารถปรับความรู้สึกของแต่ละคนในการให้คะแนนความเข้มกลิ่นถั่วใกล้เคียงกันแล้ว (โดยค่า SD ไม่เกิน 1 จึงถือว่าผู้ทดสอบทั้งหมดรู้สึกใกล้เคียงกันแล้ว) ให้ผู้ทดสอบทุกคนมีความเข้าใจในระดับความเข้มที่เท่ากัน และจดจำไว้เพื่อนำไปใช้ในการประเมินตัวอย่างต่อไป

การประเมินตัวอย่าง

ดำเนินการในห้องทดสอบทางประสาทสัมผัส ภาควิชาวิทยาศาสตร์การอาหาร ทำได้โดยให้ผู้ทดสอบที่ผ่านการฝึกฝนแต่ละคนประเมินความเข้มกลิ่นถั่วภายในบูท (Booth) ของตนเอง โดยผู้ทดสอบจะได้รับตัวอย่างที่ละ 1 ตัวอย่าง หลังจากนั้นจึงจะได้รับตัวอย่างต่อไป ทำการดมตัวอย่างแล้วให้คะแนนความเข้มของกลิ่นถั่ว โดยการให้คะแนนตั้งแต่ 0 ถึง 5 คะแนนตามคำแนะนำที่กำหนดไว้

ค-6 แบบประเมินทางประสาทสัมผัส วิธี scoring test (กลิ่นถั่ว)

ลำดับที่ของผู้ทดสอบ.....

วันที่ทดสอบ.....

ผลิตภัณฑ์.....

คำชี้แจง กรุณาทดสอบตัวอย่างจากซ้ายไปขวาและให้คะแนนความเข้มของกลิ่นถั่ว โดยใส่เครื่องหมาย \surd ลงในช่องว่าง

กำหนดให้ 0 หมายถึง ไม่มีกลิ่นถั่ว

5 หมายถึง มีกลิ่นถั่วเข้มมากที่สุด

รหัสตัวอย่าง	.....	.....	.....	.....	.....	.....
0 = ไม่มีกลิ่นถั่ว	.....	.....	.....	.....	.....	.....
1 = เข้มน้อยที่สุด	.....	.....	.....	.....	.....	.....
2 = เข้มน้อย	.....	.....	.....	.....	.....	.....
3 = เข้มปานกลาง	.....	.....	.....	.....	.....	.....
4 = เข้มมาก	.....	.....	.....	.....	.....	.....
5 = เข้มมากที่สุด	.....	.....	.....	.....	.....	.....

ข้อเสนอแนะ

.....

ขอขอบพระคุณในความร่วมมือของท่าน

ค-7 การฝึกฝนผู้ทดสอบประเมินกลิ่นหืน

การคัดเลือก

คัดเลือกผู้ทดสอบที่เป็นนิสิตระดับปริญญาตรีและปริญญาโท ภาควิชาวิทยาศาสตร์การอาหาร มหาวิทยาลัยบูรพา โดยคัดเลือกจากการสอบถามเกี่ยวกับการแพ้อาหาร และการแพ้อาหารที่มีส่วนประกอบของถั่ว เช่น ขนมหั่วตัด นมถั่วเหลือง เป็นต้น หากบุคคลใดมีอาการแพ้ หรือไม่แน่ใจว่าแพ้หรือไม่ จะไม่เลือกมาเป็นกลุ่มตัวอย่าง

การฝึกฝน

เตรียมตัวอย่างน้ำมันที่ให้กลิ่นหืนใช้เป็นตัวอย่างอ้างอิง โดยนำน้ำมันถั่วเหลืองใส่ภาชนะโดยไม่ปิดฝา ตั้งทิ้งไว้จนน้ำมันมีกลิ่นหืน (ประมาณ 1 เดือน) เป็นตัวอย่างอ้างอิง โดยฝึกฝนให้ผู้ทดสอบสามารถจดจำกลิ่นหืน (Rancid flavor) ได้อย่างชัดเจน โดยควบคุมวิธีการดมให้เป็นรูปแบบเดียวกัน เมื่อผู้ทดสอบจดจำกลิ่นหืนได้อย่างชัดเจนแล้วจะฝึกฝนการใช้สเกล โดยกำหนดระดับความเข้มกลิ่นหืน และคำแนะนำเกี่ยวกับค่าของคะแนนความเข้มกลิ่นหืน ดังนี้

- 0 หมายถึง ไม่มีความเข้มกลิ่นหืน
- 1 หมายถึง ความเข้มกลิ่นหืนน้อยที่สุด
- 2 หมายถึง ความเข้มกลิ่นหืนน้อย
- 3 หมายถึง ความเข้มกลิ่นหืนปานกลาง
- 4 หมายถึง ความเข้มกลิ่นหืนมาก
- 5 หมายถึง ความเข้มกลิ่นหืนมากที่สุด

ทำการฝึกฝนการใช้สเกลจนกระทั่งผู้ทดสอบสามารถปรับความรู้สึกการรับกลิ่นหืนของแต่ละคนให้ตรงกัน ให้เปรียบเสมือนกับเครื่องมือวัด เมื่อผู้ทดสอบผ่านการฝึกฝนสำเร็จจนสามารถปรับความรู้สึกของแต่ละคนในการให้คะแนนความเข้มกลิ่นหืนใกล้เคียงกันแล้ว (โดยค่า SD ไม่เกิน 1 จึงถือว่าผู้ทดสอบทั้งหมดรู้สึกใกล้เคียงกันแล้ว) ให้ผู้ทดสอบทุกคนมีความเข้าใจในระดับความเข้มที่เท่ากัน และจดจำไว้เพื่อนำไปใช้ในการประเมินตัวอย่างต่อไป

การประเมินตัวอย่าง

ดำเนินการในห้องทดสอบทางประสาทสัมผัส ภาควิชาวิทยาศาสตร์การอาหาร ทำได้โดยให้ผู้ทดสอบที่ผ่านการฝึกฝนแต่ละคนประเมินความเข้มกลิ่นถั่วภายในคูลา (Booth) ของตนเอง โดยผู้ทดสอบจะได้รับตัวอย่างที่ละ 1 ตัวอย่าง หลังจากนั้นจึงจะได้รับตัวอย่างต่อไป ทำการดมตัวอย่างแล้วให้คะแนนความเข้มของกลิ่นถั่ว โดยการให้คะแนน 0 หมายถึง ไม่มีกลิ่นถั่ว และ 5 หมายถึง มีความเข้มกลิ่นถั่วมากที่สุด

ค-8 แบบประเมินทางประสาทสัมผัส วิธี scoring test (กลิ่นหืน)

ลำดับที่ของผู้ทดสอบ.....

วันที่ทดสอบ.....

ผลิตภัณฑ์.....

คำชี้แจง กรุณาทดสอบตัวอย่างจากซ้ายไปขวาและให้คะแนนความเข้มของกลิ่นหืน โดยใส่เครื่องหมาย \surd ลงในช่องว่าง

กำหนดให้ 0 หมายถึง ไม่มีกลิ่นหืน

5 หมายถึง มีกลิ่นหืนเข้มมากที่สุด

รหัสตัวอย่าง	.....	.....	.....	.....	.....	.....
0 = ไม่มีกลิ่นหืน	.....	.....	.....	.....	.....	.....
1 = เข้มน้อยที่สุด	.....	.....	.....	.....	.....	.....
2 = เข้มน้อย	.....	.....	.....	.....	.....	.....
3 = เข้มปานกลาง	.....	.....	.....	.....	.....	.....
4 = เข้มมาก	.....	.....	.....	.....	.....	.....
5 = เข้มมากที่สุด	.....	.....	.....	.....	.....	.....

ข้อเสนอแนะ

.....

.....

.....

.....

ขอขอบพระคุณในความร่วมมือของท่าน

ค-9 แบบประเมินทางประสาทสัมผัส วิธี 9-point hedonic scale (เครื่องคั่วดาวอินคา)

ลำดับที่ของผู้ทดสอบ..... วันที่ทดสอบ.....

ผลิตภัณฑ์...เครื่องคั่วดาวอินคา.....

คำชี้แจง กรุณาทดสอบตัวอย่างจากซ้ายไปขวาและให้คะแนนในด้านสี กลิ่น รสชาติ เนื้อสัมผัส และความชอบโดยรวม ตามเกณฑ์ให้คะแนนดังนี้

กำหนดให้	9 หมายถึง ชอบมากที่สุด	4 หมายถึง ไม่ชอบเล็กน้อย
	8 หมายถึง ชอบมาก	3 หมายถึง ไม่ชอบปานกลาง
	7 หมายถึง ชอบปานกลาง	2 หมายถึง ไม่ชอบมาก
	6 หมายถึง ชอบเล็กน้อย	1 หมายถึง ไม่ชอบมากที่สุด
	5 หมายถึง เฉย ๆ	

รหัสตัวอย่าง	สี	กลิ่น	รสชาติ	เนื้อสัมผัส	ความชอบโดยรวม
.....
.....
.....
.....
.....

คำเสนอแนะ

.....

ขอขอบพระคุณในความร่วมมือของท่าน

ค-10 แบบประเมินทางประสาทสัมผัส วิธี 9-point hedonic scale (ถั่วดาวอินคาสเปรด)

ลำดับที่ของผู้ทดสอบ..... วันที่ทดสอบ.....

ผลิตภัณฑ์...ถั่วดาวอินคาสเปรด.....

คำชี้แจง กรุณาทดสอบตัวอย่างจากซ้ายไปขวาและให้คะแนนในด้านสี กลิ่น รสชาติ เนื้อสัมผัส การทานขนมนมปั่น และความชอบโดยรวม ตามเกณฑ์ให้คะแนนดังนี้

กำหนดให้	9 หมายถึง ชอบมากที่สุด	4 หมายถึง ไม่ชอบเล็กน้อย
	8 หมายถึง ชอบมาก	3 หมายถึง ไม่ชอบปานกลาง
	7 หมายถึง ชอบปานกลาง	2 หมายถึง ไม่ชอบมาก
	6 หมายถึง ชอบเล็กน้อย	1 หมายถึง ไม่ชอบมากที่สุด
	5 หมายถึง เฉย ๆ	

รหัส ตัวอย่าง	การทาน ขนมนมปั่น*	สี	กลิ่น	รสชาติ	เนื้อสัมผัส	ความชอบ โดยรวม
.....
.....
.....
.....
.....

*คำแนะนำ: ทานขนมนมปั่นที่เสนอให้

คำเสนอแนะ

.....

