รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์

การศึกษาศักยภาพการใช้ผลิตผลพลอยได้จากการสกัดน้ำมันถั่วดาวอินคา ในการพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหารเพื่อสุขภาพ

A Study on Potential Application of Sacha Inchi Oil Extraction By-product in Functional Food Product Development

ผศ.ดร.วิชมณี ยืนยงพุทธกาล	หัวหน้าโครงการวิจัย
ดร.สิริมา ชินสาร	ผู้ร่วมวิจัย
ดร.นิสานารถ กระแสร์ชล	ผู้ร่วมวิจัย

โครงการวิจัยประเภทงบประมาณเงินรายได้
จากเงินอุดหนุนรัฐบาล (งบประมาณแผ่นดิน)
ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2560
มหาวิทยาลัยบูรพา

รหัสโครงการ 2560A10802069
สัญญาเลขที่ 166/2560

รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์

การศึกษาศักยภาพการใช้ผลิตผลพลอยได้จากการสกัดน้ำมันถั่วดาวอินคา ในการพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหารเพื่อสุขภาพ

A Study on Potential Application of Sacha Inchi Oil Extraction By-product in Functional Food Product Development

ผศ.ดร.วิชมณี ยืนยงพุทธกาล	หัวหน้าโครงการวิจัย
ดร.สิริมา ชินสาร	ผู้ร่วมวิจัย
ดร.นิสานารถ กระแสร์ชล	ผู้ร่วมวิจัย

ภาควิชาวิทยาศาสตร์การอาหาร คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา

มีนาคม 2561

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับทุนสนับสนุนการวิจัยจากงบประมาณเงินรายได้จากเงินอุดหนุนรัฐบาล (งบประมาณแผ่นดิน) ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2560 มหาวิทยาลัยบูรพา ผ่านสำนักงานคณะกรรมการการวิจัยแห่งชาติ เลขที่สัญญา 166/2560 คณะผู้วิจัยขอขอบคุณมา ณ โอกาสนี้

ขอขอบคุณ บริษัท โอเมกา 3.6.9 แอนด์ ไลโคปีน จำกัด ที่ให้ความอนุเคราะห์แป้งถั่วดาวอินคา ขอขอบคุณ ผศ. ดร. วิชัย ใจวิสุทธิ์หรรษา สำหรับการให้ข้อมูลและความรู้เกี่ยวกับถั่วดาวอินคา ขอขอบคุณผู้ช่วยวิจัย ได้แก่ นางสาวปณิดา ใจปัน นางสาวปวีณา ดิเจริญ และนางสาวบุศรา มูหะหมัด ขอขอบคุณภาควิชาวิทยาศาสตร์การอาหาร คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา ที่ให้ความอนุเคราะห์อุปกรณ์และเครื่องมือสำหรับการทำงานวิจัย รวมถึงขอขอบคุณเจ้าหน้าที่ และนิสิตภาควิชาวิทยาศาสตร์การอาหาร รวมถึงผู้เกี่ยวข้องทุกท่านที่มีส่วนให้ความช่วยเหลือในการทำวิจัยครั้งนี้

คณะผู้วิจัย
มีนาคม 2561

บทคัดย่อ

จากการศึกษาการลดกลิ่นถั่วของแป้งถั่วดาวอินคาด้วยการอบ (อุณหภูมิ 70 90 และ 120 องศาเซลเซียส เวลา 15 และ 30 นาที) และการให้ความร้อนด้วยการนึ่งด้วยไอน้ำ (เวลา 15 30 45 และ 60 นาที) ผลการทดลอง พบว่า การให้ความร้อนแป้งถั่วดาวอินคาทั้ง 2 วิธี สามารถลดกิจกรรมของเอนไซม์ไลพอกซิจีเนสและทำให้กลิ่นถั่วลดลงได้ โดยสภาวะการลดกลิ่นถั่วที่เหมาะสม คือ การอบที่อุณหภูมิ 120 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 15 นาที (กิจกรรมของเอนไซม์ไลพอกซีจิเนส เท่ากับ 126.32 Unit/g และคะแนนความเข้มกลิ่นถั่ว 1.20 คะแนน) และการนึ่งด้วยไอน้ำที่อุณหภูมิ 98±2 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที (กิจกรรมของเอนไซม์ไลพอกซีจิเนส เท่ากับ 423.10 Unit/g และคะแนนความเข้มกลิ่นถั่ว 1.40 คะแนน) จากการศึกษาความเป็นไปได้ในการนำแป้งถั่วดาวอินคาที่ผ่านการลดกลิ่นถั่วแล้วมาใช้ในการผลิตผลิตภัณฑ์อาหารเพื่อสุขภาพต้นแบบ พบว่า สามารถใช้แป้งถั่วดาวอินคามาแทนที่แป้งสาลีอเนกประสงค์ร่วมกับการใช้ไฮดรอกซีโพรพิลเมทิลเซลลูโลส (HPMC) ในการผลิตแป้งวอฟเฟิลสำเร็จรูปได้ สูตรที่เหมาะสมที่สุด คือ การใช้แป้งถั่วดาวอินคาที่ผ่านการนึ่งด้วยไอน้ำหรือผ่านการอบแทนที่แป้งสาลีอเนกประสงค์ 50% และใช้ HPMC 0.5% ร่วมด้วย โดยได้รับคะแนนความชอบโดยรวมอยู่ในระดับชอบปานกลาง นอกจากนี้พบว่าสามารถนำแป้งถั่วดาวอินคาที่ผ่านการลดกลิ่นถั่วแล้วมาใช้ในการผลิตเครื่องดื่มน้ำนมถั่วดาวอินคาสูตรน้ำตาลต่ำ สูตรที่เหมาะสมที่สุด คือ การใช้แป้งถั่วดาวอินคาที่ผ่านการอบ 2% โดยได้รับคะแนนความชอบโดยรวมอยู่ในระดับชอบปานกลาง

Abstract

The reduction of beany odor in sacha inchi flour with roasting (temperature 70, 90 and 120°C for 15 and 30 min) and steaming (for 15, 30, 45 and 60 min) were studied. The result showed that both heating methods reduced lipoxygenase activity and resolved beany odor. Heating the sacha inchi flour by roasting at 120 °C for 15 min (lipoxygenase activity was 126.32 Unit/g and beany odor intensity score was 1.20) and steaming at 98±2 °C for 15 min (lipoxygenase activity was 423.10 Unit/g and beany odor intensity score was 1.40) were found to be an optimum method. Feasibility of using reduced beany odor sacha inchi flour in the production of prototype functional food products was studied. The result showed that it was possible to replaced all-purpose wheat flour with sacha inchi flour combined with hydroxypropyl methyl cellulose (HPMC) in waffle pre-mix. The appropriate formulations were replacement of all-purpose wheat flour for 50% with roasted sacha inchi flour (RSF) or steamed sacha inchi flour (SSF) and 0.5% HPMC was added. The overall liking score was moderately level. Moreover, it was found that reduced beany odor sacha inchi can be used in the production of low sugar sacha inchi milk beverage. The appropriated formulation was using 2% of roasted sacha inchi flour. The overall liking score was moderately level.

สารบัญ

บทที่		หน้า
	กิตติกรรมประกาศ	ก
	บทคัดย่อ	ข
	Abstract	ค
	สารบัญ	ง
	สารบัญตาราง	จ
	สารบัญภาพ	ฎ
1	บทนำ	1
2	การตรวจเอกสาร	4
3	วิธีดำเนินการทดลอง	24
4	ผลการทดลองและวิจารณ์	36
5	สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ	98
	บรรณานุกรม	100
	ภาคผนวก	109
	ประวัตินักวิจัย	125

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
2-1	องค์ประกอบทางเคมีของเมล็ดถั่วดาวอินคา.....	7
2-2	องค์ประกอบด้านปริมาณแร่ธาตุของเมล็ดถั่วดาวอินคา.....	7
2-3	คุณค่าทางโภชนาการของถั่วดาวอินคาเปรียบเทียบกับเมล็ดน้ำมันชนิดอื่น.....	8
2-4	ระดับปฏิกิริยาของเอนไซม์ Lipoxygenase ในพืชต่างๆ.....	12
3-1	สิ่งทดลองที่ได้จากการแปรอุณหภูมิและเวลาการอบเพื่อลดกลิ่นถั่วของแป้งถั่วดาวอินคา.....	26
3-2	ส่วนผสมแป้งวอฟเฟิลสำเร็จรูปสูตรพื้นฐาน.....	30
3-3	สิ่งทดลองที่ได้จากการแปรปริมาณแป้งถั่วดาวอินคาแทนที่แป้งสาลีอเนกประสงค์และปริมาณไฮดรอกซีโพรพิลเมทิลเซลลูโลส (HPMC) ในสูตรแป้งวอฟเฟิลสำเร็จรูป.....	32
3-4	ส่วนผสมเครื่องดื่มน้ำนมถั่วดาวอินคาสูตรน้ำตาลต่ำ.....	34
4-1	คุณภาพทางเคมีและกายภาพของแป้งถั่วดาวอินคาที่เป็นวัตถุดิบในงานวิจัย.....	36
4-2	สรุปผลจากการวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) ของสิ่งทดลองที่แปรปัจจัยด้านอุณหภูมิและเวลาการอบต่อคุณภาพของแป้งถั่วดาวอินคา.....	37
4-3	ปริมาณความชื้นของแป้งถั่วดาวอินคาที่ผ่านการให้ความร้อนด้วยการอบที่ระดับอุณหภูมิและเวลาต่างๆ.....	38
4-4	ค่าสีของแป้งถั่วดาวอินคาที่ผ่านการให้ความร้อนด้วยการอบที่ระดับอุณหภูมิและเวลาต่างๆ.....	39
4-5	กิจกรรมของเอนไซม์ไลพอกซีจิเนสและความเข้มกลิ่นถั่วของแป้งถั่วดาวอินคาที่ผ่านการให้ความร้อนด้วยการอบที่ระดับอุณหภูมิและเวลาต่างๆ.....	41
4-6	ปริมาณความชื้นของแป้งถั่วดาวอินคาที่ผ่านการให้ความร้อนด้วยการนึ่งที่ระดับเวลาต่างๆ.....	42
4-7	ค่าสีของแป้งถั่วดาวอินคาที่ผ่านการให้ความร้อนด้วยการนึ่งที่ระดับเวลาต่างๆ	43

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่		หน้า
4-8	กิจกรรมของเอนไซม์ไลพอกซีจิเนสและความเข้มกลิ่นถั่วของแป้งถั่วดาวอินคาผ่านการให้ความร้อนด้วยการนึ่งที่ระดับเวลาต่างๆ.....	44
4-9	องค์ประกอบทางเคมีโดยประมาณของแป้งถั่วดาวอินคาที่ไม่ผ่านการให้ความร้อน (SF) แป้งถั่วดาวอินคาที่ผ่านการให้ความร้อนด้วยการอบ (RSF) และแป้งถั่วดาวอินคาที่ผ่านการให้ความร้อนด้วยการนึ่งด้วยไอน้ำ (SSF).....	48
4-10	ปริมาณเส้นใยอาหารทั้งหมดในแป้งถั่วดาวอินคาที่ไม่ผ่านการให้ความร้อน (SF) แป้งถั่วดาวอินคาที่ผ่านการให้ความร้อนด้วยการอบ (RSF) และแป้งถั่วดาวอินคาที่ผ่านการให้ความร้อนด้วยการนึ่งด้วยไอน้ำ (SSF).....	49
4-11	ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดและสมบัติการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระของแป้งถั่วดาวอินคาที่ไม่ผ่านการให้ความร้อน (SF) แป้งถั่วดาวอินคาที่ผ่านการให้ความร้อนด้วยการอบ (RSF) และแป้งถั่วดาวอินคาที่ผ่านการให้ความร้อนด้วยการนึ่งด้วยไอน้ำ (SSF).....	49
4-12	สมบัติเชิงหน้าที่ของแป้งถั่วดาวอินคาที่ไม่ผ่านการให้ความร้อน (SF) แป้งถั่วดาวอินคาที่ผ่านการให้ความร้อนโดยการอบ (RSF) และแป้งถั่วดาวอินคาที่ผ่านการให้ความร้อนโดยการนึ่ง (SSF).....	52
4-13	สรุปผลจากการวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) ของสิ่งทดลองที่แปรปัจจัยด้านปริมาณการแทนที่แป้งสาลีอเนกประสงค์ด้วยแป้งถั่วดาวอินคาที่ไม่ผ่านการให้ความร้อน (SF) และปริมาณไฮดรอกซีโพรพิลเมทิลเซลลูโลส (HPMC) ต่อค่าคุณภาพของวอฟเฟิล.....	54
4-14	ค่าสีของวอฟเฟิลที่ได้จากการแปรปริมาณแป้งถั่วดาวอินคาที่ไม่ผ่านการให้ความร้อน (SF) แทนที่แป้งสาลีอเนกประสงค์และปริมาณไฮดรอกซีโพรพิลเมทิลเซลลูโลส (HPMC) ระดับต่างๆ.....	55
4-15	ความหนืดของแบตเตอร์และลักษณะเนื้อสัมผัสด้านค่า Hardness ค่า Springiness และค่า Cohesiveness ของวอฟฟเฟิลที่ได้จากการแปรปริมาณแป้งถั่วดาวอินคาที่ไม่ผ่านการให้ความร้อน (SF) แทนที่แป้งสาลีอเนกประสงค์และปริมาณไฮดรอกซีโพรพิลเมทิลเซลลูโลส (HPMC) ระดับต่างๆ.....	56

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่		หน้า
4-16	ลักษณะเนื้อสัมผัสด้านค่า Gumminess ค่า Chewiness ของวอฟฟเฟิลที่ได้จากการแปรปริมาณแป้งถั่วดาวอินคาที่ไม่ผ่านการให้ความร้อน (SF) แทนที่แป้งสาลีอเนกประสงค์และปริมาณไฮดรอกซีโพรพิลเมทิลเซลลูโลส (HPMC) ระดับต่างๆ	57
4-17	คะแนนความชอบทางประสาทสัมผัสของวอฟเฟิลที่ได้จากการแปรปริมาณแป้งถั่วดาวอินคาที่ไม่ผ่านการให้ความร้อน (SF) แทนที่แป้งสาลีอเนกประสงค์และปริมาณไฮดรอกซีโพรพิลเมทิลเซลลูโลส (HPMC) ระดับต่างๆ	59
4-18	คะแนนความชอบทางประสาทสัมผัสของวอฟเฟิลด้านความชอบด้านสีและความชอบด้านกลิ่นรสที่ได้จากการแปรปริมาณแป้งถั่วดาวอินคาที่ไม่ผ่านการให้ความร้อน (SF) แทนที่แป้งสาลีอเนกประสงค์และปริมาณไฮดรอกซีโพรพิลเมทิลเซลลูโลส (HPMC) ระดับต่างๆ	60
4-19	สรุปผลจากการวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) ของสิ่งทดลองที่แปรปัจจัยด้าน ปริมาณการแทนที่แป้งสาลีอเนกประสงค์ด้วยแป้งถั่วดาวอินคาที่ผ่านการให้ความร้อนด้วยการอบ (RSF) และปริมาณไฮดรอกซีโพรพิลเมทิลเซลลูโลส (HPMC) ต่อค่าคุณภาพของวอฟเฟิล	61
4-20	ค่าสีของวอฟเฟิลที่ได้จากการแปรปริมาณแป้งถั่วดาวอินคาที่ผ่านการให้ความร้อนด้วยการอบ (RSF) แทนที่แป้งสาลีอเนกประสงค์และปริมาณไฮดรอกซีโพรพิลเมทิลเซลลูโลส (HPMC) ระดับต่างๆ	62
4-21	ความหนืดของแบตเตอร์และลักษณะเนื้อสัมผัสด้านค่า Hardness ค่า Springiness ค่า Cohesiveness และค่า Chewiness ของวอฟเฟิลที่ได้จากการแปรปริมาณแป้งถั่วดาวอินคาที่ผ่านการให้ความร้อนด้วยการอบ (RSF) แทนที่แป้งสาลีอเนกประสงค์และปริมาณไฮดรอกซีโพรพิลเมทิลเซลลูโลส (HPMC) ระดับต่างๆ	64
4-22	ลักษณะเนื้อสัมผัสด้านค่า Gumminess ของวอฟเฟิลที่ได้จากการแปรปริมาณแป้งถั่วดาวอินคาที่ผ่านการให้ความร้อนด้วยการอบ (RSF) แทนที่แป้งสาลีอเนกประสงค์และปริมาณไฮดรอกซีโพรพิลเมทิลเซลลูโลส (HPMC) ระดับต่างๆ	66

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่		หน้า
4-23	คะแนนความชอบทางประสาทสัมผัสของวอฟเฟิลที่ได้จากการแปรปริมาณแป้งถั่วดาวอินคาที่ผ่านการให้ความร้อนด้วยการอบ (RSF) แทนที่แป้งสาลีอเนกประสงค์และปริมาณไฮดรอกซีโพรพิลเมทิลเซลลูโลส (HPMC) ระดับต่างๆ	68
4-24	คะแนนความชอบทางประสาทสัมผัสของวอฟเฟิลด้านความชอบด้านสีที่ได้จากการแปรปริมาณแป้งถั่วดาวอินคาที่ผ่านการให้ความร้อนด้วยการอบ (RSF) แทนที่แป้งสาลีอเนกประสงค์และปริมาณไฮดรอกซีโพรพิลเมทิลเซลลูโลส (HPMC) ระดับต่างๆ.....	69
4-25	สรุปผลจากการวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) ของสิ่งทดลองที่แปรปัจจัยด้านปริมาณการแทนที่แป้งสาลีอเนกประสงค์ด้วยแป้งถั่วดาวอินคาที่ผ่านการให้ความร้อนด้วยการนึ่งด้วยไอน้ำ (SSF) และปริมาณไฮดรอกซีโพรพิลเมทิลเซลลูโลส (HPMC) ต่อค่าคุณภาพของวอฟเฟิล.....	70
4-26	ค่าสีของวอฟเฟิลที่ได้จากการแปรปริมาณแป้งถั่วดาวอินคาที่ผ่านการให้ความร้อนด้วยการนึ่งด้วยไอน้ำ (SSF) แทนที่แป้งสาลีอเนกประสงค์และปริมาณไฮดรอกซีโพรพิลเมทิลเซลลูโลส (HPMC) ระดับต่างๆ.....	72
4-27	ความหนืดของแบตเตอร์และลักษณะเนื้อสัมผัสด้านค่า Hardness ค่า Springiness ค่า Cohesiveness ค่า Gumminess และค่า Chewiness ของวอฟฟเฟิลที่ได้จากการแปรปริมาณแป้งถั่วดาวอินคาที่ไม่ผ่านการให้ความร้อน (SSF) แทนที่แป้งสาลีอเนกประสงค์และปริมาณไฮดรอกซีโพรพิลเมทิลเซลลูโลส (HPMC) ระดับต่างๆ.....	74
4-28	คะแนนความชอบทางประสาทสัมผัสของวอฟเฟิลที่ได้จากการแปรปริมาณแป้งถั่วดาวอินคาที่ผ่านการให้ความร้อนด้วยการนึ่งด้วยไอน้ำ (SSF) แทนที่แป้งสาลีอเนกประสงค์และปริมาณไฮดรอกซีโพรพิลเมทิลเซลลูโลส (HPMC) ระดับต่างๆ	77
4-29	องค์ประกอบทางเคมีโดยประมาณของวอฟเฟิลสูตรพื้นฐานที่ใช้แป้งสาลีอเนกประสงค์ วอฟเฟิลสูตรที่ใช้แป้งถั่วดาวอินคาที่ไม่ผ่านการให้ความร้อน (SF) แป้งถั่วดาวอินคาที่ผ่านการให้ความร้อนด้วยการอบ (RSF) และแป้งถั่วดาวอินคาที่ผ่านการให้ความร้อนด้วยการนึ่งด้วยไอน้ำ (SSF).....	81

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่		หน้า
4-30	ปริมาณเส้นใยอาหารทั้งหมดของวอฟเฟิลสูตรพื้นฐานที่ใช้แป้งสาลีอเนกประสงค์ วอฟเฟิลสูตรที่ใช้แป้งถั่วดาวอินคาที่ไม่ผ่านการให้ความร้อน (SF) แป้งถั่วดาวอินคาที่ผ่านการให้ความร้อนด้วยการอบ (RSF) และแป้งถั่วดาวอินคาที่ผ่านการให้ความร้อนด้วยการนึ่งด้วยไอน้ำ (SSF).....	82
4-31	ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดและสมบัติการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระของวอฟเฟิลสูตรพื้นฐานที่ใช้แป้งสาลีอเนกประสงค์ วอฟเฟิลสูตรที่ใช้แป้งถั่วดาวอินคาที่ไม่ผ่านการให้ความร้อน (SF) แป้งถั่วดาวอินคาที่ผ่านการให้ความร้อนด้วยการอบ (RSF) และแป้งถั่วดาวอินคาที่ผ่านการให้ความร้อนด้วยการนึ่งด้วยไอน้ำ (SSF).....	83
4-32	ค่าสีของวอฟเฟิลสูตรพื้นฐานที่ใช้แป้งสาลีอเนกประสงค์ วอฟเฟิลสูตรที่ใช้แป้งถั่วดาวอินคาที่ไม่ผ่านการให้ความร้อน (SF) แป้งถั่วดาวอินคาที่ผ่านการให้ความร้อนด้วยการอบ (RSF) และแป้งถั่วดาวอินคาที่ผ่านการให้ความร้อนด้วยการนึ่งด้วยไอน้ำ (SSF).....	84
4-33	ความหนืดของแบตเตอร์และลักษณะเนื้อสัมผัสด้านค่า Hardness ค่า Springiness ค่า Cohesiveness ค่า Gumminess และค่า Chewiness ของวอฟเฟิลสูตรพื้นฐานที่ใช้แป้งสาลีอเนกประสงค์ วอฟเฟิลสูตรที่ใช้แป้งถั่วดาวอินคาที่ไม่ผ่านการให้ความร้อน (SF) แป้งถั่วดาวอินคาที่ผ่านการให้ความร้อนด้วยการอบ (RSF) และแป้งถั่วดาวอินคาที่ผ่านการให้ความร้อนด้วยการนึ่งด้วยไอน้ำ.....	86
4-34	คะแนนความชอบทางประสาทสัมผัสของวอฟเฟิลสูตรพื้นฐานที่ใช้แป้งสาลีอเนกประสงค์ วอฟเฟิลสูตรที่ใช้แป้งถั่วดาวอินคาที่ไม่ผ่านการให้ความร้อน (SF) แป้งถั่วดาวอินคาที่ผ่านการให้ความร้อนด้วยการอบ (RSF) และแป้งถั่วดาวอินคาที่ผ่านการให้ความร้อนด้วยการนึ่งด้วยไอน้ำ (SSF).....	88
4-35	คะแนนความแตกต่างจากวอฟเฟิลสูตรพื้นฐานของวอฟเฟิลสูตรที่ใช้แป้งถั่วดาวอินคา ที่ไม่ผ่านการให้ความร้อน (SF) แป้งถั่วดาวอินคาที่ผ่านการให้ความร้อนด้วยการอบ (RSF) และแป้งถั่วดาวอินคาที่ผ่านการให้ความร้อนด้วยการนึ่งด้วยไอน้ำ (SSF).....	89

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่		หน้า
4-36	ค่าสีของเครื่องดื่มน้ำนมถั่วดาวอินคาสูตรน้ำตาลต่ำที่แปรปริมาณแป้งถั่วดาวอินคาที่ผ่านการให้ความร้อนด้วยการอบ (RSF).....	90
4-37	ค่าความหนืด ค่าการแยกตัวของเหลว และปริมาณของแข็งที่ละลายได้ของเครื่องดื่มน้ำนมถั่วดาวอินคาสูตรน้ำตาลต่ำที่แปรปริมาณแป้งถั่วดาวอินคาที่ผ่านการให้ความร้อนด้วยการอบ (RSF).....	91
4-38	ความชอบทางประสาทสัมผัสของเครื่องดื่มน้ำนมถั่วดาวอินคาสูตรน้ำตาลต่ำที่แปรปริมาณแป้งถั่วดาวอินคาที่ผ่านการให้ความร้อนด้วยการอบ (RSF).....	92
4-39	องค์ประกอบทางเคมีของเครื่องดื่มน้ำนมถั่วดาวอินคาสูตรน้ำตาลต่ำที่เติมแป้งถั่วดาวอินคาที่ผ่านและไม่ผ่านการลดกลิ่นถั่ว.....	94
4-40	ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดและ % Inhibition ของเครื่องดื่มน้ำนมถั่วดาวอินคาสูตรน้ำตาลต่ำที่เติมแป้งถั่วดาอินคาที่ผ่านและไม่ผ่านการลดกลิ่นถั่ว...	95
4-41	ค่าสีของเครื่องดื่มน้ำนมถั่วดาวอินคาสูตรน้ำตาลต่ำที่เติมแป้งถั่วดาอินคาที่ผ่านและไม่ผ่านการลดกลิ่นถั่ว.....	95
4-42	ค่าความหนืดของเครื่องดื่มน้ำนมถั่วดาวอินคาสูตรน้ำตาลต่ำที่เติมแป้งถั่วดาอินคาที่ผ่านและไม่ผ่านการลดกลิ่นถั่ว.....	95
4-43	ความชอบทางประสาทสัมผัสของเครื่องดื่มน้ำนมถั่วดาวอินคาสูตรน้ำตาลต่ำที่แปรปริมาณแป้งถั่วดาวอินคาที่ผ่านการลดกลิ่นถั่วระดับต่างๆ.....	96

สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
2-1	ลักษณะต้นถั่วดาวอินคา.....	4
2-2	ลักษณะผลของถั่วดาวอินคา.....	5
2-3	ลักษณะเมล็ดของถั่วดาวอินคา.....	5
2-4	การผลิตแป้งถั่วดาวอินคาที่เป็นผลิตผลพลอยได้จากการสกัดน้ำมัน.....	9
2-5	เครื่องสกัดแบบไฮดรอลิก.....	10
2-6	ปฏิกิริยาออกซิเดชันของเอนไซม์ Lipoxygenase.....	13
2-7	การเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของ n-haxanal โดยเอนไซม์ aldehyde dehydrogenase.....	14
3-1	แป้งถั่วดาวอินคาที่ใช้ในงานวิจัย.....	25
4-1	ลักษณะของแป้งถั่วดาวอินคา (ก) ไม่ผ่านการให้ความร้อน (ข)-(ช) ผ่านการให้ความร้อนด้วยการอบที่อุณหภูมิและเวลาระดับต่างๆ.....	40
4-2	ลักษณะของแป้งถั่วดาวอินคา (ก) ไม่ผ่านการให้ความร้อน (ข)-(จ) ผ่านการให้ความร้อนด้วยการนึ่งด้วยไอน้ำที่ระดับเวลาต่างๆ.....	45
4-3	ลักษณะแบตเตอร์ของวอฟเฟิลสูตรพื้นฐาน (WL100 (control)) (ก) แบตเตอร์ของวอฟเฟิลสูตรที่ใช้แป้งถั่วดาวอินคาที่ไม่ผ่านการให้ความร้อน (WF 75, SF 25) (ข) แป้งถั่วดาวอินคาที่ผ่านการให้ความร้อนด้วยการอบ (WF 50, RSF 50) (ค) และแป้งถั่วดาวอินคาที่ผ่านการให้ความร้อนด้วยการนึ่งด้วยไอน้ำ (WF 50, SSF 50) (ง).....	78
4-4	ลักษณะภายนอกของวอฟเฟิลสูตรพื้นฐาน (WL100 (control)) (ก) วอฟเฟิลสูตรที่ใช้แป้งถั่วดาวอินคาที่ไม่ผ่านการให้ความร้อน (WF 75, SF 25) (ข) แป้งถั่วดาวอินคาที่ผ่านการให้ความร้อนด้วยการอบ (WF 50, RSF 50) (ค) และแป้งถั่วดาวอินคาที่ผ่านการให้ความร้อนด้วยการนึ่งด้วยไอน้ำ (WF 50, SSF 50) (ง).....	79
4-5	ลักษณะภาพตัดขวางของวอฟเฟิลสูตรพื้นฐาน (WL100 (control)) (ก) วอฟเฟิลสูตรที่ใช้แป้งถั่วดาวอินคาที่ไม่ผ่านการให้ความร้อน (WF 75, SF 25) (ข) แป้งถั่วดาวอินคาที่ผ่านการให้ความร้อนด้วยการอบ (WF 50, RSF 50) (ค) และแป้งถั่วดาวอินคาที่ผ่านการให้ความร้อนด้วยการนึ่งด้วยไอน้ำ (WF 50, SSF 50) (ง).....	79

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
4-6	ลักษณะของเครื่องดื่มน้ำนมถั่วดาวอินคาสูตรน้ำตาลต่ำที่แปรปริมาณแป้งถั่วดาวอินคาที่ผ่านการให้ความร้อนด้วยการอบ (RSF) (ก) 1% (ข) 2% (ค) 3% และ (ง) 4%.....	90
4-7	ตัวอย่างเอกสารที่ใช้เผยแพร่ความรู้ที่ได้สู่ชุมชน.....	97

บทที่ 1
บทนำ

ที่มาและความสำคัญของงานวิจัย

ถั่วดาวอินคา (Sacha inchi) ที่มีถิ่นกำเนิดจากประเทศเปรู มีชื่อทางวิทยาศาสตร์ว่า *Plukenetia volubilis* ถั่วชนิดนี้อยู่ในวงศ์ Euphorbiaceae ซึ่งเป็นวงศ์เดียวกับยางพาราและสบู่ดำ ถั่วดาวอินคาจัดเป็นพืชน้ำมันที่ดีแหล่งหนึ่ง เนื่องจากเมล็ดถั่วดาวอินคามีปริมาณน้ำมันสูงถึง 35-60% และจัดเป็นน้ำมันที่มีคุณภาพดี เนื่องจากมีกรดไขมันที่จำเป็นในปริมาณสูง มีรายงานว่า น้ำมันถั่วดาวอินคา มีกรดไขมันโอเมก้า 3 (Omega-3 fatty acid) 45-63% กรดไขมันโอเมก้า 6 (Omega-6 fatty acid) 34-39% กรดไขมันโอเมก้า 9 (Omega-9 fatty acid) 6-10% ซึ่งจัดเป็นกรดไขมันที่มีประโยชน์ต่อร่างกาย เช่น ช่วยทำให้การเกิดไขมันอุดตันในหลอดเลือดลดน้อยลง ช่วยลดระดับคอเลสเตอรอล (Cholesterol) และลิโพโปรตีนที่มีความหนาแน่นต่ำ (Low density lipoprotein, LDL) ช่วยเพิ่มลิโพโปรตีนที่มีความหนาแน่นสูง (High density lipoprotein, HDL) ช่วยลดอาการปวดและอาการอักเสบต่างๆ และมีสมบัติเป็นสารต้านอนุมูลอิสระ (Antioxidant) ช่วยลดและชะลอการเสื่อมของเซลล์ในร่างกาย ลดความเสี่ยงของการเกิดมะเร็ง เป็นต้น น้ำมันถั่วดาวอินคาจึงจัดเป็นส่วนผสมของอาหารสุขภาพที่ดีชนิดหนึ่ง

นอกจากน้ำมันแล้ว เมล็ดถั่วดาวอินคายังมีองค์ประกอบของโปรตีนสูงถึง 27-33% และอุดมไปด้วยกรดอะมิโนหลายชนิด เช่น ซีสเตอีน (Cysteine) ไทโรซีน (Tyrosine) ทรีโอนีน (Threonine) และทริปโตเฟน (Tryptophan) คล้ายกับโปรตีนจากเมล็ดงา ดอกทานตะวัน และถั่วลิสง ซึ่งมีปริมาณโปรตีน เท่ากับ 25% 24% และ 23% ตามลำดับ โดยเมล็ดถั่วดาวอินคามีคาร์โบไฮเดรตอยู่ประมาณ 30% ซึ่งจัดว่ามีปริมาณไม่มากนัก เพราะองค์ประกอบสำคัญเป็นปริมาณน้ำมันและโปรตีนที่สูง นอกจากนี้ยังมีองค์ประกอบของวิตามินและแร่ธาตุหลายชนิด เช่น วิตามินเอ วิตามินอี และไอโอดีน (Fanali, et al., 2011; Jagersberger, 2013; Maurer et al., 2011; Hans-Peter and Markus, 2011; อุดมวิทย์ ไวทยการ และคณะ, 2557)