ขอขอบพระคุณในความร่วมมือของท่าน

ภาคผนวก ง

การวิเคราะห์คุณภาพทางด้านจลนศาสตร์

ง-1 การวิเคราะห์ปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด โดยวิธีนับจำนวนโคโลนีบนอาหารเลี้ยงเชื้อ สำเร็จรูป (BAM, 2003)

วัสดุและสารเคมี

- 1) อาหารเลี้ยงเชื้อสำเร็จรูปตรวจเชื้อจุลินทรีย์ทั้งหมด (Compact Dry TC, Nissui Pharmaceutical, Japan)
- 2) เปปโตน วอเตอร์ (Peptone Water, Merck Darmstadt, Germany)

เครื่องมือและอุปกรณ์

- 1) เครื่องตีผสม (Stomacher, Stomacher 400, Seaward Meduca Limited, England)
- 2) ตู้บ่มเชื้อ (Incubator, INE 300 39L, Memmert, England)
- 3) อุปกรณ์สำหรับการวิเคราะห์จุลินทรีย์

การเตรียมตัวอย่างและการวิเคราะห์

- 1) ชั่งตัวอย่างผงอาหาร 25 กรัม ใส่ลงในถุงพลาสติกที่ปลอดเชื้อ แล้วเติม Peptone Water 225 มิลลิลิตร นำเข้าเครื่องตีผสมนาน 1 นาที จะได้สารละลายตัวอย่างที่มีความเจือจาง 10^{-1}
- 2) ปิ่เปิดสารละลายตัวอย่างจากข้อ 1. มา 1 มิลลิลิตร ใส่ลงในหลอดที่บรรจุสารละลาย Peptone Water 9 มิลลิลิตร ผสมให้เข้ากันจะได้สารละลายตัวอย่างที่มีความเจือจาง 10^{-2}
- 3) เจือจางสารละลายตัวอย่างเช่นเดียวกับข้อ 2 จนได้ความเจือจาง 10^{-3}
- 4) ปิ่เปิดสารละลายตัวอย่างที่มีความเจือจาง 10^{-1} มา 1 มิลลิลิตร ใส่ลงในอาหารเลี้ยงเชื้อสำเร็จรูป แล้วรีบปิดฝาภาชนะอาหารเลี้ยงเชื้อสำเร็จรูป
- 5) ทำเช่นเดียวกับข้อที่ 4 จนครบสารละลายตัวอย่างที่มีความเจือจาง 10^{-2} และ 10^{-3}
- 6) นำไปบ่มเชื้อที่อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 48 ชั่วโมง
- 7) การตรวจนับจำนวนโคโลนีจากอาหารเลี้ยงเชื้อ ทำได้โดยนับจำนวนโคโลนีสีแดงทั้งหมดแล้วหาค่าเฉลี่ยจำนวนโคโลนีในแต่ละความเจือจาง และรายงานผลเป็นจำนวนโคโลนีต่อตัวอย่าง 1 กรัม ที่ความเจือจางต่ำที่สุด (Yousef & Carlstrom, 2003) ได้ตามสูตร ดังนี้

$$\text{โคโลนีต่อตัวอย่าง 1 กรัม (CFU/1 g)} = n \times df$$

เมื่อ n คือ จำนวนโคโลนีเฉลี่ยที่ความเจือจางต่ำที่สุด

Df คือ Dilution Factor หรือ ส่วนกลับของความเจือจางของตัวอย่างที่นำมาเพาะเชื้อในภาชนะที่หาค่า n ได้

7.1 หากทุกความเจือจางมีจำนวนโคโลนีอยู่ในช่วง1-15 โคโลนี ให้รายงานผลการตรวจนับโคโลนีที่ความเจือจางต่ำที่สุด ในรูปของโคโลนีต่อตัวอย่าง 1 กรัม และให้เขียนคำว่า est. ต่อท้าย

7.2 หากไม่ตรวจพบจำนวนโคโลนีเลยในจำนวน3 ซ้ำ ให้รายงานว่า $<1.0 \times$ (dilution ที่ความเจือจางต่ำที่สุด)

7.3 หากจำนวนโคโลนีเกิน 300 โคโลนีไม่มากนักให้นับจำนวนโคโลนีทั้งหมดที่พบในความเจือจางสูงสุดคำนวณเป็นค่าเฉลี่ยและรายงานผลเป็นค่าโดยประมาณแบบที่เรียกทั้งหมด

ถ้าตรวจพบจำนวนโคโลนีมากกว่า 300 โคโลนีเกิน 10 โคโลนีต่อพื้นที่ 1 เซนติเมตร ให้นับจำนวนโคโลนีที่พบใน 1 ตารางเซนติเมตร (โดยแบ่งเป็นช่องขนาด 1 ตารางเซนติเมตรแล้ว นับจำนวนโคโลนีที่อยู่ในช่องนั้นจำนวน 13 ช่องแบบสุ่ม) รวมจำนวนโคโลนีโดยประมาณ (โคโลนีต่ออาหาร 1 กรัม) ของตัวอย่างนั้น

ถ้าจำนวนโคโลนีเกิน 300 โคโลนีมากจนไม่สามารถนับได้ให้รายงานว่า “TNTC” (Too Numerous To Count) และต้องเตรียมตัวอย่างให้มีระดับความเจือจางที่เหมาะสมสำหรับการวิเคราะห์ครั้งต่อไป

ง-2 การวิเคราะห์ปริมาณยีสต์และรา โดยวิธีการนับจำนวนโคโลนีบนอาหารเลี้ยงเชื้อสำเร็จรูป (BAM, 2003)

วัสดุและสารเคมี

- 1) อาหารเลี้ยงเชื้อสำเร็จรูปตรวจเชื้อยีสต์และรา (Compact Dry YM, Nissui Pharmaceutical, Japan)
- 2) เปปโตน วอเตอร์ (Peptone Water, Merck Darmstadt, Germany)

เครื่องมือและอุปกรณ์

- 1) เครื่องตีผสม (Stomacher, Stomacher 400, Seaward Meduca Limited, England)
- 2) ตู้บ่มเชื้อ (Incubator, INE 300 39L, Memmert, England)
- 3) อุปกรณ์สำหรับการวิเคราะห์จุลินทรีย์

การเตรียมตัวอย่างและการวิเคราะห์

- 1) ทำวิธีเดียวกันกับภาคผนวกที่ง-1 ในข้อที่ 1-5
- 2) นำไปบ่มเชื้อที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 วัน
- 3) การตรวจนับจำนวนโคโลนีจากอาหารเลี้ยงเชื้อ ทำได้โดยนับจำนวนโคโลนีสีฟ้า

เขียวอ่อน (Light Bluish Green) ทั้งหมดแล้วหาค่าเฉลี่ยจำนวนโคโลนีในแต่ละความเจือจางและรายงานผลเป็นจำนวนโคโลนีต่อตัวอย่าง 1 กรัม ที่ความเจือจางต่ำที่สุด เช่นเดียวกับภาคผนวก ง-1 ยกเว้นกรณี หากจำนวนโคโลนีเกิน 150 โคโลนีไม่มากนักให้นับจำนวนโคโลนีทั้งหมดที่พบในความเจือจางสูงสุดคำนวณเป็นค่าเฉลี่ยและรายงานผลเป็นค่าโดยประมาณแบบที่เรียกทั้งหมด

ถ้าตรวจพบจำนวนโคโลนีมากกว่า 150 โคโลนีเกิน 10 โคโลนีต่อพื้นที่ 1 เซนติเมตร ให้นับจำนวนโคโลนีที่พบใน 1 ตารางเซนติเมตร (โดยแบ่งเป็นช่องขนาด 1 ตารางเซนติเมตรแล้วนับจำนวนโคโลนีที่อยู่ในช่องนั้นจำนวน 13 ช่องแบบสุ่ม) รวมจำนวนโคโลนีโดยประมาณ (โคโลนีต่ออาหาร 1 กรัม) ของตัวอย่างนั้น

ถ้าจำนวนโคโลนีเกิน 150 โคโลนีมากจนไม่สามารถนับได้ให้รายงานว่า “TNTC” (Too Numerous To Count) และต้องเตรียมตัวอย่างให้มีระดับความเจือจางที่เหมาะสมสำหรับการวิเคราะห์ครั้งต่อไป

ภาคผนวก จ
ผลการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

ตารางภาคผนวก จ-1 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนปริมาณความชื้นของแป้งถั่วดาวอินคาจาก
สิ่งทดลองที่แปรเวลาการให้ความร้อนด้วยไมโครเวฟร่วมกับอุณหภูมิการให้ความ
ความร้อนด้วยตู้อบลมร้อนและเวลาการให้ความร้อนด้วยตู้อบลมร้อน

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F-Value	P-Value
Treatment	14	51.665	3.690	71.19	0.000 ^{sig}
Error	30	1.555	0.052		
Total	44	53.220			

^{sig} หมายถึง แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

ตารางภาคผนวก จ-2 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนค่าสี L* ของแป้งถั่วดาวอินคาจากสิ่งทดลอง
ที่แปรเวลาการให้ความร้อนด้วยไมโครเวฟร่วมกับอุณหภูมิการให้ความร้อน
ด้วยตู้อบลมร้อนและเวลาการให้ความร้อนด้วยตู้อบลมร้อน

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F-Value	P-Value
Treatment	14	15.786	1.128	56.06	0.000 ^{sig}
Error	30	0.603	0.020		
Total	44	16.389			

^{sig} หมายถึง แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

ตารางภาคผนวก จ-3 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนค่าสี a* ของแป้งถั่วดาวอินคาจากสิ่งทดลอง
ที่แปรเวลาการให้ความร้อนด้วยไมโครเวฟร่วมกับอุณหภูมิการให้ความร้อน
ด้วยตู้อบลมร้อนและเวลาการให้ความร้อนด้วยตู้อบลมร้อน

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F-Value	P-Value
Treatment	14	0.619	0.044	63.55	0.000 ^{sig}
Error	30	0.0021	0.001		
Total	44	0.640			

^{sig} หมายถึง แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

ตารางภาคผนวก จ-4 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนค่าสี b* ของแป้งถั่วดาวอินคาจากสิ่งทดลอง
ที่แปรเวลาการให้ความร้อนด้วยไมโครเวฟร่วมกับอุณหภูมิการให้ความร้อน
ด้วยตู้อบลมร้อนและเวลาการให้ความร้อนด้วยตู้อบลมร้อน

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F-Value	P-Value
Treatment	14	6.894	0.492	133.32	0.000 ^{sig}
Error	30	0.111	0.004		
Total	44	7.005			

^{sig} หมายถึง แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p<0.05)

ตารางภาคผนวก จ-5 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนค่า Whiteness ของแป้งถั่วดาวอินคาจาก
สิ่งทดลองที่ แปรเวลาการให้ความร้อนด้วยไมโครเวฟร่วมกับอุณหภูมิการให้
ความร้อนด้วยตู้อบลมร้อนและเวลาการให้ความร้อนด้วยตู้อบลมร้อน

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F-Value	P-Value
Treatment	14	20.372	1.455	157.93	0.000 ^{sig}
Error	30	0.276	0.009		
Total	44	20.648			

^{sig} หมายถึง แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p<0.05)

ตารางภาคผนวก จ-6 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนกิจกรรมของเอนไซม์ Lipoxygenase ของ
 แป้งถั่วคาวินคาจากสิ่งทดลองที่แปรเวลาการให้ความร้อนด้วยไมโครเวฟ
 ร่วมกับอุณหภูมิการให้ความร้อนด้วยตู้อบลมร้อนและเวลาการให้ความร้อน
 ด้วยตู้อบลมร้อน

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F-Value	P-Value
Treatment	14	7840031	560002	1938.47	0.000 ^{sig}
Error	30	8667	289		
Total	44	7848698			

^{sig} หมายถึง แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

ตารางภาคผนวก จ-7 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนคะแนนความเข้มข้นถั่วของแป้งถั่ว
 คาวินคาจากสิ่งทดลองที่แปรเวลาการให้ความร้อนด้วยไมโครเวฟร่วมกับ
 อุณหภูมิการให้ความร้อนด้วยตู้อบลมร้อนและเวลาการให้ความร้อนด้วย
 ตู้อบลมร้อน

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F-Value	P-Value
Treatment	14	168.09	12.007	37.43	0.000 ^{sig}
Error	135	43.30	0.3207		
Total	149	211.39			

^{sig} หมายถึง แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

ตารางภาคผนวก จ-8 ผลการวิเคราะห์สมการถดถอยแบบพหุ ปริมาณความชื้นของแป้งถั่ว
ดาวอินคาจากสิ่งทดลองที่แปรเวลาการให้ความร้อนด้วยไมโครเวฟร่วมกับ
อุณหภูมิการให้ความร้อนด้วยตู้อบลมร้อนและเวลาการให้ความร้อนด้วย
ตู้อบลมร้อน