จากศักยภาพที่ดีด้านคุณภาพน้ำมันของเมล็ดถั่วดาวอินคา การปลูกถั่วดาวอินคาจึงได้รับการส่งเสริมให้มีการปลูกกันมาก เป็นอีกทางเลือกหนึ่งที่น่าสนใจของเกษตรกร เพื่อช่วยเกษตรกรที่มักประสบปัญหาเศรษฐกิจในเรื่องของราคาผลผลิตตกต่ำ การค้นหาพืชชนิดใหม่ที่มีศักยภาพทางการตลาด จึงอาจเป็นโอกาสที่ดีของเกษตรกรได้ การปลูกถั่วดาวอินคาจึงเป็นที่สนใจของเกษตรกร เนื่องจากถั่วดาวอินคาเป็นพืชที่ปลูกได้ทั่วไป ทั้งในเขตร้อนและกึ่งหนาว การเจริญของถั่วดาวอินคาจะมีลักษณะเหมือนองุ่น คือเมื่อต้นเจริญขึ้นมาแล้วจะเลื้อยไปตามร้าน จนระยะเวลาประมาณ 6-8 เดือน จะให้ผลผลิตได้ โดยราคาจำหน่ายเมล็ดที่ยังไม่กะเทาะเปลือก คือ ประมาณ 35 บาท/กิโลกรัม และราคาจำหน่ายเมล็ดที่กะเทาะเปลือกแล้ว คือ ประมาณ 80 บาท/กิโลกรัม โดยผลผลิตส่วนใหญ่เกษตรกรจะนำส่งเข้าสู่กระบวนการสกัดน้ำมันต่อไป (พรชัย เหลืองอาภาพงศ์, 2558; อุดมวิทย์ ไวทยการ และคณะ, 2557)

ในกระบวนการสกัดน้ำมันจากเมล็ดถั่วดาวอินคาระดับอุตสาหกรรม ดำเนินการโดยนำเมล็ดถั่วดาวอินคามากะเทาะเปลือกออก และนำเมล็ดไปสกัดน้ำมันโดยการบีบเย็นด้วยไฮโดรลิก (Cold pressing with hydraulic press) ทำให้ได้ส่วนกากที่บีบน้ำมันออกแล้ว (Press cake) และนำส่วน

กากนี้มาบีบน้ำมันออกอีก แล้วทำเป็นผงแห้ง จนได้เป็นแป้งถั่วดาวอินคา (Jagersberger, 2013) ดังนั้นการนำแป้งถั่วดาวอินคาที่เป็นผลพลอยได้จากกระบวนการสกัดน้ำมันในระดับอุตสาหกรรมมาใช้ประโยชน์ให้เหมาะสมกับศักยภาพ จึงเป็นการเพิ่มมูลค่าถั่วดาวอินคาได้อีกทางหนึ่ง

แป้งถั่วดาวอินคาที่เป็นผลพลอยได้จากกระบวนการสกัดน้ำมันในระดับอุตสาหกรรม เป็นแป้งที่มีโปรตีนสูงถึง 56.63% นอกจากนี้ยังมีปริมาณสารประกอบฟีนอลิก 155.41 มิลลิกรัม/100 กรัม และเส้นใยอาหารทั้งหมด 25.27% (Jagersberger, 2013) อย่างไรก็ตามแป้งถั่วหลายชนิดมักมีลักษณะเฉพาะ คือมีกลิ่นถั่ว (Beany odor) หรือกลิ่นหญ้า (Grassy odor) ทำให้เป็นอุปสรรคในการนำมาใช้เป็นส่วนผสมในอาหาร ซึ่งแป้งถั่วดาวอินคาก็มีกลิ่นถั่วเช่นกัน Kudre and Benjakul (2013) รายงานว่า แป้งถั่วหรั่ง (Bambara groundnut flour) มีกลิ่นถั่ว ซึ่งเป็นผลจากการมีองค์ประกอบของหมู่อัลดีไฮด์ (Medium chain aldehyde) เพนทานอล (Pentanol) เฮกซานอล (Hexanol) และเฮปทานอล (Heptanol) รวมถึงกลิ่นถั่วซึ่งเกิดจากปฏิกิริยาออกซิเดชันของกรดไขมันไม่อิ่มตัวจากการทำงานของเอนไซม์ไลพอกซิจิเนส (Lipoxygenase) ซึ่งสอดคล้องกับที่ Shin et al. (2013) รายงานว่า แป้งถั่วเหลืองมีกลิ่นถั่วซึ่งเกิดจากปฏิกิริยาออกซิเดชันดังกล่าวเช่นกัน

แนวทางในการกำจัดหรือลดกลิ่นถั่วในแป้ง สามารถทำได้โดยวิธีการใช้ความร้อน (Heat treatment) เช่น การอบ (Roasting) การนึ่งด้วยไอน้ำ (Steaming) และวิธีไม่ใช้ความร้อน (Non-heat treatment) เช่น การแช่ในตัวทำละลาย (Shin et al., 2013; Kudre and Benjakul, 2013; ลูกจันทร์ ภัครัชพันธุ์ และสุชาติ ภูษณะดิลก, 2525) แต่การใช้ตัวทำละลายมีข้อด้อยคือ ตัวทำละลายมักจะตกค้างแล้วทำให้มีผลต่อกลิ่นและรสของผลิตภัณฑ์ และตัวทำละลายบางชนิดถ้ากำจัดออกไปได้ไปไม่หมด อาจเป็นอันตรายกับร่างกายได้ (ลูกจันทร์ ภัครัชพันธุ์ และสุชาติ ภูษณะดิลก, 2525) การหาวิธีการที่เหมาะสมในการลดกลิ่นถั่วจากแป้งถั่วดาวอินคา จึงเป็นเรื่องที่น่าสนใจเพื่อที่จะได้นำแป้งถั่วดาวอินคามาใช้ประโยชน์ได้มากขึ้น และสนใจที่จะนำแป้งถั่วดาวอินคามาเป็นส่วนผสมในผลิตภัณฑ์ส่วนผสมในการผลิตอาหาร จำนวน 2 ชนิด คือ 1) แป้งวอฟเฟิลสำเร็จรูป เนื่องจากวอฟเฟิลเป็นผลิตภัณฑ์เบเกอรีที่นิยมบริโภคกันอย่างแพร่หลายในปัจจุบัน โดยเป็นรายการอาหารที่มักมีในธุรกิจกาแฟและเบเกอรี นิยมรับประทานเป็นอาหารว่างควบคู่กับกาแฟหรือไอศกรีม ดังนั้นการใช้แป้งถั่วดาวอินคาในส่วนผสมวอฟเฟิลสำเร็จรูป จึงเป็นการพัฒนาสูตรให้เป็นผลิตภัณฑ์เพื่อสุขภาพที่มีโปรตีนสูง สอดคล้องกับแนวโน้มความต้องการของผู้บริโภค และสะดวกกับการใช้งาน และ 2) เครื่องดื่มน้ำนมถั่วดาวอินคาสูตรน้ำตาลต่ำ เนื่องจากสอดคล้องกับเมนูอาหารของผู้บริโภคที่รักสุขภาพที่มักชอบรับประทานเครื่องดื่มเพื่อสุขภาพที่มีโปรตีนสูงและน้ำตาลต่ำ

วัตถุประสงค์

1) เพื่อวิเคราะห์คุณภาพแป้งถั่วดาวอินคาที่เป็นผลิตผลพลอยได้จากการสกัดน้ำมัน
2) เพื่อศึกษาผลของวิธีการให้ความร้อนในการลดกลิ่นถั่วต่อคุณภาพของแป้งถั่วดาวอินคา
3) เพื่อศึกษาความเป็นไปได้ในการนำแป้งถั่วดาวอินคามาใช้ในผลิตภัณฑ์อาหารเพื่อสุขภาพต้นแบบ
4) เพื่อถ่ายทอดเทคโนโลยีและความรู้ที่ได้จากการวิจัยสู่ชุมชน

ขอบเขตของโครงการวิจัย

งานวิจัยนี้ต้องการศึกษาศักยภาพการนำแป้งถั่วดาวอินคาซึ่งเป็นผลิตผลพลอยได้จากการสกัดน้ำมันถั่วดาวอินคามาใช้ประโยชน์ โดยปรับปรุงคุณภาพด้านกลิ่นถั่ว เพื่อให้สามารถนำมาเป็นส่วนผสมในอาหารเพื่อสุขภาพได้ โดยงานวิจัยแบ่งขั้นตอนการศึกษาเป็น 4 ขั้นตอน ได้แก่ **ตอนที่ 1 การวิเคราะห์คุณภาพแป้งถั่วดาวอินคาที่เป็นผลิตผลพลอยได้จากการสกัดน้ำมัน** ในขั้นตอนนี้เป็นการศึกษาศักยภาพการใช้ประโยชน์ผลิตผลพลอยได้จากการสกัดน้ำมันถั่วดาวอินคา โดยนำวัตถุดิบแป้งถั่วดาวอินคามาวิเคราะห์คุณภาพ **ตอนที่ 2 การศึกษาผลของวิธีการให้ความร้อนเพื่อลดกลิ่นถั่วต่อคุณภาพของแป้งถั่วดาวอินคา** ศึกษาวิธีการให้ความร้อนแป้งถั่วด้วยการอบ (Roasting) และการนึ่งด้วยไอน้ำ (Steaming) และวิเคราะห์คุณภาพของแป้งถั่วดาวอินคา โดยเลือกสิ่งทดลองที่ทำให้แป้งถั่วดาวอินคามีกลิ่นถั่วน้อยที่สุด มีค่า %Residual lipoxygenase activity ต่ำ **ตอนที่ 3 การศึกษาความเป็นไปได้ในการนำแป้งถั่วดาวอินคามาใช้ในผลิตภัณฑ์อาหารเพื่อสุขภาพต้นแบบ** โดยการนำแป้งถั่วดาวอินคาที่ผ่านการลดกลิ่นถั่วแล้ว มาเติมเป็นส่วนผสมในอาหารเพื่อสุขภาพต้นแบบ 2 ชนิด ได้แก่ 1) แป้งวอฟเฟิลสำเร็จรูป และ 2) เครื่องดื่มน้ำนมถั่วดาวอินคาสูตรน้ำตาลต่ำ สิ่งทดลองที่เหมาะสม คือ สิ่งทดลองที่ได้รับคะแนนความชอบโดยรวมสูงที่สุดและมีการใช้แป้งถั่วดาวอินคาปริมาณมากที่สุด และ**ตอนที่ 4 การถ่ายทอดเทคโนโลยีและความรู้ที่ได้จากการวิจัยสู่ชุมชน** เช่น การจัดทำเอกสารเผยแพร่เทคโนโลยีและความรู้ที่ได้แก่ชุมชน รวมทั้งการนำเสนอผลงานผ่านการประชุมวิชาการหรือการตีพิมพ์ในระดับชาติหรือนานาชาติ เพื่อแลกเปลี่ยนเรียนรู้ระหว่างนักวิจัย

บทที่ 2
การตรวจเอกสาร

1. ถั่วดาวอินคา

1.1 ลักษณะทางพฤกษศาสตร์

ถั่วดาวอินคามีชื่อทางวิทยาศาสตร์ว่า *Plukenetia Volubilis* L. วงศ์ Euphorbiaceae หรืออาจเรียกว่าซาคาอินชี (Sacha Inchi) หรือถั่วภูเขา มีรายงานว่ามีถิ่นกำเนิดจากป่าอะเมซอน และประเทศเปรู และเติบโตในสภาพอากาศอบอุ่นที่ระดับความสูงถึง 1,700 เมตร เป็นพืชที่ชอบสภาพแวดล้อมที่มีน้ำให้ใช้อย่างต่อเนื่อง และระบายน้ำได้ดีในสภาพดินที่เป็นกรด เป็นไม้ยืนต้นที่มีใบค่อนข้างมาก มีความสูงประมาณ 2 เมตร เป็นไม้ผลัดใบ มีลักษณะเป็นรูปหัวใจ ขอบใบมีรอยหยักยาว 10-12 เซนติเมตร กว้าง 8-10 เซนติเมตรและก้านใบมีความกว้าง 2-6 เซนติเมตร เกสรตัวผู้จัดอยู่ในกลุ่มที่มีขนาดเล็กและมีสีขาว เกสรตัวเมียสองตัวตั้งอยู่ในฐานของช่อดอกไม้ ผลของถั่วดาวอินคา (ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 3-5 เซนติเมตร ลักษณะเป็นแฉก 4-7 แฉก) มีสีเขียวและจะเปลี่ยนเป็นสีน้ำตาลดำเมื่อผลสุก โดยทั่วไปจะมี 4 แฉก แต่ในบางกรณีผลอาจมีมากถึง7แฉก เมล็ดเป็นรูปไข่ สีน้ำตาลเข้ม มีเส้นผ่าศูนย์กลาง 1.5-2 เซนติเมตร ลักษณะต้น ผล และเมล็ดถั่วดาวอินคาแสดงดังภาพที่ 2-1 2-2 และ 2-3 ตามลำดับ (Hans-Peter and Markus, 2011)

ภาพที่ 2-1 ลักษณะต้นถั่วดาวอินคา
ที่มา: http://phakhao.loei.doae.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

1.2 องค์ประกอบทางเคมีและคุณค่าทางโภชนาการ

เมล็ดถั่วดาวอินคาเป็นส่วนที่น่าสนใจเป็นอย่างมาก เนื่องจากมีปริมาณน้ำมันสูง โดยมีการรายงานถึงปริมาณน้ำมันจากหลายแหล่ง Guillen et al. (2003) รายงานว่าเมล็ดถั่วดาวอินคามีปริมาณน้ำมันสูงถึง 35-60% ซึ่งสอดคล้องกับการรายงานของ Chiara et al. (2011) นอกจากนี้ Bondioli and Della Bella (2006) รายงานว่าเมล็ดถั่วดาวอินคามีน้ำมัน 34.42% ซึ่งความแตกต่างนี้ อาจเป็นผลมาจากสายพันธุ์ย่อยของถั่วดาวอินคา สภาพทางภูมิศาสตร์ และลักษณะภูมิอากาศของพื้นที่ปลูก ช่วงเวลาในการเก็บเกี่ยว หรือวิธีการสกัดน้ำมัน อย่างไรก็ตามผลได้จากปริมาณน้ำมันของถั่วดาวอินคามีปริมาณสูงเทียบได้กับน้ำมันจากเมล็ดฝ้าย น้ำมันดอกคำฝอย น้ำมันดอกคาโนลา หรือน้ำมันถั่วลิสง

น้ำมันจากเมล็ดถั่วดาวอินคาสามารถนำมาใช้ในเครื่องสำอางได้ โดยให้ผลดีเป็นที่ยอมรับอย่างกว้างขวาง และเนื่องจากมีองค์ประกอบของไขมัน ซึ่งส่วนใหญ่เป็นกรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัวกลุ่ม

กรดไขมันโอเมก้า 3 (Omega-3 fatty acid) กรดไขมันโอเมก้า 6 (Omega-6 fatty acid) กรดไขมันโอเมก้า 9 (Omega-9 fatty acid) ซึ่งจัดเป็นกรดไขมันที่มีประโยชน์ต่อร่างกายเช่น ช่วยทำให้การเกิดไขมันอุดตันในหลอดเลือดลดน้อยลง ช่วยลดระดับคอเลสเตอรอล (Cholesterol) และลิโพโปรตีนที่มีความหนาแน่นต่ำ (Low density lipoprotein, LDL) ช่วยเพิ่มลิโพโปรตีนที่มีความหนาแน่นสูง (High density lipoprotein, HDL) ช่วยลดอาการปวดและอาการอักเสบต่างๆ และมีสมบัติเป็นสารต้านอนุมูลอิสระ (Antioxidant) ช่วยลดและชะลอการเสื่อมของเซลล์ในร่างกาย ลดความเสี่ยงของการเกิดมะเร็ง เป็นต้น จึงมีการนำมาใช้ผลิตเป็นอาหารเสริมอย่างแพร่หลายมากขึ้น (Hans-Peter and Markus, 2011)

กรดไขมันในถั่วดาวอินคาเป็นองค์ประกอบที่สำคัญที่ใช้บ่งบอกคุณค่าทางโภชนาการของไขมันและน้ำมันได้ โดยน้ำมันถั่วดาวอินคาอุดมไปด้วยโอเมก้า-3 (Alpha-linolenic: **ω**-3) และโอเมก้า-6 (Linoleic: **ω**-6) ประมาณ 50% และ 34% ตามลำดับ (Maurer et al., 2012) โดยมีกรดโอเลอิก (9.1%) กรดพาลมิติก (4.4%) และกรดสเตียริก (2.4%) ในปริมาณน้อย (Gutierrez et al., 2011) จัดว่าเป็นน้ำมันที่มีคุณภาพดี

Chiara et al. (2011) ได้ศึกษาองค์ประกอบทางเคมีที่สำคัญในน้ำมันถั่วดาวอินคาจากกระบวนการสกัดแบบบีบเย็น ได้แก่ ไตรเอซิลกลีเซอรอล (Triacylglycerols) โพลิฟีนอล (Polyphenols) และวิตามินอี (Tocopherols) โดยทำการวิเคราะห์ไตรเอซิลกลีเซอรอลและโพลิฟีนอล ด้วยเทคนิค High Performance Liquid Chromatography (HPLC) ร่วมกับ Photodiode array (PDA) และ Mass spectrometry (MS) ส่วนปริมาณวิตามินอี วิเคราะห์ด้วยเทคนิค Fluorescence (RF) นอกจากนี้ ยังทำการวิเคราะห์ปริมาณของ Fatty acid methyl esters (FAMEs) ด้วยเทคนิค Gas Chromatography (GC) โดยใช้ตัวตรวจวัดชนิด Flame ionization พบว่า น้ำมันถั่วดาวอินคามีปริมาณไขมันทั้งหมด 93 เปอร์เซ็นต์ โดยมีกรดไขมันประเภทไม่อิ่มตัวมากที่สุด ได้แก่ ลิโนเลอิก (Linoleic) และลิโนเลนิก (Linolenic) คิดเป็นประมาณ 50% และ 36% ตามลำดับ โดยไตรเอซิลกลีเซอรอลที่พบในตัวอย่างมีปริมาณสูงถึง 22.2% ส่วนด้านวิตามินอี พบว่ามีวิตามินอีชนิดแกมมา (γ-tocopherols) มีปริมาณมากที่สุด และสามารถตรวจพบสารประกอบโพลิฟีนอลในน้ำมันถั่วดาวอินคาด้วย

Hans-Peter and Markus (2011) รายงานว่า เมล็ดของถั่วอินคามีโปรตีนสูงถึง 33% โดยมีกรดอะมิโนจำเป็นทุกตัว ที่เพียงพอต่อความต้องการของร่างกาย ตามคำแนะนำขององค์การอนามัยโลก (FAO/WHO)

Gutierrez et al. (2011) รายงานว่า เมล็ดถั่วดาวอินคามีโปรตีนอุดมไปด้วยกรดอะมิโนที่ต้องการในผู้ใหญ่ ปริมาณโปรตีนของถั่วดาวอินคามีประมาณ 27% และอุดมไปด้วยกรดอะมิโนจำเป็น เช่น เช่น ซีสเตอีน (Cysteine) ไทโรซีน (Tyrosine) ทรีโอนีน (Threonine) และทริปโตเฟน (Tryptophan) คล้ายกับโปรตีนจากเมล็ดงา ดอกทานตะวัน และถั่วลิสง ซึ่งมีปริมาณโปรตีน เท่ากับ 25% 24% และ 23% ตามลำดับ จะเห็นได้ว่าเมล็ดถั่วดาวอินคามีกรดอะมิโนจำเป็นเพียงพอ ยกเว้นฮีสติดีน (Histidine) เมื่อเทียบกับที่องค์การอนามัยโลก (FAO/WHO) แนะนำ นอกจากนี้เมล็ดถั่วดาวอินคามีปริมาณคาร์โบไฮเดรตทั้งหมด 30.9% ซึ่งจัดว่ามีปริมาณไม่มากนัก เพราะองค์ประกอบสำคัญเป็นปริมาณน้ำมันและโปรตีนที่สูง เมล็ดถั่วดาวอินคาให้พลังงาน 576 kcal/100 g องค์ประกอบทาง

เคมีโดยเฉลี่ยของเมล็ดถั่วดาวอินคาแสดงดังตารางที่ 2-1 นอกจากนี้เมล็ดถั่วดาวอินคายังมีส่วนประกอบพวกแร่ธาตุด้วย โดยพบว่ามีแร่ธาตุที่จำเป็นจำนวนมาก เช่น โพเทสเซียม ตรวจพบมากที่สุดปริมาณ 5563.5 mg/kg แมกนีเซียม 3210 mg/kg แคลเซียม 2406 mg/kg เหล็ก 103.5 mg/kg และสังกะสี 49 mg/kg โดยพบโซเดียมและคอปเปอร์ปริมาณเล็กน้อย อย่างไรก็ตามองค์ประกอบของดินที่ปลูกมีผลกระทบต่อองค์ประกอบของแร่ธาตุของเมล็ดถั่วดาวอินคา เมื่อเปรียบเทียบกับพืชน้ำมันอื่น เช่น เมล็ดฝ้าย เมล็ดลินซีด ถั่วลิสง และเมล็ดทานตะวัน พบว่า เมล็ดถั่วดาวอินคามีปริมาณสังกะสีสูงกว่าและมีปริมาณโซเดียม คอปเปอร์ และเหล็กต่ำกว่า องค์ประกอบด้านปริมาณแร่ธาตุของเมล็ดถั่วดาวอินคาแสดงดังตารางที่ 2-2

เมล็ดถั่วดาวอินคายังมีองค์ประกอบของวิตามินและแร่ธาตุหลายชนิด เช่น วิตามินเอ วิตามินอี และไอโอดีน (อุดมวิทย์ ไวทยการ และคณะ, 2557)

ตารางที่ 2-1 องค์ประกอบทางเคมีของเมล็ดถั่วดาวอินคา

Composition	%
Moisture	3.3±0.3
Fat	42.0±1.1
Protein	24.7±0.5
Ash	4.0±0.7
Total carbohydrate	30.9±0.6

ที่มา: Gutierrez et al. (2011)

ตารางที่ 2-2 องค์ประกอบด้านปริมาณแร่ธาตุของเมล็ดถั่วดาวอินคา

Composition	mg/kg
Potassium	5563.5±6.4
Magnesium	3210.0±21.2
Calcium	2406.0±7.1
Iron	103.5±8.9
Zinc	49.0±1.1
Sodium	15.4±0.5
Cooper	12.9±0.3

ที่มา: Gutierrez et al. (2011)

Hans-Peter and Markus (2011) รายงาน คุณค่าทางโภชนาการของเมล็ดถั่วดาวอินคาเปรียบเทียบกับเมล็ดน้ำมันชนิดอื่น พบว่า เมล็ดถั่วดาวอินคามีปริมาณน้ำมันและโปรตีนสูงกว่าเมล็ดพืชพวกทุกชนิดที่วิเคราะห์ ได้แก่ มะกอก ถั่วเหลือง ข้าวโพด ถั่วลิสง ทานตะวัน และปาล์ม รายละเอียดแสดงดังตารางที่ 2-3 นอกจากนี้มีการให้ข้อมูลเพิ่มเติมว่า เมล็ดและน้ำมันถั่วดาวอินคานั้นมีศักยภาพที่สามารถนำไปใช้ทางการแพทย์ ด้านการช่วยลดคอเลสเตอรอล โรคความดันโลหิตสูง

โรคข้ออักเสบ หรือโรคมะเร็งบางอย่าง เช่น มะเร็งเต้านม มะเร็งต่อมลูกหมาก เป็นต้น นอกจากนี้ยังมีแนวโน้มที่จะนำมาใช้ประโยชน์ในการรักษาโรคได้ เช่น

1) การรักษาผู้ป่วยที่มีสมาธิสั้น (Attention deficit hyperactivity disorder) โรคนี้เกี่ยวข้องกับการมีปริมาณของกรดไขมันไม่อิ่มตัวต่ำในพลาสมาและเซลล์เม็ดเลือดแดง ในประเทศเยอรมนีมีการรักษาโรคสมาธิสั้นในเด็กโดยการเพิ่มกรดไขมันไม่อิ่มตัวในเลือด

2) การรักษาโรคข้ออักเสบ ซึ่งเกี่ยวข้องกับการที่พรอสตาแกลนดิน (Prostaglandins) เป็นส่วนประกอบของกรดไขมันไม่อิ่มตัว ซึ่งเป็นผลเชิงบวกต่อการรักษาโรคข้ออักเสบ

1.3 แป้งถั่วดาวอินคา

จากศักยภาพด้านคุณภาพและปริมาณน้ำมันของเมล็ดถั่วดาวอินคา จึงได้มีการนำเมล็ดถั่วดาวอินคามาสกัดน้ำมัน โดยมักสกัดด้วยกระบวนการบีบเย็นเพื่อคงคุณภาพของน้ำมัน ในกระบวนการสกัดน้ำมันจะมีผลพลอยได้ซึ่งสามารถนำมาผลิตเป็นแป้งถั่วดาวอินคา โดย Jagersberger (2013) รายงานขั้นตอนการสกัดน้ำมันจากเมล็ดถั่วดาวอินคาและการผลิตแป้งถั่วดาวอินคาในระดับอุตสาหกรรมไว้ตามภาพที่ 2-3

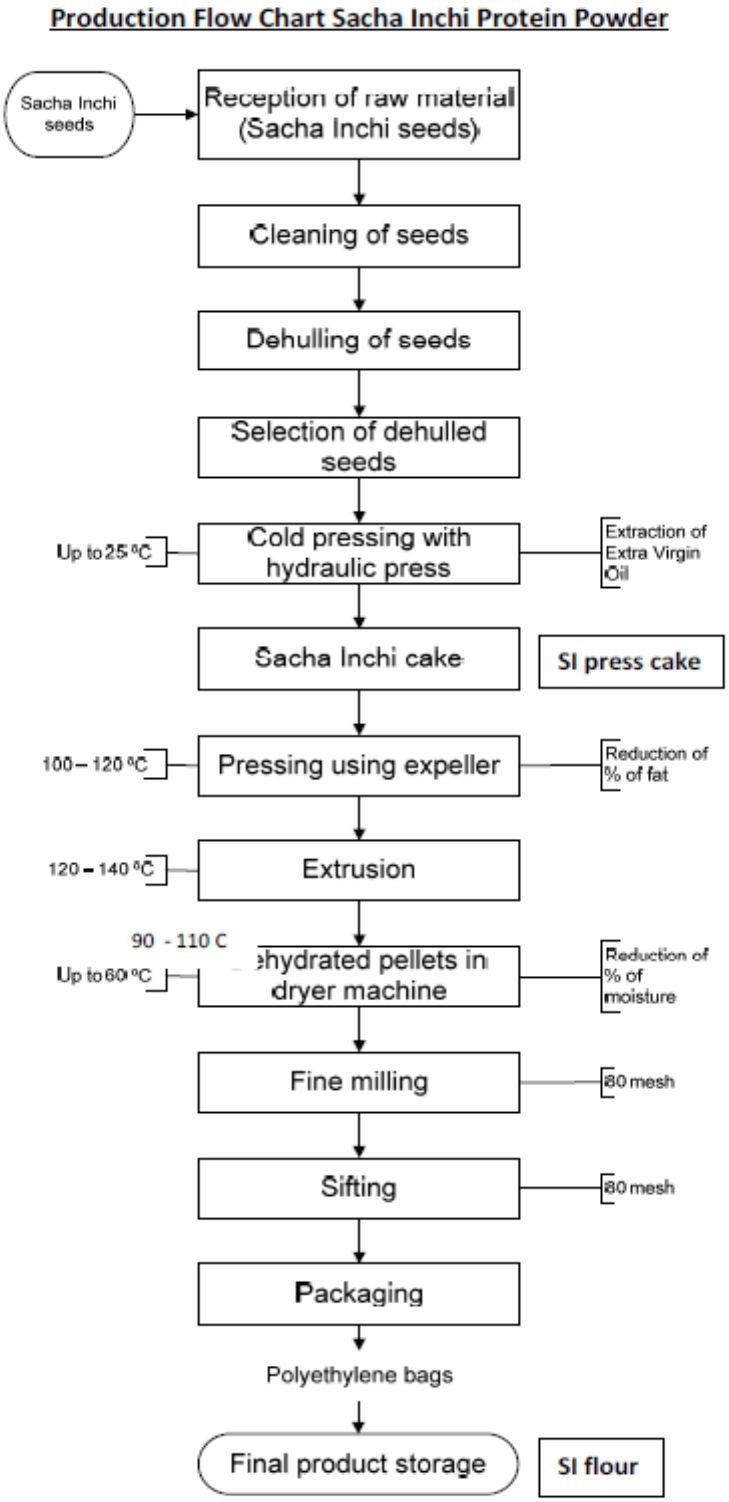
จากภาพที่ 2-3 การผลิตแป้งถั่วดาวอินคาที่เป็นผลิตผลพลอยได้จากการสกัดน้ำมัน มีขั้นตอนดังนี้คือ นำเมล็ดถั่วดาวอินคาที่รับมาทำความสะอาด กะเทาะเปลือกออกจากเมล็ด เลือกเมล็ดที่สมบูรณ์ไปสกัดน้ำมันโดยการบีบเย็นด้วยไฮโดรลิก (Cold pressing with hydraulic press) ทำให้ได้น้ำมันถั่วดาวอินคา (Extra virgin oil) และได้ส่วนกากที่บีบน้ำมันออกแล้ว (Press cake) จากนั้นและนำส่วนกากนี้มาบีบน้ำมันออกอีกด้วยการผ่านเครื่องอัดรีดแบบสกรู (Expeller) และลำเลียงกากโดยการอัดผ่านเกลียว (Extrusion) จะได้กากถั่วดาวอินคาที่มีลักษณะเป็นแผ่นแห้ง (Dehydrated pellets) นำมาอบแห้งและบดเป็นผงละเอียด ร่อนผ่านกะแกรงขนาด 80 เมช จนได้เป็นแป้งถั่วดาวอินคาโปรตีนสูง บรรจุถุงโพลีเอธีทีลีนและเก็บรักษา

Jagersberger (2013) รายงานองค์ประกอบทางเคมีและคุณค่าทางโภชนาการของแป้งถั่วดาวอินคาที่เป็นผลพลอยได้จากกระบวนการสกัดน้ำมัน ไว้ดังนี้ มีโปรตีน 56.63% ไขมัน 8.61% สารประกอบฟีนอลิก 155.41 mg/100 g ใยอาหารทั้งหมด 4.14% และ เถ้า 5.45%

ตารางที่ 2-3 คุณค่าทางโภชนาการของถั่วดาวอินคาเปรียบเทียบกับเมล็ดน้ำมันชนิดอื่น

สารอาหาร	มะกอก	ถั่วเหลือง	ข้าวโพด	ถั่วลิสง	ทานตะวัน	ปาล์ม	ถั่วดาวอินคา
โปรตีน	Ca.2	28	8-13	23	24	-	33
น้ำมัน	22	19	3-6	45	48	56	54
กรดปาล์มมิติก	13	10.7	11	12	7.5	45	3.9
กรดสเตียริก	3	3.3	2	2	5.5	4	2.5
กรดโอเลอิก	71	22.3	28	43.3	29.3	40	8.8
กรดลิโนอิก	10	54.5	58	36.8	57.9	10	36.8
กรดลิโนเลอิก	1	8.3	1	-	-	-	48.6

ที่มา: Hans-Peter and Markus (2011)



ภาพที่ 2-4 การผลิตแป้งถั่วดาวอินคาที่เป็นผลิตผลพลอยได้จากการสกัดน้ำมัน
ที่มา: Jagersberger (2013)

2. การสกัดน้ำมันดิบจากพืชน้ำมัน

กระวี ตรีอำนรรค (2547) กล่าวว่า การสกัดน้ำมันดิบจากพืชน้ำมัน แบ่งตามวิธีการสกัดได้เป็น 4 ประเภท คือ การบีบอัด การสกัดด้วยสารทำละลาย การบีบอัดร่วมกับการใช้สารทำละลาย และการสกัดแบบบีบเย็น มีรายละเอียดดังนี้

2.1 การสกัดด้วยการบีบอัด (Mechanical pressing)

เป็นการบีบสกัดด้วยความดันสูงเพื่อให้เหลือปริมาณน้ำมันในกากน้อยที่สุด เรียกการบีบแบบนี้ว่า Full press การบีบอัดใช้กับวัตถุดิบที่มีปริมาณน้ำมันสูง (มากกว่า 20%) ได้แก่ ถั่วลิสง เมล็ดฝ้าย งา และมะพร้าว เป็นต้น ด้วยการใช้เครื่องบีบแบบไฮดรอลิก (ภาพที่ 2-5) หรือเครื่องบีบแบบสกรูเครื่องจักรแบบนี้จะบีบน้ำมันออกจากวัตถุดิบโดยการเพิ่มความดัน โรงงานสกัดน้ำมันพืชส่วนใหญ่นิยมใช้เครื่องบีบแบบสกรูเนื่องจากมีการทำงานแบบต่อเนื่อง นอกจากนี้การบีบด้วยเครื่องบีบแบบสกรูจะมีน้ำมันเหลือในกาก 3-4% ส่วนการใช้เครื่องไฮดรอลิกมีน้ำมันเหลืออยู่ในกากสูง 6-10% แต่เครื่องบีบแบบสกรูก็มีราคาแพงกว่าและต้องบำรุงรักษามากกว่า

ภาพที่ 2-5 เครื่องสกัดแบบไฮดรอลิก
ที่มา: กระวี ตรีอำนรรค (2547)