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F-Value	P-Value
Model	9	16.813	1.868	39.94	0.000
Linear	3	16.611	5.537	118.39	0.000
X_1	1	15.202	15.202	325.05	0.000
X_2	1	1.001	1.001	21.41	0.001
X_3	1	0.408	0.408	8.72	0.014
Square	3	0.137	0.046	0.98	0.441
$X_1 * X_1$	1	0.108	0.108	2.30	0.160
$X_2 * X_2$	1	0.006	0.006	0.14	0.720
$X_3 * X_3$	1	0.040	0.040	0.86	0.376
2-Way Interaction	3	0.064	0.021	0.46	0.716
$X_1 * X_2$	1	0.019	0.019	0.41	0.538
$X_1 * X_3$	1	0.010	0.010	0.22	0.646
$X_2 * X_3$	1	0.035	0.035	0.75	0.407
Error	5	0.468	0.047		
Total	14	17.281			

ตารางภาคผนวก จ-9 ผลการวิเคราะห์สมการถดถอยแบบพหุค่า Whiteness ของแป้งถั่วดาวอินคา จากสิ่งทดลองที่แปรเวลาการให้ความร้อนด้วยไมโครเวฟร่วมกับอุณหภูมิ การให้ความร้อนด้วยตู้อบลมร้อนและเวลาการให้ความร้อนด้วยตู้อบลมร้อน

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F-Value	P-Value
Model	9	5.642	0.627	3.40	0.035
Linear	3	1.572	0.524	2.85	0.092
X_1	1	0.468	0.468	2.54	0.142
X_2	1	1.104	1.104	5.99	0.034
X_3	1	0.000	0.000	0.00	0.958
Square	3	2.916	0.972	5.28	0.019
$X_1 * X_1$	1	0.145	0.145	0.79	0.396
$X_2 * X_2$	1	0.538	0.538	2.92	0.118
$X_3 * X_3$	1	2.226	2.226	12.08	0.006
2-Way Interaction	3	1.154	0.384	2.09	0.166
$X_1 * X_2$	1	0.231	0.231	1.26	0.289
$X_1 * X_3$	1	0.011	0.011	0.06	0.810
$X_2 * X_3$	1	0.911	0.911	4.95	0.050
Error	5	1.842	0.184		
Total	14	7.484			

ตารางภาคผนวก จ-10 ผลการวิเคราะห์สมการถดถอยแบบพหุกิจกรรมของเอนไซม์ Lipoxygenase ของแป้งถั่วดาวอินคาจากสิ่งทดลองที่แปรเวลาการให้ความร้อนด้วยไมโครเวฟร่วมกับอุณหภูมิการให้ความร้อนด้วยตู้อบลมร้อนและเวลาการให้ความร้อนด้วยตู้อบลมร้อน

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F-Value	P-Value
Model	9	2808491	312055	69.94	0.000
Linear	3	2012568	670856	150.35	0.000
X_1	1	1878365	1878365	420.98	0.000
X_2	1	116228	116228	26.05	0.000
X_3	1	17975	17975	4.03	0.073
Square	3	710241	236747	53.06	0.000
$X_1 * X_1$	1	708632	708632	158.82	0.000
$X_2 * X_2$	1	9793	9793	2.19	0.169
$X_3 * X_3$	1	14829	14829	3.32	0.098
2-Way Interaction	3	85682	28561	6.40	0.011
$X_1 * X_2$	1	81608	81608	18.29	0.002
$X_1 * X_3$	1	4050	4050	0.91	0.363
$X_2 * X_3$	1	24	24	0.01	0.942
Error	5	44619	4462		
Total	14	2853109			

ตารางภาคผนวก จ-11 ผลการวิเคราะห์สมการถดถอยแบบพหุ คະແນວຄວາມເຂັ້ມຄົນຄັ້ງຂອງແປ້ງຄັ້ງ
 คาวอินคาจากสิ่งทดลองที่แปรเวลาการให้ความร้อนด้วยไมโครเวฟร่วมกับ
 อุณหภูมิการให้ความร้อนด้วยตู้อบลมร้อนและเวลาการให้ความร้อนด้วย
 ตู้อบลมร้อน

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F-Value	P-Value
Model	9	15.641	1.738	13.61	0.000
Linear	3	14.668	4.889	38.28	0.000
X_1	1	12.082	12.082	94.61	0.000
X_2	1	1.905	1.905	14.91	0.003
X_3	1	0.681	0.681	5.33	0.044
Square	3	0.928	0.309	2.42	0.126
$X_1 * X_1$	1	0.674	0.674	5.28	0.044
$X_2 * X_2$	1	0.150	0.150	1.17	0.305
$X_3 * X_3$	1	0.047	0.047	0.37	0.557
2-Way Interaction	3	0.045	0.015	0.12	0.948
$X_1 * X_2$	1	0.045	0.045	0.35	0.566
$X_1 * X_3$	1	0.000	0.000	0.00	1.000
$X_2 * X_3$	1	0.000	0.000	0.00	1.000
Error	5	1.277	0.128		
Total	14	16.918			

ตารางภาคผนวก จ-12 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนปริมาณความชื้นของแป้งถั่วดาวอินคาที่ไม่ผ่านและผ่านการลดกลิ่นถั่วโดยการใช้ความร้อนตามสภาวะที่เลือกไว้

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F-Value	P-Value
Treatment	5	19.030	3.806	242.56	0.000 ^{sig}
Error	12	0.188	0.016		
Total	17	19.218			

^{sig} หมายถึง แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

ตารางภาคผนวก จ-13 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนค่า Whiteness ของแป้งถั่วดาวอินคาที่ไม่ผ่านและผ่านการลดกลิ่นถั่วโดยการใช้ความร้อนตามสภาวะที่เลือกไว้

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F-Value	P-Value
Treatment	5	16.953	3.390	363.29	0.000 ^{sig}
Error	12	0.112	0.009		
Total	17	17.065			

^{sig} หมายถึง แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

ตารางภาคผนวก จ-14 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนกิจกรรมของเอนไซม์ Lipoxygenase ของแป้งถั่วดาวอินคาที่ไม่ผ่านและผ่านการลดกลิ่นถั่วโดยการใช้ความร้อนตามสภาวะที่เลือกไว้

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F-Value	P-Value
Treatment	5	465933	931867	5410.84	0.000 ^{sig}
Error	12	2067	172		
Total	17	4661400			

^{sig} หมายถึง แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

ตารางภาคผนวก จ-15 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนคะแนนความเข้มข้นของแป้งข้าว
ดาวอินคาที่ไม่ผ่านและผ่านการลดกลิ่นข้าวโดยการใช้ความร้อนตามสภาวะ
ที่เลือกไว้

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F-Value	P-Value
Treatment	5	64.68	12.937	32.49	0.000 ^{sig}
Error	54	21.50	0.398		
Total	59	86.18			

^{sig} หมายถึง แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

ตารางภาคผนวก จ-16 การกำหนดค่าในการหาฟังก์ชันความพึงพอใจ (Desirability Function)
เพื่อหาสภาวะการลดกลิ่นข้าวที่เหมาะสมที่สุดโดยการใช้ความร้อนด้วย
ไมโครเวฟร่วมกับตู้อบลมร้อน

Response	Goal	Lower	Target	Upper	Weight	Importance
Odour	Minimum		0.80	4.3	1	1
LOX	Minimum		73.00	1367.0	1	1
Whiteness	Maximum	73.56	76.03		1	1
Moisture	Minimum		2.94	6.1	1	1

ตารางภาคผนวก จ-17 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนปริมาณความชื้นของแป้งข้าวอินคาที่
ไม่ผ่านและผ่านการลดกลิ่นข้าวโดยการใช้สารเคมี

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F-Value	P-Value
Treatment	9	13.616	1.513	151.54	0.000 ^{sig}
Error	20	0.200	0.010		
Total	29	13.815			

^{sig} หมายถึง แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

ตารางภาคผนวก จ-18 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนค่าสี L* ของแป้งถั่วดาวอินคาที่ไม่ผ่านและผ่านการลดกลิ่นถั่วโดยการใช้สารเคมี

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F-Value	P-Value
Treatment	9	342.826	38.092	17883.49	0.000 ^{sig}
Error	20	0.043	0.002		
Total	29	342.869			

^{sig} หมายถึง แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p<0.05)

ตารางภาคผนวก จ-19 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนค่าสี a* ของแป้งถั่วดาวอินคาที่ไม่ผ่านและผ่านการลดกลิ่นถั่วโดยการใช้สารเคมี

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F-Value	P-Value
Treatment	9	21.170	2.352	2735.20	0.000 ^{sig}
Error	20	0.017	0.001		
Total	29	21.188			

^{sig} หมายถึง แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p<0.05)

ตารางภาคผนวก จ-20 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนค่าสี b* ของแป้งถั่วดาวอินคาที่ไม่ผ่านและผ่านการลดกลิ่นถั่วโดยการใช้สารเคมี

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F-Value	P-Value
Treatment	9	200.201	22.245	11486.03	0.000 ^{sig}
Error	20	0.039	0.002		
Total	29	200.240			

^{sig} หมายถึง แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p<0.05)

ตารางภาคผนวก จ-21 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนค่า Whitensee ของแป้งถั่วดาวอินคาที่
ไม่ผ่านและผ่านการลดกลิ่นถั่วโดยการใส่สารเคมี

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F-Value	P-Value
Treatment	9	93.970	10.441	4442.81	0.000 ^{sig}
Error	20	0.047	0.002		
Total	29	94.017			

^{sig} หมายถึง แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

ตารางภาคผนวก จ-22 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนกิจกรรมของเอนไซม์ Lipoxygenase ของ
แป้งถั่วดาวอินคาที่ไม่ผ่านและผ่านการลดกลิ่นถั่วโดยการใส่สารเคมี

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F-Value	P-Value
Treatment	9	5715563	635063	1082.49	0.000 ^{sig}
Error	20	11733	587		
Total	29	5727297			

^{sig} หมายถึง แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

ตารางภาคผนวก จ-23 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนคะแนนความเข้มกลิ่นถั่วของแป้งถั่ว
ดาวอินคาที่ไม่ผ่านและผ่านการลดกลิ่นถั่วโดยการใส่สารเคมี

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F-Value	P-Value
Treatment	9	149.04	16.560	65.95	0.000 ^{sig}
Error	90	22.60	0.251		
Total	99	171.64			

^{sig} หมายถึง แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

ตารางภาคผนวก จ-24 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนปริมาณความชื้นของแป้งถั่วดาวอินคาที่
ไม่ผ่านและผ่านการลดกลิ่นถั่วโดยการให้ความร้อนด้วยไมโครเวฟร่วมกับ
ตู้อบลมร้อนและการแช่ในสารละลายกรดซัลฟิวริก 0.5%

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F-Value	P-Value
Treatment	2	32.669	16.334	575.84	0.000 ^{sig}
Error	6	0.170	0.028		
Total	8	32.839			

^{sig} หมายถึง แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

ตารางภาคผนวก จ-25 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนปริมาณโปรตีนของแป้งถั่วดาวอินคาที่
ไม่ผ่าน และผ่านการลดกลิ่นถั่วโดยการให้ความร้อนด้วยไมโครเวฟร่วมกับ
ตู้อบลมร้อนและการแช่ในสารละลายกรดซัลฟิวริก 0.5%

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F-Value	P-Value
Treatment	2	104.998	52.499	258.63	0.000 ^{sig}
Error	6	1.218	0.203		
Total	8	106.216			