2.2 การสกัดด้วยสารทำละลาย (Solvent extraction)

เป็นการสกัดน้ำมันจากวัตถุดิบที่มีปริมาณน้ำมันต่ำ (น้อยกว่า 20%) เป็นกรรมวิธีที่ทันสมัยและมีประสิทธิภาพสูง คือสามารถสกัดให้มีปริมาณน้ำมันเหลือในกากได้น้อยกว่า 1% การสกัดน้ำมันด้วยสาระละลายมีวิธีการหลายแบบ คือ แบบ Immersion เป็นการนำวัตถุดิบแช่ลงในสารทำละลายตามระยะเวลาที่กำหนด น้ำมันจะถูกสกัดออกผสมปนอยู่กับสารละลาย อย่างไรก็ตามการสกัดน้ำมันด้วยสารทำละลายแม้ว่าจะสกัดน้ำมันได้ในปริมาณสูง แต่ก็มีข้อเสียคือ อุปกรณ์มีราคาแพง มีอันตรายจากการระเบิดเนื่องจากสารทำ ละลายซึ่งส่วนใหญ่เป็นสารที่มีจุดวาบไฟต่ำ ติดไฟได้ง่าย มีการสูญเสียสารทำละลายซึ่งโดยปกติไม่ควรเกิน 0.15 % ของวัตถุดิบ และการสกัดน้ำมันด้วยสารทำละลายไม่เหมาะกับพืชน้ำมันบางชนิด เช่น เมล็ดฝ้ายเนื่องจากไม่สามารถกำจัดสารพิษได้

2.3 การบีบอัดร่วมกับการใช้สารทำละลาย

เป็นการสกัดด้วยการบีบน้ำมันออกแบบ Prepress ในขั้นตอนแรก เป็นการบีบน้ำมันด้วยความดันต่ำเพื่อแยกน้ำมันบางส่วนออก โดยไม่ทำให้โครงสร้างของท่อน้ำมันภายในเมล็ดเกิดการเสียหายมากเกินไป จากนั้นในขั้นตอนที่สองจะทำ การสกัดน้ำมันที่เหลือในกากด้วยสารทำละลายหากบีบน้ำมันในขั้นตอนแรกด้วยความดันที่สูงเกินไปจนทำให้ท่อน้ำมันภายในเมล็ดเกิดการเสียหายมาก ทำ ให้น้ำมันเกิดการคั่งค้างภายในเมล็ดและสารทำ ละลายจะไม่สามารถสัมผัสกับน้ำมันได้ดีในขั้นตอนที่สองเช่นกัน ทำให้ประสิทธิภาพในการสกัดน้ำมันไม่ดีเท่าที่ควร นอกจากนี้การสกัดน้ำมันด้วยวิธีการนี้ยังมีความยุ่งยากจากขั้นตอนการทำงานที่มากและสิ้นเปลืองกำลังงานมากอีกเช่นกัน

2.4 การสกัดแบบบีบเย็น (Cool pressed)

การสกัดน้ำมันด้วยวิธีทางกลโดยทำการบีบอัดอย่างช้าๆ ไม่ให้อุณหภูมิของน้ำมันขณะทำการสกัดสูงกว่า 60 องศาเซลเซียส หรือกล่าวทางเทคนิคได้ว่าเป็นการสกัดน้ำมันที่ไม่มีการให้ความร้อนเพิ่มแก่ขบวนการสกัดและต้องควบคุมการทำงานของเครื่องไม่ให้อุณหภูมิของน้ำมันเพิ่มขึ้นสูงเกินกว่าค่ามาตรฐานที่กำหนดในสวิสเซอร์แลนด์ การบีบเย็นจะหมายถึงขบวนการสกัดที่อุณหภูมิไม่เกิน 50 องศาเซลเซียส ในอเมริกาเหนือ ผลิตภัณฑ์จากการบีบเย็นจะติดฉลากว่า “ไม่ผ่านการทำบริสุทธิ์” (Unrefined) และต้องบรรจุในภาชนะทึบแสงเท่านั้น เพื่อป้องกันไม่ให้แสงสว่างกระตุ้นน้ำมันให้ทำปฏิกิริยากับออกซิเจน

3. กลิ่นถั่ว

พืชตระกูลถั่ว เป็นกลุ่มพืชที่ได้รับความสนใจอย่างมาก ในการผลิตโปรตีนจากพืชมาใช้แทนโปรตีนจากสัตว์ซึ่งมีราคาสูง พืชตระกูลถั่วส่วนใหญ่มีคุณค่าทางอาหารสูง ปลูกได้ง่าย โปรตีนที่สกัดจากถั่วสามารถนำมาใช้เป็นอาหารเสริมโดยทำเป็นผลิตภัณฑ์ได้หลายอย่าง แต่ปัญหาที่พบคือแป้งหรือโปรตีนจากถั่ว มีกลิ่นถั่ว (Beany odor) หรือกลิ่นหญ้า (Glass odor) ซึ่งเป็นลักษณะเฉพาะตัวที่ไม่พึงประสงค์ จึงไม่เป็นที่ยอมรับของผู้บริโภค โดยพบในถั่วหลายชนิด เช่น ถั่วเหลือง (Soybean) และถั่วหรั่ง (Bambara groundnut) เป็นต้น ดังนั้นถ้าหากได้มีการศึกษาที่จะกำจัดกลิ่นถั่วให้หมดไปและทำให้โปรตีนหรือแป้งที่ได้ไม่มีกลิ่นใดๆ จะเป็นการง่ายต่อการเติมลงไปในอาหารต่างๆ ทำให้คุณภาพอาหารนั้นๆ ในด้านกลิ่นไม่เปลี่ยนไป ขยายขอบเขตของการใช้โปรตีนหรือแป้งจากถั่วได้มากขึ้น (สุมาลี ปัญญาจิรวุฒิ, 2554)

3.1 สาเหตุของการเกิดกลิ่นถั่ว

กลิ่นถั่ว (Beany odor) หรือกลิ่นรสถั่ว (Beany flavor) เกิดจากสารประกอบแอลดีไฮด์จำพวก *n*-hexanal และ pentanal ซึ่งเกิดขึ้นระหว่างกระบวนการผลิต โดยสารพวกนี้เกิดขึ้นจากปฏิกิริยาออกซิเดชันของกรดไขมันไม่อิ่มตัว (Scalabrini et al., 1998) ที่มีอยู่ในถั่วเหลือง เช่น กรดลิโนเลอิก (Linoleic acid: $C_{18:2}$) และกรดลิโนเลนิก (Linolenic acid: $C_{18:3}$) โดยอาศัยเอนไซม์ไลพอกซีจิเนส (Lipoxygenase) ที่มีอยู่ในถั่วเอง ได้ผลิตภัณฑ์เป็นไฮโดรเพอร์ออกไซด์ (Hydro-peroxide) ดังภาพ 2-6 ส่งผลให้เกิดกลิ่นผิดปกติ (Off-flavor) (Achouri et al., 2006)

กลิ่นของถั่วจะเป็นพวก Volatile compound สำหรับในถั่วเหลืองดิบจะมีจำนวนของสารประกอบพวกแอลกอฮอล์สูงโดยเฉพาะ *n*-hexanol ซึ่งทำให้เกิด raw beany flavor ในโปรตีนถั่วเหลืองตัวสำคัญที่ทำให้เกิดกลิ่นคือ *n*-heptanol และ *n*-hexanol (Aria, 1970) และในถั่วเหลือง

ยังมีสารประกอบพวก Ethyl vinyl ketone ทำให้เกิดกลิ่นถั่วได้เช่นกัน (Mattick, and Hand, 1969)

Kudre and Benjakul (2013) รายงานว่า แป้งถั่วหรั่ง (Bambara groundnut flour) มีกลิ่นถั่ว ซึ่งเป็นผลจากการมีองค์ประกอบของหมู่อัลดีไฮด์ (Medium chain aldehyde) เพนทานอล (Pentanol) เฮกซานอล (Hexanol) และเฮปทานอล (Heptanol) รวมถึงกลิ่นถั่วซึ่งเกิดจากปฏิกิริยาออกซิเดชันของกรดไขมันไม่อิ่มตัวจากการทำงานของเอนไซม์ไลพอกซิจิเนส (Lipoxygenase) ซึ่งสอดคล้องกับที่ Shin et al. (2013) รายงานว่า แป้งถั่วเหลืองมีกลิ่นถั่วซึ่งเกิดจากปฏิกิริยาออกซิเดชันดังกล่าวเช่นกัน

3.2 การทำงานของเอนไซม์ Lipoxygenase ในการเกิดกลิ่นถั่ว

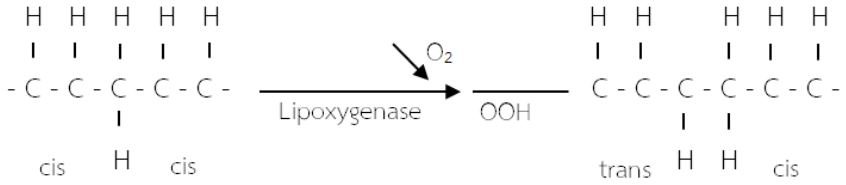
เอนไซม์ Lipoxygenase เป็นเอนไซม์ในกลุ่ม Oxidoreductase หรือที่เรียกว่า Loinoleate : Oxygen oxidoreductase หรือ E. C. 1.99.2.1 เป็นเอนไซม์ที่เร่งปฏิกิริยาการ Oxidation ของกรดไขมันไม่อิ่มตัวที่มีพันธะคู่ 2 คู่อยู่ในรูป cis - form substrate ซึ่งกรดไขมันที่ดีที่สุดของเอนไซม์พวกนี้คือกรดลิโนเลอิก (Linoleic acid) กรดลิโนเลนิก (Linolenic acid) กรดอราชิโดนิก (Arachidonic acid) และพวกลิโนลิเอท (Linoleate) หรือลิโนลิเนท (Linolenate) ซึ่งเมื่อถูกคะตะไลซ์ (Catalyze) แล้วได้ผลิตภัณฑ์ที่เป็น Conjugated dienehydroperoxide Inhibitor เอนไซม์ Lipoxygenase ที่สำคัญคือพวก Lipid antioxidant เช่น Tocopherol, Nordihydroguaiaretic acid (NDGA), Propyl gallate, Hydroquinone, Nepthol

Wilken et al. (1967) และ Obaidy and Siddhiqui (1982) รายงานว่า การเกิดกลิ่นถั่วในผลิตภัณฑ์ถั่วเหลืองเกี่ยวข้องกับสารประกอบที่ระเหยได้ อันมีสาเหตุสำคัญมาจากเอนไซม์ Lipoxygenase ซึ่งมีอยู่แล้วในถั่วเหลืองตามธรรมชาติ เอนไซม์นี้นอกจากพบในถั่วเหลืองแล้วยังพบในพวกธัญพืชอื่นๆ เช่น ข้าวสาลี เมล็ดพืชน้ำมัน และในพืชตระกูลถั่วอื่นๆ รายละเอียดแสดงดังตารางที่ 2-4

ตารางที่ 2-4 ระดับปฏิกิริยาของเอนไซม์ Lipoxygenase ในพืชต่างๆ

พืช	ปฏิกิริยาเมื่อเทียบกับถั่วเหลือง (ร้อยละ)
ถั่วเหลือง	100
ถั่วเขียว	14
ถั่วลันเตา	13
ถั่วแขก	28
Broad Bean	11
ข้าวสาลี	3

ที่มา: Obaidy and Siddhiqui (1981)



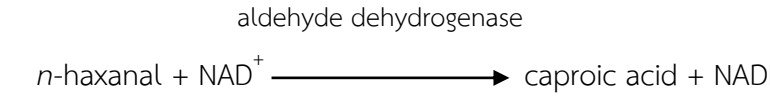
ภาพที่ 2-6 ปฏิกิริยาออกซิเดชันของเอนไซม์ Lipoxygenase
ที่มา: Janette (2005)

3.3 วิธีการกำจัดกลิ่นถั่ว

แนวทางในการกำจัดหรือลดกลิ่นถั่วในแป้ง สามารถทำได้โดยวิธีการใช้ความร้อน (Heat treatment) เช่น การอบ (Roasting) การนึ่งด้วยไอน้ำ (Steaming) และ วิธีไม่ใช้ความร้อน (Non-heat treatment) เช่น การแช่ในตัวทำละลาย และการใช้เอนไซม์ (Shin et al., 2013; Kudre and Benjakul, 2013; ลูกจันทร์ ภัครัชพันธุ์ และสุชาติ ภูษณะดิลก, 2525) แต่ละวิธีก็มีข้อดีข้อด้วยแตกต่างกันไป การใช้ตัวทำละลาย มีข้อด้อยคือ ตัวทำละลายมักจะตกค้างแล้วทำให้มีผลต่อกลิ่นและรสของผลิตภัณฑ์ และตัวทำละลายบางชนิดถ้ากำจัดออกไปได้ไปไม่หมด อาจเป็นอันตรายกับร่างกายได้ (ลูกจันทร์ ภัครัชพันธุ์ และสุชาติ ภูษณะดิลก, 2525) ในขณะที่การลดกลิ่นถั่วในแป้งโดยวิธีการให้ความร้อน มีข้อดีคือ สามารถดำเนินการได้สะดวก ไม่ต้องมีการใช้สารเคมีมาเกี่ยวข้อง จึงช่วยลดการตกค้างของสารเคมีที่ไม่พึงประสงค์ต่างๆได้ เป็นวิธีที่มีศักยภาพในการปรับปรุงคุณภาพของแป้ง (Marston et al., 2016)

Eldridge et al. (1977) ได้รายงานถึงการปรับปรุงกลิ่นรสของผลิตภัณฑ์ถั่วเหลืองโดยใช้วิธีการแช่ถั่วหรือบดถั่วในสารละลายเอธิลแอลกอฮอล์ พบว่า เมื่อใช้สารละลายแอลกอฮอล์เข้มข้น 40-60% แช่ถั่วที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 24 ชั่วโมง ทำให้ปฏิกิริยา Lipoxygenase ในถั่วเหลืองลดลงอย่างรวดเร็ว แต่ในขณะเดียวกันดัชนีการละลายของโปรตีน (Protein solubility index) ลดลงด้วย นอกจากนี้ Trypsin inhibitor ถูกทำลายลงไปเพียงบางส่วนเท่านั้น ผลการทดสอบทางประสาทสัมผัสพบว่ากลิ่นถั่ว กลิ่นเหม็นเขียว และรสขมลดลง และเมื่อทดสอบกับถั่วอื่นๆ เช่น ถั่วลิสงพบว่าการแช่ในสารละลายแอลกอฮอล์ช่วยลดกลิ่นถั่วลงได้เช่นเดียวกัน Borhan and Suyder (1979) พบว่า ถ้าแช่ถั่วเหลืองในสารละลายเอธิลแอลกอฮอล์เข้มข้นร้อยละ 15 ถึง 45 ที่อุณหภูมิ 40 ถึง 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ถึง 6 ชั่วโมง จะได้ถั่วเหลืองที่มีดัชนีการละลายได้ของโปรตีนสูงสุด และเอนไซม์ Lipoxygenase ถูกทำลายลงได้มากที่สุด แต่ Trypsin inhibitor ถูกทำลายได้เพียงร้อยละ 50 เท่านั้น และถ้าเพิ่ม pH ของสารละลายที่แช่ จะทำให้อัตราการทำลายเอนไซม์ Lipoxygenase เพิ่มขึ้น และถ้ามีเกลือ carbonate ในน้ำที่แช่จะทำให้ดัชนีการละลายของโปรตีนเพิ่มขึ้นด้วย

Hui (2006) รายงานว่า การแก้ปัญหากลิ่นถั่วที่เกิดจากสารระเหย *n*-hexanal และ n-pentanal ซึ่งเกิดจากปฏิกิริยาออกซิเดชันของกรดไขมันไม่อิ่มตัว โดยเอนไซม์ Lipoxygenase ที่มีอยู่ในถั่วเหลืองนั้น สามารถแก้ไขได้โดยการใช้เอนไซม์ Aldehyde dehydrogenase ดังภาพ 2-7



ภาพที่ 2-7 การเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของ *n*-haxanal โดยเอนไซม์ aldehyde dehydrogenase
ที่มา: Hui (2006)

Schroder and Jackson (1972) ทำการลดกลิ่นถั่วในเต้าหู้โดยบดถั่วในน้ำร้อนอุณหภูมิ 95 องศาเซลเซียส และทำให้ร้อนถึง 100 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 3 นาที เมื่อกรองแล้วอุณหภูมิจะลดลงเป็น 80 องศาเซลเซียส แล้วตกตะกอนด้วย $CaSO_4$ จะได้เต้าหู้ที่มีกลิ่นถั่วน้อยกว่าเต้าหู้ที่ได้จากการบดถั่วในน้ำเย็นธรรมดา

4. สมบัติเชิงหน้าที่ของโปรตีนและสตาร์ช

4.1 สมบัติเชิงหน้าที่ของโปรตีน (Functional properties of protein) โดยสมบัติของโปรตีนที่เกี่ยวข้องกับการนำไปใช้งานในอาหาร มีดังนี้คือ

4.1.1 การจับกับน้ำ (Water binding หรือ Water holding capacity)

โปรตีนเป็นพอลิเพปไทด์ซึ่งเป็นพอลิเมอร์ของกรดอะมิโน (Amino acid) ในโมเลกุลของกรดอะมิโน มีหมู่ R ที่ชอบน้ำและไม่ชอบน้ำ ดังนั้นการจับกับน้ำของโปรตีนจึงขึ้นอยู่กับชนิด ปริมาณและลำดับการจัดเรียงตัวของกรดอะมิโนที่เป็นส่วนประกอบ ความสามารถจับกับน้ำเป็นคุณลักษณะที่ต้องการในกรณีต้องใช้ส่วนผสมในอาหารที่ต้องการผสมให้เป็นเนื้อเดียวกันกับน้ำ เป็นต้น

4.1.2 การเป็นอิมัลซิไฟเออร์ (Emulsifier)

โปรตีนช่วยให้อิมัลชันคงตัวด้วยการลดแรงตึงผิวของของเหลว โดยช่วยป้องกันอิมัลชันไม่ให้แยกเป็นชั้น ซึ่งในโมเลกุลของโปรตีนประกอบด้วยกรดอะมิโนหลายชนิด มีทั้งส่วนที่ชอบน้ำ (Hydrophilic) และไม่ชอบน้ำ (Hydrophobic) ในสายโพลีเพปไทด์ โดยจะหันส่วนที่ชอบน้ำเข้าหาน้ำและหันส่วนที่ไม่ชอบน้ำเข้าหาไขมัน

4.1.3 การเกิดโฟม (Foaming ability)

โฟมเป็นฟองอากาศขนาดเล็กที่แขวนลอยอยู่ในของเหลว หรือของแข็ง โดยมีฟิล์มบางๆ ล้อมรอบอากาศไว้ เกิดจากการตี หรือปั่น (Beating or Whipping) อย่างรุนแรงการเกิดโฟมของโปรตีนจะเกิดได้ดีนั้นโปรตีนต้องมีความยืดหยุ่นสูง และสามารถเกิดเป็นแผ่นฟิล์มบางๆ และแข็งแรงที่สามารถกักเก็บอากาศได้ โปรตีนที่มีความยืดหยุ่นที่สามารถเกิดโฟมได้ดีต้องมี Surface hydrophobicity สูงๆ ซึ่งในระหว่างการตีหรือการทำให้เกิดโฟม เช่น โปรตีนในไข่ขาว และน้ำนมเป็นสารที่ทำให้เกิดโฟม (Foaming agent) แรงกลจากการตี หรือปั่นอย่างรุนแรง ทำให้พันธะระหว่างโมเลกุลของโปรตีนเกิดการเสียสภาพทางธรรมชาติ (Protein denaturation) เกิดการคลายตัว (Unfolding) ของโครงสร้างโปรตีน เกิดเป็นฟิล์ม และจับกับน้ำซึ่งอยู่รอบๆได้ โดยหันด้านที่เป็น

Hydrophobic ที่อยู่ด้านในโครงสร้าง ออกมาด้านนอก ซึ่งเป็นส่วนที่ทำให้เกิดโครงสร้างของโฟม โดยเกิดเป็นแผ่นฟิล์มบางๆ ที่สามารถกักเก็บอากาศไว้ได้

4.1.4 การเกิดโด (Dough formation)

โดเกิดจากการผสมแป้งสาลีกับน้ำแล้วนวดให้เข้ากัน โปรตีนที่พบในส่วนที่เป็นเอ็นโดสเปอร์มของข้าวสาลี ประกอบด้วยโปรตีนกลูเตนิน (Glutenin) และ ไกลอะดิน (Gliadin) ในสัดส่วนเท่าๆ กัน จะสร้างพันธะไดซัลไฟด์ (Disulfide bond) ทำให้ได้กลูเตน (Gluten) ซึ่งมีลักษณะเหนียวและยืดหยุ่น สามารถเก็บก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ที่ผลิตขึ้นโดยยีสต์ หรือผงฟูเอาไว้ได้ ทำให้รักษารูปทรงของผลิตภัณฑ์เบเกอรี เช่น ขนมปัง

4.1.5 การเกิดเจล (Gelatinization)

โปรตีนสามารถรวมกับน้ำเกิดเป็นเจล (Gel) ซึ่งเป็นโครงสร้างตาข่ายจับกับน้ำได้ดี มีลักษณะเป็นของกึ่งแข็ง ยืดหยุ่น ตัวอย่างของโปรตีนที่มีสมบัติเชิงหน้าที่ทำให้เกิดเจล ได้แก่ เจลาติน

4.2 สมบัติเชิงหน้าที่ของสตาร์ช (Functional properties of starch) โดยสมบัติของสตาร์ชที่เกี่ยวข้องกับการนำไปใช้งานในอาหาร (ปุณฑริกา วิไลพล, 2553) มีดังนี้คือ

4.2.1 การพองตัว (Swelling) และการละลาย (Solubility)

อะไมโลสและอะไมโลเพคตินซึ่งเป็นองค์ประกอบของสตาร์ชจะเรียงตัวขนานกันภายในเม็ดสตาร์ช และแต่ละสายดึงดูกันด้วยพันธะไฮโดรเจนจากหมู่ไฮดรอกซิลของกลูโคสแต่ละสายที่อยู่ใกล้ๆ กัน ทำให้มีลักษณะคล้ายร่างแห ดังนั้น สตาร์ชดิบจึงไม่ละลายน้ำหรือละลายได้น้อย โดยทั่วไปเม็ดสตาร์ชสามารถดูดซับน้ำไว้ได้ประมาณ 25-30% และพองตัวได้น้อยมากจนไม่สามารถสังเกตเห็นได้ (Kerr, 1950) แต่เมื่อได้รับความร้อน เม็ดสตาร์ชจะเกิดการพองตัวเป็นหลายเท่าของขนาดเดิม (Bowers, 1992)

4.2.2 ความหนืด (Viscosity)

โดยทั่วไปสตาร์ชที่ไม่ผ่านการดัดแปรจะไม่ละลายน้ำที่อุณหภูมิต่ำกว่า 50 องศาเซลเซียส แต่ดูดซึมน้ำได้อย่างจำกัดและพองตัวได้เล็กน้อย การพองตัวของเม็ดสตาร์ชในช่วงแรกสามารถผันกลับได้ถ้าทำให้แห้ง (Phillips & Williams, 2000) เมื่อให้ความร้อนที่อุณหภูมิสูงขึ้น เม็ดสตาร์ชดูดซึมน้ำได้ปริมาณมากขึ้น และพองตัวจนมีขนาดใหญ่กว่าเดิมหลายเท่า และเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นจนถึงจุดหนึ่ง เม็ดสตาร์ชจะเปลี่ยนแปลงจนกระทั่งอยู่ในสภาพที่ผันกลับไม่ได้ ซึ่งเรียกว่า การเกิดเจลาทิไนซ์ (Gelatinization) ในขั้นนี้เม็ดสตาร์ชจะพองตัวอย่างรวดเร็ว มีการเปลี่ยนแปลงรูปร่าง และสูญเสีย Birefringence เนื่องจากโครงสร้างผลึกถูกทำลายไป โมเลกุลของสารต่างๆ ในเม็ดสตาร์ชที่ละลายน้ำได้เริ่มซึมออกมา เป็นผลให้ความหนืดของระบบเพิ่มขึ้น เพราะโมเลกุลของน้ำอิสระที่เหลืออยู่รอบๆ เม็ดสตาร์ชเหลือน้อยลง ทำให้เม็ดสตาร์ชเคลื่อนไหวได้ยากขึ้น ความหนืดจึงเริ่มเกิดขึ้นอย่างรวดเร็ว (Sanders, 1996)

4.2.3 การเกิดเจลาทิไนซ์ (Gelatinization)

การเกิดเจลาติไนเซชันเป็นกระบวนการที่แสดงถึงการพองตัว และการดูดซึมน้ำของเม็ดสตาร์ชในขณะที่ได้รับความร้อน ซึ่งสารละลายสตาร์ชจะมีความหนืดมากขึ้นและใสขึ้น สตาร์ชแต่ละชนิดจะมีการเกิดเจลาทิไนซ์ที่แตกต่างกัน อุณหภูมิการเกิดเจลาทิไนซ์ของสตาร์ชแต่ละชนิดไม่เท่ากัน (กล้าณรงค์ ศรีรอด และเกื้อกูล ปิยะจอมขวัญ, 2550)

4.2.4 การเกิดรีโทรกราเดชัน (Retrogradation)

เมื่อสตาร์ชได้รับความร้อนจนถึงอุณหภูมิที่เกิดเจลาทิไนซ์แล้วให้ความร้อนต่อไป เม็ดสตาร์ชจะพองตัวเพิ่มมากขึ้นจนถึงจุดที่พองตัวเต็มที่และแตกออก โมเลกุลของอะไมโลสขนาดเล็กจะกระจัดกระจายออกมา ทำให้ความหนืดลดลง เมื่อปล่อยให้เย็นตัวลงโมเลกุลของอะไมโลสและอะไมโลเพคตินที่แขวนลอยอยู่นั้นไม่เสถียร จึงมีการจัดเรียงโมเลกุลใหม่โดยพันธะไฮโดรเจน การพันกันเป็นเกลียวคู่ ซึ่งสายเกลียวคู่สามารถรวมตัวกันจนเป็นโครงร่างผลึกสามมิติ ที่สามารถอุ้มน้ำได้และไม่มีการดูดน้ำเข้ามาอีก มีความหนืดเพิ่มมากขึ้น เกิดลักษณะเจลเหนียวคล้ายฟิล์มหรือผลึก เรียกปรากฏการณ์นี้ว่า การเกิดรีโทรกราเดชัน หรือการคืนตัว

5. วอฟเฟิล

Anonymous (2009) ได้กล่าวถึงวอฟเฟิล (Waffle) ว่าเป็นขนมชนิดหนึ่งที่ใช้แป้งสาลีเป็นส่วนประกอบหลักและให้ความร้อนจากเครื่องขึ้นรูปทำให้เกิดลวดลายและรูปร่างตามประเภทของเครื่องขึ้นรูปที่ใช้ อรชนก หวังดีศิริสกุล (2552) รวบรวมข้อมูลเกี่ยวกับประเภทของวอฟเฟิลไว้ดังนี้

1) American waffle เป็นวอฟเฟิลที่ทำจากแป้งสาลีกับผงฟู ใช้เป็นของหวานในอาหารเช้าหรือรับประทานร่วมกับเนยและไซรัปต่างๆ แต่ในบางโอกาสสามารถพบในอาหารคาว เช่น ใช้ซอสถั่วแดงราดและรับประทานคู่กับไก่ทอดหรือบริโภคคู่กับผลิตภัณฑ์ตกแต่งหน้าขนมหวาน

2) Belgium or Brussels waffle เป็นวอฟเฟิลที่มีส่วนผสมของยีสต์ ซึ่งอาจมีสี ความกรอบ ความแน่นเนื้อแตกต่างจากวอฟเฟิลชนิดอื่น ในเบลเยียมผู้ขายนิยมใช้ลูกกวาดหรือน้ำตาลร่วมกับ Whipped cream หรือช็อกโกแลตราดบนวอฟเฟิล

3) Lykia waffle เป็นวอฟเฟิลที่มีลักษณะมัน แน่นเนื้อ หวานและเหนียว โดยดัดแปลงมาจากโดขนมปังของแป้งสาลีและตกแต่งด้วยเกล็ดน้ำตาลหรือคาราเมล

4) Hong Kong waffle เป็นวอฟเฟิลที่มักถูกเรียกว่า "เค้กตาราง" หรือ "ขนมปังกรอบลายตาราง" จำหน่ายในขณะร้อน ลักษณะคล้ายวอฟเฟิลดั้งเดิมแต่มีขนาดใหญ่กว่า รูปร่างได้มาตรฐานกว่าและสามารถแบ่งได้สี่ส่วน นิยมเสิร์ฟเป็นอาหารว่างพร้อมเนย เนยถั่ว น้ำตาลและน้ำตาล จากนั้นทำการทาบนด้านใดด้านหนึ่งของขนมแล้วทำการพับให้เป็นรูปครึ่งวงกลม

5) Stroop wafels เป็นวอฟเฟิลที่รับประทานคู่กับไซรัป โดยผลิตจากแป้ง เนย น้ำตาล ยีสต์ นมและไข่จากนั้นผสมให้เข้ากันและเทลงบนพิมพ์ เมื่ออบจนสุกแล้วทำการตัดแบ่งเป็นสองส่วนและนำไซรัปน้ำตาล น้ำเชื่อม เนยและอบเชยมาทาหรือราดบนวอฟเฟิล

6) Scandinavia waffle เป็นวอฟเฟิลบางที่รูปร่างคล้ายรูปหัวใจ โดยมากมักเป็นวอฟเฟิลรสหวานที่รับประทานคู่กับ Whipped cream หรือแยมสตอรเบอร์รี่

ในงานวิจัยนี้สนใจที่จะศึกษาความเป็นไปได้ในการพัฒนาผลิตภัณฑ์ใหม่ในรูปแบบ ผลิตภัณฑ์ส่วนผสมสำเร็จ (Bakery premix) ซึ่งจะช่วยเพิ่มความสะดวกให้กับผู้บริโภค รวมทั้งอุตสาหกรรมการผลิตขนมอบ เนื่องจากช่วยประหยัดเวลา กำจัดความยุ่งยากในการเลือกวัตถุดิบ ทำผลิตภัณฑ์ได้รวดเร็วและผลิตภัณฑ์ที่ได้มีความสม่ำเสมอ ส่วนผสมสำเร็จแบ่งออกได้เป็น 3 ประเภท คือ

1) ส่วนผสมสำเร็จรูป (Complete mix) เป็นส่วนผสมประเภทที่ส่วนผสมทั้งหมดอยู่ในรูปของแห้ง สามารถนำไปใช้โดยผสมกับน้ำ ขึ้นรูปหรือเทใส่พิมพ์ พักให้ขึ้นฟู (ถ้าต้องการ) ก่อนที่จะนำไปอบ ได้แก่ ส่วนผสมเค้กสำเร็จรูป

2) ส่วนผสมโดพื้นฐานหรือส่วนผสมสำเร็จบางส่วน (Dough base or Partial mix) เป็นส่วนผสมประเภทที่ผสมวัตถุดิบเพียงบางส่วนเมื่อ ต้องการใช้งานต้องมาผสมกับน้ำหรือส่วนผสมอื่นๆ ได้แก่ น้ำมันหรือไขมัน และไข่

3) ส่วนผสมโดเข้มข้น (Dough concentrate) ส่วนผสมประกอบด้วยส่วนผสมอื่นๆ ทั้งหมด เช่น ไขมันหรือเนยขาว สารปรับสภาพโด ไข่ผง กลิ่นรส อิมัลซิไฟเออร์ เป็นต้น แต่ยกเว้นแป้ง สำหรับผลิตภัณฑ์ที่ต้องใช้ยีสต์และเนยที่ใช้ในการรีดพับทบ ก็จะไม่มีส่วนผสมเหล่านี้อยู่ด้วยเช่นกัน

6. เครื่องดื่มเพื่อสุขภาพ

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

ปัจจุบันการบริโภคอาหารและเครื่องดื่มเพื่อสุขภาพได้รับความนิยมอย่างมาก ซึ่งจะเห็นได้จากการมีผลิตภัณฑ์เพื่อสุขภาพออกมาจำหน่ายหลายชนิดในท้องตลาด เช่น น้ำนมข้าว น้ำนมข้าวโพด น้ำลูกเดือย เป็นต้น ซึ่งเครื่องดื่มเหล่านี้มีความคล้ายคลึงกับน้ำนมจากถั่วเหลืองที่ให้คุณค่าทางอาหารสูง (จุฬาภรณ์ เลิศบวรวงศ์ และรสิตา โอสถานนท์, 2551) และมีงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับเครื่องดื่มเพื่อสุขภาพจากธัญพืชเช่น