^{sig} หมายถึง แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

ตารางภาคผนวก จ-26 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนปริมาณไขมันของแป้งถั่วดาวอินคาที่
ไม่ผ่าน และผ่านการลดกลิ่นถั่วโดยการให้ความร้อนด้วยไมโครเวฟร่วมกับ
ตู้อบลมร้อนและการแช่ในสารละลายกรดซัลฟิวริก 0.5%

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F-Value	P-Value
Treatment	2	1.035	0.518	24.75	0.001 ^{sig}
Error	6	0.126	0.021		
Total	8	1.161			

^{sig} หมายถึง แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

ตารางภาคผนวก จ-27 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนปริมาณกากใยของแป้งถั่วดาวอินคาที่ไม่ผ่านและผ่านการลดกลิ่นถั่วโดยการให้ความร้อนด้วยไมโครเวฟร่วมกับตู้อบลมร้อนและการแช่ในสารละลายกรดซัลฟิวริก 0.5%

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F-Value	P-Value
Treatment	2	0.717	0.358	81.26	0.000 ^{sig}
Error	6	0.026	0.004		
Total	8	0.744			

^{sig} หมายถึง แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

ตารางภาคผนวก จ-28 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนปริมาณเถ้าของแป้งถั่วดาวอินคาที่ไม่ผ่านและผ่านการลดกลิ่นถั่วโดยการให้ความร้อนด้วยไมโครเวฟร่วมกับตู้อบลมร้อนและการแช่ในสารละลายกรดซัลฟิวริก 0.5%

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F-Value	P-Value
Treatment	2	7.907	3.953	1158.73	0.000 ^{sig}
Error	6	0.020	0.003		
Total	8	7.927			

^{sig} หมายถึง แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

ตารางภาคผนวก จ-29 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนปริมาณคาร์โบไฮเดรตของแป้งถั่วดาวอินคาที่ไม่ผ่านและผ่านการลดกลิ่นถั่วโดยการให้ความร้อนด้วยไมโครเวฟร่วมกับตู้อบลมร้อนและการแช่ในสารละลายกรดซัลฟิวริก 0.5%

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F-Value	P-Value
Treatment	2	32.317	16.158	65.11	0.000 ^{sig}
Error	6	1.489	0.248		
Total	8	33.806			

^{sig} หมายถึง แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

ตารางภาคผนวก จ-30 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนปริมาณเส้นใยอาหารทั้งหมดของแป้งถั่ว
ดาวอินคาที่ไม่ผ่านและผ่านการลดกลั่นถั่วโดยการให้ความร้อนด้วย
ไมโครเวฟร่วมกับตู้อบลมร้อนและการแช่ในสารละลายกรดซิตริก 0.5%

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F-Value	P-Value
Treatment	2	145.228	72.614	242.69	0.000 ^{sig}
Error	6	1.795	0.299		
Total	8	147.024			

^{sig} หมายถึง แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

ตารางภาคผนวก จ-31 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดของ
แป้งถั่วดาวอินคาที่ไม่ผ่านและผ่านการลดกลั่นถั่วโดยการให้ความร้อนด้วย
ไมโครเวฟร่วมกับตู้อบลมร้อนและการแช่ในสารละลายกรดซิตริก 0.5%

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F-Value	P-Value
Treatment	2	1335.670	667.835	4796.13	0.000 ^{sig}
Error	6	0.840	0.139		
Total	8	1336.500			

^{sig} หมายถึง แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

ตารางภาคผนวก จ-32 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนสารต้านอนุมูลอิสระ DPPH ของแป้งถั่ว
ดาวอินคาที่ไม่ผ่านและผ่านการลดกลั่นถั่วโดยการให้ความร้อนด้วย
ไมโครเวฟร่วมกับตู้อบลมร้อนและการแช่ในสารละลายกรดซิตริก 0.5%

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F-Value	P-Value
Treatment	2	1138.120	569.059	2376.00	0.000 ^{sig}
Error	6	1.440	0.240		
Total	8	1139.55			

^{sig} หมายถึง แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

ตารางภาคผนวก จ-33 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนสารต้านอนุมูลอิสระ FRAP ของแป้งถั่ว
ดาวอินคาที่ไม่ผ่านและผ่านการลดกลิ่นถั่วโดยการให้ความร้อนด้วย
ไมโครเวฟร่วมกับตู้อบลมร้อนและการแช่ในสารละลายกรดซัลฟิวริก 0.5%

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F-Value	P-Value
Treatment	2	89302.800	44651.400	754.060	0.000 ^{sig}
Error	6	355.300	59.200		
Total	8	89658.100			

^{sig} หมายถึง แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

ตารางภาคผนวก จ-34 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนค่าสี L* ของแป้งถั่วดาวอินคาที่ไม่ผ่านและ
ผ่านการลดกลิ่นถั่วโดยการให้ความร้อนด้วยไมโครเวฟร่วมกับตู้อบลมร้อน
และการแช่ในสารละลายกรดซัลฟิวริก 0.5%

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F-Value	P-Value
Treatment	2	23.261	11.631	9782.870	0.000 ^{sig}
Error	6	0.007	0.001		
Total	8	23.269			

^{sig} หมายถึง แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

ตารางภาคผนวก จ-35 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนค่าสี a* ของแป้งถั่วดาวอินคาที่ไม่ผ่านและ
ผ่านการลดกลิ่นถั่วโดยการให้ความร้อนด้วยไมโครเวฟร่วมกับตู้อบลมร้อน
และการแช่ในสารละลายกรดซัลฟิวริก 0.5%

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F-Value	P-Value
Treatment	2	0.303	0.152	133.760	0.000 ^{sig}
Error	6	0.007	0.001		
Total	8	0.310			

^{sig} หมายถึง แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

ตารางภาคผนวก จ-36 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนค่าสี b^* ของแป้งถั่วดาวอินคาที่ไม่ผ่านและผ่านการลดกลิ่นถั่วโดยการให้ความร้อนด้วยไมโครเวฟร่วมกับตู้อบลมร้อนและการแช่ในสารละลายกรดซิดริก 0.5%

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F-Value	P-Value
Treatment	2	18.876	9.438	5898.840	0.000 ^{sig}
Error	6	0.010	0.002		
Total	8	18.886			

^{sig} หมายถึง แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

ตารางภาคผนวก จ-37 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนค่า Whiteness ของแป้งถั่วดาวอินคาที่ไม่ผ่านและผ่านการลดกลิ่นถั่วโดยการให้ความร้อนด้วยไมโครเวฟร่วมกับตู้อบลมร้อนและการแช่ในสารละลายกรดซิดริก 0.5%

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F-Value	P-Value
Treatment	2	40.205	20.102	40385.480	0.000 ^{sig}
Error	6	0.003	0.000		
Total	8	40.208			

^{sig} หมายถึง แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

ตารางภาคผนวก จ-38 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนค่า Water absorption ของแป้งถั่วดาวอินคาที่ไม่ผ่านและผ่านการลดกลิ่นถั่วโดยการให้ความร้อนด้วยไมโครเวฟร่วมกับตู้อบลมร้อนและการแช่ในสารละลายกรดซิดริก 0.5%

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F-Value	P-Value
Treatment	2	0.539	0.269	50.09	0.000 ^{sig}
Error	6	0.032	0.005		
Total	8	0.571			

^{sig} หมายถึง แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

ตารางภาคผนวก จ-39 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนค่า Oil absorption ของแป้งถั่วดาวอินคาที่ไม่ผ่านและผ่านการลดกลิ่นถั่วโดยการให้ความร้อนด้วยไมโครเวฟร่วมกับตู้อบลมร้อนและการแช่ในสารละลายกรดซิตริก 0.5%

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F-Value	P-Value
Treatment	2	1.677	0.836	478.480	0.000 ^{sig}
Error	6	0.010	0.002		
Total	8	1.688			

^{sig} หมายถึง แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

ตารางภาคผนวก จ-40 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนค่า Emulsion activity ของแป้งถั่วดาวอินคาที่ไม่ผ่านและผ่านการลดกลิ่นถั่วโดยการให้ความร้อนด้วยไมโครเวฟร่วมกับตู้อบลมร้อนและการแช่ในสารละลายกรดซิตริก 0.5%

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F-Value	P-Value
Treatment	2	76.289	38.144	154.780	0.000 ^{sig}
Error	6	1.479	0.246		
Total	8	77.767			

^{sig} หมายถึง แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

ตารางภาคผนวก จ-41 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนค่า Emulsion stability ของแป้งถั่วดาวอินคาที่ไม่ผ่านและผ่านการลดกลิ่นถั่วโดยการให้ความร้อนด้วยไมโครเวฟร่วมกับตู้อบลมร้อนและการแช่ในสารละลายกรดซิตริก 0.5%

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F-Value	P-Value
Treatment	2	8.695	4.348	19.520	0.002 ^{sig}
Error	6	1.337	0.223		
Total	8	10.032			

^{sig} หมายถึง แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

ตารางภาคผนวก จ-42 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนค่า Swelling properties ของแป้งถั่ว
ดาวอินคาที่ไม่ผ่านและผ่านการลดกลั่นถั่วโดยการให้ความร้อนด้วย
ไมโครเวฟร่วมกับตู้อบลมร้อน และการแช่ในสารละลายกรดซัลฟิวริก 0.5%

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F-Value	P-Value
Treatment	2	0.875	0.438	12.23	0.008 ^{sig}
Error	6	0.215	0.036		
Total	8	1.090			

^{sig} หมายถึง แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

ตารางภาคผนวก จ-43 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนค่าสี L* ของเครื่องคัมน้ำนมถั่วดาวอินคา
สูตรน้ำตาลต่ำที่แปรปริมาณแป้งถั่วดาวอินคาที่ผ่านการลดกลั่นถั่วโดย
การใช้ความร้อน

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F-Value	P-Value
Treatment	3	166.520	55.507	36397.880	0.000 ^{sig}
Error	8	0.012	0.001		
Total	11	166.532			

^{sig} หมายถึง แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

ตารางภาคผนวก จ-44 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนค่าสี a* ของเครื่องคัมน้ำนมถั่วดาวอินคา
สูตรน้ำตาลต่ำที่แปรปริมาณแป้งถั่วดาวอินคาที่ผ่านการลดกลั่นถั่วโดย
การใช้ความร้อน

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F-Value	P-Value
Treatment	3	4.066	1.355	4928.690	0.000 ^{sig}
Error	8	0.002	0.000		
Total	11	4.068			

^{sig} หมายถึง แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

ตารางภาคผนวก จ-45 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนค่าสี b* ของเครื่องต้มนํ้านมถั่วดาวอินคา
สูตรนํ้าตาลต่ำที่แปรปริมาณแป้งถั่วดาวอินคาที่ผ่านการลดกลั่นถั่วโดย
การใช้ความร้อน

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F-Value	P-Value
Treatment	3	56.281	18.760	10981.620	0.000 ^{sig}
Error	8	0.014	0.002		
Total	11	56.294			

^{sig} หมายถึง แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p<0.05)

ตารางภาคผนวก จ-46 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนค่าความหนืดของเครื่องต้มนํ้านมถั่ว
ดาวอินคาสูตรนํ้าตาลต่ำที่แปรปริมาณแป้งถั่วดาวอินคาที่ผ่านการลดกลั่นถั่ว
โดยการใช้ความร้อน

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F-Value	P-Value
Treatment	3	5055.260	1685.090	258.480	0.000 ^{sig}
Error	8	52.150	6.520		
Total	11	5107.410			

^{sig} หมายถึง แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p<0.05)

ตารางภาคผนวก จ-47 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนค่าการแยกตัวของเหลวของเครื่องต้มนํ้านม
ถั่วดาวอินคาสูตรนํ้าตาลต่ำที่แปรปริมาณแป้งถั่วดาวอินคาที่ผ่านการล
ดกลั่นถั่วโดยการใช้ความร้อน