จุฬาภรณ์ เลิศบวรวงศ์ และรสิตา 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 องศาบริกซ์ สำหรับสารที่ใช้เติมเพื่อทำให้เครื่องดื่มมีลักษณะปรากฏดีไม่แยกชั้น ได้ทดลองใช้เจลเลนกัมร้อยละ 0.01 0.015 0.02 0.025 และ 0.03 คาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลสร้อยละ 0.1 0.15 0.2 และ 0.25 พบว่า สภาวะที่เหมาะสมในการผลิตเครื่องดื่มข้าวแดงทั้งสองชนิดประกอบด้วยการใช้แป้งข้าวแดงต่อน้ำในสัดส่วน 1:40 ใช้ส่วนผสมซูโครสซีรัปและและฟรักโทสซีรัปในอัตราส่วน 60:40 ในการปรับความหวานของเครื่องดื่มให้มีปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดเป็น 9 องศาบริกซ์ และสารที่ทำให้เครื่องดื่มมีความคงตัวดีคือ เจลแลนกัมร้อยละ 0.03

จุฬาลักษณ์ พระสว่าง (2554) ได้ผลิตเครื่องดื่มเพื่อสุขภาพจากข้าวก่ำหมักเสริมโปรไบโอติค ที่ใช้ระยะเวลาในการปั่นเหวี่ยงความเร็วรอบ 3000 rpm ต่างกัน 5 ระดับ คือ 0 5 10 15 และ 20 นาที จากนั้นนำเครื่องดื่มเหล่านี้เก็บไว้ที่อุณหภูมิ 4±1°C เพื่อนำมาสุ่มตรวจทุก 7 วัน เป็นระยะเวลา 35 วัน จากนั้นทำการศึกษาฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี 1,1-Diphenyl-2-picrylhydrazyl (DPPH) radical scavenging พบว่าเครื่องดื่มเพื่อสุขภาพจากข้าวก่ำหมักเสริมโปรไบโอติคที่ผ่านการปั่นเหวี่ยง 5 นาที มีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระได้ดีที่สุด มีค่า %Inhibition เฉลี่ยเท่ากับ 60.84 ± 1.07 (p<0.05) แต่ระยะเวลาในการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์นั้นไม่มีผลต่อฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระทางสถิติ การศึกษาการรอดชีวิตของโปรไบโอติค พบว่าระยะเวลาในการปั่นเหวี่ยงผลิตภัณฑ์นั้นไม่มี

ผลต่อการรอดชีวิตของโปรไบโอติคทางสถิติ ส่วนระยะเวลาในการเก็บรักษานั้น พบว่า 7 วันแรกของการเก็บรักษาพบปริมาณการรอดชีวิตโปรไบโอติคสูงสุด 9.25 ± 0.855 log cfu/ ($p<0.05$) จากนั้นทำการศึกษาปริมาณสารประกอบฟีนอลิค ซึ่งพบว่าทั้งระยะเวลาที่ใช้ในการปั่นเหวี่ยงและระยะเวลาในการเก็บรักษามีผลต่อปริมาณสารประกอบฟีนอลิค โดยผลิตภัณฑ์ที่ผ่านการปั่นเหวี่ยง 5 นาที มีปริมาณสารประกอบฟีนอลิคสูงสุดคือ 3.35±0.21 mg GAE/100g ($p<0.05$) และได้ประเมินความชอบของผู้บริโภคเพื่อใช้เป็นตัวบ่งชี้ความชอบและการยอมรับในผลิตภัณฑ์โดยศึกษาในอาสาสมัครสุขภาพดีจำนวน 30 คน ผลปรากฏว่าผลิตภัณฑ์ที่ผ่านการปั่นเหวี่ยง 5 นาที มีคะแนนความชอบและการยอมรับมากที่สุด (6.32 จากคะแนนเต็ม 9) รองลงมาคือผลิตภัณฑ์ที่ผ่านการปั่น 10 นาที และชนิดที่ไม่ผ่านการปั่นเหวี่ยงได้รับคะแนนความชอบน้อยที่สุด

พรพินิต การกลจักร (2553) ได้พัฒนาเครื่องดื่มผักผลไม้ที่มีไลโคพีนและเบต้าแคโร ทีนบรรจุกระป๋อง โดยการนำผักผลไม้หลายชนิดที่มีไลโคพีนและเบต้าแคโรทีนสูง มาพัฒนาเครื่องดื่มผักผลไม้ด้วยวิธี Mixture design และประเมินความชอบทางประสาทสัมผัส พบว่า เครื่องดื่มผักผลไม้ที่ได้รับความชอบสูงที่สุดประกอบด้วยน้ำมะเขือเทศ 25.6% เนื้อมะม่วงบดละเอียด 5.0% น้ำสับปะรด 15.0% น้ำฟักทอง 16.0% และน้ำแตงโม 38.4% และจากการศึกษาการสูญเสียปริมาณไลโคพีนและเบต้าแคโรทีนของเครื่องดื่มผักผลไม้บรรจุกระป๋อง พบว่าเครื่องดื่มผักผลไม้ก่อนกระบวนการฆ่าเชื้อ มีปริมาณไลโคปีนและเบต้าแคโรทีน เท่ากับ 7.46 และ 3.67 mg/100g wet basis ตามลำดับ หลังจากเครื่องดื่มผักผลไม้กระป๋องผ่านกระบวนการฆ่าเชื้อ มีปริมาณไลโคปีนและเบต้าแคโรทีนเท่ากับ 3.69 และ 2.00 mg/100g wet basis ตามลำดับ

7. งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

จากการตรวจเอกสารที่เกี่ยวข้องกับการกำจัดหรือลดปริมาณกลิ่นถั่วในแป้งถั่ว สามารถรวบรวมได้ดังนี้

Shin et al. (2013) ศึกษาการปรับปรุงคุณภาพแป้งถั่วเหลืองโดยการนำมาลดกลิ่นถั่วด้วยวิธีการไม่ใช้ความร้อนและวิธีการใช้ความร้อน วิธีการไม่ใช้ความร้อนมีดังนี้ คือ ใช้ถั่วเหลืองดิบมาทำแป้ง (Raw: NS) และใช้ถั่วเหลืองที่ผ่านการทำให้งอกมาทำแป้ง (Germination: GS) และวิธีการใช้ความร้อนคือ การใช้ไอน้ำ (Steaming: SS) และการอบ (Roasting: RS) พบว่า การทำงานของเอนไซม์ไลพอกซิจิเนส (Lipoxygenase) มีมากในแป้งที่ไม่ได้รับความร้อน โดยการทำงานของเอนไซม์ไลพอกซิจิเนสในแป้ง NS และ GS เท่ากับ 279 U/g และ 255 U/g ตามลำดับ โดยการทำงานของเอนไซม์ไลพอกซิจิเนสลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ในแป้งที่ได้รับความร้อน โดยการทำงานของเอนไซม์ไลพอกซิจิเนสในแป้ง SS และ RS เท่ากับ 106 U/g และ 69 U/g ตามลำดับ นอกจากนี้ แป้งที่ผ่านการให้ความร้อนยังมีไอโซฟลาโวน (Isoflavone) และความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระสูงกว่าแป้งที่ไม่ผ่านการให้ความร้อน และแป้งที่ผ่านการให้ความร้อนด้วยการอบมีปริมาณความชื้น และค่าสี L* ต่ำที่สุด จากการนำแป้งถั่วเหลืองมาผลิตขนมปังถั่วเหลืองเพื่อสุขภาพที่ปราศจากกลูเตนให้เป็นที่ยอมรับของผู้บริโภคนั้น ได้มีการประเมินผลของกระบวนการลดกลิ่นถั่ววิธีต่างๆ ต่อคุณภาพของคุณภาพของขนมปัง ด้านกลิ่นถั่วและลักษณะเนื้อสัมผัส โดยในแป้งที่ผ่านการอบจะมีการเติมไฮดรอกซิลโพรพิลเมทิลเซลลูโลส (Hydroxypropyl methylcellulose: HPMC) 1% ลงในแป้งถั่วเหลืองด้วย ผลการทดลองพบว่า ขนมปังจากแป้ง GS มีปริมาตรจำเพาะมากที่สุด (3.53

cm^3/g) ตามด้วยขนมปังจากแป้ง NS (2.96 cm^3/g) ขนมปังจากแป้ง RS (2.25 cm^3/g) และขนมปังจากแป้ง SS (1.81 cm^3/g) ตามลำดับ ขนมปังจากแป้ง GS มีความแข็งน้อยที่สุด (1.53 N) ตามด้วยขนมปังจากแป้ง NS (1.65 N) ขนมปังจากแป้ง RS (2.00 N) และขนมปังจากแป้ง SS (3.75 N) ตามลำดับ นอกจากนี้พบว่า การเติม HPMC ลงในแป้งถั่วเหลืองที่ผ่านการอบยังเป็นการเพิ่มปริมาตรให้กับขนมปัง (2.44 cm^3/g) และทำให้ความแข็งของขนมปังลดลง (1.80 N) ในส่วนของคุณสมบัติทางประสาทสัมผัสพบว่า ขนมปังจากแป้งที่ผ่านการให้ความร้อนทั้ง 2 วิธี ทำให้กลิ่นและรสชาติของถั่วน้อยกว่าขนมปังจากแป้งที่ไม่ผ่านการให้ความร้อน ผลจากการศึกษานี้ชี้ให้เห็นว่า แป้งถั่วเหลืองที่ผ่านการปรับสภาพมาแล้วทำให้ขนมปังมีปริมาตรเพิ่มขึ้นและช่วยลดกลิ่นและรสชาติของถั่วในขนมปังลงได้

Kudre et al. (2013) ได้ศึกษาผลของตัวทำละลายอินทรีย์ผสม 2 ชนิด ในการสกัดไขมันเพื่อกำจัดกลิ่นถั่วหรือกลิ่นหญ้าของแป้งถั่วหรั่ง (Bambara groundnut flour) โดยมุ่งเน้นการกำจัดไขมันที่เป็นสารตั้งต้นที่สำคัญของการเกิดกลิ่นถั่ว จากการแปรระดับอุณหภูมิในการสกัด พบว่า การใช้อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส มีประสิทธิภาพสูงที่สุด ($p<0.05$) โดยการใช้ตัวทำละลายอินทรีย์ผสม 2 ชนิด คือ คลอโรฟอร์ม-เมทานอล สามารถกำจัดไขมันได้สูงที่สุด (87%) รองลงมาคือเฮกเซน-ไอโซโพรพานอล (78%) และพบว่า ตัวทำละลายผสมทั้งหมดที่มีมีการใช้เมทานอลร่วมด้วย ให้ประสิทธิภาพสูงในการกำจัดไขมัน และยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ไลพอกซิจิเนส (Lipoxygenase) และยับยั้งทริปซิน (Trypsin inhibitor) ได้ดีกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับตัวทำละลายที่ประกอบด้วยไอโซโพรพานอล ($p<0.05$) ไขมันที่ถูกกำจัดออกไปโดยตัวทำละลายที่ประกอบด้วยเมทานอลส่วนใหญ่เป็นฟอสโฟลิพิด แป้งที่สกัดน้ำมันออกด้วยตัวทำละลายที่ประกอบด้วยเมทานอล จะลดค่าเปอร์ออกไซด์ (Peroxide value) ได้มากที่สุด ช่วยกำจัดสารตั้งต้นในการเกิดกลิ่นถั่วและลดความเข้มของกลิ่นถั่วได้ดีกว่าแป้งทีไม่ได้สกัดน้ำมัน และแป้งที่สกัดน้ำมันโดยใช้ตัวทำละลายที่ประกอบด้วยไอโซโพรพานอลตลอดการเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้องและในตู้เย็นเป็นเวลา 30 วัน ($p<0.05$) โดยทั่วไปคลอโรฟอร์ม-เมทานอลมีประสิทธิภาพมากที่สุดในการยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ไลพอกซิจิเนสและตัวยับยั้งทริปซิน และชะลอการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันและช่วยปรับปรุงกลิ่นถั่วในแป้งได้ จึงสรุปได้ว่าการใช้คลอโรฟอร์ม-เมทานอล สามารถนำมาใช้เพื่อลดกลิ่นถั่วหรือกลิ่นหญ้าในแป้งถั่วหรั่งได้ดีที่สุด

Kato et al. (1981) ได้ศึกษาการเปลี่ยนแปลงสารระเหยที่ให้กลิ่นในถั่วเหลืองระหว่างการอบ โดยความเข้มข้นของสารระเหยเตรียมได้จากการอบถั่วเหลืองทั้งเมล็ดที่อุณหภูมิ 200 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 10, 20 และ 30 นาที แล้วกลั่นด้วยไอน้ำที่ความดันไอลดลง จากนั้นนำไปสกัดด้วยอีเทอร์ วิเคราะห์สารที่ได้ด้วยวิธี Gas chromatography และ Gas chromatography-mass spectrometry และเปรียบเทียบความเข้มข้นของสารระเหยกับแป้งถั่วเหลือง ส่วนประกอบที่สำคัญของกลิ่นถั่วเหลืองคือ *n*-hexanol, 1-octen-3-ol และ *n*-hexanal ลดลงในระหว่างการอบ แต่อัตราการลดลงนี้ไม่รวดเร็วนัก โดยเฉพาะอย่างยิ่งเมื่อใช้เวลาในการอบ 10 และ 20 นาที ในระหว่างระยะเวลาการอบ Alkylated pyrazines, Oxygenated furans, Oxygenated pyrroles และสารประกอบฟีนอลิก เกิดขึ้นหรือเพิ่มขึ้นอย่างชัดเจน ในทางตรงกันข้าม การประเมินทางประสาทสัมผัสแสดงให้เห็นว่า ที่เวลาการอบ 10 และ 20 นาที กลิ่นถั่ว หรือกลิ่นไม่พึงประสงค์เปลี่ยนแปลงไปจนได้รสชาติเป็นที่น่าพอใจ

Noranizan et al. (2010) ได้ศึกษาการเปลี่ยนแปลงสมบัติทางเคมีกายภาพของแป้งสาลี แป้งสาคู แป้งมันสำปะหลัง และแป้งมันฝรั่ง หลังจากให้ความร้อน 1 ชั่วโมงที่อุณหภูมิ 100, 110 และ 120 องศาเซลเซียส และ 2 ชั่วโมงที่อุณหภูมิ 120 องศาเซลเซียส คุณสมบัติเหล่านี้คือ ลักษณะของเม็ดแป้งที่ผ่านการทำให้พองตัว ปริมาณคาร์โบไฮเดรตที่กรองได้จากเม็ดแป้ง อัตราการคืนตัวกลับของแป้ง และการความแข็งแรงของเจลที่เกิดขึ้น สำหรับแป้งทั้งหมดยกเว้นแป้งสาลี ความสามารถในการพองตัว อัตราการคืนตัวกลับ และความแข็งแรงของเจลจะลดลง ขณะเดียวกันความสามารถในการละลายน้ำจะเพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิและเวลาในการให้ความร้อนเพิ่มขึ้น แป้งสาลีจะเกิดลักษณะเหล่านี้เมื่อให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 120 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมงและ 2 ชั่วโมง เท่านั้น ความแข็งแรงของเจลจะสัมพันธ์กับอัตราส่วนของอะไมโลสที่เปลี่ยนไปเป็นอะไมโลเพคติน (R) ในน้ำที่ใช้กรอง เมื่อนำมาผลิตเป็นแครกเกอร์ทอด ผลิตภัณฑ์จึงมีลักษณะการแผ่ขยายที่ดี เม็ดแป้งแตกตัวเพียงพอที่จะทำให้ปริมาณอะไมโลเพคตินที่ถูกกรองออกมามีมากขึ้น และทำให้มีค่า R อยู่ในช่วง 0.25-0.50 ซึ่งคุณสมบัตินี้จะเกิดขึ้นได้เมื่อให้ความร้อนแป้งสาลีที่อุณหภูมิ 120 องศาเซลเซียส 1 ชั่วโมง หรือใช้เวลานานกว่านั้น

สุมาลี ปัญญาจิรวุฒิ (2554) ได้ศึกษาการคัดเลือกแบคทีเรียแลคติกที่สามารถลดกลิ่นถั่ว และลดปริมาณน้ำตาลโอลิโกแซคคาไรด์ที่ทำให้เกิดอาการท้องอืด ท้องเฟ้อ ในผลิตภัณฑ์โยเกิร์ตพร้อมดื่มจากนมถั่วเหลือง โดยศึกษาเชื้อจุลินทรีย์ทางการค้า 7 กลุ่มคือ YC-350, BB-12, ABY-1, YCX-11, YCX-16, LA-5 และ YC-350 ร่วมกับ BB-12 หมักที่อุณหภูมิ 42 องศาเซลเซียส โดยจะหยุดกระบวนการหมักเมื่อมีค่าความเป็นกรด-ด่าง 4.8-4.9 จากนั้นวิเคราะห์ปริมาณกลิ่นโดยใช้เทคนิค GC-MS พบว่า หลังจากหมักถั่วไม่สามารถตรวจพบสาร Pentanal จากปริมาณเริ่มต้น 116.0 mgL^{-1} ส่วนเชื้อที่สามารถลดปริมาณ Hexanal ได้ทั้งหมดมี 3 กลุ่ม คือ YCX-16, YC-350 และ ABY-1 จากปริมาณเริ่มต้น 648.7 mgL^{-1} จากนั้นนำกลุ่มเชื้อที่สามารถลดกลิ่นถั่วได้ทั้งหมดมาวิเคราะห์ปริมาณโอลิโกแซคคาไรด์โดยใช้เครื่อง HPLC ผลการวิเคราะห์ไม่พอ Raffinose ในนมถั่วเหลืองเริ่มต้น พบปริมาณ Stachyose ลดลงเมื่อเวลาหมักนมเพิ่มขึ้น โดยเชื้อที่สามารถลดได้มากที่สุดคือ YC-350, ABY-1 และ YCX-16 จากปริมาณเริ่มต้น 9,236.8 mgL^{-1} มีปริมาณคงเหลืออยู่ที่ 1,260.2, 1806.4 และ 3021.1 mgL^{-1} ตามลำดับ จากนั้นนำเชื้อ YC-350 ไปผลิตโยเกิร์ตพร้อมดื่มจากนมถั่วเหลือง โดยทำการทดลองใช้สารสารเพิ่มความหนืดทั้งหมด 3 ชนิด คือ High-methoxy pectin (HPM), Alginate และ Carboxymethyl cellulose (CMC) ที่ความเข้มข้น 0.25, 0.13 และ 0.09% w/w ตามลำดับ ซึ่งสามารถให้ความหนืดใกล้เคียงกับโยเกิร์ตพร้อมดื่มที่มีขายอยู่ทั่วไปตามท้องตลาด โดยสารเพิ่มความหนืดที่เหมาะสมคือ High-methoxy pectin (HPM) เนื่องจากสามารถเพิ่มความคงตัวให้แก่ผลิตภัณฑ์ได้ดี โดยสามารถเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ได้นานประมาณ 30 วัน ที่อุณหภูมิ 4-6 องศาเซลเซียส

จากการตรวจเอกสารพบว่า สำหรับการสกัดน้ำมันจากเมล็ดถั่วชนิดอื่น มีการนำกากถั่วจากการสกัดน้ำมันไปใช้ประโยชน์ เนื่องจากยังมีคุณค่าของสารอาหารมาก เช่น โปรตีน ใยอาหาร เป็นต้น ดังนั้น จึงมีพัฒนากากถั่วเป็นแป้งหรือส่วนผสมในอาหาร รวบรวมได้ดังนี้

Pineli et al. (2015) ได้ศึกษาคุณภาพของแป้งบารูที่ผ่านการสกัดไขมันออกบางส่วน (PDBF) ซึ่งเป็นผลพลอยได้ของการสกัดน้ำมันจากเมล็ดบารู และประเมินผลการใช้แป้งบารูนี้ในการ

ผลิตคุกกี้ โดยวิเคราะห์องค์ประกอบต่างๆ คือ สารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด (Total phenolics: TP) สารประกอบฟลาโวนอยด์ทั้งหมด (Total flavonoids: TF) คอนเดนส์แทนนิน (Condensed tannins: CT) และความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ (Antioxidant activity: AA) ผลการวิเคราะห์คุณภาพ PDBF พบว่า มีโปรตีน (29.46 กรัม/100 กรัม) ไขมัน (11.84 g/100 g) และใยอาหาร (38.80 g/100 g) มากกว่า แต่มีคาร์โบไฮเดรต (11.57 g/100 g) น้อยกว่าแป้งสาลี (Wheat flour: WF) โดย PDBF เป็นแหล่งที่อุดมไปด้วยธาตุเหล็ก สังกะสี และทองแดง สำหรับด้านปริมาณ TP พบว่ามีในปริมาณปานกลาง (121.34 mg/100 g) ปริมาณ TF (85.41 mg/100 g) ที่พบในบารูมีปริมาณสูงกว่าในถั่วทั่วไป ปริมาณ CT (64.39 mg/100 g) ในบารูมีปริมาณใกล้เคียงกับที่พบในวอลนัท แต่ต่ำกว่าในถั่ว ขณะที่ความสามารถในการต้านอุมูลอิสระของ PDBF นั้นเทียบได้กับผลไม้เมืองร้อนหลายๆ ชนิด ผลการศึกษาการผลิตคุกกี้โดยการแทนที่แป้งสาลีด้วย PDBF 5 ระดับและเปรียบเทียบสมบัติการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระ ลักษณะเนื้อสัมผัส และด้านการยอมรับ พบว่า ค่าความแข็งและค่าแรงที่ทำให้ตัวอย่างอาหารแตกของคุกกี้เพิ่มขึ้นเมื่อเติม PDBF 75 g/100 g ด้านการยอมรับ พบว่า คุกกี้ที่เติม PDBF 25 g/100 g ได้รับการยอมรับใกล้เคียงกับคุกกี้จากแป้งสาลี ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าสามารใช้ PDBF มาแทนที่แป้งสาลีได้ โดยให้ผลดีในด้านคุณค่าทางโภชนาการและสารต้านอนุมูลอิสระด้วย

สุภาวิณี แสนทวีสุข และมาลีน่า สันเต๊ะ (2557) เตรียมกากถั่วเหลืองเพื่อแทนที่แป้งสาลีในบัตเตอร์เค้ก โดยนำกากถั่วเหลืองหลังการสกัดน้ำมัน มาทำแห้งที่อุณหภูมิ 80°C เป็นเวลา 4 ชั่วโมง ด้วยเครื่องอบลมร้อนหรือจนมีความชื้น 7% โดยน้ำหนักแห้ง นำกากถั่วเหลืองมาลดขนาดด้วยการบด จากนั้นนามาร่อนผ่านตะแกรงร่อน บรรจุใส่ถุงพลาสติกชนิดพอลีเอทิลิน (PE) ผนึกปากถุงด้วยความร้อนเพื่อป้องกันความชื้นและการเกิดกลิ่นหืน เช่นเดียวกับ รัตนาภรณ์ ถาแก้ว และคณะ (ม.ป.ป) ที่เตรียมกากถั่วเหลืองมาทำให้เป็นแป้งโดยนำมาอบแห้งอุณหภูมิ 80±5 องศาเซลเซียส เวลา 4 ชั่วโมง ด้วยเครื่องอบแห้งแบบลมร้อน จนมีความชื้นเท่ากับ 7% แล้วนำมาลดขนาดด้วยเครื่องบด จากนั้นนำมารอนผ่านตะแกรงร่อนแยกขนาด 300 เมช

สุภาวิณี แสนทวีสุข และ มาลีน่า สันเต๊ะ (2555) ศึกษาผลของการใช้กากถั่วเหลืองทดแทนแป้งสาลีในบัตเตอร์เค้กที่ระดับร้อยละ 0, 20, 30, 40 และ 50 (โดยน้ำหนักแป้ง) ประเมินคุณภาพของบัตเตอร์เค้กโดยการวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพและทดสอบทางประสาทสัมผัสจากการทดลอง พบว่า เมื่อปริมาณกากถั่วเหลืองเพิ่มขึ้นมีผลทาให้ปริมาตรจาเพาะของแบตเตอร์และบัตเตอร์เค้กลดลงส่วนความหนืดมีค่าเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ จากการวิเคราะห์เนื้อสัมผัสพบว่าค่าความแข็งของตัวอย่างที่ผ่านการอบมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นในขณะที่ค่าความยืดหยุ่นไม่ต่างกันในทางสถิตินอกจากนั้นยังพบว่าค่าความสว่าง (L*) ของตัวอย่างมีค่าลดลงอย่างมีนัยสำคัญส่วนค่าสีแดง (a*) และค่าสีเหลือง (b*) มีค่าเพิ่มขึ้นจากการทดสอบทางประสาทสัมผัสด้วยวิธี 9-Point Hedonic Scale พบว่าปริมาณการทดแทนแป้งสาลีด้วยกากถั่วเหลืองที่เหมาะสมอยู่ที่ระดับร้อยละ 30 โดยมีคะแนนความชอบในด้านสี กลิ่น รสชาติ เนื้อสัมผัส และความชอบโดยรวมเท่ากับ 7.32, 7.55, 7.40, 7.05 และ 7.50 คะแนน ตามลาดับ และพบว่า บัตเตอร์เค้กที่ใช้กากถั่วเหลืองทดแทนแป้งสาลีที่ระดับร้อยละ 30 (โดยน้ำหนักแป้ง) มีปริมาณโปรตีนคาร์โบไฮเดรตไขมันเส้นใยและเถ้าสูงกว่าตัวอย่างชุดควบคุม

กนกอร นันตะธนะ (2555) ได้ศึกษาการใช้กากถั่วเหลืองเพื่อเพิ่มคุณค่าทางโภชนาการในเค้กผลไม้ โดยใช้โอคาราหรือกากถั่วเหลืองที่เหลือจากการผลิตนมถั่วเหลืองที่เลียนแบบการผลิตในครัวเรือนมาใช้ประโยชน์ ทดลองแทนแป้งสาลีในการผลิตเค้กผลไม้ ใช้โอคารา 2 ชนิด คือ โอคาราสด และโอคาราสดบีบแห้ง นำมาทดแทนแป้งสาลีที่ระดับ 20% 30% และ 40% เมื่อตรวจสอบสมบัติทางกายภาพและทางประสาทสัมผัส พบว่าการใช้โอคาราสดและโอคาราสดบีบแห้งทดแทนแป้งสาลีในปริมาณที่เพิ่มขึ้น ทำให้ค่าความหนืดขอแบตเตอร์ลดลง ค่าความสว่างของเค้กผลไม้ลดลง และค่าสีแดงเพิ่มขึ้นอย่ามีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) ส่งผลให้เค้กผลไม้โอคารามีสีเข้มกว่าเค้กผลไม้สูตรควบคุม ในขณะค่าความแข็งของเค้กผลไม้ที่ใช้โอคาราสดบีบแห้งเพิ่มขึ้น จากการทดสอบทางประสาทสัมผัสของเค้กผลไม้ พบว่าสามารถใช้โอคาราสดทดแทนแป้งสาลีได้ 30% เพื่อเพิ่มคุณค่าทางโภชนาการของเค้กผลไม้ที่ใช้โอคาราสดบีบแห้ง ได้ทดสอบใช้แป้งโฮลวีต 2 ชนิด คือ แป้งโฮลวีตชนิดละเอียดและแป้งโฮลวีตชนิดหยาบแทนแป้งขนมปังขัดขาว พบว่า เค้กผลไม้โอคาราที่ผลิตจากแป้งโฮลวีตชนิดละเอียด มีค่าคะแนนความชอบโดยรวมอยู่ในช่วงปานกลางถึงชอบมาก การศึกษาอายุการเก็บรักษาของเค้กผลไม้โอคาราที่ใช้แป้งโฮลวีตชนิดละเอียด โดยบรรจุในพิมพ์อลูมิเนียมฟอยล์ ปิดฝาด้วยฟิล์มถนอมอาหารที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส พบว่าสามารถเก็บได้มากกว่า 28 วัน เช่นเดียวกับเค้กผลไม้ที่ผลิตขากแป้งสาลี 100% ผลการวิเคราะห์คุณค่าทางโภชนาการของเค้กผลไม้ พบว่าเค้กผลไม้โอคารา 100 กรัม มีปริมาณความชื้น โปรตีน ไขมัน เถ้า ใยอาหาร และคาร์โบไฮเดรต เท่ากับ 23.70, 6.04, 29.00, 1.25, 3.42 และ 39.64 กรัม ตามลำดับ การเติมโอคาราลงในเค้กผลไม้ทำให้ปริมาณเถ้าและใยอาหารเพิ่มขึ้น และทำให้ปริมาณคาร์โบไฮเดรตและพลังงานลดลง เมื่อเปรียบเทียบกับสูตรควบคุม

จิรนาถ ทิพย์รักษา และนาตยา สินทวี (2553) ศึกษาการนำกากเมล็ดทานตะวันมาใช้ประโยชน์ โดยการนำกากเมล็ดทานตะวัน มาทำเป็นแป้ง โดยบดละเอียดและนำไปร่อนผ่านตะแกรงร่อนที่มีขนาดรูตะแกรง 25, 60, 80 , 100 เมช และชั้นมากกว่า 100 เมช จะได้ร้อยละผลผลิตเท่ากับ 7.74, 52.18, 10.40, 4.58 และ 21.12 ตามลำดับ จากนั้นนำมาวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี พบว่ามีปริมาณความชื้น โปรตีน ไขมัน เถ้า และเส้นใย เท่ากับร้อยละ 10.50, 28.14, 12.46, 5.60 และ 25.49 ตามลำดับ นำกากเมล็ดทานตะวันที่ได้มาผลิตคุกกี้เนย โดยแปรระดับกากเมล็ดทานตะวันที่ระดับ 0-20% พบว่า ค่าสี L* a* b* และค่าความแข็งเพิ่มขึ้นตามระดับการเสริมกากเมล็ดทานตะวันที่มากขึ้น ในขณะที่ค่า Spread ratio ลดลง เมื่อมีการแปรระดับกากเมล็ดทานตะวันที่เพิ่มขึ้น จากการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีจะพบว่า มีปริมาณโปรตีน ไขมันเถ้า และเส้นใยเพิ่มสูงขึ้น เมื่อมีการแปรระดับกากเมล็ดทานตะวันที่เพิ่มขึ้น จากนั้นทำการทดสอบทางประสาทสัมผัส พบว่า คุกกี้สูตรที่มีการเสริมกากเมล็ดทานตะวันที่ระดับ 5% ได้รับการยอมรับมากที่สุด และจากการศึกษาอายุการเก็บคุกกี้สูตรมาตรฐานและสูตรที่มีการเสริมกากเมล็ดทานตะวัน 5% ในถุงพลาสติกโพลิเอทิลีนและขวดแก้ว ณ อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 1 เดือน โดยตรวจสอบการเสื่อมเสีย พบว่า เมื่อเวลานานขึ้นค่าความแข็งลดลง ค่า Peroxide value ปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด ยีสต์และรามีแนวโน้มเพิ่มขึ้น

ประวีณ์นุช มุสิกะพุกก์ และสุชาดา ไม้สนธิ์ (2557) ได้พัฒนาผลิตภัณฑ์แป้งวอฟเฟิลสำเร็จรูปจากข้าวกล้องงอก เริ่มจากการนำข้าวเจ้าและ ข้าวเหนียวที่ผ่านการแช่น้ำแล้ว 24 ชั่วโมงมางอกที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 36 ชั่วโมง จากนั้นนำมาทำเป็นแป้งด้วยวิธีโม่แห้ง และนำมาวิเคราะห์

องค์ประกอบทางเคมีพบว่าข้าวเจ้าและข้าวเหนียวเมื่อผ่านการงอก มีปริมาณความชื้น เยื่อใย ปริมาณสารกาบา สารประกอบฟีนอลิก และความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ เพิ่มขึ้นแตกต่างกับข้าวกล้องที่ไม่ได้ผ่านการงอก อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ในขณะที่ปริมาณไขมัน โปรตีน และคาร์โบไฮเดรตลดลง ($p \leq 0.05$) จากนั้นศึกษาอัตราส่วนของแป้งข้าวเจ้างอกต่อแป้งข้าวเหนียวงอกในการผลิตผลิตภัณฑ์วอฟเฟิลที่อัตราส่วน 100:0 90:10 80:20 70:30 60:40 และ 50:50 ผลการทดลองพบว่าเมื่อเพิ่มอัตราส่วนของแป้งข้าวเหนียวมากขึ้นจะส่งผลให้ค่า ความถ่วงจำเพาะ และค่าความคงตัวของอิมัลชันของส่วนผสมลดลง ($p \leq 0.05$) ผลิตภัณฑ์มีปริมาตรจำเพาะและความยืดหยุ่นเพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่มอัตราส่วน ของข้าวเหนียวในขณะที่ ค่าสี L* a* b* ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ผลการประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสพบว่าที่ อัตราส่วนระหว่างแป้งข้าวเจ้างอกต่อแป้งข้าวเหนียวงอกร้อยละ 50:50 มีคะแนนคุณลักษณะด้านลักษณะปรากฏ เนื้อสัมผัส และความชอบรวมสูงสุด ($p \leq 0.05$) จากนั้นได้นำวอฟเฟิลที่ใช้อัตราส่วนข้าวเจ้าและข้าวเหนียวงอกที่ 50:50 มาพัฒนาคุณภาพ เนื้อสัมผัสโดยใช้สาร EC 25K ที่ร้อยละ 12 13 14 และ 15 ของเปอร์เซ็นต์ไขมันในสูตร พบว่า วอฟเฟิลที่ใช้สาร EC 25K ร้อย ละ 12 มีคุณสมบัติทางเคมีกายภาพดีที่สุด รวมถึงได้คะแนนการยอมรับจากผู้ประเมินทางประสาทสัมผัสสูงสุด โดยวอฟเฟิลสูตรนี้มีปริมาณความชื้น ปริมาณน้ำอิสระ ค่าสี L* a* b* ค่าความยืดหยุ่น ค่าความแน่นเนื้อ ปริมาตรจำเพาะ เท่ากับ 25.50% 0.89 65.85 5.63 25.53 53.54 5.41 และ 3.11 ตามลำดับ ปริมาณสารกาบา 9.68 mg/100 g ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด เท่ากับ 0.45 mgGAE/g และมีความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระร้อยละ 32.46 ในส่วนการยอมรับของผู้บริโภค พบว่าผู้บริโภคชอบผลิตภัณฑ์วอฟเฟิลข้าวกล้องงอกและแป้งวอฟเฟิลสำเร็จรูป จากข้าวกล้องงอก โดยให้การยอมรับในผลิตภัณฑ์ร้อยละ 85

วรรณพร นวลศรีไพร (2550) ศึกษาผลการทดแทนแป้งสาลีด้วยฟลาวร์กากเมล็ดทานตะวันไขมันต่ำต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์ขนมปังแท่งกรอบ โดยฟลาวร์กากเมล็ดทานตะวันไขมันต่ำ (Low fat sunflower kernel meal flour: LFSMF) มีลักษณะเป็นผงละเอียดสีเหลืองอ่อน มีความชื้น 6.90% โดยน้ำหนักเปียก และมีองค์ประกอบทางเคมีโดยประมาณ คือ ไขมัน, โปรตีน, เส้นใยหยาบ, เถ้าและคาร์โบไฮเดรต เท่ากับ 0.33% 43.61% 8.98% 7.64% และ 39.44% dry basis มีปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอลทั้งหมด 3556 mgGAE/100 g และมีประสิทธิภาพในการจับอนุมูลอิสระดีพีพีเอช 87.50% ผลของการทดแทนแป้งสาลีอเนกประสงค์ด้วย LFSMF 10 15 20 และ 25% โดยน้ำหนักแป้งสาลีอเนกประสงค์ พบว่า เมื่อปริมาณ LFSMF เพิ่มมากขึ้น ขนมปังกรอบแท่ง LFSMF มีค่าสี ค่าความแข็ง และค่าปริมาตรจำเพาะมีค่าเพิ่มสูงขึ้นจากขนมปังกรอบแท่งสูตรควบคุม ($p<0.05$) จากการประเมินคุณค่าทางประสาทสัมผัส พบว่า ขนมปังกรอบแท่ง LFSMF 15% โดยน้ำหนักแป้งสาลีอเนกประสงค์มีคะแนนความชอบโดยรวมไม่แตกต่างจากขนมปังกรอบแท่งสูตรควบคุม ($p \geq 0.05$) โดยขนมปังกรอบแท่งมีความชื้น 2.64% และมีองค์ประกอบทางเคมีโดยประมาณ คือ ไขมัน, โปรตีน, เส้นใยหยาบ, เถ้าและคาร์โบไฮเดรต เท่ากับ 18.82% , 21.74%, 2.27%, 1.84% และ 55.33% dry basis ตามลำดับ มีปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอลทั้งหมดเท่ากับ 2093 mgGAE/100 g และมีประสิทธิภาพในการจับกับอนุมูลอิสระดีพีพีเอชเท่ากับ 57.67%

บทที่ 3
วิธีการดำเนินการทดลอง

วัตถุดิบและสารเคมี

1) แป้งถั่วดาวอินคา รับจากบริษัท โอเมกา 3.6.9 แอนด์ ไลโคปีน จำกัด
2) แป้งสาลีอเนกประสงค์ ตราว่าว บริษัทยูไนเต็ดฟลาวมิลล์ จำกัด มหาชน
3) น้ำตาลทราย (ชนิดป่นละเอียด) ตรามิตรผล บริษัทรวมเกษตรกรอุตสาหกรรม จำกัด
4) ไข่ผง ตราบีเอพี บริษัทกรุงเทพผลิตผลอุตสาหกรรมเกษตร จำกัด มหาชน
5) นมผง (ชนิดไขมันเต็ม) ตราแฮปปี้มิลค์ บริษัททาเลนท์ จำกัด
6) เกลือป่นตราปรุงทิพย์ บริษัทอุตสาหกรรมเกลือบริสุทธิ์ จำกัด
7) ผงฟู ตราเบสท์ฟูด บริษัทยูนิลีเวอร์ไทยเทรดดิ้ง จำกัด
8) ไฮดรอกซีโพรพิลเมทิลเซลลูโลส บริษัทรามาโปรดักชัน จำกัด
9) โอลิโกฟรุคโตส บริษัท ดีพีโอ จำกัด
10) กัวกัม บริษัท ไทยฟู้ดแอน์เคมิคัล จำกัด

อุปกรณ์และเครื่องมือ

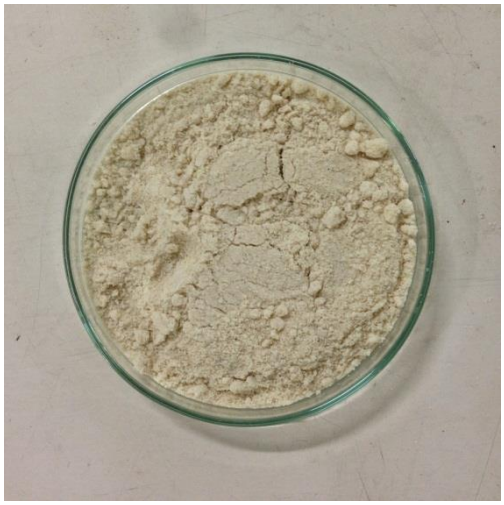
1) ตู้อบลมร้อน Binder รุ่น FD-53 ประเทศสหรัฐอเมริกา
2) เครื่องอบวอฟเฟิล House worth รุ่นHW-294 ประเทศจีน
3) เครื่องผสม ไทยมิกเซอร์ รุ่น KV-05 ประเทศไทย
4) อ่างน้ำควบคุมอุณหภูมิ Hetoรุ่น CB 60 VS ประเทศเดนมาร์ค
5) เครื่องชั่งน้ำหนักละเอียด Satorius รุ่น BA 2115 ประเทศเยอรมนี
6) เครื่องวัดสี Hunterlabรุ่น Mini Scan XP Plus ประเทศสหรัฐอเมริกา
7) เครื่องวิเคราะห์เนื้อสัมผัส Stable Micro System รุ่น TA-XT2 ประเทศอังกฤษ
8) ตู้แช่แข็ง Sanyo ประเทศไทย
9) ถุงอลูมิเนียมฟอยล์
10) ขวดแก้วบรรจุเครื่องดื่มพร้อมฝาปิด
11) อุปกรณ์เครื่องแก้ว ได้แก่ กระบอกตวง บีกเกอร์ ขวดรูปชมพู่ ขวดปรับปริมาตร
12) อุปกรณ์ในการทดสอบคุณภาพทางประสาทสัมผัส ได้แก่ ถ้วยชิม แก้วน้ำ ช้อน
13) อุปกรณ์เบเกอรี เช่น อ่างผสมสแตนเลส พายพลาสติก ตะกร้อตีไข่ เป็นต้น

วิธีการดำเนินการทดลอง

ตอนที่ 1 การวิเคราะห์คุณภาพแป้งถั่วดาวอินคาที่เป็นผลิตผลพลอยได้จากการสกัดน้ำมัน

ในขั้นตอนนี้เป็นการศึกษาศักยภาพการใช้ประโยชน์ผลิตผลพลอยได้จากการสกัดน้ำมันถั่วดาวอินคา โดยนำวัตถุดิบแป้งถั่วดาวอินคามาศึกษาถึงคุณภาพทางเคมี กายภาพ รวมถึงศักยภาพด้านสารพฤกษเคมีที่มีโดยธรรมชาติ

วัตถุดิบแป้งถั่วดาวอินคาที่ใช้ในงานวิจัยนี้เป็นผลพลอยได้จากการผลิตน้ำมันถั่วดาวอินคาในระดับอุตสาหกรรม ซึ่งรับมาจากบริษัท โอเมกา 3.6.9 แอนด์ ไลโคปีน จำกัด ที่ดำเนินการผลิตน้ำมันโดยน้ำเมล็ดถั่วดาวอินคามาสกัดน้ำมันโดยการบีบเย็นด้วยไฮโดรลิก (Cold pressing with hydraulic press) ทำให้ได้ส่วนกากที่บีบน้ำมันออกแล้ว (Press cake) และนำส่วนกากนี้มาบีบน้ำมันออกอีก แล้วทำเป็นผงแห้ง จนได้เป็นแป้งถั่วดาวอินคา แสดงลักษณะดังภาพที่ 3-1 นำแป้งถั่วดาวอินคาที่รับมา แบ่งบรรจุในถุงอลูมิเนียมฟอยล์ถุงละ 500 กรัม และเก็บรักษาโดยแช่แข็งที่อุณหภูมิ -18 องศาเซลเซียส จนกว่าจะนำมาใช้งาน



ภาพที่ 3-1 แป้งถั่วดาวอินคาที่ใช้ในงานวิจัย

การวิเคราะห์คุณภาพ

1) ปริมาณองค์ประกอบทางเคมีโดยประมาณ ได้แก่ ความชื้น โปรตีน ไขมัน กากใย เถ้า และคาร์โบไฮเดรต (AOAC, 2000)

2) ปริมาณเส้นใยอาหารทั้งหมด (AOAC, 2000)

3) ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด (Abu Bakar et al, 2009)

4) สมบัติการต้านอนุมูลอิสระ (Abu Bakar et al, 2009)

5) ค่า a_w ด้วยเครื่องวัดค่า a_w

6) ค่าสี ด้วยเครื่องวัดสี รายงานผลเป็นค่า L* a* และ b*

ตอนที่ 2 การศึกษาผลของวิธีการให้ความร้อนเพื่อลดกลิ่นถั่วต่อคุณภาพของแป้งถั่วดาวอินคา

การลดกลิ่นถั่วในแป้งโดยวิธีการให้ความร้อน (Heat treatment) มีข้อดีคือ สามารถดำเนินการได้สะดวก ไม่ต้องมีการใช้สารเคมีมาเกี่ยวข้อง จึงช่วยลดการตกค้างของสารเคมีที่ไม่พึงประสงค์ต่างๆได้ เป็นวิธีที่มีศักยภาพในการปรับปรุงคุณภาพของผลิตภัณฑ์ที่ต่ำกว่ามาตรฐาน เช่น แป้ง (Marston et al., 2016) มีรายงานว่าการให้ความร้อนแป้งถั่วด้วยการอบ (Roasting) และการนึ่งด้วยไอน้ำ (Steaming) มีผลให้กลิ่นถั่วในแป้งถั่วลดลงได้ โดยมีปัจจัยที่เกี่ยวข้องได้แก่ระดับอุณหภูมิ และเวลาในการให้ความร้อน โดยการกำหนดระดับอุณหภูมิที่เหมาะสมควรเพียงพอที่จะสามารถยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ Lipoxygenase ที่เป็นปัจจัยสำคัญในการกระตุ้นปฏิกิริยาออกซิเดชันของกรดไขมันไม่อิ่มตัว ซึ่งจะสร้างสารที่ให้กลิ่นถั่วได้ อุณหภูมิที่แนะนำคือควรมากกว่า 60 องศาเซลเซียส (Shin et al., 2013)

2.1 การศึกษาผลของอุณหภูมิและเวลาการอบต่อคุณภาพของแป้งถั่วดาวอินคา

จากการตรวจเอกสาร พบว่า มีการใช้สภาวะการอบแป้งถั่วเพื่อลดกลิ่นถั่วแตกต่างกัน โดยอุณหภูมิที่ใช้อยู่ในช่วง 100 ถึง 200 องศาเซลเซียส และเวลาที่ใช้อยู่ในช่วง 10 ถึง 30 นาที (Shin et al., 2013; Andrade et al., 2016; Turan et al., 2016) ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับชนิดของแป้งถั่ว ในขั้นตอนนี้ต้องการหาสภาวการอบที่เหมาะสมที่สามารถลดกลิ่นถั่วได้ โดยศึกษาผลของปัจจัยด้านอุณหภูมิและเวลาการอบต่อคุณภาพของแป้งถั่วดาวอินคา จัดสิ่งทดลองแบบ Factorial 3x 2 ได้ 6 สิ่งทดลอง (แสดงดังตารางที่ 3-1) โดยมีรายละเอียดดังนี้

ปัจจัยที่ 1 อุณหภูมิการอบ คือ 70 90 และ 120 องศาเซลเซียส

ปัจจัยที่ 2 เวลาการอบ คือ 15 และ 30 นาที

ตารางที่ 3-1 สิ่งทดลองที่ได้จากการแปรอุณหภูมิและเวลาการอบเพื่อลดกลิ่นถั่วของแป้งถั่วดาวอินคา

สิ่งทดลองที่	อุณหภูมิการอบ (องศาเซลเซียส)	เวลาการอบ (นาที)
1	70	15
2		30
3	90	15
4		30
5	120	15
6		30

การลดกลิ่นถั่วด้วยการอบ

วิธีดำเนินการอบเพื่อลดกลิ่นถั่ว ดัดแปลงจากวิธีของ Shin et al. (2013) และ Andrade et al. (2016) โดยนำแป้งถั่วดาวอินคามาเกลี่ยลงบนถาดสำหรับอบ โดยควบคุมให้ความหนาไม่เกิน 1 เซนติเมตร นำไปอบด้วยตู้อบลมร้อน ตามอุณหภูมิและเวลาที่กำหนด เมื่อครบเวลาทิ้งไว้ให้เย็นที่อุณหภูมิห้อง ควบคุมขนาดอนุภาคของแป้งถั่วดาวอินคาที่ได้ โดยนำแป้งไปบดด้วยเครื่องบดอาหารแห้ง กำหนดให้บดแป้งครั้งละ 250 กรัม ใช้ความเร็วปานกลาง โดยบดเป็นเวลา 45 วินาที แล้ว

นำมาร่อนผ่านตะแกรงขนาด 80 เมช บรรจุในถุงอลูมิเนียมฟอยล์ เก็บรักษาโดยแช่แข็งที่อุณหภูมิ -18 องศาเซลเซียส จนกว่าจะนำมาวิเคราะห์

การวิเคราะห์คุณภาพ

สุ่มตัวอย่างแป้งถั่วดาวอินคามาวิเคราะห์คุณภาพ ดังนี้

1) ความชื้น (AOAC, 2000)

2) กิจกรรมของเอนไซม์ไลพอกซีจีเนส (Lipoxygenase activity) ตามวิธีของ Kong et al. (2008) และ Shin et al. (2013) รายงานเป็น Unit/g

1) ค่าสี ด้วยเครื่องเครื่องวัดสี (Colorimeter) และรายงานเป็นค่าสี L* a* b* และ ΔE แสดงดัง

2) ความเข้มกลิ่นถั่ว โดยการประเมินทางประสาทสัมผัสตามวิธีของ Kudre and Benjakul (2013) ใช้ผู้ทดสอบที่ผ่านการฝึกฝน จำนวน 10 คน ประเมินความเข้มกลิ่นถั่วของแป้งถั่วดาวอินคาที่ผ่านและไม่ผ่านการให้ความร้อนด้วยวิธี scoring test โดยให้คะแนนตั้งแต่ 0 ถึง 5 โดยคะแนน 0 หมายถึง ไม่มีกลิ่นถั่ว และ 5 หมายถึง กลิ่นถั่วเข้มมากที่สุด

การวิเคราะห์ทางสถิติ

ทดลอง 3 ซ้ำ วิเคราะห์ความแปรปรวนของข้อมูล (ANOVA) โดยวางแผนการทดลองแบบ Factorial in CRD เปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยโดยวิธี Duncan’s New Multiple Range Test ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 ด้วยโปรแกรม SPSS Version 23

เกณฑ์ในการคัดเลือก

เลือกสิ่งทดลองที่ทำให้แป้งถั่วดาวอินคามีกลิ่นถั่วน้อยที่สุด มีกิจกรรมของเอนไซม์ไลพอกซีจีเนสต่ำ และมีปริมาณความชื้นไม่เกิน 10% โดยพิจารณาร่วมกับค่าสี

2.2 การศึกษาผลของเวลาการนึ่งด้วยไอน้ำต่อคุณภาพของแป้งถั่วดาวอินคา

จากการตรวจเอกสารพบว่าการนึ่งโดยใช้ไอน้ำร้อน (อุณหภูมิตั้งแต่ 95 องศาเซลเซียส ขึ้นไป) ใช้เวลานึ่งอยู่ในช่วง 15 ถึง 60 นาที (Shin et al. 2013, Norenizan et al., 2010; Miftakhussolikhah, 2015) ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับชนิดของแป้งถั่ว และหลังการนึ่งจะนำแป้งถั่วมาทำแห้งด้วยอุณหภูมิต่ำ คืออุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส เป็นเวลาประมาณ 48 ชั่วโมง เพื่อลดความชื้นลงให้เหลือประมาณ 10% ในขั้นตอนนี้ต้องการหาเวลาการนึ่งด้วยไอน้ำที่เหมาะสมที่สามารถลดกลิ่นถั่วได้ โดยแปรเวลาในการนึ่งเป็น 4 ระดับ เท่ากับ 15 30 45 และ 60 นาที

การลดกลิ่นถั่วด้วยการนึ่งด้วยไอน้ำ

วิธีดำเนินการนึ่งด้วยไอน้ำเพื่อลดกลิ่นถั่ว ดัดแปลงจากวิธีของ Shin et al. (2013) ดำเนินการโดยใช้ไอน้ำจากอ่างน้ำควบคุมอุณหภูมิที่อุณหภูมิ 98±2 องศาเซลเซียส โดยนำแป้งถั่วดาวอินคามาเกลี่ยลงบนถาดสแตนเลสที่มีลักษณะเป็นรู โดยมีผ้าขาวบางรองแล้วนำมาวางลงบนตะแกรงที่อยู่ระดับสูงกว่าปริมาณน้ำ นึ่งด้วยไอน้ำตามเวลาที่กำหนด เมื่อครบเวลาทิ้งไว้ให้เย็น แล้วนำแป้งถั่วดาวอินคามาเกลี่ยลงบนถาดสำหรับอบ โดยควบคุมให้ความหนาไม่เกิน 1 เซนติเมตร นำไปอบด้วยตู้อบลมร้อน ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 48 ชั่วโมง เมื่อครบเวลาทิ้งไว้ให้เย็นที่อุณหภูมิห้อง ควบคุมขนาดอนุภาคของแป้งถั่วดาวอินคาที่ได้ โดยนำแป้งไปบดด้วยเครื่องบดอาหารแห้ง กำหนดให้บดแป้งครั้งละ 250 กรัม ใช้ความเร็วปานกลาง โดยบดเป็นเวลา 45 วินาที แล้ว

นำมาร่อนผ่านตะแกรงขนาด 80 เมช บรรจุในถุงอลูมิเนียมฟอยล์ เก็บรักษาโดยแช่แข็งที่อุณหภูมิ -18 องศาเซลเซียส จนกว่าจะนำมาวิเคราะห์

การวิเคราะห์คุณภาพ

สุ่มตัวอย่างแป้งถั่วดาวอินคา มาวิเคราะห์คุณภาพ ดังนี้

1) ความชื้น (AOAC, 2000)

2) กิจกรรมของเอนไซม์ไลพอกซีจีเนส (Lipoxygenase activity) ตามวิธีของ Kong et al. (2008) และ Shin et al. (2013) รายงานเป็น Unit/g

3) ค่าสี ด้วยเครื่องเครื่องวัดสี (Colorimeter) และรายงานเป็นค่าสี L* a* b* และ ΔE

4) ความเข้มกลิ่นถั่ว โดยการประเมินทางประสาทสัมผัสตามวิธีของ Kudre and Benjakul (2013) ใช้ผู้ทดสอบที่ผ่านการฝึกฝน จำนวน 10 คน ประเมินความเข้มกลิ่นถั่วของแป้งถั่วดาวอินคาที่ผ่านและไม่ผ่านการให้ความร้อนด้วยวิธี scoring test โดยให้คะแนนตั้งแต่ 0 ถึง 5 โดยคะแนน 0 หมายถึง ไม่มีกลิ่นถั่ว และ 5 หมายถึง กลิ่นถั่วเข้มมากที่สุด

การวิเคราะห์ทางสถิติ

ทดลอง 3 ซ้ำ วิเคราะห์ความแปรปรวนของข้อมูล (ANOVA) โดยวางแผนการทดลองแบบ CRD เปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยโดยวิธี Duncan's New Multiple Range Test ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 ด้วยโปรแกรม SPSS Version 23

เกณฑ์ในการคัดเลือก

เลือกสิ่งทดลองที่ทำให้แป้งถั่วดาวอินคามีกลิ่นถั่วน้อยที่สุด มีกิจกรรมของเอนไซม์ไลพอกซีจีเนสต่ำ และมีปริมาณความชื้นไม่เกิน 10% โดยพิจารณาร่วมกับค่าสี

2.3 การศึกษาคุณภาพของแป้งถั่วดาวอินคาที่ไม่ผ่านและผ่านการให้ความร้อนเพื่อลดกลิ่นถั่ว

แป้งถั่วมีสารพฤกษเคมีโดยธรรมชาติที่มีสมบัติต้านอนุมูลอิสระได้ รวมถึงมีเส้นใยอาหารเป็นองค์ประกอบ แต่มีโอกาสสูญเสียไประหว่างการแปรรูปด้วยความร้อนได้ (Aparicio-Fernandez et al., 2005; Xu and Chang, 2009) นอกจากนี้เนื่องจากแป้งถั่วเป็นแป้งที่มีโปรตีนสูง การให้ความร้อนกับแป้งถั่ว จึงมีโอกาสให้องค์ประกอบและโครงสร้างทางเคมีกายภาพของสตาร์ชและโปรตีนเปลี่ยนแปลงไป Campbell et al. (2008) และ Damodaran (1996) กล่าวว่า การให้ความร้อนกับแป้งที่มีโปรตีนสูงมีผลต่อสมบัติเชิงหน้าที่ของโปรตีน เช่น การเป็นอิมัลซิไฟเออร์ การเกิดโฟม และการอุ้มน้ำ เป็นต้น ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับความรุนแรงของสภาวะการให้ความร้อน โดยการให้ความร้อนสภาวะที่ไม่รุนแรง (Mild thermal treatment) มักทำให้เกิดการคลายเกลียว (Unfolding) ของโปรตีนบางส่วนเป็นผลให้เอื้อต่อการปรับปรุงให้สมบัติเชิงหน้าที่บางประการดีขึ้น ในขณะที่การให้ความร้อนสภาวะที่รุนแรง (Extensive thermal treatment) มักทำให้โปรตีนเกิดการตกตะกอน จนสูญเสียสมบัติเชิงหน้าที่ไป โดยเฉพาะสมบัติที่เกี่ยวข้องกับการละลายของโปรตีน และมีนักวิจัยจำนวนมากที่ศึกษาผลของการให้ความร้อนต่อสมบัติเชิงหน้าที่ของสตาร์ช ตัวอย่างเช่น Noranizan et al. (2010) กล่าวว่า การให้ความร้อนกับแป้งมีผลต่อสมบัติเชิงหน้าที่ของสตาร์ช เช่น สมบัติการเกิดเจล การพองตัว ความหนืด และการละลาย เป็นต้น

ดังนั้นการนำแป้งถั่วดาวอินคามาผ่านการให้ความร้อน อาจมีผลต่อองค์ประกอบทางเคมี รวมถึงสมบัติเชิงหน้าที่ต่างๆ ในขั้นตอนนี้จึงต้องการเปรียบเทียบคุณภาพทางเคมี และสมบัติเชิง

หน้าที่ของแป้งถั่วดาวอินคาที่ไม่ผ่านและผ่านการให้ความร้อน เพื่อใช้เป็นข้อมูลพื้นฐาน ในการนำแป้งถั่วดาวอินคาไปใช้เป็นส่วนผสมในอาหารชนิดต่างๆ ต่อไป

การเตรียมตัวอย่างแป้งถั่วดาวอินคาที่ไม่ผ่านการให้ความร้อนสำหรับการวิเคราะห์ดำเนินการควบคุมขนาดอนุภาคของแป้งถั่วดาวอินคา โดยนำมาร่อนผ่านตะแกรงขนาด 80 เมช สำหรับแป้งถั่วดาวอินคาที่ผ่านการให้ความร้อนทั้งวิธีการอบและการนึ่งด้วยไอน้ำ เตรียมตัวอย่างตามวิธีที่เลือกได้จากข้อ 2.1 และ 2.2

การวิเคราะห์คุณภาพ

สุ่มตัวอย่างแป้งถั่วดาวอินคา มาวิเคราะห์คุณภาพ ดังนี้

7) ปริมาณองค์ประกอบทางเคมีโดยประมาณ ได้แก่ ความชื้น โปรตีน ไขมัน กากใย เถ้า และคาร์โบไฮเดรต (AOAC, 2000)

8) ปริมาณเส้นใยอาหารทั้งหมด (AOAC, 1995)

9) ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด (ดัดแปลงจาก Hun et. al., 2013) และสมบัติการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระ (ดัดแปลงจากวิธีของ Karagozler et al., 2008 และ Hun et al, 2003)

10) สมบัติเชิงหน้าที่ ได้แก่

10.1) Water absorption capacity (ดัดแปลงจาก Bhat, & binti Yahya, 2014)

10.2) Oil absorption capacity (ดัดแปลงจาก Bhat, & binti Yahya, 2014)

10.3) Emulsifying properties ได้แก่ Emulation activity และ Emulation (ดัดแปลงจาก Seena & Sridhar, 2005; Bhat, & binti Yahya, 2014 และ Oladele and Aina, 2007)

10.4) Foaming capacity (ดัดแปลงจาก Seena and Sridhar, 2005 และBhat, &intiYahya, 2014)

0.5) Swelling properties (ดัดแปลงจาก Oladele and Aina, 2007)

การวิเคราะห์ทางสถิติ

ทดลอง 3 ซ้ำ วิเคราะห์ความแปรปรวนของข้อมูล (ANOVA) โดยวางแผนการทดลองแบบ CRD เปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยโดยวิธี Duncan’s New Multiple Range Test ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 ด้วยโปรแกรม SPSS Version 23

ตอนที่ 3 การศึกษาความเป็นไปได้ในการนำแป้งถั่วดาวอินคามาใช้ในผลิตภัณฑ์อาหารเพื่อสุขภาพต้นแบบ

ขั้นตอนนี้ต้องการศึกษาความเป็นไปได้ในการนำแป้งถั่วดาวอินคาที่ผ่านการลดกลิ่นถั่วแล้วมาเติมเป็นส่วนผสมในอาหารเพื่อสุขภาพต้นแบบ 2 ชนิด ได้แก่ 1) แป้งวอฟเฟิลสำเร็จรูป และ 2) เครื่องดื่มน้ำนมถั่วดาวอินคาสูตรน้ำตาลต่ำ ซึ่งได้จากการระดมสมองระหว่างตัวแทนผู้บริโภค ผู้ประกอบการ และคณะผู้วิจัย ร่วมกับการพิจารณาผลการทดลองทำปฏิบัติการเบื้องต้นแล้ว พบว่า มีความเป็นไปได้ในการนำแป้งถั่วดาวอินคามาใช้ในผลิตภัณฑ์อาหารเพื่อสุขภาพต้นแบบทั้ง 2 ชนิดนี้

3.1 การศึกษาความเป็นไปได้ในการนำแป้งถั่วดาวอินคามาผลิตแป้งวอฟเฟิลสำเร็จรูป

3.1.1 การศึกษาผลของการใช้แป้งถั่วดาวอินคาแทนที่แป้งสาลีและปริมาณของไฮดรอกซีโพรพิลเมทิลเซลลูโลสเป็นส่วนผสมของแป้งวอฟเฟิลสำเร็จรูป

ในตอนนี้เป็นการศึกษาความเป็นไปได้ในการนำแป้งถั่วดาวอินคามาใช้ประโยชน์เป็นส่วนประกอบอาหาร โครงงานวิจัยนี้มีความสนใจนำมาใช้ในแป้งวอฟเฟิลสำเร็จรูป ซึ่งสูตรพื้นฐานดัดแปลงมาจาก Cuisinier (2012) และ Elaine (2011) มีรายละเอียดตามตารางที่ 3-2

ผลจากการทำการทดลองเบื้องต้นพบว่า มีความเป็นไปได้ในการเติมแป้งถั่วดาวอินคาทดแทนแป้งสาลีอเนกประสงค์บางส่วน แต่พบปัญหาว่า หากเติมในแป้งถั่วดาวอินคาในปริมาณมากขึ้นทำให้ส่วนผสมแบตเตอร์มีลักษณะเหลว และเมื่อสุกจะมีลักษณะแข็งกระด้าง Jagersberger (2013) และ ปิยรัตน์ กุลเมธี และคณะ (2553) รายงานว่า การแทนที่แป้งสาลีด้วยส่วนผสมอื่น เช่น แป้งถั่วเหลือง มีผลให้ส่วนผสมมีกลูกเตนน้อยลง จึงส่งผลให้โครงสร้างของผลิตภัณฑ์ไม่สมบูรณ์ การกักเก็บอากาศน้อยลง เมื่อได้รับความร้อนจึงทำให้ผลิตภัณฑ์แข็ง แน่น และไม่ยืดหยุ่น การเติมของไฮดรอกซีโพรพิลเมทิลเซลลูโลสซึ่งเป็นไฮโดรคอลลอยด์ชนิดหนึ่ง ซึ่งสมบัติช่วยปรับปรุงเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์เบเกอรี ช่วยให้แบตเตอร์มีความหนืดเพิ่มขึ้น สามารถอุ้มน้ำ และกักเก็บอากาศได้มากขึ้น ผลิตภัณฑ์จึงมีความนุ่มมากขึ้นได้

ตารางที่ 3-2 ส่วนผสมแป้งวอฟเฟิลสำเร็จรูปสูตรพื้นฐาน

ส่วนผสม	% (โดยน้ำหนักแป้ง)	ปริมาณ (กรัม)
แป้งสาลีอเนกประสงค์	100	300
ไข่ผง	28.5	85.5
นมผง	10.0	30.0
น้ำตาลทรายป่น	8.0	24.0
ผงฟู	2.0	6.0
เกลือ	0.4	1.2
เติมน้ำ (มิลลิลิตร)	130	390

ในขั้นตอนนี้ต้องการศึกษาผลของการใช้แป้งถั่วดาวอินคาทั้ง 3 ชนิด คือ 1) แป้งถั่วดาวอินคาที่ไม่ผ่านการให้ความร้อน 2) แป้งถั่วดาวอินคาที่ผ่านการอบตามที่เลือกได้จากข้อ 2.1 และ 3) แป้งถั่วดาวอินคาที่ผ่านการนึ่งด้วยไอน้ำตามที่เลือกได้จากข้อ 2.2 นำมาศึกษาการแทนที่แป้งสาลีอเนกประสงค์และใช้ไฮดรอกซีโพรพิลเมทิลเซลลูโลสในปริมาณต่างๆร่วมด้วย จัดสิ่งทดลองแบบ Factorial 2x 3 สำหรับการใช้แป้งถั่วดาวอินคาแต่ละชนิด จะได้ 6 สิ่งทดลอง (แสดงดังตารางที่3-3) โดยมีรายละเอียดดังนี้

ปัจจัยที่ 1 ปริมาณการแทนที่แป้งสาลีอเนกประสงค์ 2 ระดับ คือ 25% และ 50%

ปัจจัยที่ 2 ปริมาณไฮดรอกซีโพรพิลเมทิลเซลลูโลส (HPMC) 3 ระดับ คือ 0% 0.5% และ 1.0% (โดยน้ำหนักแป้งทั้งหมด)

วิธีการทำวอฟเฟิล

แป้งวอฟเฟิลสำเร็จรูปสูตรพื้นฐาน มีส่วนผสมที่เป็นของแห้ง คือ แป้งสาลีอเนกประสงค์ ไข่ผง นมผง น้ำตาล ผงฟู และเกลือ วิธีการทำวอฟเฟิลมีดังนี้คือ นำส่วนผสมของแห้งทั้งหมด และ HPMC มาผสมรวมกัน แล้วเติมน้ำในอัตราส่วนตามกำหนด โดยในการผลิตวอฟเฟิลแต่ละครั้ง กำหนดใช้แป้งสาลีอเนกประสงค์ 300 กรัม โดยเติมน้ำ 390 มิลลิลิตร ผสมส่วนผสมทั้งหมดลงในเครื่องผสม ตีผสมให้เข้ากันด้วยความเร็วต่ำที่สุด เป็นเวลา 5 นาที แล้วนำไปเทลงพิมพ์ของเครื่องอบวอฟเฟิล กำหนดปริมาณการเทลงพิมพ์แต่ละชิ้น เท่ากับ 15 กรัม ให้ความร้อนในระดับ 3 (อุณหภูมิ 200 ± 2 องศาเซลเซียส) เป็นเวลา 5 นาที เมื่อครบเวลา ปล่อยให้เย็น แล้วบรรจุใส่ในถุงพลาสติก เก็บในกล่องพลาสติกปิดสนิท เพื่อวิเคราะห์คุณภาพต่อไป