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F-Value	P-Value
Treatment	3	92.204	30.735	106.140	0.000 ^{sig}
Error	8	2.317	0.290		
Total	11	94.521			

^{sig} หมายถึง แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p<0.05)

ตารางภาคผนวก จ-48 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดของ เครื่องคัมน้ำนมถั่วดาวอินคาสูตรน้ำตาลต่ำที่แปรปริมาณแป้งถั่วดาวอินคาที่ ผ่านการลดกลิ่นถั่วโดยการใช้ความร้อน

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F-Value	P-Value
Treatment	3	2.640	0.880	22.000	0.070 ^{ns}
Error	8	0.320	0.040		
Total	11	2.960			

^{sig} หมายถึง แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

ตารางภาคผนวก จ-49 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนความชอบลักษณะปรากฏของเครื่องคัมน้ำนมถั่วดาวอินคาสูตรน้ำตาลต่ำที่แปรปริมาณแป้งถั่วดาวอินคาที่ผ่านการลดกลิ่นถั่วโดยการใช้ความร้อน

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F-Value	P-Value
Treatment	3	6.292	2.097	5.620	0.001 ^{sig}
block	29	24.375	0.840	2.250	0.002
Error	87	32.458	0.373		
Total	119	63.125			

^{sig} หมายถึง แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

ตารางภาคผนวก จ-50 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนความชอบด้านสีของเครื่องดื่มน้ำนมถั่ว
ดาวอินคาสูตรน้ำตาลต่ำที่แปรปริมาณแป้งถั่วดาวอินคาที่ผ่านการลคกลั่นถั่ว
โดยการใช้ความร้อน

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F-Value	P-Value
Treatment	3	9.533	3.178	9.710	0.000 ^{sig}
block	29	18.800	0.648	1.980	0.008
Error	87	28.467	0.327		
Total	119	56.800			

^{sig} หมายถึง แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

ตารางภาคผนวก จ-51 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนความชอบด้านกลิ่นของเครื่องดื่มน้ำนมถั่ว
ดาวอินคาสูตรน้ำตาลต่ำที่แปรปริมาณแป้งถั่วดาวอินคาที่ผ่านการลคกลั่นถั่ว
โดยการใช้ความร้อน

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F-Value	P-Value
Treatment	3	2.692	0.897	3.050	0.033 ^{ns}
block	29	15.742	0.543	1.850	0.015
Error	87	25.558	0.294		
Total	119	43.992			

^{ns} หมายถึง ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \geq 0.05$)

ตารางภาคผนวก จ-52 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนความชอบด้านรสชาติของเครื่องดื่ม
ถั่วดาวอินคาสูตรน้ำตาลต่ำที่แปรปริมาณแป้งถั่วดาวอินคาที่ผ่านการลด
กลิ่นถั่วโดยการใช้ความร้อน

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F-Value	P-Value
Treatment	3	19.370	6.456	27.220	0.000 ^{sig}
block	29	14.370	0.495	2.090	0.005
Error	87	20.630	0.237		
Total	119	54.370			

^{sig} หมายถึง แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

ตารางภาคผนวก จ-53 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนความชอบด้านเนื้อสัมผัสของเครื่องดื่ม
ถั่วดาวอินคาสูตรน้ำตาลต่ำที่แปรปริมาณแป้งถั่วดาวอินคาที่ผ่านการ
ลดกลิ่นถั่วโดยการใช้ความร้อน

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F-Value	P-Value
Treatment	3	28.030	9.344	28.070	0.000 ^{sig}
block	29	15.370	0.530	1.590	0.051
Error	87	28.970	0.333		
Total	119	72.370			

^{sig} หมายถึง แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

ตารางภาคผนวก จ-54 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนความชอบโดยรวมของเครื่องคั้นน้ำนมถั่ว
ดาวอินคาสูตรน้ำตาลต่ำที่แปรปริมาณแป้งถั่วดาวอินคาที่ผ่านการลวกถั่ว
โดยการใช้ความร้อน

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F-Value	P-Value
Treatment	3	32.290	10.764	36.780	0.000 ^{sig}
block	29	13.370	0.461	1.580	0.055
Error	87	25.460	0.293		
Total	119	71.130			

^{sig} หมายถึง แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

ตารางภาคผนวก จ-55 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนค่าสี L* ของถั่วดาวอินคาสเปรดที่แปร
สัดส่วนระหว่างแป้งถั่วดาวอินคาที่ผ่านการลวกถั่วโดยการใช้ความร้อน
กับน้ำมันมะพร้าว

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F-Value	P-Value
Treatment	2	6.108	3.054	1935.750	0.000 ^{sig}
Error	6	0.009	0.002		
Total	8	6.118			

^{sig} หมายถึง แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

ตารางภาคผนวก จ-56 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนค่าสี a^* ของถั่วดาวอินคาสเปรคที่แปร
สัดส่วนระหว่างแป้งถั่วดาวอินคาที่ผ่านการลดกลั่นถั่วโดยการใช้ความร้อน
กับน้ำมันมะพร้าว

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F-Value	P-Value
Treatment	2	0.050	0.025	51.610	0.000 ^{sig}
Error	6	0.003	0.000		
Total	8	0.053			

^{sig} หมายถึง แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

ตารางภาคผนวก จ-57 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนค่าสี b^* ของถั่วดาวอินคาสเปรคที่แปร
สัดส่วนระหว่างแป้งถั่วดาวอินคาที่ผ่านการลดกลั่นถั่วโดยการใช้ความร้อน
กับน้ำมันมะพร้าว

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F-Value	P-Value
Treatment	2	0.389	0.194	117.440	0.000 ^{sig}
Error	6	0.010	0.002		
Total	8	0.399			

^{sig} หมายถึง แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

ตารางภาคผนวก จ-58 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนค่า Hardness ของถั่วดาวอินคาสเปรคที่แปร
สัดส่วนระหว่างแป้งถั่วดาวอินคาที่ผ่านการลดกลั่นถั่วโดยการใช้ความร้อน
กับน้ำมันมะพร้าว

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F-Value	P-Value
Treatment	2	1579879	789939	4513.160	0.000 ^{sig}
Error	12	2100	175		
Total	14	1581979			

^{sig} หมายถึง แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

ตารางภาคผนวก จ-59 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนค่า Spreadability ของถั่วดาวอินคาสเปรดที่แปรสัดส่วนระหว่างแป้งถั่วดาวอินคาที่ผ่านการลดกลิ่นถั่วโดยการใช้ความร้อนกับน้ำมันมะพร้าว

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F-Value	P-Value
Treatment	2	133903373	66951687	4524.730	0.000 ^{sig}
Error	12	177562	14797		
Total	14	134080935			

^{sig} หมายถึง แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

ตารางภาคผนวก จ-60 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนค่า Adhesiveness ของถั่วดาวอินคาสเปรดที่แปรสัดส่วนระหว่างแป้งถั่วดาวอินคาที่ผ่านการลดกลิ่นถั่วโดยการใช้ความร้อนกับน้ำมันมะพร้าว

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F-Value	P-Value
Treatment	2	6687.600	3343.800	66.220	0.000 ^{sig}
Error	12	605.900	50.490		
Total	14	7293.500			

^{sig} หมายถึง แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

ตารางภาคผนวก จ-61 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนความชอบด้านกรทาบขนมปังของถั่วดาวอินคาสเปรดที่แปรสัดส่วนระหว่างแป้งถั่วดาวอินคาที่ผ่านการลดกลิ่นถั่วโดยการใช้ความร้อนกับน้ำมันมะพร้าว

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F-Value	P-Value
Treatment	2	29.490	14.744	72.200	0.000 ^{sig}
block	29	14.490	0.500	2.450	
Error	58	11.840	0.204		
Total	89	55.820			

^{sig} หมายถึง แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

ตารางภาคผนวก จ-62 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนความชอบด้านสีของถั่วดาวอินคาสเปดที่แปรสัดส่วนระหว่างแป้งถั่วดาวอินคาที่ผ่านการลวกถั่วด้วยการใช้ความร้อนกับน้ำมันมะพร้าว

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F-Value	P-Value
Treatment	2	0.267	0.133	0.740	0.480 ^{ns}
block	29	13.433	0.463	2.580	0.001
Error	58	10.400	0.179		
Total	89	24.100			

^{ns} หมายถึง ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \geq 0.05$)

ตารางภาคผนวก จ-63 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนความชอบด้านกลิ่นของถั่วดาวอินคาสเปดที่แปรสัดส่วนระหว่างแป้งถั่วดาวอินคาที่ผ่านการลวกถั่วด้วยการใช้ความร้อนกับน้ำมันมะพร้าว

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F-Value	P-Value
Treatment	2	5.067	2.533	10.800	0.000 ^{sig}
block	29	12.233	0.421	1.800	0.029
Error	58	13.600	0.234		
Total	89	30.900			

^{sig} หมายถึง แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

ตารางภาคผนวก จ-64 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนความชอบด้านรสชาติของ
ถั่วดาวอินคาสดที่แปรสัสด่วนระหว่างแป้งถั่วดาวอินคาที่ผ่านการ
ลดกลิ่นถั่วโดยการใช้ความร้อนกับน้ำมันมะพร้าว

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F-Value	P-Value
Treatment	2	11.090	5.544	31.390	0.000 ^{sig}
block	29	14.990	0.517	2.930	0.000
Error	58	10.240	0.177		
Total	89	36.320			

^{sig} หมายถึง แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

ตารางภาคผนวก จ-65 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนความชอบด้านเนื้อสัมผัสของ
ถั่วดาวอินคาสดที่แปรสัสด่วนระหว่างแป้งถั่วดาวอินคาที่ผ่านการ
ลดกลิ่นถั่วโดยการใช้ความร้อนกับน้ำมันมะพร้าว

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F-Value	P-Value
Treatment	2	17.620	8.811	28.850	0.000 ^{sig}
block	29	10.460	0.360	1.180	
Error	58	17.710	0.305		
Total	89	45.790			

^{sig} หมายถึง แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

ตารางภาคผนวก จ-66 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนความชอบโดยรวมของถั่วดาวอินคาสดที่แปรรูปส่วนระหว่างแป้งถั่วดาวอินคาที่ผ่านการลวกถั่วโดยใช้ความร้อนกับน้ำมันมะพร้าว

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F-Value	P-Value
Treatment	2	14.690	7.344	26.660	0.000 ^{sig}
block	29	13.390	0.462	1.680	0.047
Error	58	15.980	0.276		
Total	89	44.060			

^{sig} หมายถึง แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

ตารางภาคผนวก จ-67 ผลการเปรียบเทียบปริมาณโปรตีนของเครื่องดื่มน้ำนมถั่วดาวอินคาสูตรน้ำตาลต่ำที่เติมแป้งถั่วดาวอินคาที่ผ่านการลวกถั่วโดยใช้ความร้อนและไม่ผ่านการลวกถั่ว

Trt	N	Mean	Std. Deviation	Std. Error Mean	T-Value	DF	P-Value
แป้งถั่วดาวอินคาที่ผ่านการลวกถั่ว	5	4.90	0.27	0.12	-2.60	8	0.032 ^{sig}
แป้งถั่วดาวอินคาที่ไม่ผ่านการลวกถั่ว	5	5.26	0.15	0.07			

^{sig} หมายถึง แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

ตารางภาคผนวก จ-68 ผลการเปรียบเทียบปริมาณไขมันของเครื่องดื่มน้ำนมถั่วดาวอินคาสูตร
น้ำตาลต่ำที่เติมแป้งถั่วดาวอินคาที่ผ่านการลดกลั่นถั่วโดยการใช้ความร้อน
และไม่ผ่านการลดกลั่นถั่ว

Trt	N	Mean	Std. Deviation	Std. Error Mean	T-Value	DF	P-Value
แป้งถั่วดาวอินคาที่ผ่าน การลดกลั่นถั่ว	5	3.81	0.09	0.04	0.34	8	0.745 ^{ns}
แป้งถั่วดาวอินคาที่ไม่ผ่าน การลดกลั่นถั่ว	5	3.79	0.09	0.04			

^{ns} หมายถึง ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \geq 0.05$)

ตารางภาคผนวก จ-69 ผลการเปรียบเทียบปริมาณกากใยของเครื่องดื่มน้ำนมถั่วดาวอินคาสูตร
น้ำตาลต่ำที่เติมแป้งถั่วดาวอินคาที่ผ่านการลดกลั่นถั่วโดยการใช้ความร้อน
และไม่ผ่านการลดกลั่นถั่ว

Trt	N	Mean	Std. Deviation	Std. Error Mean	T-Value	DF	P-Value
แป้งถั่วดาวอินคาที่ผ่าน การลดกลั่นถั่ว	5	0.10	0.02	0.01	-2.73	8	0.026 ^{sig}
แป้งถั่วดาวอินคาที่ไม่ผ่าน การลดกลั่นถั่ว	5	0.16	0.04	0.02			

^{sig} หมายถึง แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

ตารางภาคผนวก จ-70 ผลการเปรียบเทียบปริมาณเถ้าของเครื่องคั้นน้ำนมถั่วดาวอินคาสูตร
น้ำตาลต่ำที่เติมแป้งถั่วดาวอินคาที่ผ่านการลดกลั่นถั่วโดยการใช้ความร้อน
และไม่ผ่านการลดกลั่นถั่ว

Trt	N	Mean	Std. Deviation	Std. Error Mean	T-Value	DF	P-Value
แป้งถั่วดาวอินคาที่ผ่าน การลดกลั่นถั่ว	5	1.30	0.06	0.03	-0.27	8	0.793 ^{ns}
แป้งถั่วดาวอินคาที่ไม่ผ่าน การลดกลั่นถั่ว	5	1.32	0.05	0.02			

^{ns} หมายถึง ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \geq 0.05$)

ตารางภาคผนวก จ-71 ผลการเปรียบเทียบปริมาณคาร์โบไฮเดรตของเครื่องคั้นน้ำนมถั่วดาวอินคา
สูตรน้ำตาลต่ำที่เติมแป้งถั่วดาวอินคาที่ผ่านการลดกลั่นถั่วโดยการใช้
ความร้อนและไม่ผ่านการลดกลั่นถั่ว

Trt	N	Mean	Std. Deviation	Std. Error Mean	T-Value	DF	P-Value
แป้งถั่วดาวอินคาที่ผ่าน การลดกลั่นถั่ว	5	3.91	0.35	0.16	11.84	8	0.000 ^{sig}
แป้งถั่วดาวอินคาที่ไม่ผ่าน การลดกลั่นถั่ว	5	1.96	0.10	0.04			

^{sig} หมายถึง แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

ตารางภาคผนวก จ-72 ผลการเปรียบเทียบปริมาณเส้นใยอาหารทั้งหมดของเครื่องคั้นนํ้านมถั่ว
ดาวอินคาสูตรนํ้าตาลต่ำที่เติมแป้งถั่วดาวอินคาที่ผ่านการลดกลั่นถั่วโดยการ
ใช้ความร้อนและไม่ผ่านการลดกลั่นถั่ว

Trt	N	Mean	Std. Deviation	Std. Error Mean	T-Value	DF	P-Value
แป้งถั่วดาวอินคาที่ผ่าน การลดกลั่นถั่ว	5	2.34	0.06	0.03	-18.00	8	0.000 ^{sig}
แป้งถั่วดาวอินคาที่ไม่ผ่าน การลดกลั่นถั่ว	5	5.58	0.40	0.18			

^{sig} หมายถึง แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

ตารางภาคผนวก จ-73 ผลการเปรียบเทียบปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดของเครื่องคั้นนํ้านม
ถั่วดาวอินคาสูตรนํ้าตาลต่ำที่เติมแป้งถั่วดาวอินคาที่ผ่านการลดกลั่นถั่วโดย
การใช้ความร้อนและไม่ผ่านการลดกลั่นถั่ว

Trt	N	Mean	Std. Deviation	Std. Error Mean	T-Value	DF	P-Value
แป้งถั่วดาวอินคาที่ผ่าน การลดกลั่นถั่ว	5	5.53	0.08	0.04	-0.85	8	0.418 ^{ns}
แป้งถั่วดาวอินคาที่ไม่ผ่าน การลดกลั่นถั่ว	5	5.63	0.26	0.11			

^{ns} หมายถึง ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \geq 0.05$)

ตารางภาคผนวก จ-74 ผลการเปรียบเทียบสมบัติการต้านอนุมูลอิสระ DPPH ของเครื่องคั้นน้ำมัน
ถั่วดาวอินคาสูตรน้ำตาลต่ำที่เติมแป้งถั่วดาวอินคาที่ผ่านการลดกลั่นถั่วโดย
การใช้ความร้อนและไม่ผ่านการลดกลั่นถั่ว

Trt	N	Mean	Std. Deviation	Std. Error Mean	T-Value	DF	P-Value
แป้งถั่วดาวอินคาที่ผ่าน การลดกลั่นถั่ว	5	7.47	0.36	0.16	0.35	8	0.733 ^{ns}
แป้งถั่วดาวอินคาที่ไม่ผ่าน การลดกลั่นถั่ว	5	7.36	0.66	0.29			

^{ns} หมายถึง ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \geq 0.05$)

ตารางภาคผนวก จ-75 ผลการเปรียบเทียบสมบัติการต้านอนุมูลอิสระ FRAP ของเครื่องคั้นน้ำมัน
ถั่วดาวอินคาสูตรน้ำตาลต่ำที่เติมแป้งถั่วดาวอินคาที่ผ่านการลดกลั่นถั่วโดย
การใช้ความร้อนและไม่ผ่านการลดกลั่นถั่ว

Trt	N	Mean	Std. Deviation	Std. Error Mean	T-Value	DF	P-Value
แป้งถั่วดาวอินคาที่ผ่าน การลดกลั่นถั่ว	5	30.69	2.65	1.20	0.33	8	0.752 ^{ns}
แป้งถั่วดาวอินคาที่ไม่ผ่าน การลดกลั่นถั่ว	5	30.15	2.61	1.20			

^{ns} หมายถึง ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \geq 0.05$)

ตารางภาคผนวก จ-76 ผลการเปรียบเทียบค่าสี L* ของเครื่องตีมน้ำนมถั่วดาวอินคาสูตรน้ำตาลต่ำที่
เติมแป้งถั่วดาวอินคาที่ผ่านการลดกลั่นถั่วโดยการใช้ความร้อนและไม่ผ่าน
การลดกลั่นถั่ว

Trt	N	Mean	Std. Deviation	Std. Error Mean	T-Value	DF	P-Value
แป้งถั่วดาวอินคาที่ผ่าน การลดกลั่นถั่ว	5	75.38	0.14	0.06	76.00	8	0.000 ^{sig}
แป้งถั่วดาวอินคาที่ไม่ผ่าน การลดกลั่นถั่ว	5	70.61	0.02	0.01			

^{sig} หมายถึง แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p<0.05)

ตารางภาคผนวก จ-77 ผลการเปรียบเทียบค่าสี a* ของเครื่องตีมน้ำนมถั่วดาวอินคาสูตรน้ำตาลต่ำที่
เติมแป้งถั่วดาวอินคาที่ผ่านการลดกลั่นถั่วโดยการใช้ความร้อนและไม่ผ่าน
การลดกลั่นถั่ว

Trt	N	Mean	Std. Deviation	Std. Error Mean	T-Value	DF	P-Value
แป้งถั่วดาวอินคาที่ผ่าน การลดกลั่นถั่ว	5	-0.83	0.06	0.03	29.43	8	0.000 ^{sig}
แป้งถั่วดาวอินคาที่ไม่ผ่าน การลดกลั่นถั่ว	5	-1.74	0.02	0.01			

^{sig} หมายถึง แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p<0.05)

ตารางภาคผนวก จ-77 ผลการเปรียบเทียบค่าสี b* ของเครื่องคั้นนมถั่วดาวอินคาสูตรน้ำตาลต่ำที่
เติมแป้งถั่วดาวอินคาที่ผ่านการลดกลั่นถั่วโดยการใช้ความร้อนและไม่ผ่าน
การลดกลั่นถั่ว

Trt	N	Mean	Std. Deviation	Std. Error Mean	T-Value	DF	P-Value
แป้งถั่วดาวอินคาที่ผ่าน การลดกลั่นถั่ว	5	8.89	0.23	0.10	37.32	8	0.000 ^{sig}
แป้งถั่วดาวอินคาที่ไม่ผ่าน การลดกลั่นถั่ว	5	4.93	0.04	0.02			

^{sig} หมายถึง แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p<0.05)

ตารางภาคผนวก จ-78 ผลการเปรียบเทียบค่าความหนืดของเครื่องคั้นนมถั่วดาวอินคาสูตร
น้ำตาลต่ำที่เติมแป้งถั่วดาวอินคาที่ผ่านการลดกลั่นถั่วโดยการใช้ความร้อน
และไม่ผ่านการลดกลั่นถั่ว

Trt	N	Mean	Std. Deviation	Std. Error Mean	T-Value	DF	P-Value
แป้งถั่วดาวอินคาที่ผ่าน การลดกลั่นถั่ว	5	103.88	1.14	0.51	9.91	8	0.000 ^{sig}
แป้งถั่วดาวอินคาที่ไม่ผ่าน การลดกลั่นถั่ว	5	97.95	0.70	0.31			

^{sig} หมายถึง แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p<0.05)

ตารางภาคผนวก จ-79 ผลการเปรียบเทียบค่าการแยกตัวของของเหลวของเครื่องคั้นนํ้านมถั่ว
ดาวอินคาสูตรนํ้าตาลต่ำที่เติมแป้งถั่วดาวอินคาที่ผ่านการลดกลั่นถั่วโดยการ
ใช้ความร้อนและไม่ผ่านการลดกลั่นถั่ว

Trt	N	Mean	Std. Deviation	Std. Error Mean	T-Value	DF	P-Value
แป้งถั่วดาวอินคาที่ผ่านการลดกลั่นถั่ว	5	89.36	0.20	0.09	-1.23	8	0.252 ^{ns}
แป้งถั่วดาวอินคาที่ไม่ผ่านการลดกลั่นถั่ว	5	90.24	1.58	0.71			

^{ns} หมายถึง ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \geq 0.05$)

ตารางภาคผนวก จ-80 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนความชอบด้านลักษณะปรากฏของเครื่องคั้น
นํ้านมถั่วดาวอินคาสูตรนํ้าตาลต่ำที่เติมแป้งถั่วดาวอินคาที่ผ่านการลด
กลั่นถั่วโดยการใช้ความร้อนและไม่ผ่านการลดกลั่นถั่ว

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F-Value	P-Value
Treatment	1	0.017	0.017	0.110	0.745 ^{ns}
block	29	21.150	0.729	4.720	0.000
Error	29	4.483	0.155		
Total	59	25.650			

^{ns} หมายถึง ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \geq 0.05$)

ตารางภาคผนวก จ-81 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนความชอบด้านสีของเครื่องดื่มน้ำนมถั่ว
ดาวอินคาสูตรน้ำตาลต่ำที่เติมแป้งถั่วดาวอินคาที่ผ่านการลดกลั่นถั่วโดยการ
ใช้ความร้อนและไม่ผ่านการลดกลั่นถั่ว