การวิเคราะห์คุณภาพ

สุ่มตัวอย่างวอฟเฟิลที่ได้มาวิเคราะห์คุณภาพดังนี้

1) ค่าสี ด้วยเครื่องวัดสี (Colorimeter) รายงานผลเป็นค่าสี L* a* และ b*

2) ความหนืดของแบตเตอร์ (ดัดแปลงจาก ศุภลักษณ์ สารพันธ์ และสุมาพร เพาะผล, 2549)

3) ลักษณะเนื้อสัมผัส ด้วยวิธี Texture profile analysis (ดัดแปลงจาก กนกอร นันตะธนะ, 2555)

4) คะแนนความชอบทางประสาทสัมผัส ด้านลักษณะปรากฏ สี กลิ่น กลิ่นรส เนื้อสัมผัสและความชอบโดยรวม โดยวิธี 9-point hedonic scale ใช้ผู้ทดสอบจำนวน 30 คน

การวิเคราะห์ทางสถิติ

ทดลอง 3 ซ้ำ ดำเนินการวิเคราะห์ความแปรปรวนของข้อมูล (ANOVA) แยกกันระหว่างการใช้แป้งถั่วดาวอินคาแต่ละชนิด โดยวางแผนการทดลองแบบ Factorial in CRD สำหรับการวิเคราะห์คุณภาพทุกด้าน ยกเว้นการทดสอบทางประสาทสัมผัสวางแผนการทดลองแบบ Factorial in RCBD เปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยโดยวิธี Duncan’s New Multiple Range Test ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 ด้วยโปรแกรม SPSS Version 23

เกณฑ์ในการพิจารณา

เลือกสิ่งทดลองที่เหมาะสมจากการใช้แป้งถั่วดาวอินคาแต่ละชนิด โดยเลือกจากสิ่งทดลองที่ได้รับคะแนนความชอบโดยรวมสูงที่สุด และมีการใช้แป้งถั่วดาวอินคาปริมาณมากที่สุด โดยพิจารณาร่วมกับคุณภาพอื่นที่วิเคราะห์

ตารางที่ 3-3 สิ่งทดลองที่ได้จากการแปรปริมาณแป้งถั่วดาวอินคาแทนที่แป้งสาลีอเนกประสงค์และปริมาณไฮดรอกซีโพรพิลเมทิลเซลลูโลส (HPMC) ในสูตรแป้งวอฟเฟิลสำเร็จรูป

สิ่งทดลองที่	ชนิดแป้งถั่วดาวอินคา	ปริมาณแป้งถั่ว (%)	ปริมาณ HPMC (% โดยน้ำหนักแป้งทั้งหมด)
1	ไม่ผ่านการให้ความร้อน	25	0
2	(Sacha inchi Flour: SF)	25	0.5
3		25	1.0
4		50	0
5		50	0.5
6		50	1.0
1	ผ่านการอบ	25	0
2	(Roasted Sacha inchi Flour: RSF)	25	0.5
3		25	1.0
4		50	0
5		50	0.5
6		50	1.0
1	ผ่านการนึ่งด้วยไอน้ำ	25	0
2	(Steamed Sacha inchi Flour: SSF)	25	0.5
3		25	1.0
4		50	0
5		50	0.5
6		50	1.0

3.1.2 การวิเคราะห์คุณภาพของวอฟเฟิลสูตรที่มีการใช้แป้งถั่วดาวอินคาเปรียบเทียบกับวอฟเฟิลสูตรพื้นฐาน

ในขั้นตอนนี้เป็นการเปรียบเทียบคุณภาพของวอฟเฟิลสูตรที่มีการใช้แป้งถั่วดาวอินคาแต่ละชนิดตามที่เลือกได้จากข้อ 3.1.1 มาเปรียบเทียบกับวอฟเฟิลสูตรพื้นฐาน ซึ่งเป็นสูตรที่ใช้แป้งสาลีอเนกประสงค์เพียงอย่างเดียว ไม่มีการใช้แป้งถั่วดาวอินคา โดยดำเนินการทำวอฟเฟิลตามวิธีในข้อ 3.1.1 แล้วสุ่มตัวอย่างมาวิเคราะห์คุณภาพ

การวิเคราะห์คุณภาพ

สุ่มตัวอย่างวอฟเฟิลมาวิเคราะห์คุณภาพ ดังนี้

1) ปริมาณองค์ประกอบทางเคมีโดยประมาณ ได้แก่ ความชื้น โปรตีน ไขมัน กากใย เถ้า และคาร์โบไฮเดรต (AOAC, 2000)

2) ปริมาณเส้นใยอาหารทั้งหมด (AOAC, 1995)

3) ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด (ดัดแปลงจาก Hun et. al., 2013) และสมบัติการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระ (ดัดแปลงจากวิธีของ Karagozler et al., 2008 และ Hun et al, 2003)

4) ค่าสี ด้วยเครื่องวัดสี (Colorimeter) รายงานผลเป็นค่าสี L* a* b* และ ΔE

5) ความหนืดของแบตเตอร์ (ดัดแปลงจาก ศุภลักษณ์ สารพันธ์ และสุมาพร เพาะผล, 2549)

6) ลักษณะเนื้อสัมผัส ด้วยวิธี Texture profile analysis (ดัดแปลงจาก กนกอร นันตะธนะ, 2555)

7) คะแนนความชอบทางประสาทสัมผัส ด้านลักษณะปรากฏ สี กลิ่น กลิ่นรส เนื้อสัมผัสและความชอบโดยรวม โดยวิธี 9-point hedonic scale ใช้ผู้ทดสอบจำนวน 30 คน

8) คะแนนความแตกต่างจากวอฟเฟิลสูตรพื้นฐานโดยวิธี Difference from control ใช้ผู้ทดสอบจำนวน 30 คน

การวิเคราะห์ทางสถิติ

ทดลอง 3 ซ้ำ ดำเนินการวิเคราะห์ความแปรปรวนของข้อมูล (ANOVA) แยกกันระหว่างวอฟเฟิลสูตรที่มีการใช้แป้งถั่วดาวอินคากับวอฟเฟิลสูตรพื้นฐาน โดยวางแผนการทดลองแบบ CRD สำหรับการวิเคราะห์คุณภาพทุกด้าน ยกเว้นการทดสอบทางประสารทสัมผัสวางแผนการทดลองแบบ RCBD เปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยโดยวิธี Duncan’s New Multiple Range Test ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 ด้วยโปรแกรม SPSS Version 23

เกณฑ์ในการคัดเลือก

พิจารณาสูตรวอฟเฟิลที่เหมาะสม มีแนวทางคือ เลือกวอฟเฟิลสูตรที่แทนที่แป้งสาลีอเนกประสงค์ด้วยแป้งถั่วดาวอินคาที่ได้รับคะแนนความชอบโดยรวมสูงที่สุด และมีคะแนนความแตกต่างจากวอฟเฟิลสูตรพื้นฐานต่ำที่สุด โดยพิจารณาร่วมกับคุณภาพอื่นๆ

3.2 การศึกษาความเป็นไปได้ในการนำแป้งถั่วดาวอินคามาผลิตเครื่องดื่มน้ำนมถั่วดาวอินคาสูตรน้ำตาลต่ำ

3.2.1 การศึกษาผลของปริมาณแป้งถั่วดาวอินคาต่อคุณภาพของเครื่องดื่มน้ำนมถั่วดาวอินคาสูตรน้ำตาลต่ำ

ในขั้นตอนนี้ต้องการนำแป้งถั่วดาวอินคาที่ผ่านการลดกลิ่นถั่ว มาใช้เป็นส่วนผสมในการผลิตเครื่องดื่มน้ำนมถั่วดาวอินคาสูตรน้ำตาลต่ำ ซึ่งได้จากการระดมสมองระหว่างตัวแทนผู้บริโภค ผู้ประกอบการ และคณะผู้วิจัย ร่วมกับการพิจารณาผลการทดลองทำปฏิบัติการเบื้องต้นแล้ว พบว่าแป้งถั่วดาวอินคาที่ผ่านการให้ความร้อนด้วยการอบ (RSF) มีความเป็นไปได้ที่จะนำมาใช้ในเครื่องดื่มน้ำนมถั่วดาวอินคาสูตรน้ำตาลต่ำ ดำเนินการโดยแปรปริมาณการใช้แป้งถั่วดาวอินคาที่ผ่านการลดกลิ่นถั่ว 4 ระดับ ได้แก่ 1 2 3 และ 4% โดยน้ำหนัก โดยสูตรและกรรมวิธีผลิตน้ำนมถั่วดาวอินคาสูตรน้ำตาลต่ำ ดัดแปลงจากการผลิตน้ำนมจากพืชชนิดต่างๆ (จุฑามาศ ถิระสาโรช และ เฉลิมพล ถนอมวงค์, 2558; Granato et al., 2010; Jagersberger, 2013) รายละเอียดส่วนผสมเครื่องดื่มน้ำนมถั่วดาวอินคาสูตรน้ำตาลต่ำ แสดงดังตารางที่ 3-4

ตารางที่ 3-4 ส่วนผสมเครื่องดื่มน้ำนมถั่วดาวอินคาสูตรน้ำตาลต่ำ

ส่วนผสม	ปริมาณ (%โดยน้ำหนัก)
แป้งถั่วดาวอินคาที่ผ่านการลดกลิ่นถั่ว	1, 2, 3,4
น้ำเชื่อมโอลิโกฟรุคโตส (50°Brix)	10
สารเพิ่มความคงตัว : Guar gum	1
น้ำ	ปรับให้ครบ 100 %

การผลิตเครื่องดื่มน้ำนมถั่วดาวอินคา

ชั่งส่วนผสมตามปริมาณกำหนด ควบคุมการผลิตเครื่องดื่มน้ำนมถั่วดาวอินคาทุกสูตร โดยผสมให้เข้ากัน โดยใช้เครื่องปั่นผสม กำหนดความเร็วรอบ เท่ากับ 9,000 รอบ/นาที ปั่นผสมเป็นเวลา 5 นาที จากนั้นนำไปให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 90°C นาน 20 นาที บรรจุขณะร้อน ในขวดแก้วที่ผ่านการลวกฆ่าเชื้อ ปิดฝา ทำให้เย็นทันทีโดยการแช่น้ำเย็น เก็บรักษาโดยแช่เย็นที่อุณหภูมิ 4±1°C เป็นเวลา 24 ชั่วโมง ก่อนนำไปวิเคราะห์

การวิเคราะห์คุณภาพ

1) ค่าสี โดยใช้เครื่องวัดสี รายงานผลเป็นค่าสี L* a* b*
2) ค่าความหนืด โดยใช้เครื่องวัดความหนืด (Sunprasert, 2010)
3) ค่าการแยกตัวของของเหลว (ดัดแปลงจาก Remeuf et al., 2003)
4) ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด ด้วย Hand refractometer
5) คะแนนความชอบทางประสาทสัมผัส ด้านลักษณะปรากฏ สี กลิ่น รสชาติ เนื้อสัมผัส และความชอบโดยรวม โดยวิธี 9-point hedonic scale ใช้ผู้ทดสอบจำนวน 30 คน

การวิเคราะห์ทางสถิติ

วิเคราะห์ความแปรปรวนของข้อมูล (ANOVA) โดยวางแผนการทดลองแบบ CRD ยกเว้นการทดสอบความชอบทางประสาทสัมผัส วางแผนการทดลองแบบ RCBD และเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยของคุณภาพที่วัดได้ โดยวิธี Duncan's New Multiple Range Test ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 ด้วยโปรแกรม SPSS Version 23

เกณฑ์ในการคัดเลือก

พิจารณาเลือกสิ่งทดลองที่เหมาะสม ที่ทำให้ได้รับคะแนนความชอบโดยรวมสูงที่สุด ร่วมกับการพิจารณาคุณภาพด้านอื่นๆที่วิเคราะห์

3.2.2 การวิเคราะห์คุณภาพเครื่องดื่มน้ำนมถั่วดาวอินคาสูตรน้ำตาลต่ำจากการใช้แป้งถั่วดาวอินคาที่ผ่านและไม่ผ่านการลดกลิ่นถั่ว

ในขั้นตอนนี้เป็นการเปรียบเทียบคุณภาพทางเคมี ทางกายภาพ และทางประสาทสัมผัส ของเครื่องดื่มน้ำนมถั่วดาวอินคาสูตรน้ำตาลต่ำสูตรที่มีการใช้แป้งถั่วดาวอินคาที่ผ่านการลดกลิ่นถั่วที่เลือกได้จากข้อ 3.2.1 เปรียบเทียบกับเครื่องดื่มน้ำนมถั่วดาวอินคาสูตรน้ำตาลต่ำที่ใช้แป้งถั่วดาวอินคาที่ไม่ผ่านการลดกลิ่นถั่วในปริมาณเท่ากัน

การวิเคราะห์คุณภาพ

1) ปริมาณองค์ประกอบทางเคมีโดยประมาณ ได้แก่ ความชื้น โปรตีน ไขมัน กากใย เถ้า และคาร์โบไฮเดรต (AOAC, 2000)

2) ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด โดยวิธี Total phenols assay (ดัดแปลงจาก Chalajit et al., 2015)

3) สมบัติการต้านอนุมูลอิสระ โดยวิธี DPPH scavenging activity assay (ดัดแปลงจาก Rawdkuen et al, 2016)

4) ค่าสี โดยใช้เครื่องวัดสี รายงานผลเป็นค่าสี L* a* b*

5) ค่าความหนืด โดยใช้เครื่องวัดความหนืด (Sunprasert, 2010)

6) คะแนนความชอบทางประสาทสัมผัส ด้านลักษณะปรากฏ สี กลิ่น กลิ่นรส เนื้อสัมผัส และ ความชอบโดยรวม โดยวิธี 9-point hedonic scale ใช้ผู้ทดสอบจำนวน 30 คน

ตอนที่ 4 การถ่ายทอดเทคโนโลยีและความรู้ที่ได้จากการวิจัยสู่ชุมชน

ดำเนินการโดยการจัดทำเอกสารเผยแพร่กับชุมชน เช่น ผู้ประกอบการที่แปรรูปน้ำมันถั่วดาวอินคา กลุ่มวิสาหกิจชุมชน กลุ่มธุรกิจSME หรือประชาชนผู้สนใจ รวมทั้งการถ่ายทอดผลการวิจัยในรูปแบบขององค์ความรู้ โดยการตีพิมพ์ผลงานวิจัยในวารสารทางวิชาการหรือการส่งผลงานเข้าร่วมการประชุมวิชาการ/สัมมนาทางวิชาการ

บทที่ 4
ผลการทดลองและวิจารณ์

ตอนที่ 1 ผลการวิเคราะห์คุณภาพแป้งถั่วดาวอินคาที่เป็นผลิตผลพลอยได้จากการสกัดน้ำมัน

ผลการวิเคราะห์คุณภาพแป้งถั่วดาวอินคาเป็นผลิตผลพลอยได้จากการสกัดน้ำมันซึ่งใช้เป็นวัตถุดิบในงานวิจัยนี้ ได้แก่ ปริมาณความชื้น ปริมาณโปรตีน ปริมาณไขมัน ปริมาณกากใย ปริมาณเถ้า ปริมาณคาร์โบไฮเดรต ปริมาณเส้นใยอาหารทั้งหมด ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด สมบัติการต้านอนุมูลอิสระ ค่า a_w และค่าสี แสดงดังตารางที่ 4-1

ตารางที่ 4-1 คุณภาพทางเคมีและกายภาพของแป้งถั่วดาวอินคาที่เป็นวัตถุดิบในงานวิจัย

คุณภาพ	ปริมาณ
ความชื้น (% dry basis)	5.31 ± 0.07
โปรตีน (% dry basis)	42.40 ± 0.50
ไขมัน (% dry basis)	20.48 ± 0.98
กากใย (% dry basis)	5.22 ± 0.75
เถ้า (% dry basis)	4.49 ± 0.12
คาร์โบไฮเดรต (% dry basis)	22.10 ± 1.20
เส้นใยอาหารทั้งหมด (% dry basis)	21.18 ± 1.07
สารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด (mgGAE/100g)	102.38 ± 5.52
สมบัติการต้านอนุมูลอิสระ (% inhibition)	64.35 ± 0.40
ค่า a_w	0.60+ 0.02
ค่าสี L*	79.86+ 0.06
ค่าสี a*	1.75+ 0.03
ค่าสี b*	18.69+0.11

ตอนที่ 2 การศึกษาผลของวิธีการให้ความร้อนเพื่อลดกลิ่นถั่วต่อคุณภาพของแป้งถั่วดาวอินคา

2.1 ผลการศึกษาอุณหภูมิและเวลาการอบต่อคุณภาพของแป้งถั่วดาวอินคา

จากการศึกษาการลดกลิ่นถั่วของแป้งถั่วดาวอินคาด้วยการอบโดยใช้อุณหภูมิ 70, 90 และ 120 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 15 และ 30 นาที ผลการวิเคราะห์ ANOVA พบว่า อิทธิพลร่วมระหว่างอุณหภูมิและเวลาการอบ มีผลต่อคุณภาพของแป้งถั่วดาวอินคาส่วนใหญ่ ได้แก่ ค่าสี L* ค่าสี a* ค่าสี b* ค่า ΔE กิจกรรมของเอนไซม์ไลพอกซีจิเนส และความเข้มกลิ่นถั่ว ($p<0.05$) โดยมีเพียงอิทธิพลของปัจจัยหลักด้านอุณหภูมิการอบที่มีผลต่อปริมาณความชื้น ($p<0.05$) แสดงผลสรุปการวิเคราะห์ ANOVA ดังตารางที่ 4-2

ตารางที่ 4-2 สรุปผลจากการวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) ของสิ่งทดลองที่แปรปัจจัยด้านอุณหภูมิและเวลาการอบต่อค่าคุณภาพของแป้งถั่วดาวอินคา

ค่าคุณภาพ	อุณหภูมิการอบ	เวลาการอบ	อุณหภูมิการอบ x เวลาการอบ
ปริมาณความชื้น	*	ns	ns
ค่าสี L*	*	ns	*
ค่าสี a*	*	ns	*
ค่าสี b*	*	ns	*
ค่า ΔE	*	ns	*
กิจกรรมของเอนไซม์ไลพอกซีจิเนส	*	ns	*
ความเข้มกลิ่นถั่ว	*	*	*

หมายเหตุ * หมายถึง มีอิทธิพลต่อค่าคุณภาพอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)
ns หมายถึง ไม่มีอิทธิพลต่อค่าคุณภาพอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\geq0.05$)

1) ปริมาณความชื้น

เนื่องจากปัจจัยร่วมของอุณหภูมิและเวลาการอบไม่มีอิทธิพลต่อปริมาณความชื้นของแป้งถั่วดาวดินคา รวมทั้งปัจจัยหลักด้านเวลาการอบไม่มีผลต่อปริมาณความชื้นของแป้งถั่วดาวอินคาเช่นกัน ($p\geq0.05$) มีเพียงปัจจัยหลักด้านอุณหภูมิการอบที่มีผลต่อปริมาณความชื้นของแป้งถั่วดาวอินคา แสดงผลดังตารางที่ 4-3

จากตารางที่ 4-3 พบว่า เมื่ออุณหภูมิการอบเพิ่มขึ้น มีผลทำให้ปริมาณความชื้นของแป้งถั่วดาวอินคาลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) และพบว่า แป้งถั่วดาวอินคาที่ผ่านการให้ความร้อนโดยการอบทุกสภาวะ มีปริมาณความชื้นลดลงจากแป้งถั่วดาวอินคาที่รับมาจากโรงงานมาก (ปริมาณความชื้น เท่ากับ 5.09%) แสดงให้เห็นว่า ในระหว่างการอบเกิดการถ่ายเทความร้อนจาก

ตู้อบลมร้อนไปยังแป้งถั่วดาวอินคา เมื่อน้ำที่อยู่ในแป้งดาวอินคา ได้รับความร้อนจึงระเหยออกไป เป็นผลจากการเปลี่ยนสถานะของน้ำจากของเหลวกลายเป็นไอน้ำนั่นเอง และเมื่อใช้อุณหภูมิในการอบสูงขึ้น มีผลต่ออัตราเร็วในการอบแห้ง โดยอุณหภูมิของลมร้อนที่สูงขึ้นทำให้อัตราการแพร่กระจายของน้ำดีขึ้น การระเหยจึงเกิดได้เร็วขึ้นเช่นกัน (สักกมน เทพหัสดิน ณ อยุธยา, ม.ป.ป; พิทักษ์ จันทร์เจริญ, 2549)

พบข้อสังเกตจาการทดลองว่า แป้งถั่วดาวอินคาที่ผ่านการอบที่อุณหภูมิ 120 องศาเซลเซียส มีปริมาณความชื้นเหลืออยู่ต่ำมาก เท่ากับ 1.34% อาจเนื่องมากจาก ปริมาณความชื้นเริ่มต้นของแป้งถั่วดาวอินค่อนข้างต่ำ คือประมาณ 5.09% การใช้อุณหภูมิสูงถึง 120 องศาเซลเซียส จึงมีผลให้เกิดการระเหยของไอน้ำได้มาก และแป้งถั่วดาวอินคามีอนุภาคขนาดเล็ก จึงมีพื้นที่ผิวมาก ทำให้อัตราการอบแห้งสามารถเกิดได้เร็ว เนื่องจากมีพื้นที่ผิวการระเหยของน้ำมากนั่นเอง

ตารางที่ 4-3 ปริมาณความชื้นของแป้งถั่วดาวอินคาที่ผ่านการให้ความร้อนด้วยการอบที่ระดับอุณหภูมิและเวลาต่างๆ

อุณหภูมิการอบ (องศาเซลเซียส)	เวลาการอบ (นาที)	ปริมาณความชื้นเฉลี่ย±ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (%)	
70	15	4.83±0.07	4.19±0.64[a]
	30	3.06±0.06	
90	15	3.23±0.08	2.67±0.56[b]
	30	2.12±0.07	
120	15	1.84±0.16	1.34±0.52[c]
	30	0.84±0.17	

[a, b, c] หมายถึง ค่าเฉลี่ยในแนวตั้ง (เมื่อใช้อุณหภูมิการอบแตกต่างกัน) มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

2) ค่าสี L* a* b* และ ΔE

จากตารางที่ 4-4 พบว่า การให้ความร้อนด้วยการอบโดยใช้อุณหภูมิและเวลาที่แตกต่างกันมีผลทำให้ค่าสี L* a* b* และ ΔE ของแป้งถั่วดาวอินคา แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) กล่าวคือ เมื่ออุณหภูมิและเวลาการอบเพิ่มขึ้น ค่าสี L* (ค่าความสว่าง) มีค่าลดลง ส่วนค่าสี a* (ค่าความเป็นสีแดง) และค่าสี b* (ค่าความเป็นสีเหลือง) มีค่าเพิ่มขึ้น ส่งผลให้ค่า ΔE มีค่าเพิ่มขึ้นเช่นกัน โดยการใช้อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส เวลา 15 นาที ทำให้แป้งถั่วดาวดินคามีค่าสี L* สูงที่สุด (82.76) ในขณะที่มีค่าสี a* (1.91) และค่าสี b* (18.68) ต่ำที่สุด ส่วนการใช้อุณหภูมิ 120 องศาเซลเซียส เวลา 30 นาที ทำให้แป้งถั่วดาวอินคามีค่าสี L* ต่ำที่สุด (79.94) ในขณะที่มีค่าสี a* (3.19) และค่าสี b* (26.94) สูงที่สุด ทั้งนี้เนื่องจากแป้งถั่วดาวอินคาซึ่งเป็นแป้งที่มีปริมาณโปรตีนสูง (42.00% dry basis) เมื่อนำมาให้ความร้อนจึงมีโอกาสเกิดปฏิกิริยาเมลลาร์ด (Maillard reaction) ซึ่งเป็นปฏิกิริยาระหว่างน้ำตาลรีดิวซ์ (Reducing sugar) และกรดอะมิโน (Amino acid) เกิดสารประกอบเมลานอยดินส์ (Melanoidins) ซึ่งเป็นสารประกอบสีน้ำตาล โดยอัตราเร็วของปฏิกิริยาเมลลาร์ดจะเพิ่มขึ้น เมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้น (สมวิภา พวงมณี, 2547; นิธิยา รัตนาปนนท์, 2545) รวมทั้งหากใช้เวลาการให้ความร้อนนานขึ้นก็มีโอกาสเกิดปฏิกิริยาเมลลาร์ดได้สมบูรณ์ขึ้นด้วย สารประกอบเมลานอยดินส์สามารถเกิดขึ้นได้จากปฏิกิริยาระหว่างน้ำตาลรีดิวซ์และกรดอะมิโน ตั้งแต่ที่อุณหภูมิ 68 องศาเซลเซียส (Benzing-Purdie et al., 1985) อย่างไรก็ตามปฏิกิริยาเมลลาร์ดนี้จะเกิดขึ้นอย่างรวดเร็วที่อุณหภูมิ 140-165 องศาเซลเซียส (Gomez-Lopez, Gadzov & Nixdorf, 2014) นอกจากนี้ปัจจัยหนึ่งที่มีความสำคัญต่อการเกิดปฏิกิริยาเมลลาร์ดคือลักษณะของอาหาร โดยหากอาหารมีลักษณะแห้งหรือมีน้ำในอาหารน้อย จะสามารถเกิดปฏิกิริยาได้ที่อุณหภูมิต่ำกว่าอาหารที่มีน้ำในอาหารสูง (สมวิภา พวงมณี, 2547) จากผลการทดลองจึงเห็นได้ว่า แป้งถั่วดาวอินคามีสีคล้ำหรือมีสีน้ำตาลเพิ่มขึ้นเมื่อใช้อุณหภูมิสูงขึ้นและเวลาการอบนานขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับสีแป้งถั่วดาวอินคาที่มองเห็นด้วยตาเปล่า แสดงดังภาพที่ 4-1

จากผลการทดลอง พบว่า ค่า ΔE ของทุกสิ่งทดลองมีค่าอยู่ในช่วง 5.70-14.87 แสดงให้เห็นว่า แป้งถั่วดาวอินคาที่ผ่านการให้ความร้อนด้วยการอบทุกสิ่งทดลองมีสีแตกต่างจากแป้งถั่วดาวอินคาที่ไม่ผ่านการให้ความร้อนค่อนข้างมาก Hunter (2011) กล่าวว่า หากค่า ΔE มีค่ามากกว่า 1 แสดงให้เห็นว่า ตัวอย่างมีสีแตกต่างกันมากเพียงพอที่สายตามนุษย์จะสังเกตเห็นความแตกต่างสีได้

ตารางที่ 4-4 ค่าสีของแป้งถั่วดาวอินคาที่ผ่านการให้ความร้อนด้วยการอบที่ระดับอุณหภูมิและเวลาต่างๆ

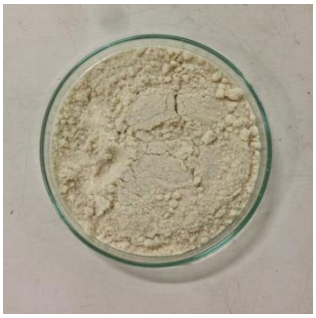
อุณหภูมิการอบ (องศาเซลเซียส)	เวลาการอบ (นาที)	ค่าเฉลี่ย±ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน			
		L*	a*	b*	ΔE[#]
70	15	82.76±0.02[f]	1.91±0.06[a]	18.68±0.21[a]	5.70±0.21[a]
	30	82.26±0.09[e]	1.95±0.12[b]	19.29±0.19[b]	6.42±0.12[b]
90	15	81.46±0.10[d]	2.10±0.15[d]	20.12±0.22[d]	7.24±0.20[c]
	30	82.19±0.07[c]	2.31±0.02[c]	20.85±0.22[c]	8.06±0.34[d]
120	15	81.29±0.02[b]	2.48±0.14[e]	23.88±0.09[e]	10.99±0.12[e]
	30	79.94±0.04[a]	3.19±0.01[f]	26.94±0.08[f]	14.87±0.08[f]

เปรียบเทียบกับค่าสีของแป้งถั่วดาวอินคาที่ไม่ผ่านการให้ความร้อน (L* = 83.93, a* = 1.75 และ b* = 13.10)
[a, b, c,...] หมายถึง ค่าเฉลี่ยในแนวตั้งมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

3) กิจกรรมของเอนไซม์ไลพอกซีจีเนสและความเข้มกลิ่นถั่ว

จากตารางที่ 4-5 พบว่า เมื่ออุณหภูมิและเวลาการอบเพิ่มขึ้น มีผลให้กิจกรรมของเอนไซม์ไลพอกซีจีเนสของแป้งถั่วดาวอินคาลดลง ($p<0.05$) แป้งถั่วดาวอินคาที่ไม่ผ่านการให้ความร้อน มีกิจกรรมของเอนไซม์ไลพอกซีจีเนสสูง (792.03 Unit/g) เมื่อเปรียบเทียบกับแป้งถั่วดาวอินคาที่ผ่านการให้ความร้อนในสภาวะต่างๆ ที่มีกิจกรรมของเอนไซม์ไลพอกซีจีเนสในช่วง 88.13-768.33 Unit/g แสดงให้เห็นว่า ความร้อนจากการอบที่ให้กับแป้งถั่วดาวอินคาทุกสภาวะ สามารถยับยั้งกิจกรรมของเอนไซม์ไลพอกซีจีเนสได้ โดยมีรายงานว่าการยับยั้งกิจกรรมของเอนไซม์ไลพอกซีจีเนส สามารถทำได้โดยการให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส ขึ้นไป (Shin et al., 2013)

จากการทดสอบความเข้มกลิ่นถั่วของแป้งถั่วดาวอินคาที่ผ่านการให้ความร้อนด้วยการอบโดยใช้ผู้ทดสอบที่ผ่านการฝึกฝนจำนวน 10 คน ประเมินความเข้มกลิ่นถั่ว โดยให้คะแนนตั้งแต่ 0 ถึง 5 โดยคะแนน 0 หมายถึง ไม่มีกลิ่นถั่ว และ 5 หมายถึง กลิ่นถั่วเข้มมากที่สุด จากตารางที่ 4-5 พบว่า เมื่ออุณหภูมิและเวลาการอบเพิ่มขึ้น มีผลให้คะแนนความเข้มกลิ่นถั่วลงมีแนวโน้มลดลง เป็นการยืนยันให้เห็นว่า การให้ความร้อนด้วยการอบสามารถยับยั้งกิจกรรมของเอนไซม์ไลพอกซีจีเนส ที่เป็นสาเหตุทำให้เกิดกลิ่นถั่วซึ่งเป็นกลิ่นที่ไม่พึงประสงค์ได้ (Kong et al., 2008) จากผลการทดลองพบว่าการอบที่อุณหภูมิเดียวกันแม้ใช้เวลาต่างกันคือ 15 หรือ 30 นาที ความเข้มกลิ่นถั่วมีค่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\geq0.05$) ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากการแปรช่วงเวลาห่างกันเพียง 15 นาที อาจมีผลต่อการลดกลิ่นถั่วแตกต่างกันไม่มากพอ ที่ผู้ทดสอบจะสังเกตความแตกต่างกันได้



(ก) ไม่ผ่านการให้ความร้อน

(ข) 70 องศาเซลเซียส, 15 นาที

(ค) 70 องศาเซลเซียส, 30 นาที

(ง) 90 องศาเซลเซียส, 15 นาที

(จ) 90 องศาเซลเซียส, 30 นาที

(ฉ) 120 องศาเซลเซียส, 15 นาที

(ช) 120 องศาเซลเซียส, 30 นาที

ภาพที่ 4-1 ลักษณะของแป้งถั่วดาวอินคา (ก) ไม่ผ่านการให้ความร้อน (ข)-(ช) ผ่านการให้ความร้อนด้วยการอบที่อุณหภูมิและเวลาระดับต่างๆ

จากผลการทดลอง พบว่า การใช้ความร้อนอบแป้งถั่วดาวอินคาในสภาวะที่รุนแรงน้อยสุด คือ 70 องศาเซลเซียส 15 นาที มีกิจกรรมของเอนไซม์ไลพอกซีจีเนส 768.33 Unit/g และยังคงมีกลิ่นถั่วที่ระดับความเข้ม 4.00 คะแนน แต่เมื่อเพิ่มอุณหภูมิและเวลาการอบเป็นสภาวะที่รุนแรงมากที่สุด คือ 120 องศาเซลเซียส 30 นาที มีกิจกรรมของเอนไซม์ไลพอกซีจีเนสเหลือเพียง 88.13 Unit/g ซึ่งคิดเป็นการลดลงของกิจกรรมของเอนไซม์ไลพอกซีจีเนส 88.53% รวมถึงมีผลให้คะแนนความเข้มกลิ่นถั่วลดลงเหลือ 0.80 คะแนน ซึ่งเป็นระดับการมีกลิ่นถั่วน้อยมาก

ตารางที่ 4-5 กิจกรรมของเอนไซม์ไลพอกซีจิเนสและความเข้มกลิ่นถั่วของแป้งถั่วดาวอินคาที่ผ่านการให้ความร้อนด้วยการอบที่ระดับอุณหภูมิและเวลาต่างๆ

อุณหภูมิการอบ (องศาเซลเซียส)	เวลาการอบ (นาที)	ค่าเฉลี่ย±ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน	
		กิจกรรมของเอนไซม์ไลพอกซีจิเนส (Unit/g)#	ความเข้มกลิ่นถั่ว*
70	15	768.33±5.70^{f}	4.00±0.82^{c}
	30	754.20±5.60^{e}	4.30±0.67^{c}
90	15	512.37±6.66^{d}	3.20±0.63^{b}
	30	326.53±3.44^{c}	2.20±1.03^{b}
120	15	126.32±20.00^{b}	1.20±0.92^{a}
	30	88.13±17.81^{a}	0.80±1.03^{a}

กิจกรรมของเอนไซม์ไลพอกซีจิเนสของแป้งถั่วดาวอินคาที่ไม่ผ่านการให้ความร้อน เท่ากับ 792.03 Unit/g

* คะแนนความเข้มกลิ่นถั่ว 0 หมายถึง ไม่มีกลิ่นถั่ว และ 5 หมายถึง กลิ่นถั่วเข้มมากที่สุด

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

การคัดเลือกสิ่งทดลองที่เหมาะสม

เมื่อพิจารณาตามเกณฑ์ที่กำหนดไว้ คือ เลือกสิ่งทดลองที่ทำให้แป้งถั่วดาวอินคามีกลิ่นถั่วน้อยที่สุด มีกิจกรรมของเอนไซม์ไลพอกซีจีเนสต่ำ และมีปริมาณความชื้นไม่เกิน 10% โดยพิจารณาร่วมกับค่าสี จากผลการทดลองพิจารณาได้ว่า แป้งถั่วดาวอินคาที่อบที่อุณหภูมิ 120 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 15 และ 30 นาที มีคะแนนความเข้มกลิ่นถั่วน้อยที่สุด เท่ากับ 1.20 และ 0.80 คะแนน ตามลำดับ ซึ่งไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\geq0.05$) สำหรับกิจกรรมของเอนไซม์ไลพอกซีจีเนส พบว่า แป้งถั่วดาวอินคาที่ผ่านการอบจากทั้ง 2 สภาวะนี้ มีกิจกรรมของเอนไซม์ไลพอกซีจีเนส เท่ากับ 126.32 และ 88.13 Unit/g ตามลำดับ ซึ่งต่ำกว่ากิจกรรมของเอนไซม์ไลพอกซีจีเนสของแป้งถั่วดาวอินคาที่ไม่ผ่านการให้ความร้อน (792.03 Unit/g) โดยทั้ง 2 ตัวอย่าง มีปริมาณความชื้นต่ำกว่า 10% เช่นเดียวกัน แต่เมื่อพิจารณาร่วมกับค่าสี พบว่า แป้งถั่วดาวอินคาที่ใช้เวลาการอบ 30 นาที มีสีคล้ำหรือมีสีน้ำตาลเข้มกว่า แป้งถั่วดาวอินคาที่ใช้เวลาการอบ 15 นาที การที่แป้งมีสีคล้ำขึ้นอาจเป็นอุปสรรคต่อการนำไปใช้เป็นส่วนส่วนผสมในผลิตภัณฑ์อาหารได้ เนื่องจากอาจมีผลต่อการยอมรับทางประสาทสัมผัสของผู้บริโภค รวมถึงการใช้เวลาอบนานขึ้นอาจมีผลกระทบต่อการสูญเสียองค์ประกอบทางเคมี สารพฤกษเคมี และสมบัติเชิงหน้าที่ของแป้ง รวมถึงเพื่อความสะดวกใน

การเตรียมและการประหยัดพลังงาน ดังนั้นแป้งถั่วดาวอินคาที่ผ่านการอบที่อุณหภูมิ 120 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 15 นาที จึงมีความเหมาะสมที่สุดในการนำไปศึกษาในตอนต่อไป

2.2 ผลการศึกษาเวลาการนึ่งด้วยไอน้ำต่อคุณภาพของแป้งถั่วดาวอินคา

จากการศึกษาการลดกลิ่นถั่วของแป้งถั่วดาวอินคาด้วยการนึ่งด้วยไอน้ำที่อุณหภูมิ 98±2 องศาเซลเซียส โดยใช้เวลา 15 30 45 และ 60 นาที แล้วนำมาอบด้วยตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 48 ชั่วโมง ผลการทดลองมีรายละเอียดดังนี้

1) ปริมาณความชื้น

จากตารางที่ 4-6 พบว่า ปริมาณความชื้นของแป้งถั่วดาวอินคาไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \geq 0.05$) โดยมีค่าตั้งแต่ 5.66 - 6.03% ซึ่งมีปริมาณความชื้นมากกว่าแป้งถั่วดาวอินคาที่รับมาจากโรงงาน (5.09%) และแป้งถั่วดาวอินคาที่ผ่านการให้ความร้อนด้วยการอบ (1.34-4.19%) สอดคล้องกับ Shin et al. (2013) ที่รายงานว่าปริมาณความชื้นของแป้งถั่วเหลืองที่ผ่านการนึ่งด้วยไอน้ำ (11.11%) มีค่ามากกว่าแป้งถั่วเหลืองดิบและแป้งถั่วเหลืองที่ผ่านการอบ (10.35% และ 3.53% ตามลำดับ) เนื่องจากการนึ่งเป็นการให้ความร้อนที่อิ่มตัวด้วยไอน้ำ โดยไอน้ำจะถูกถ่ายเทไปยังผิวหน้าของอาหารด้วยการพาความร้อน ทำให้แป้งที่ผ่านการนึ่งด้วยไอน้ำ ยังคงมีปริมาณน้ำมากกว่าแป้งที่ไม่ผ่านการให้ความร้อนและแป้งที่ผ่านการให้ความร้อนด้วยการอบ แม้มีการนำแป้งที่ผ่านการนึ่ง มาอบต่อที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 48 ชั่วโมง แต่อาจไม่สามารถลดปริมาณน้ำอิสระที่มีอยู่ในแป้งที่ผ่านการนึ่งได้มากเทียบเท่ากับการให้ความร้อนด้วยการอบที่อุณหภูมิสูง เป็นเพียงการลดปริมาณน้ำที่คงเหลือหลังการนึ่งได้บางส่วนเท่านั้น อย่างไรก็ตามแป้งถั่วดาวอินคาที่ได้ มีปริมาณความชื้นไม่เกิน 10% ตามเกณฑ์ที่กำหนด

ตารางที่ 4-6 ปริมาณความชื้นของแป้งถั่วดาวอินคาที่ผ่านการให้ความร้อนด้วยการนึ่งที่ระดับเวลาต่างๆ

เวลาการนึ่ง (นาที)	ปริมาณความชื้นเฉลี่ย±ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (%)[ns]
15	5.90±0.28
30	6.03±0.32
45	5.66±0.11
60	5.85±0.16

[ns] หมายถึง ค่าเฉลี่ยในแนวตั้งที่ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \geq 0.05$)

2) ค่าสี L* a* b* และ ΔE

จากตารางที่ 4-7 พบว่า การให้ความร้อนด้วยการนึ่งที่เวลาแตกต่างกัน มีผลทำให้ค่าสี L* a* b* และ ΔE ของแป้งถั่วดาวอินคา แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) โดยลักษณะสีของแป้งถั่วดาวอินคา แสดงดังภาพที่ 4-2

จากตารางที่ 4-7 พบว่า เมื่อเวลาการนึ่งเพิ่มขึ้น ตั้งแต่ 15 นาที ถึง 45 นาที แป้งถั่วดาวอินคามีค่าสี L* (ค่าความสว่าง) ลดลง ส่วนค่าสี a* (ค่าความเป็นสีแดง) และค่าสี b* (ค่าความเป็นสีเหลือง) เพิ่มขึ้น ส่งผลให้ค่า ΔE เพิ่มขึ้นเช่นกัน ทั้งนี้อาจเนื่องจากการนำแป้งถั่วดาวอินคา มาให้ความ

ร้อนมีโอกาสเกิดปฏิกิริยาเมลลาร์ด (Maillard reaction) ซึ่งเป็นปฏิกิริยาระหว่างน้ำตาลรีดิวซ์ (Reducing sugar) และกรดอะมิโน (Amino acid) เกิดสารประกอบเมลานอยดินส์ (Melanoidins) ซึ่งเป็นสารประกอบสีน้ำตาล หากใช้เวลาการให้ความร้อนนานขึ้นก็มีโอกาสเกิดปฏิกิริยาเมลลาร์ดได้มากขึ้นด้วย จากผลการทดลองจึงเห็นได้ว่า แป้งถั่วดาวอินคามีสีคล้ำหรือมีสีน้ำตาลเพิ่มขึ้นเมื่อใช้เวลาการนึ่งนานขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับที่วนิดา ชารีมุ้ย (2556) รายงานว่าการให้ความร้อนด้วยการนึ่งกับแป้งถั่วเหลืองโดยใช้อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 0 5 10 และ 15 นาที ส่งผลให้แป้งถั่วเหลืองมีค่าสี L* ลงลด ค่าสี a* และ ค่าสี b* เพิ่มขึ้น

จากผลการทดลอง พบว่า เมื่อเวลาที่ใช้นึ่งเพิ่มขึ้นถึง 60 นาที แป้งถั่วดาวอินคามีค่าสี a* (1.59) และสีค่า b* (19.09) ลดลง ส่งผลให้ค่า ΔE (6.18) ลดลงเช่นกัน เมื่อเปรียบเทียบค่าสี a* (1.53-2.14) และค่าสี b* (18.77-19.99) รวมถึงค่า ΔE (5.73-6.99) ของแป้งถั่วดาวอินคาที่ใช้เวลานึ่งสั้นกว่า มีรายงานว่าแป้งถั่วดาวอินคามีสตาร์ช (Starch) เป็นองค์ประกอบประมาณ 0.04% dry basis (Jagersberger, 2013) รวมถึงปกติแป้งถั่วมักมีอุณหภูมิการเกิดเจลาทิไนซ์ (Gelatinization) ไม่เกินอุณหภูมิของไอน้ำ (98±2 องศาเซลเซียส) ค่าสี L* a* และ b* ของแป้งถั่วดาวอินคาที่ผ่านการให้ความร้อนด้วยการนึ่งด้วยไอน้ำ มีค่าสี L* อยู่ในช่วง 81.98 - 83.16 มากกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับค่ากับแป้งถั่วดาวอินคาที่ผ่านการให้ความร้อนด้วยการอบ ที่มีค่าสี L* อยู่ในช่วง 79.94 - 82.76 ในขณะที่แป้งถั่วดาวอินคาที่ผ่านการให้ความร้อนด้วยการนึ่งด้วยไอน้ำมีค่าสี a* อยู่ในช่วง 1.53 - 2.14 และค่าสี b* อยู่ในช่วง 18.77 - 19.99 ซึ่งต่ำกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับแป้งถั่วดาวอินคาที่ผ่านการให้ความร้อนด้วยการอบ ที่มีค่าสี a* อยู่ในช่วง 1.91 - 3.19 และ ค่าสี b* อยู่ในช่วง 18.68 - 26.94 แสดงให้เห็นว่า แป้งที่ผ่านการนึ่งด้วยไอน้ำมีสีคล้ำหรือสีน้ำตาลน้อยกว่าแป้งถั่วดาวอินคาที่ผ่านการให้ความร้อนด้วยการอบ

ตารางที่ 4-7 ค่าสีของแป้งถั่วดาวอินคาที่ผ่านการให้ความร้อนด้วยการนึ่งที่ระดับเวลาต่างๆ

เวลาการนึ่ง (นาที)	ค่าเฉลี่ย±ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน			
	L*	a*	b*	ΔE[#]
15	83.13±0.08[c]	1.53±0.07[a]	18.77±0.07[a]	5.73±0.07[a]
30	83.16±0.02[c]	1.76±0.07[b]	19.34±0.10[b]	6.29±0.10[b]
45	82.78±0.07[b]	2.14±0.07[c]	19.99±0.12[c]	6.99±0.12[c]
60	81.98±0.04[a]	1.59±0.05[a]	19.09±0.21[b]	6.18±0.37[b]

เปรียบเทียบกับค่าสีของแป้งถั่วดาวอินคาที่ไม่ผ่านการให้ความร้อน (L* = 83.93, a* = 1.75 และ b* = 13.10)
[a, b, c] หมายถึง ค่าเฉลี่ยในแนวตั้งมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

3) กิจกรรมของเอนไซม์ไลพอกซีจีเนสและความเข้มกลิ่นถั่ว

จากตารางที่ 4-8 พบว่า เวลาการนึ่งมีอิทธิพลต่อกิจกรรมของเอนไซม์ไลพอกซีจีเนสของแป้งถั่วดาวอินคา ($p<0.05$) โดยเมื่อเวลาการนึ่งเพิ่มขึ้น มีผลให้กิจกรรมของเอนไซม์ไลพอกซีจีเนสลดลง แป้งถั่วดาวอินคาที่ไม่ผ่านการให้ความร้อนมีกิจกรรมของเอนไซม์ไลพอกซีจีเนสสูง (792.03 Unit/g)

เมื่อเปรียบเทียบกับแป้งถั่วดาวอินคาที่ผ่านการนึ่งในเวลาต่างๆ ที่มีกิจกรรมของเอนไซม์ไลพอกซีจีเนสในช่วง 111.53-782.93 Unit/g แสดงให้เห็นว่า ความร้อนจากการนึ่งที่ให้กับแป้งถั่วดาวอินคาทุกสภาวะ สามารถยับยั้งกิจกรรมของเอนเอนไซม์ไลพอกซีจีเนสได้ โดยมีรายงานว่าการยับยั้งกิจกรรมของเอนไซม์ไลพอกซีจีเนส สามารถทำได้โดยการให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส ขึ้นไป (Shin et al., 2013)

จากการทดสอบความเข้มกลิ่นถั่วของแป้งถั่วดาวอินคาที่ผ่านการให้ความร้อนด้วยการนึ่งโดยใช้ผู้ทดสอบที่ผ่านการฝึกฝนจำนวน 10 คน ซึ่งเป็นผู้ทดสอบชุดเดียวกันกับที่ประเมินความเข้มกลิ่นถั่วของแป้งถั่วดาวอินคาที่ผ่านการอบ โดยให้คะแนนตั้งแต่ 0 ถึง 5 โดยคะแนน 0 หมายถึง ไม่มีกลิ่นถั่ว และ 5 หมายถึง กลิ่นถั่วเข้มมากที่สุด จากตารางที่ 4-8 พบว่า เมื่อเวลาการนึ่งเพิ่มขึ้น มีผลให้คะแนนความเข้มกลิ่นถั่วมีแนวโน้มลดลง โดยการใช้เวลาการนึ่ง 30-60 นาที มีผลให้ความเข้มกลิ่นถั่วลดลงมากจนอยู่ในช่วง 1.00-1.50 การใช้เวลานึ่งนานถึง 60 นาที มีผลให้ความเข้มกลิ่นถั่ว (1.00) ลดลงมากจนแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับความเข้มกลิ่นถั่ว (2.20) ที่ใช้เวลาการนึ่งเพียง 15 นาที ($p<0.05$) เป็นการยืนยันให้เห็นว่าการให้ความร้อนด้วยการนึ่งสามารถยับยั้งกิจกรรมของเอนไซม์ไลพอกซีจีเนส ที่เป็นสาเหตุทำให้เกิดกลิ่นถั่วซึ่งเป็นกลิ่นที่ไม่พึงประสงค์ได้

จากผลการทดลอง พบว่า การใช้ความร้อนนึ่งแป้งถั่วดาวอินคาในเวลาสั้นที่สุด คือ 15 นาที ยังคงมีกิจกรรมของเอนไซม์ไลพอกซีจีเนส 782.93 Unit/g และยังคงมีกลิ่นถั่วที่ระดับความเข้ม 2.20 คะแนน แต่เมื่อเพิ่มเวลาการนึ่งนานที่สุด คือ 60 นาที มีกิจกรรมของเอนไซม์ไลพอกซีจีเนสเหลือเพียง 111.53 Unit/g ซึ่งคิดเป็นการลดลงของกิจกรรมเอนไซม์ไลพ็อกซีจีเนส 85.75% รวมถึงมีผลให้คะแนนความเข้มกลิ่นถั่วลดลงเหลือ 1.00 คะแนน ซึ่งเป็นระดับการมีกลิ่นถั่วน้อยมาก นอกจากนี้ยังพบว่า การใช้เวลานึ่ง 30 และ 45 นาที แม้มีกิจกรรมของเอนไซม์ไลพอกซีจีเนสแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) แต่ผู้ทดสอบให้คะแนนความเข้มกลิ่นถั่วไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\geq0.05$) มีค่าเท่ากับ 1.50 และ 1.40 ตามลำดับ

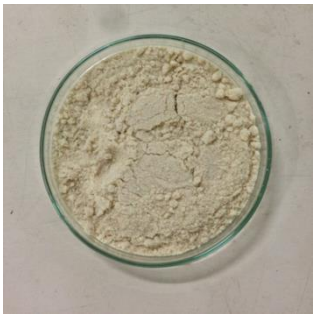
ตารางที่ 4-8 กิจกรรมของเอนไซม์ไลพอกซีจิเนสและความเข้มกลิ่นถั่วของแป้งถั่วดาวอินคาผ่านการให้ความร้อนด้วยการนึ่งที่ระดับเวลาต่างๆ

เวลาการนึ่ง (นาที)	ค่าเฉลี่ย±ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน	
	กิจกรรมของเอนไซม์ไลพอกซีจิเนส (Unit/g)#	ความเข้มกลิ่นถั่ว*
15	782.93±9.61^{d}	2.20±1.03^{b}
30	423.10±47.61^{c}	1.40±1.07^{ab}
45	350.53±18.03^{b}	1.50±1.18^{ab}
60	111.53±3.58^{a}	1.00±0.82^{a}

กิจกรรมของเอนไซม์ไลพอกซีจิเนสของแป้งถั่วดาวอินคาที่ไม่ผ่านการให้ความร้อนเท่ากับ 792.03 Unit/g

* คะแนนความเข้มกลิ่นถั่ว 0 หมายถึง ไม่มีกลิ่นถั่ว และ 5 หมายถึง กลิ่นถั่วเข้มมากที่สุด

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



(ก) ไม่ผ่านการให้ความร้อน

(ข) 15 นาที

(ค) 30 นาที

(ง) 45 นาที

(จ) 60 นาที

ภาพที่ 4-2 ลักษณะของแป้งถั่วดาวอินคา (ก) ไม่ผ่านการให้ความร้อน (ข)-(จ) ผ่านการให้ความร้อนด้วยการนึ่งด้วยไอน้ำที่ระดับเวลาต่างๆ

การคัดเลือกสิ่งทดลองที่เหมาะสม

เมื่อพิจารณาตามเกณฑ์ที่กำหนดไว้ คือ เลือกสิ่งทดลองที่ทำให้แป้งถั่วดาวอินคามีกลิ่นถั่วน้อยที่สุด มีกิจกรรมของเอนไซม์ไลพอกซีจีเนสต่ำ และมีปริมาณความชื้นไม่เกิน 10% โดยพิจารณาร่วมกับค่าสี จากผลการทดลองพิจารณาได้ว่า แป้งถั่วดาวอินคาที่ผ่านการนึ่งด้วยไอน้ำที่อุณหภูมิ 98±2 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 45 และ 60 นาที มีคะแนนความเข้มกลิ่นถั่วน้อยที่สุดเท่ากับ 1.40 1.50 และ 1.00 คะแนน ตามลำดับ ซึ่งไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \geq 0.05$) สำหรับกิจกรรมของเอนไซม์ไลพอกซีจีเนส พบว่า แป้งถั่วดาวอินคาที่ผ่านการนึ่งจากทั้ง 3 สภาวะนี้ มี

กิจกรรมของเอนไซม์ไลพอกซีจีเนส เท่ากับ 423.19 350.53 และ 111.53 Unit/g ตามลำดับ ซึ่งต่ำกว่ากิจกรรมของเอนไซม์ไลพอกซีจีเนสของแป้งถั่วดาวอินคาที่ไม่ผ่านการให้ความร้อน (792.03 Unit/g) โดยทั้ง 3 ตัวอย่าง มีปริมาณความชื้นต่ำกว่า 10% เช่นเดียวกัน แต่เมื่อพิจารณาร่วมกับค่าสี โดยเฉพาะค่า ΔE พบว่า แป้งถั่วดาวอินคาที่ผ่านการนึ่งด้วยไอน้ำเป็นเวลา 45 นาที มีค่า ΔE มากที่สุดเท่ากับ 6.99 แสดงถึงมีสีที่แตกต่างจากแป้งถั่วดาวอินคาที่ไม่ผ่านการให้ความร้อนมากที่สุด และมีสีคล้ำมากที่สุดด้วย ในขณะที่แป้งถั่วดาวอินคาที่ผ่านการนึ่งด้วยไอน้ำเป็นเวลา 30 และ 60 นาที มีค่า ΔE ต่ำที่สุดเท่ากับ 6.29 และ 6.18 ตามลำดับ ซึ่งไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \geq 0.05$) แสดงให้เห็นว่า แป้งถั่วดาวอินคาที่ผ่านการนึ่งด้วยไอน้ำ 2 สภาวะนี้ มีสีที่แตกต่างจากแป้งถั่วดาวอินคาที่ไม่ผ่านการให้ความร้อนน้อยที่สุด เพื่อความสะดวกในการเตรียม การประหยัดพลังงาน รวมถึงการลดโอกาสการสูญเสียองค์ประกอบทางเคมี สารพฤกษเคมี และการเปลี่ยนแปลงสมบัติเชิงหน้าที่ของแป้ง ดังนั้นแป้งถั่วดาวอินคาที่ผ่านการนึ่งด้วยไอน้ำเป็นเวลา 30 นาที จึงมีความเหมาะสมที่สุดในการนำไปศึกษาในตอนต่อไป

2.3 ผลการศึกษาคุณภาพของแป้งถั่วดาวอินคาที่ไม่ผ่านและผ่านการให้ความร้อนเพื่อลดกลิ่นถั่ว

จากการนำแป้งถั่วดาวอินคาที่ผ่านการให้ความร้อนด้วยวิธีการอบที่สภาวะอุณหภูมิ 120 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 15 นาที (Roasted Sacha inchi Flour: RSF) แป้งถั่วดาวอินคาที่ผ่านการให้ความร้อนด้วยการนึ่งด้วยไอน้ำ (98±2 องศาเซลเซียส) เป็นเวลา 30 นาที (Steamed Sacha inchi Flour: SSF) และแป้งถั่วดาวอินคาที่ไม่ผ่านการให้ความร้อน (Sacha inchi Flour: SF) มาวิเคราะห์คุณภาพต่างๆ ได้ผลการทดลองตามรายละเอียดดังนี้

1) ปริมาณองค์ประกอบทางเคมีโดยประมาณ

จากผลการวิเคราะห์ปริมาณองค์ประกอบทางเคมีของแป้งถั่วดาวอินคา พบว่า องค์ประกอบทางเคมีด้านต่างๆ ได้แก่ ความชื้น โปรตีน ไขมัน กากใย เถ้า และคาร์โบไฮเดรต ของแป้งถั่วดาวอินคาทั้ง 3 ชนิด มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) แสดงดังตารางที่ 4-9

ด้านปริมาณความชื้น พบว่า แป้งถั่วดาวอินคา SSF มีปริมาณความชื้นมากที่สุด (5.95% dry basis) รองลงมาคือแป้งถั่วดาวอินคา SF (5.36% dry basis) และแป้งถั่วดาวอินคา RSF (1.87% dry basis) ตามลำดับ เนื่องจากการนึ่งเป็นการให้ความร้อนด้วยไอน้ำ และไอน้ำจะถูกถ่ายเทไปที่ผิวหน้าของอาหารและมีโอกาสสะสมอยู่ที่แป้งมากกว่าแป้งที่ผ่านการให้ความร้อนด้วยการอบ และแป้งที่ไม่ผ่านการให้ความร้อน ด้านปริมาณโปรตีน แสดงให้เห็นว่า แป้งถั่วดาวอินคาทั้ง 3 ชนิด ยังคงเป็นแหล่งที่ดีของโปรตีน แป้งถั่วดาวอินคา SF แป้งถั่วดาวอินคา RSF และแป้งถั่วดาวอินคา SSF มีปริมาณโปรตีนเท่ากับ 42.00% 39.30% และ 39.49% dry basis ตามลำดับ โดยมีปริมาณโปรตีนแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) ด้านปริมาณไขมัน พบว่า แป้งถั่วดาวอินคา SF มีปริมาณไขมันมากที่สุด (20.87% dry basis) ($p<0.05$) และแป้งถั่วดาวอินคา RSF และแป้งถั่วดาวอินคา SSF มีปริมาณไขมันไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \geq 0.05$) เท่ากับ 19.11% และ 19.25% dry basis แสดงให้เห็นว่า ความร้อนจากการอบและนึ่งแป้งถั่วดาวอินคามีผลต่อการลดปริมาณไขมันจากแป้งถั่วได้

จากผลการทดลอง พบว่า แป้งถั่วดาวอินคา SF มีปริมาณกากใยมากที่สุด (5.97% dry basis) ($p<0.05$) โดยแป้งถั่วดาวอินคา RSF และแป้งถั่วดาวอินคา SSF มีปริมาณกากใยไม่แตกต่าง

กันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \geq 0.05$) เท่ากับ 4.56% และ 4.81% dry basis ตามลำดับ แสดงให้เห็นว่า ความร้อนจากการอบและนึ่งแป้งถั่วดาวอินคามีผลต่อการลดปริมาณกากใยจากแป้งถั่วได้ สอดคล้องกับการรายงานของ Ayoola and Adeyeye (2010) ที่กล่าวว่า เมื่อให้ความร้อนกับแป้งถั่วลิสงด้วยการอบที่อุณหภูมิ 100 ถึง 105 องศาเซลเซียส มีผลให้ปริมาณกากใยลดลงจาก 2.83% dry basis เหลือ 2.41% dry basis และ Vongsumran et al. (2014) รายงานว่า การให้ความร้อนกับแป้งถั่วดำด้วยการนึ่งที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส ทำให้ปริมาณกากใยลดลงจาก 2.19% dry basis เหลือ 1.5%% dry basis Johansson (2012) กล่าวว่า การแปรรูปโดยใช้อุณหภูมิสูง มีผลให้เกิดการแตกตัว (Fragmentation) ของโพลีแซคคาไรด์ที่เป็นองค์ประกอบหนึ่งของเส้นใยอาหาร และเนื่องจากกากใยเป็นส่วนหนึ่งของใยอาหารและเป็นโพลีแซคคาไรด์ ดังนั้นจึงมีโอกาสที่แป้งที่ผ่านการให้ความร้อนจะมีปริมาณกากใยลดลง จากผลการทดลองพบว่า แป้งถั่วดาวอินคา RSF มีปริมาณเถ้าน้อยที่สุด เท่ากับ 4.01% dry basis ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากการให้ความร้อนกับแป้งถั่วดาวอินคาที่อุณหภูมิสูง 120 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 15 นาที ส่งผลให้สารอนินทรีย์หรือแร่ธาตุบางส่วนมีโอกาสสลายตัวไปได้ (Hassan, 2011) สำหรับด้านปริมาณคาร์โบไฮเดรต งานวิจัยนี้คำนวณจากการหักลบปริมาณองค์ประกอบทางเคมีต่างๆ ได้แก่ ความชื้น โปรตีน ไขมัน กากใย และเถ้า ออกจากน้ำหนักตัวอย่าง จากผลการทดลอง พบว่า แป้งถั่วดาวอินคา SF มีปริมาณคาร์โบไฮเดรตน้อยที่สุด (20.57% dry basis) ($p<0.05$) ส่วนแป้งถั่วดาวอินคา RSF และแป้งถั่วดาวอินคา SSF มีปริมาณคาร์โบไฮเดรตไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \geq 0.05$) Jagersberger (2013) รายงานองค์ประกอบทางเคมีของแป้งถั่วดาวอินคาที่ผลิตจากบริษัท Agroindustrias Osho S.A.C. ประเทศเปรู พบว่า มีปริมาณความชื้น ปริมาณโปรตีน เถ้า และไขมัน เท่ากับ 3.28% 56.63% 5.93% 8.61% dry basis ตามลำดับ ซึ่งแตกต่างจากองค์ประกอบทางเคมีของแป้งถั่วดาวอินคา SF ที่เป็นแป้งที่ได้รับจากโรงงาน โดยพบว่า แป้งถั่วดาวอินคา SF มีปริมาณโปรตีน และเถ้าต่ำกว่า ในขณะที่ปริมาณความชื้นและไขมันสูงกว่า อาจเนื่องมาจากแป้งถั่วดาวอินคาได้จากกรรมวิธีการผลิตที่แตกต่างกัน รวมถึงวัตถุดิบถั่วดาวอินคามาจากแหล่งปลูกต่างกัน เมื่อพิจารณาองค์ประกอบทางเคมีของแป้งถั่วดาวอินคา RSF และแป้งถั่วดาวอินคา SSF เปรียบเทียบกับแป้งถั่วดาวอินคาจากการรายงานของ Jagersberger (2013) พบว่า ยังคงมีปริมาณโปรตีน และเถ้าต่ำกว่า และแป้งถั่วดาวอินคาทั้ง 2 ชนิด ยังคงที่ปริมาณไขมันสูงกว่า แต่แป้งถั่วดาวอินคา RSF มีปริมาณความชื้นต่ำกว่ามาก

2) ปริมาณเส้นใยอาหารทั้งหมด

จากผลการวิเคราะห์ปริมาณเส้นใยอาหารทั้งหมดของแป้งถั่วดาวอินคา แสดงดังตารางที่ 4-10 พบว่า แป้งถั่วดาวอินคา SF มีปริมาณเส้นใยอาหารทั้งหมดมากที่สุด (21.44 % dry basis) ($p<0.05$) และแป้งถั่วดาวอินคา RSF และแป้งถั่วดาวอินคา SSF มีปริมาณเส้นใยอาหารทั้งหมดไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \geq 0.05$) เท่ากับ 18.35% และ 17.65% dry basis ตามลำดับ แสดงให้เห็นว่า ความร้อนจากการอบและนึ่งแป้งถั่วดาวอินคามีผลต่อการลดปริมาณเส้นใยอาหารทั้งหมดจากแป้งถั่วดาวอินคาได้ อย่างไรก็ตาม จะเห็นว่าแป้งถั่วดาวอินคาทั้ง 3 ชนิด ในงานวิจัยนี้จัดว่าเป็นแหล่งที่ดีของเส้นใยอาหาร โดยมีปริมาณเส้นใยอาหารทั้งหมดอยู่ในช่วง 17.65-21.44% dry basis

ตารางที่ 4-9 องค์ประกอบทางเคมีโดยประมาณของแป้งถั่วดาวอินคาที่ไม่ผ่านการให้ความร้อน (SF) แป้งถั่วดาวอินคาที่ผ่านการให้ความร้อนด้วยการอบ (RSF) และแป้งถั่วดาวอินคาที่ผ่านการให้ความร้อนด้วยการนึ่งด้วยไอน้ำ (SSF)

ชนิดของแป้งถั่วดาวอินคา	ค่าเฉลี่ย±ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (% dry basis)					
	ความชื้น	โปรตีน	ไขมัน	กากใย	เถ้า	คาร์โบไฮเดรต
SF	5.36±0.05^{b}	42.00±0.80^{b}	20.78±0.78^{b}	5.97±0.25^{b}	4.43±0.02^{b}	20.57±2.19^{a}
RSF	1.87±0.16^{a}	39.30±0.19^{a}	19.11±0.75^{a}	4.56±0.26^{a}	4.01±0.11^{a}	31.14±0.45^{b}
SSF	5.95±0.06^{c}	39.49±0.45^{a}	19.25±0.21^{a}	4.81±0.09^{a}	4.13±0.30^{ab}	26.63±3.59^{b}

SF = Sacha inchi Flour RSF = Roasted Sacha inchi Flour SSF = Steamed Sacha inchi Flour

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

^{ns} หมายถึง ค่าเฉลี่ยในแนวตั้งไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\geq0.05$)