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F-Value	P-Value
Treatment	1	0.267	0.267	2.070	0.161 ^{ns}
block	29	14.733	0.508	3.950	0.000
Error	29	3.733	0.129		
Total	59	18.733			

^{ns} หมายถึง ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \geq 0.05$)

ตารางภาคผนวก จ-82 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนความชอบด้านกลิ่นของเครื่องดื่มน้ำนมถั่ว
ดาวอินคาสูตรน้ำตาลต่ำที่เติมแป้งถั่วดาวอินคาที่ผ่านการลดกลั่นถั่วโดยการ
ใช้ความร้อนและไม่ผ่านการลดกลั่นถั่ว

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F-Value	P-Value
Treatment	1	14.017	14.017	90.670	0.000 ^{sig}
block	29	6.750	0.233	1.510	0.138
Error	29	4.483	0.155		
Total	59	25.250			

^{sig} หมายถึง แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

ตารางภาคผนวก จ-83 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนความชอบด้านรสชาติของเครื่องดื่ม
ถั่วดาวอินคาสูตรน้ำตาลต่ำที่เติมแป้งถั่วดาวอินคาที่ผ่านการลวกถั่วด้วย
การใช้ความร้อนและไม่ผ่านการลวกถั่ว

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F-Value	P-Value
Treatment	1	3.750	3.750	16.11	0.000 ^{sig}
block	29	10.083	0.348	1.49	0.143
Error	29	6.750	0.233		
Total	59	20.583			

^{sig} หมายถึง แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

ตารางภาคผนวก จ-84 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนความชอบด้านเนื้อสัมผัสของเครื่องดื่ม
ถั่วดาวอินคาสูตรน้ำตาลต่ำที่เติมแป้งถั่วดาวอินคาที่ผ่านการลวก
ถั่วด้วยการใช้ความร้อนและไม่ผ่านการลวกถั่ว

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F-Value	P-Value
Treatment	1	0.067	0.067	0.490	0.489 ^{ns}
block	29	19.733	0.680	5.020	0.000
Error	29	3.933	0.136		
Total	59	23.733			

^{ns} หมายถึง ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \geq 0.05$)

ตารางภาคผนวก จ-85 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนความชอบโดยรวมของเครื่องคั้นน้ำนมถั่ว
ดาวอินคาสูตรน้ำตาลต่ำที่เติมแป้งถั่วดาวอินคาที่ผ่านการลดกลั่นถั่วโดยการ
ใช้ความร้อนและไม่ผ่านการลดกลั่นถั่ว

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F-Value	P-Value
Treatment	1	16.017	16.017	71.640	0.000 ^{sig}
block	29	8.350	0.288	1.290	0.250
Error	29	6.483	0.224		
Total	59	30.850			

^{sig} หมายถึง แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

ตารางภาคผนวก จ-86 ผลการเปรียบเทียบปริมาณโปรตีนของถั่วดาวอินคาสเปคที่เติมแป้งถั่ว
ดาวอินคาที่ผ่านการลดกลั่นถั่วโดยการ ใช้ความร้อนและไม่ผ่านการล
ดกลั่นถั่ว

Trt	N	Mean	Std. Deviation	Std. Error Mean	T-Value	DF	P-Value
แป้งถั่วดาวอินคาที่ผ่าน การลดกลั่นถั่ว	5	17.22	0.37	0.17	-6.70	8	0.000 ^{sig}
แป้งถั่วดาวอินคาที่ไม่ผ่าน การลดกลั่นถั่ว	5	18.41	0.14	0.06			

^{sig} หมายถึง แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

ตารางภาคผนวก จ-87 ผลการเปรียบเทียบปริมาณไขมันของถั่วดาวอินคาสเปรคที่เดิมแป็งถั่ว
ดาวอินคาที่ผ่านการลคกลั่นถั่วโดยการใช้ความร้อนและไม่ผ่านการลค
กลั่นถั่ว

Trt	N	Mean	Std. Deviation	Std. Error Mean	T-Value	DF	P-Value
แป็งถั่วดาวอินคาที่ผ่าน การลคกลั่นถั่ว	5	60.80	0.18	0.08	-12.08	8	0.000 ^{sig}
แป็งถั่วดาวอินคาที่ไม่ผ่าน การลคกลั่นถั่ว	5	62.40	0.24	0.11			

^{sig} หมายถึง แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p<0.05)

ตารางภาคผนวก จ-88 ผลการเปรียบเทียบปริมาณกากใยของถั่วดาวอินคาสเปรคที่เดิมแป็งถั่ว
ดาวอินคาที่ผ่านการลคกลั่นถั่วโดยการใช้ความร้อนและไม่ผ่านการลค
กลั่นถั่ว

Trt	N	Mean	Std. Deviation	Std. Error Mean	T-Value	DF	P-Value
แป็งถั่วดาวอินคาที่ผ่าน การลคกลั่นถั่ว	5	1.47	0.09	0.04	-4.19	8	0.003 ^{sig}
แป็งถั่วดาวอินคาที่ไม่ผ่าน การลคกลั่นถั่ว	5	1.64	0.02	0.01			

^{sig} หมายถึง แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p<0.05)

ตารางภาคผนวก จ-89 ผลการเปรียบเทียบปริมาณเถ้าของถั่วดาวอินคาสเปรคที่เดิมแบ่งถั่ว
ดาวอินคาที่ผ่านการลดกลิ่นถั่วโดยการใช้ความร้อนและไม่ผ่านการลด
กลิ่นถั่ว

Trt	N	Mean	Std. Deviation	Std. Error Mean	T-Value	DF	P-Value
แบ่งถั่วดาวอินคาที่ผ่าน การลดกลิ่นถั่ว	5	2.47	0.03	0.01	-3.15	8	0.054 ^{ns}
แบ่งถั่วดาวอินคาที่ไม่ผ่าน การลดกลิ่นถั่ว	5	2.53	0.02	0.01			

^{ns} หมายถึง ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \geq 0.05$)

ตารางภาคผนวก จ-90 ผลการเปรียบเทียบปริมาณคาร์โบไฮเดรตของถั่วดาวอินคาสเปรคที่เดิมแบ่ง
ถั่วดาวอินคาที่ผ่านการลดกลิ่นถั่วโดยการใช้ความร้อนและไม่ผ่านการลด
กลิ่นถั่ว

Trt	N	Mean	Std. Deviation	Std. Error Mean	T-Value	DF	P-Value
แบ่งถั่วดาวอินคาที่ผ่าน การลดกลิ่นถั่ว	5	10.67	0.25	0.11	7.41	8	0.000 ^{sig}
แบ่งถั่วดาวอินคาที่ไม่ผ่าน การลดกลิ่นถั่ว	5	9.28	0.34	0.15			

^{sig} หมายถึง แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

ตารางภาคผนวก จ-91 ผลการเปรียบเทียบปริมาณเส้นใยอาหารทั้งหมดของถั่วดาวอินคาสเปรคที่
 เติบโตทั้งถั่วดาวอินคาที่ผ่านการลดกลั่นถั่วโดยการใช้ความร้อนและไม่ผ่าน
 การลดกลั่นถั่ว

Trt	N	Mean	Std. Deviation	Std. Error Mean	T-Value	DF	P-Value
แป้งถั่วดาวอินคาที่ผ่าน การลดกลั่นถั่ว	5	16.52	0.56	0.25	-12.11	8	0.000 ^{sig}
แป้งถั่วดาวอินคาที่ไม่ผ่าน การลดกลั่นถั่ว	5	21.03	0.62	0.28			

^{sig} หมายถึง แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

ตารางภาคผนวก จ-92 ผลการเปรียบเทียบปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดของ
 ถั่วดาวอินคาสเปรคที่เติบโตทั้งถั่วดาวอินคาที่ผ่านการลดกลั่นถั่วโดยการใช้
 ความร้อนและไม่ผ่านการลดกลั่นถั่ว

Trt	N	Mean	Std. Deviation	Std. Error Mean	T-Value	DF	P-Value
แป้งถั่วดาวอินคาที่ผ่าน การลดกลั่นถั่ว	5	115.08	5.12	2.30	-0.32	8	0.758 ^{ns}
แป้งถั่วดาวอินคาที่ไม่ผ่าน การลดกลั่นถั่ว	5	115.97	3.46	1.50			

^{ns} หมายถึง ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \geq 0.05$)

ตารางภาคผนวก จ-93 ผลการเปรียบเทียบสมบัติการต้านอนุมูลอิสระ DPPH ของ
ถั่วดาวอินคาสดที่เติมแป้งถั่วดาวอินคาที่ผ่านการลดกลั่นถั่วโดยใช้
ความร้อนและไม่ผ่านการลดกลั่นถั่ว

Trt	N	Mean	Std. Deviation	Std. Error Mean	T-Value	DF	P-Value
แป้งถั่วดาวอินคาที่ผ่าน การลดกลั่นถั่ว	5	26.08	0.99	0.44	0.53	8	0.613 ^{ns}
แป้งถั่วดาวอินคาที่ไม่ผ่าน การลดกลั่นถั่ว	5	25.76	0.93	0.41			

^{ns} หมายถึง ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \geq 0.05$)

ตารางภาคผนวก จ-94 ผลการเปรียบเทียบสมบัติการต้านอนุมูลอิสระ FRAP ของ
ถั่วดาวอินคาสดที่เติมแป้งถั่วดาวอินคาที่ผ่านการลดกลั่นถั่วโดยใช้
ความร้อนและไม่ผ่านการลดกลั่นถั่ว

Trt	N	Mean	Std. Deviation	Std. Error Mean	T-Value	DF	P-Value
แป้งถั่วดาวอินคาที่ผ่าน การลดกลั่นถั่ว	5	900.30	37.20	17.00	1.54	8	0.161 ^{ns}
แป้งถั่วดาวอินคาที่ไม่ผ่าน การลดกลั่นถั่ว	5	861.50	42.10	19.00			

^{ns} หมายถึง ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \geq 0.05$)

ตารางภาคผนวก จ-95 ผลการเปรียบเทียบค่าสี L* ของถั่วดาวอินคาสดที่เติมแป้งถั่วดาวอินคาที่ผ่านการลดกลั่นถั่วโดยการใช้ความร้อนและไม่ผ่านการลดกลั่นถั่ว

Trt	N	Mean	Std. Deviation	Std. Error Mean	T-Value	DF	P-Value
แป้งถั่วดาวอินคาที่ผ่านการลดกลั่นถั่ว	5	63.25	0.45	0.20	-2.20	8	0.059 ^{ns}
แป้งถั่วดาวอินคาที่ไม่ผ่านการลดกลั่นถั่ว	5	63.94	0.53	0.24			

^{ns} หมายถึง ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \geq 0.05$)

ตารางภาคผนวก จ-96 ผลการเปรียบเทียบค่าสี a* ของถั่วดาวอินคาสดที่เติมแป้งถั่วดาวอินคาที่ผ่านการลดกลั่นถั่วโดยการใช้ความร้อนและไม่ผ่านการลดกลั่นถั่ว

Trt	N	Mean	Std. Deviation	Std. Error Mean	T-Value	DF	P-Value
แป้งถั่วดาวอินคาที่ผ่านการลดกลั่นถั่ว	5	3.89	0.06	0.03	0.31	8	0.763 ^{ns}
แป้งถั่วดาวอินคาที่ไม่ผ่านการลดกลั่นถั่ว	5	3.88	0.06	0.02			

^{ns} หมายถึง ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \geq 0.05$)

ตารางภาคผนวก จ-97 ผลการเปรียบเทียบค่าสี b^* ของแก้วดาวอินคาสเปรคที่เติมแป้งแก้วดาวอินคาที่ผ่านการลดกลิ่นถั่วโดยการใช้ความร้อนและไม่ผ่านการลดกลิ่นถั่ว

Trt	N	Mean	Std. Deviation	Std. Error Mean	T-Value	DF	P-Value
แป้งแก้วดาวอินคาที่ผ่านการลดกลิ่นถั่ว	5	24.53	0.37	0.16	-0.28	8	0.790 ^{ns}
แป้งแก้วดาวอินคาที่ไม่ผ่านการลดกลิ่นถั่ว	5	24.58	0.30	0.13			

^{ns} หมายถึง ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \geq 0.05$)

ตารางภาคผนวก จ-98 ผลการเปรียบเทียบค่า Hardness ของแก้วดาวอินคาสเปรคที่เติมแป้งแก้วดาวอินคาที่ผ่านการลดกลิ่นถั่วโดยการใช้ความร้อนและไม่ผ่านการลดกลิ่นถั่ว

Trt	N	Mean	Std. Deviation	Std. Error Mean	T-Value	DF	P-Value
แป้งแก้วดาวอินคาที่ผ่านการลดกลิ่นถั่ว	5	678.50	16.80	7.50	-18.06	8	0.000 ^{sig}
แป้งแก้วดาวอินคาที่ไม่ผ่านการลดกลิ่นถั่ว	5	957.80	30.20	14.00			

^{sig} หมายถึง แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

ตารางภาคผนวก จ-99 ผลการเปรียบเทียบค่า Spreadability ของถั่วดาวอินคาสเปรคที่เติมแป้งถั่ว
ดาวอินคาที่ผ่านการลดกลั่นถั่วโดยการใช้ความร้อนและไม่ผ่านการลด
กลั่นถั่ว

Trt	N	Mean	Std. Deviation	Std. Error Mean	T-Value	DF	P-Value
แป้งถั่วดาวอินคาที่ผ่าน การลดกลั่นถั่ว	5	6858	340	152	-12.69	8	0.000 ^{sig}
แป้งถั่วดาวอินคาที่ไม่ผ่าน การลดกลั่นถั่ว	5	9472	311	139			

^{sig} หมายถึง แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

ตารางภาคผนวก จ-100 ผลการเปรียบเทียบค่า Adhesiveness ของถั่วดาวอินคาสเปรคที่เติมแป้งถั่ว
ดาวอินคาที่ผ่านการลดกลั่นถั่วโดยการใช้ความร้อนและไม่ผ่านการลด
กลั่นถั่ว

Trt	N	Mean	Std. Deviation	Std. Error Mean	T-Value	DF	P-Value
แป้งถั่วดาวอินคาที่ผ่าน การลดกลั่นถั่ว	5	-174.28	7.38	3.30	5.40	8	0.001 ^{sig}
แป้งถั่วดาวอินคาที่ไม่ผ่าน การลดกลั่นถั่ว	5	-202.26	8.93	4.00			

^{sig} หมายถึง แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

ตารางภาคผนวก จ-101 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนความชอบการทานขนมปังของ
ถั่วดาวอินคาสเปรดที่เติมแป้งถั่วดาวอินคาที่ผ่านการลดกลิ่นถั่วโดยการใช้
ความร้อนและไม่ผ่านการลดกลิ่นถั่ว

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F-Value	P-Value
Treatment	1	0.417	0.417	1.990	0.169 ^{ns}
block	29	7.683	0.265	1.260	0.267
Error	29	6.083	0.210		
Total	59	14.183			

^{ns} หมายถึง ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \geq 0.05$)

ตารางภาคผนวก จ-102 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนความชอบด้านสีของถั่วดาวอินคาสเปรดที่
เติมแป้งถั่วดาวอินคาที่ผ่านการลดกลิ่นถั่วโดยการใช้ความร้อนและไม่ผ่าน
การลดกลิ่นถั่ว

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F-Value	P-Value
Treatment	1	0.150	0.150	0.690	0.415 ^{ns}
block	29	15.683	0.541	2.470	0.009
Error	29	6.350	0.219		
Total	59	22.183			

^{ns} หมายถึง ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \geq 0.05$)

ตารางภาคผนวก จ-103 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนความชอบด้านกลิ่นของ
ถั่วดาวอินคาสเปรดที่เติมแป้งถั่วดาวอินคาที่ผ่านการลดกลิ่นถั่วโดยการใช้
ความร้อนและไม่ผ่านการลดกลิ่นถั่ว

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F-Value	P-Value
Treatment	1	16.017	16.017	54.75	0.000 ^{sig}
block	29	5.683	0.196	0.67	0.857
Error	29	8.483	0.292		
Total	59	30.183			

^{sig} หมายถึง แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

ตารางภาคผนวก จ-104 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนความชอบด้านรสชาติของ
ถั่วดาวอินคาสเปรดที่เติมแป้งถั่วดาวอินคาที่ผ่านการลดกลิ่นถั่วโดยการใช้
ความร้อนและไม่ผ่านการลดกลิ่นถั่ว

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F-Value	P-Value
Treatment	1	0.067	0.067	0.390	0.536 ^{ns}
block	29	12.333	0.425	2.500	0.008
Error	29	4.933	0.170		
Total	59	17.333			

^{ns} หมายถึง ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \geq 0.05$)

ตารางภาคผนวก จ-105 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนความชอบด้านเนื้อสัมผัสของ
ถั่วดาวอินคาสเปรดที่เติมแป้งถั่วดาวอินคาที่ผ่านการลดกลิ่นถั่วโดยการใช้
ความร้อนและไม่ผ่านการลดกลิ่นถั่ว

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F-Value	P-Value
Treatment	1	0.067	0.067	0.390	0.536 ^{ns}
block	29	71.333	2.460	14.460	0.000
Error	29	4.933	0.170		
Total	59	76.333			

^{ns} หมายถึง ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \geq 0.05$)

ตารางภาคผนวก จ-106 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนความชอบโดยรวมของถั่วดาวอินคาสเปรด
ที่เติมแป้งถั่วดาวอินคาที่ผ่านการลดกลิ่นถั่วโดยการใช้ความร้อนและ
ไม่ผ่านการลดกลิ่นถั่ว

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F-Value	P-Value
Treatment	1	16.017	16.017	44.310	0.000 ^{sig}
block	29	4.083	0.141	0.390	0.993
Error	29	10.483	0.361		
Total	59	30.583			

^{sig} หมายถึง แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

ภาคผนวก จ

ข้อมูลดิบค่าคุณภาพของแป้งถั่วดาวอินคาที่ผ่านการให้ความร้อนด้วยไมโครเวฟเป็นเวลา 90 วินาที
รวมกับการให้ความร้อนด้วยตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 80°C เป็นเวลา 10 นาที
(สังเกตลองจุด Center point)

ตารางภาคผนวก น-1 ปริมาณความชื้นของแป้งถั่วดาวอินคาที่แปรรูปจี้ด้านความร้อนโดยการใช้น้ำไมโครเวฟร่วมกับตู้อบลมร้อนที่สิ่งทดลองจุด Center point

สิ่งทดลอง	ปริมาณความชื้น (%)
15	4.26
16	4.37
17	4.46
ค่าเฉลี่ย \pm SD	4.36 \pm 0.10

ตารางภาคผนวก น-2 ค่าสี L* a* b* และค่า Whiteness ของแป้งถั่วดาวอินคาที่แปรรูปจี้ด้านความร้อนโดยการใช้น้ำไมโครเวฟร่วมกับตู้อบลมร้อนที่สิ่งทดลองจุด Center point

สิ่งทดลอง	L*	a*	b*	Whiteness [#]
15	81.24	1.49	17.47	74.32
16	81.24	1.44	17.51	74.30
17	81.26	1.47	17.57	74.27
ค่าเฉลี่ย \pm SD	81.25 \pm 0.01	1.47 \pm 0.03	17.52 \pm 0.05	74.30 \pm 0.03

Whiteness คำนวณจาก $100[(100-L^*)^2+a^{*2}+b^{*2}]^{1/2}$

ตารางภาคผนวก ฉ-3 กิจกรรมของเอนไซม์ Lipoxygenase (LOX) และคะแนนความเข้มน้ำมัน
ของแป้งถั่วดาวอินคาที่แปรปัจจัยด้านความร้อน โดยการใช้ไมโครเวฟร่วมกับ
ตู้อบลมร้อนที่สิ่งทดลองจุด Center point

สิ่งทดลอง	LOX (Unit/ml)	ความเข้มน้ำมัน [#]
15	160.00	2.35
16	180.00	2.30
17	190.00	2.70
ค่าเฉลี่ย \pm SD	176.67 \pm 15.28	2.45 \pm 0.22

[#] คะแนน 0 หมายถึง ไม่มีกลิ่นถั่ว และ 5 หมายถึง กลิ่นถั่วเข้มมากที่สุด

ภาคผนวก ข
ภาพประกอบงานวิจัย



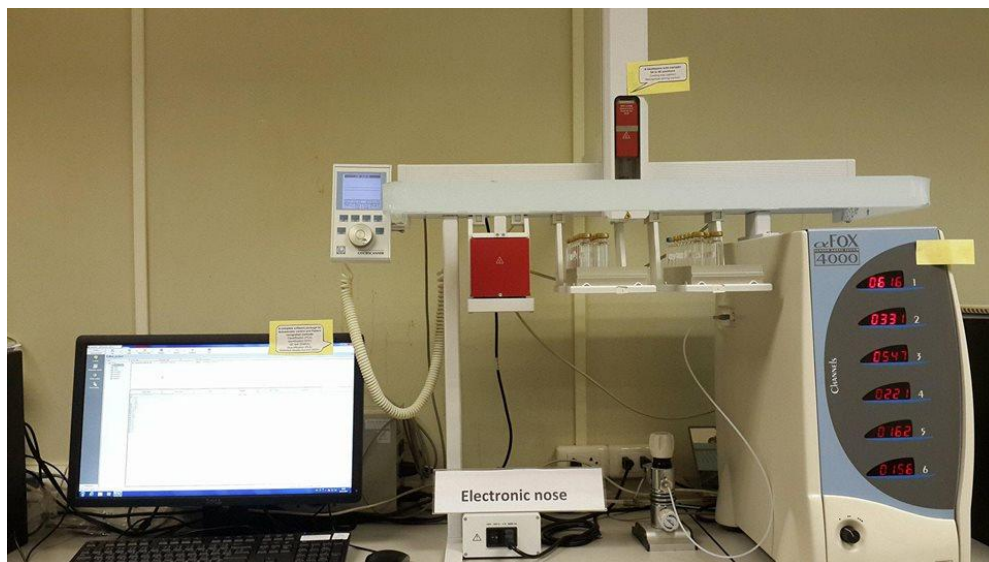
ภาพภาคผนวก ข-1 การให้ความร้อนแป้งถั่วดาวอินคาด้วยไมโครเวฟ



ภาพภาคผนวก ข-2 การเตรียมแป้งถั่วดาวอินคาในถาดสำหรับให้ความร้อนด้วยตู้อบลมร้อน



ภาพภาคผนวก ข-3 การเตรียมตัวอย่างแป้งถั่วดาวอินคาในการวิเคราะห์ค่าโครงสร้างคุณภาพกลิ่นด้วย
เครื่องมือ Electronic nose



ภาพภาคผนวก ข-4 เครื่องมือ Electronic nose รุ่น Fox 4000



ภาพภาคผนวก ข-5 การวิเคราะห์ลักษณะเนื้อสัมผัสของถั่วดาวอินคาสเปรด ด้วยเครื่อง
Texture analyzer



ภาพภาคผนวก ข-6 การทดสอบทางประสาทสัมผัส