ตารางที่ 4-10 ปริมาณเส้นใยอาหารทั้งหมดในแป้งถั่วดาวอินคาที่ไม่ผ่านการให้ความร้อน (SF) แป้งถั่วดาวอินคาที่ผ่านการให้ความร้อนด้วยการอบ (RSF) และแป้งถั่วดาวอินคาที่ผ่านการให้ความร้อนด้วยการนึ่งด้วยไอน้ำ (SSF)

ชนิดของแป้งถั่วดาวอินคา	ปริมาณเส้นใยอาหารทั้งหมดเฉลี่ย±ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (% dry basis)
SF	21.44±0.63[b]
RSF	18.35±0.38[a]
SSF	17.65±0.60[a]

SF = Sacha inchi Flour RSF = Roasted Sacha inchi Flour SSF = Steamed Sacha inchi Flour
[a, b, c] หมายถึง ค่าเฉลี่ยในแนวตั้งมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

3) ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดและสมบัติการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระ

จากตารางที่ 4-11 พบว่า แป้งถั่วดาวอินคาทั้ง 3 ชนิด มีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดและสมบัติการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) พบว่า แป้งถั่วดาวอินคา RSF และแป้งถั่วดาวอินคา SSF ซึ่งผ่านการให้ความร้อน มีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดและสมบัติการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระ ต่ำกว่าแป้งถั่วดาวอินคา SF

ตารางที่ 4-11 ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดและสมบัติการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระของแป้งถั่วดาวอินคาที่ไม่ผ่านการให้ความร้อน (SF) แป้งถั่วดาวอินคาที่ผ่านการให้ความร้อนด้วยการอบ (RSF) และแป้งถั่วดาวอินคาที่ผ่านการให้ความร้อนด้วยการนึ่งด้วยไอน้ำ (SSF)

ชนิดของแป้งถั่วดาวอินคา	ค่าเฉลี่ย±ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน	
	สารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด (mg GAE/100 g)	สมบัติการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระ (% inhibition)
SF	101.38±2.18[b]	65.32±0.28[c]
RSF	98.11±2.21[a]	51.80±0.31[a]
SSF	97.57±1.99[a]	59.36±0.99[b]

SF = Sacha inchi Flour RSF = Roasted Sacha inchi Flour SSF = Steamed Sacha inchi Flour
[a, b, c] หมายถึง ค่าเฉลี่ยในแนวตั้งมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

4) สมบัติเชิงหน้าที่

เนื่องจากแป้งถั่วดาวอินคาเป็นแป้งที่มีโปรตีนสูง การให้ความร้อนกับแป้งที่มีโปรตีนสูงมีโอกาสเกิดผลกระทบต่อสมบัติเชิงหน้าที่ของโปรตีน เช่น การเป็นอิมัลซิไฟเออร์ การเกิดโฟม และการอุ้มน้ำ เป็นต้น โดยการให้ความร้อนสภาวะที่ไม่รุนแรง (Mild thermal treatment) มักทำให้เกิดการคลายเกลียว (Unfolding) ของโปรตีนบางส่วน เป็นผลให้เอื้อต่อการปรับปรุงให้สมบัติเชิงหน้าที่บางประการดีขึ้น ในขณะที่การให้ความร้อนสภาวะที่รุนแรง (Extensive thermal treatment) มักทำให้

โปรตีนเกิดการตกตะกอน จนสูญเสียสมบัติเชิงหน้าที่ไป (Campbell et al., 2008; Damodaran, 1996; น้ำทิพย์ วงศ์ประที, 2547) อย่างไรก็ตามขึ้นอยู่กับระดับความรุนแรงและวิธีการให้ความร้อนกับแป้งในการทดลองนี้ดำเนินการวิเคราะห์สมบัติเชิงหน้าที่ของแป้งถั่วดาวอินคา SF RSF และ SSF ได้แก่ Water absorption capacity, Oil absorption capacity, Emulsifying properties (Emulsion activity และ Emulsion stability), Foaming capacity และ Swelling properties มีรายละเอียดดังนี้

4.1) Water absorption capacity

จากตารางที่ 4-12 แม้พบแนวโน้มว่าแป้งถั่วดาวอินคา RSF และแป้งถั่วดาวอินคา SSF มีความสามารถในการดูดซับน้ำต่ำลง (1.31 g/g flour) กว่าความสามารถในการดูดซับน้ำของแป้งถั่วดาวอินคา SF (1.79 g/g flour) แต่เมื่อวิเคราะห์ผลทางสถิติแล้วพบว่า แป้งถั่วดาวอินคาทั้ง 3 ชนิด มีความสามารถในการดูดซับน้ำ ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \geq 0.05$) โดยมีค่าอยู่ในช่วง 1.31-1.79 g/g flour แสดงให้เห็นว่าการให้ความร้อนทั้งวิธีการอบและนึ่งไม่มีผลต่อความสามารถในการดูดซับน้ำ ความสามารถในการดูดซับน้ำของแป้งถั่วอาจเกี่ยวข้องกับปัจจัยอื่นๆ อีก ตัวอย่างเช่น Turan, Capanoglu & Altay (2014) รายงานว่า แป้งเฮเซลนัทที่ผ่านการให้ความร้อนมีความสามารถในการดูดซับน้ำเพิ่มขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับแป้ง เฮเซลนัทดิบ ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากการใช้อุณหภูมิและเวลาในการให้ความร้อนสูงมาก (120-150 องศาเซลเซียส และ 20-50 นาที) มีผลทำให้โครงสร้างของแป้งเฮเซลนัทเป็นรูพรุนและสามารถกักเก็บของเหลวได้มากขึ้น ถึงแม้ว่าเป็นการให้ความร้อนในสภาวะที่รุนแรงที่มีโอกาสให้โปรตีนแป้งเฮเซลนัทเสียสภาพธรรมชาติไปก็ตาม

4.2) Oil absorption capacity

จากตารางที่ 4-12 พบว่า แป้งทั้ง 3 ชนิด มีความสามารถในการดูดซับน้ำมันแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) โดยแป้งถั่วดาวอินคา RSF มีความสามารถในการดูดซับน้ำมันต่ำที่สุด เท่ากับ 1.26 g/g flour ($p<0.05$) และแป้งถั่วดาวอินคา SF และ SSF มีความสามารถในการดูดซับน้ำมันเท่ากับ 1.85 g/g flour และ 1.55 g/g flour ตามลำดับ ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \geq 0.05$) แสดงให้เห็นว่า ความร้อนในการอบมีผลให้ความสามารถในการดูดซับน้ำมันของแป้งถั่วดาวอินคา RSF ลดลง อาจเนื่องมาจากการให้ความร้อนที่อุณหภูมิสูงมีผลให้โปรตีนเกิดการเสียสภาพธรรมชาติ (Denature) อาจทำให้โปรตีนบางส่วนเกิดการตกตะกอนจนสูญเสียสมบัติเชิงหน้าที่ไป ส่วนที่ไม่ชอบน้ำของโมเลกุลโปรตีน ยึดกับน้ำมันด้วยพันธะพันธะนอนโพลาร์อย่างหลวมๆ เป็นผลให้ค่าความสามารถในการดูดซับน้ำมันลดลง (Campbell et al., 2008; Damodaran, 1996; น้ำทิพย์ วงศ์ประที, 2547)

4.3) Emulsifying properties

จากตารางที่ 4-12 พบว่า ค่า Emulsion activity และ ค่า Emulsion stability มีแนวโน้มสอดคล้องกัน โดยแป้งถั่วดาวอินคา RSF และแป้งถั่วดาวอินคา SSF ซึ่งผ่านการให้ความร้อน มีค่า Emulsion activity และ ค่า Emulsion stability ต่ำกว่าแป้งถั่วดาวอินคา SF แสดงให้เห็นว่า สมบัติการเป็นอิมัลชันของแป้งถั่วดาวอินคาลดลงเมื่อนำมาผ่านการให้ความร้อน ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากความร้อนทำให้โปรตีนบางส่วน มีโอกาสเสียสภาพธรรมชาติ จนเกิดพันธะยึดเหนี่ยวกับน้ำและน้ำมันได้แข็งแรงน้อยลง จึงมีโอกาสเกิดอิมัลชันและมีความคงตัวที่จะรักษาการกระจายตัวของหยดของเหลว

ไม่ให้รวมตัวแล้วเกิดการแยกชั้นได้น้อยลง (Campbell et al., 2008; Damodaran, 1996; น้ำทิพย์ วงศ์ประที, 2547) นอกจากนี้การให้ความร้อนมีส่วนให้โมเลกุลโปรตีนมีส่วนที่ไม่ชอบน้ำเพิ่มขึ้น ซึ่งจะดึงให้หยดน้ำมันเคลื่อนที่เข้าหากันและจับกันเป็นกลุ่มก้อน (Flocculation) ส่งผลให้อิมัลชันเกิดการแยกชั้นและมีความคงตัวลดลง (นิศรา ฮะเจริญ, 2554)

4.4) Foaming capacity

จากตารางที่ 4-12 พบว่า แป้งทั้ง 3 ชนิด มีความสามารถในการเกิดโฟมแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) โดยแป้งถั่วดาวอินคา SF มีความสามารถในการเกิดโฟมต่ำที่สุด เท่ากับ 4.90% ($p<0.05$) การให้ความร้อนกับแป้งถั่วดาวอินคามีแนวโน้มทำให้ค่าความสามารถในการเกิดโฟมมากขึ้น (5.40-6.17%) ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากความร้อนทำให้โปรตีนบางส่วนมีโอกาสเกิดการเสียสภาพทางธรรมชาติ โดยเกิดการคลายเกลียว (Unfolding) ของโครงสร้างโปรตีน ทำให้มีความยืดหยุ่นในการเกิดเป็นฟิล์มสามารถจับกับน้ำที่อยู่รอบๆ และหันส่วนที่ไม่ชอบน้ำที่อยู่ด้านในโครงสร้างออกมาด้านนอก จึงทำให้เกิดโครงสร้างของโฟม โดยเกิดเป็นแผ่นฟิล์มบางๆ ที่สามารถกับเก็บอากาศไว้ได้ นอกจากนี้การให้ความร้อนทำให้มีส่วนที่ไม่ชอบน้ำในโมเลกุลของโปรตีนเพิ่มขึ้น โดยความร้อนจะสร้างแรงผลักให้เกิดการรวมกลุ่มกันของโปรตีนส่วนที่ไม่ชอบน้ำ จึงเป็นการเพิ่มโอกาสการเกิดโครงสร้างของโฟมโดยหันส่วนที่ไม่ชอบน้ำที่อยู่ด้านในโครงสร้างออกมาด้านนอก เกิดเป็นแผ่นฟิล์มที่มีความยืดหยุ่นและสามารถกับเก็บอากาศไว้ได้ดีขึ้น (น้ำทิพย์ วงษ์ประที, 2547)

4.5) Swelling properties

จากตารางที่ 4-12 พบว่า แป้งถั่วดาวอินคา SSF มีแนวโน้มค่าสมบัติการพองตัว (3.47 g/g flour) มากกว่าแป้งถั่วดาวอินคา RSF ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากการนึ่งแป้งด้วยไอน้ำ แป้งมีโอกาสเกิดการเจลาทิไนซ์ (Gelatinization) ได้ โดยการเจลาทิไนซ์เกิดขึ้นได้เนื่องจากโมเลกุลของเม็ดแป้งประกอบด้วยหมู่ไฮดรอกซิล (Hydroxyl group) จำนวนมากยึดเกาะกันด้วยพันธะไฮโดรเจนและจัดเรียงตัวในรูปของร่างแหไมเซล (Micelles) จึงละลายน้ำได้ยาก เมื่อให้ความร้อนแก่เม็ดสตาร์ชในสภาวะที่มีน้ำเพียงพอ พันธะไฮโดรเจนเกิดการคลายตัวลง ทำให้เม็ดแป้งดูดซับน้ำและพองตัวได้ (จันทร์เพ็ญ ภูมิ่งเดือน, 2552; ผาณิต รุจิรพิสิฐ, 2549) แป้งที่ผ่านการนึ่งด้วยไอน้ำมีโอกาสเกิดเจลาทิไนซ์แล้วบางส่วน (Pre-gelatinization) การนำมาแป้งที่ได้มาวิเคราะห์สมบัติการพองตัวโดยเติมน้ำและให้ความร้อนกับแป้ง จึงมีโอกาสให้เม็ดแป้งสามารถที่จะพองตัวได้อย่างอิสระในน้ำมากกว่าตัวอย่างแป้งที่ไม่เกิดการเจลาทิไนซ์บางส่วนมาก่อน (ปุณฑริกา วิไลพล, 2553) และเมื่อพิจารณาผลการทดลอง พบว่า แป้งถั่วดาวอินคา RSF มีแนวโน้มค่าสมบัติการพองตัว (3.00 g/g flour) ต่ำกว่าตัวอย่างอื่น ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากแป้งที่ผ่านการอบด้วยลมร้อนมีโอกาสอุ้มน้ำไว้ในโครงสร้างไว้ในโครงสร้างเม็ดแป้งได้น้อยกว่า โดยการอบทำให้โครงสร้างเม็ดแป้งเปลี่ยนไปอยู่ในรูปผลึก (Crystalline) มากขึ้น ซึ่งส่วนที่เป็นผลึกจะเสริมความแข็งแรงให้กับเม็ดแป้งทำให้กักเก็บน้ำไว้ได้น้อยลง การพองตัวจึงเกิดขึ้นได้น้อยลงเช่นกัน (ปุณฑริกา วิไลพล, 2553; ผาณิต รุจิรพิสิฐ, 2549)

ตารางที่ 4-12 สมบัติเชิงหน้าที่ของแป้งถั่วดาวอินคาที่ไม่ผ่านการให้ความร้อน (SF) แป้งถั่วดาวอินคาที่ผ่านการให้ความร้อนโดยการอบ (RSF) และแป้งถั่วดาวอินคาที่ผ่านการให้ความร้อนโดยการนึ่ง (SSF)

ชนิดของแป้งถั่วดาวอินคา	ค่าเฉลี่ย±ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน					
	Water absorption (g/g flour)^{ns}	Oil absorption (g/g flour)	Emulsifying properties		Foaming capacity (%)	Swelling properties (g/g flour)
			Emulsion activity (%)	Emulsion stability (%)		
SF	1.79±0.43	1.85±0.08^{b}	42.7±60.66^{b}	44.06±2.10^{b}	4.90±0.26^{a}	4.03±0.46^{b}
RSF	1.31±0.28	1.26±0.20^{a}	38.5±61.69^{a}	37.29±0.97^{a}	6.17±0.47^{b}	3.00±0.16^{a}
SSF	1.31±0.24	1.55±0.39a^{b}	38.4±60.27^{a}	40.01±1.49^{a}	5.40±0.46^{ab}	3.47±0.48^{ab}

SF = Sacha inchi Flour RSF = Roasted Sacha inchi Flour SSF = Steamed Sacha inchi Flour

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

^{ns} หมายถึง ค่าเฉลี่ยในแนวตั้งไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\geq0.05$)

ตอนที่ 3 ผลการศึกษาความเป็นไปได้ในการนำแป้งถั่วดาวอินคามาใช้ในผลิตภัณฑ์อาหารเพื่อสุขภาพต้นแบบ

3.1 ผลการศึกษาความเป็นไปได้ในการนำแป้งถั่วดาวอินคามาผลิตแป้งวอฟเฟิลสำเร็จรูป

3.1.1 ผลของการใช้แป้งถั่วดาวอินคาแทนที่แป้งสาลีและปริมาณของไฮดรอกซีโพรพิลเมทิลเซลลูโลสเป็นส่วนผสมของแป้งวอฟเฟิลสำเร็จรูป

จากการนำแป้งถั่วดาวอินคาที่ไม่ผ่านการให้ความร้อน (SF) แป้งถั่วดาวอินคาที่ผ่านการให้ความร้อนด้วยการอบ (RSF) ที่อุณหภูมิ 120 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 15 นาที และแป้งถั่วดาวอินคามาผ่านการให้ความร้อนด้วยการนึ่งด้วยไอน้ำ (SSF) ที่อุณหภูมิ 98±2 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที นำมาศึกษาการแทนที่แป้งสาลีอเนกประสงค์และใช้ไฮดรอกซีโพรพิลเมทิลเซลลูโลสในปริมาณต่างๆ ร่วมด้วย โดยจัดสิ่งทดลองแบบ Factorial 2x3 ศึกษา 2 ปัจจัย คือ ปริมาณการแทนที่แป้งสาลีอเนกประสงค์ 2 ระดับ (25% และ 50%) และปริมาณการใช้ไฮดรอกซีโพรพิลเมทิลเซลลูโลส (HPMC) 3 ระดับ (0% 0.5% และ 1.0% โดยน้ำหนักแป้งทั้งหมด) ได้ผลการทดลองตามรายละเอียดดังนี้

1) การใช้แป้งถั่วดาวอินคาที่ไม่ผ่านการให้ความร้อน (SF)

ผลการวิเคราะห์ ANOVA พบว่า อิทธิพลร่วมระหว่างปริมาณการแทนที่แป้งสาลีอเนกประสงค์ด้วยแป้งถั่วดาวอินคา SF และปริมาณ HPMC มีผลต่อความหนืดของแบตเตอร์ ค่า Hardness คะแนนความชอบด้านกลิ่น คะแนนความชอบด้านเนื้อสัมผัส และคะแนนความชอบโดยรวม ($p<0.05$) อิทธิพลของปัจจัยหลักด้านปริมาณการแทนที่แป้งสาลีอเนกประสงค์ด้วยแป้งถั่วดาวอินคา SF มีผลต่อค่าสี L* ค่าสี a* ค่าสี b* ค่า Gumminess ค่า Chewiness คะแนนความชอบด้านสี และคะแนนความชอบด้านกลิ่นรส ($p<0.05$) และพบว่าไม่มีอิทธิพลใดที่มีผลต่อค่า Springiness ค่า Cohesiveness และคะแนนความชอบด้านลักษณะปรากฏ ($p\geq0.05$) แสดงผลสรุปการวิเคราะห์ ANOVA ดังตารางที่ 4-13

1.1) ค่าสี L* a* และ b*

ปัจจัยร่วมของปริมาณการแทนที่แป้งสาลีอเนกประสงค์ด้วยแป้งถั่วดาวอินคา SF และปริมาณ HPMC ไม่มีผลต่อค่าสี L* ค่าสี a* และค่าสี b* ของวอฟเฟิล รวมทั้งปัจจัยหลักด้านปริมาณ HPMC ไม่มีผลต่อค่าสี L* ค่าสี a* และค่าสี b* ของวอฟเฟิลเช่นกัน ($p\geq0.05$) มีเพียงปัจจัยหลักด้านปริมาณการแทนที่แป้งสาลีอเนกประสงค์ด้วยปริมาณแป้งถั่วดาวอินคา SF ที่มีผลต่อค่าสี L* ค่าสี a* และค่าสี b* ของวอฟเฟิล จากตารางที่ 4-14 พบว่า เมื่อปริมาณแป้งถั่วดาวอินคา SF เพิ่มขึ้น มีผลทำให้วอฟเฟิลมีค่าสี L* ลดลง และค่าสี a* และค่าสี b* เพิ่มขึ้น อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) โดยพบว่า เมื่อปริมาณการแทนที่แป้งสาลีอเนกประสงค์ด้วยแป้งถั่วดาวอินคา SF เพิ่มขึ้นจาก 25% เป็น 50% มีผลให้ค่าสี L* ของวอฟเฟิลลงลงจาก 60.92 เป็น 58.76 และทำให้ค่าสี a* และค่าสี b* ของวอฟเฟิลเพิ่มขึ้นจาก 7.55 เป็น 8.11 และ 29.74 เป็น 30.78 ตามลำดับ

ตารางที่ 4-13 สรุปผลจากการวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) ของสิ่งทดลองที่แปรปัจจัยด้านปริมาณการแทนที่แป้งสาลีอเนกประสงค์ด้วยแป้งถั่วดาวอินคาที่ไม่ผ่านการให้ความร้อน (SF) และปริมาณไฮดรอกซีโพรพิลเมทิลเซลลูโลส (HPMC) ต่อค่าคุณภาพของวอฟเฟิล

ค่าคุณภาพ	SF	HPMC	SF x HPMC
ค่าสี L*	*	ns	ns
ค่าสี a*	*	ns	ns
ค่าสี b*	*	ns	ns
ความหนืดของแบตเตอร์	ns	ns	*
ค่า Hardness	*	ns	*
ค่า Springiness	ns	ns	ns
ค่า Cohesiveness	ns	ns	ns
ค่า Gumminess	*	ns	ns
ค่า Chewiness	*	ns	ns
ความชอบด้านลักษณะปรากฏ	ns	ns	ns
ความชอบด้านสี	*	ns	ns
ความชอบด้านกลิ่น	*	ns	*
ความชอบด้านกลิ่นรส	*	ns	ns
ความชอบด้านเนื้อสัมผัส	*	*	*
ความชอบโดยรวม	*	ns	*

หมายเหตุ * หมายถึง มีอิทธิพลต่อค่าคุณภาพอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)
ns หมายถึง ไม่มีอิทธิพลต่อค่าคุณภาพอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\geq0.05$)

1.2) ความหนืดของแบตเตอร์

ในวิจัยส่วนนี้วิเคราะห์ความหนืดของแบตเตอร์โดยใช้ Bostwick consistometer โดยเป็นเครื่องมือที่ใช้วัดความเข้มข้นและความหนืดของอาหาร ซึ่งวัดจากระยะทางการไหลของของเหลวภายในเวลาที่กำหนดมีหน่วยเป็น cm/min หากมีค่าน้อยหมายถึงอาหารนั้นมีความหนืดมาก จากตารางที่ 4-15 พบว่า ปริมาณการแทนที่แป้งสาลีอเนกประสงค์ด้วยแป้งถั่วดาวอินคา SF และ ปริมาณ HPMC มีผลให้ความหนืดของแบตเตอร์แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) กล่าวคือ สูตรของวอฟเฟิลที่แทนที่แป้งสาลีอเนกประสงค์ด้วยแป้งถั่วดาวอินคา SF 50% และใช้ HPMC 1.0% มีความหนืดของแบตเตอร์มากที่สุด คือ 0.87 cm/min ($p<0.05$) อาจเนื่องมาจากแป้งถั่วดาวอินคา SF มีปริมาณเส้นใยอาหารเป็นองค์ประกอบ (21.44% dry basis) สูงกว่าปริมาณเส้นใยอาหารของแป้งสาลีอเนกประสงค์ (10.9% dry basis ตามที่ Gebhardt and Thomas (n.d.) รายงานไว้)

ตารางที่ 4-14 ค่าสีของวอฟเฟิลที่ได้จากการแปรปริมาณแป้งถั่วดาวอินคาที่ไม่ผ่านการให้ความร้อน (SF) แทนที่แป้งสาลีอเนกประสงค์และปริมาณไฮดรอกซีโพรพิลเมทิลเซลลูโลส (HPMC) ระดับต่างๆ

ปริมาณแป้งถั่วดาวอินคา SF (%)	ปริมาณ HPMC (% โดยน้ำหนักแป้ง)	ค่าเฉลี่ย±ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน					
		L*		a*		b*	
25	0	61.06±0.83	60.92±0.68[b]	7.28±0.54	7.55±0.66[a]	30.06±0.75	29.74±0.91[a]
	0.5	60.69±0.46		7.82±0.76		30.08±0.60	
	1.0	61.03±0.91		7.56±0.80		29.10±1.20	
50	0	59.00±0.49	58.76±0.47[a]	8.03±0.23	8.11±0.25[b]	30.83±0.30	30.78±0.26[b]
	0.5	58.67±0.12		8.07±0.28		30.60±0.16	
	1.0	58.63±0.72		8.23±0.31		30.93±0.28	

[a, b] หมายถึง ค่าเฉลี่ยในแนวตั้ง (เมื่อใช้แป้งถั่วดาวอินคา SF แตกต่างกัน) มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

1.3) ลักษณะเนื้อสัมผัส

จากตารางที่ 4-15 พบว่า ค่า Hardness ของวอฟเฟิลที่แปรปริมาณการแทนที่แป้งสาลีอเนกประสงค์ด้วยแป้งถั่วดาวอินคา SF และ HPMC ระดับต่างๆ มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) โดยวอฟเฟิลที่ใช้แป้งถั่วดาวอินคา SF แทนที่แป้งสาลีอเนกประสงค์ 50% และไม่ใช้ HPMC มีค่า Hardness มากที่สุด เท่ากับ 28.24 Kg force ($p<0.05$) ทั้งนี้อาจเนื่องมาจาก วอฟเฟิลสูตรนี้มีการใช้แป้งสาลีอเนกประสงค์น้อยที่สุด โดยปกติแป้งสาลีจะมีองค์ประกอบโปรตีนกลูเตน ซึ่งเมื่อรวมตัวกับน้ำจะมีลักษณะเหนียว ยืดหยุ่นได้และเป็นตัวกักเก็บก๊าซ เป็นผลให้ผลิตภัณฑ์มีโครงสร้างแข็งไม่ยุบตัว (จิตธนา แจ่มเมฆ และอรอนงค์ นัยวิกุล, 2539) การเหลือแป้งสาลีในสูตรน้อยลงจึงอาจมีผลให้วอฟเฟิลที่ได้มีโครงร่างไม่ยืดหยุ่นและแน่นแข็งมากขึ้น นอกจากนี้ แป้งถั่วดาวอินคา SF เป็นแป้งที่มีปริมาณโปรตีนสูง (42.00% dry basis) ซึ่งมีส่วนที่ชอบน้ำสามารถสร้างพันธะไฮโดรเจนกับน้ำได้ (พิมพ์เพ็ญ พรเฉลิมพงศ์ และนิธิยา รัตนาปนนท์, ม.ป.ป; นิธิยา รัตนาปนนท์, 2545) จึงทำให้เกิดการแย่งจับน้ำในส่วนผสม ทำให้เหลือน้ำในส่วนผสมน้อยลงที่จะไปสร้างพันธะกับกลูเตนของแป้งสาลีได้สมบูรณ์ จึงมีผลทำให้วอฟเฟิลมีโครงสร้างแน่นแข็งกว่าสูตรอื่นๆ

ตารางที่ 4-15 ความหนืดของแบตเตอร์และลักษณะเนื้อสัมผัสด้านค่า Hardness ค่า Springiness และค่า Cohesiveness ของวอฟเฟิลที่ได้จากการแปรปริมาณแป้งถั่วดาวอินคาที่ไม่ผ่านการให้ความร้อน (SF) แทนที่แป้งสาลีอเนกประสงค์และปริมาณไฮดรอกซีโพรพิลเมทิลเซลลูโลส (HPMC) ระดับต่างๆ

ปริมาณแป้งถั่วดาวอินคา SF (%)	ปริมาณ HPMC (% โดยน้ำหนักแป้ง)	ค่าเฉลี่ย±ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน			
		ความหนืด (cm/min)	Hardness (Kg force)	Springiness ns	Cohesiveness ns
25	0	2.92±0.08^{d}	21.04±1.00^{a}	0.92±0.01	0.65±0.01
	0.5	2.58±0.03^{c}	21.11±1.86^{a}	0.90±0.01	0.68±0.01
	1.0	1.65±0.05^{b}	21.62±0.18^{a}	0.93±0.03	0.64±0.05
50	0	2.95±0.09^{d}	28.24±1.28^{c}	0.92±0.06	0.66±0.05
	0.5	1.61±0.06^{b}	25.02±0.50^{b}	0.91±0.01	0.69±0.01
	1.0	0.87±0.03^{a}	25.55±0.42^{b}	0.90±0.01	0.71±0.01

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

^{ns} หมายถึง ค่าเฉลี่ยในแนวตั้งไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\geq0.05$)

ค่า Springiness และ ค่า Cohesiveness ของวอฟเฟิลที่แปรปริมาณการแทนที่แป้งสาลีอเนกประสงค์ด้วยแป้งถั่วดาวอินคา SF และปริมาณ HPMC ระดับต่างๆ มีค่าอยู่ในช่วง 0.90-0.93 และ 0.64-0.71 ตามลำดับ ซึ่งไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\geq0.05$) แสดงดังตารางที่ 4-16 แสดงให้เห็นว่า ปริมาณการแทนที่แป้งสาลีอเนกประสงค์ด้วยแป้งถั่วดาวอินคา SF และปริมาณ

HPMC ไม่มีผลต่อค่า Springiness และ ค่า Cohesiveness ทั้งนี้อาจเนื่องจากลักษณะเนื้อสัมผัสของวอฟเฟิลเป็นโครงสร้างฟู แต่เนื้อค่อนข้างแน่นจัดเป็นขนมอบที่ขึ้นฟูด้วยผงฟูและใช้เวลาสั้นในการตีผสม โดยได้ผลิตภัณฑ์ลักษณะแข็งกว่าเค้ก แต่ไม่นุ่มเหมือนขนมปังที่ขึ้นฟูด้วยยีสต์ (จิตธนา แจ่มเมฆ และอรอนงค์ นัยวิกุล, 2539) หรือกล่าวได้ว่าเนื้อสัมผัสของวอฟเฟิลมีลักษณะค่อนข้างคงรูป ไม่นิ่มหรือยุบตัวถาวรเหมือนขนมปัง ดังนั้น การใช้แป้งถั่วดาวอินคา SF แทนที่แป้งสาลีอเนกประสงค์ จึงอาจไม่มีผลต่อความยืดหยุ่นและการคืนตัวกลับเมื่อมีแรงมากด รวมถึงไม่มีผลต่อความยึดเกาะกันภายในชิ้นอาหาร เป็นผลให้ไม่มีผลต่อค่า Springiness และ ค่า Cohesiveness มากนัก

ปัจจัยร่วมของปริมาณการแทนที่แป้งสาลีอเนกประสงค์ด้วยแป้งถั่วดาวอินคา SF และปริมาณ HPMC รวมทั้งปัจจัยหลักด้านปริมาณ HPMC ไม่มีผลต่อค่า Gumminess และค่า Chewiness ($p \geq 0.05$) มีเพียงปัจจัยหลักด้านปริมาณการแทนที่แป้งสาลีอเนกประสงค์ด้วยแป้งถั่วดาวอินคา SF ที่มีผลต่อค่าค่า Gumminess และ ค่า Chewiness ของวอฟเฟิล ($p<0.05$) จากตารางที่ 4-16 พบว่า เมื่อแปรปริมาณแป้งถั่วดาวอินคา SF เพิ่มขึ้น ทำให้วอฟเฟิลมีค่า Gumminess และค่า Chewiness เพิ่มขึ้น โดยค่า Gumminess และ ค่า Chewiness ของวอฟเฟิลที่แปรปริมาณแป้งถั่วดาวอินคา SF แทนที่แป้งสาลีอเนกประสงค์ 50% มีค่าเท่ากับ 18.04 และ 16.40 Kg force ตามลำดับ ซึ่งมากกว่าค่า Gumminess และ ค่า Chewiness ของวอฟเฟิลที่แปรปริมาณแป้งถั่วดาวอินคา SF แทนที่แป้งสาลีอเนกประสงค์ 25% มีค่าเท่ากับ 13.92 และ 12.82 Kg force ตามลำดับ โดยค่า Gumminess และ ค่า Chewiness เป็นพารามิเตอร์ลักษณะเนื้อสัมผัสที่เกี่ยวข้องกับแรงที่ใช้ในการทำให้อาหารแยกตัวออกจากกันถึงขั้นพร้อมที่จะกลืนได้ ซึ่งการที่ค่าดังกล่าวมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อใช้แป้งถั่วดาวอินคา SF เพิ่มขึ้น แสดงให้เห็นแนวโน้มว่าวอฟเฟิลมีโครงสร้างที่แน่นแข็งขึ้น โดยค่า Gumminess และ ค่า Chewiness จะมีแนวโน้มสอดคล้องกับค่า Hardness นั่นเอง

ตารางที่ 4-16 ลักษณะเนื้อสัมผัสด้านค่า Gumminess ค่า Chewiness ของวอฟเฟิลที่ได้จากการแปรปริมาณแป้งถั่วดาวอินคาที่ไม่ผ่านการให้ความร้อน (SF) แทนที่แป้งสาลีอเนกประสงค์และปริมาณไฮดรอกซีโพรพิลเมทิลเซลลูโลส (HPMC) ระดับต่างๆ

ปริมาณแป้งถั่วดาวอินคา SF (%)	ปริมาณ HPMC (% โดยน้ำหนักแป้ง)	ค่าเฉลี่ย±ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน			
		Gumminess (Kg force)		Chewiness (Kg force)	
25	0	13.76±0.58	13.92±0.89[a]	12.71±0.38	12.82±0.76[a]
	0.5	14.28±1.11		12.98±0.97	
	1.0	13.74±1.15		12.75±1.10	
50	0	18.61±1.79	18.04±1.12[b]	17.47±1.64	16.40±1.09[b]
	0.5	17.28±0.61		15.63±0.48	
	1.0	18.23±0.20		16.40±0.28	

[a, b] หมายถึง ค่าเฉลี่ยในแนวตั้ง (เมื่อใช้แป้งถั่วดาวอินคา SF แทนที่แป้งสาลีอเนกประสงค์แตกต่างกัน) มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

1.4) คะแนนความชอบทางประสาทสัมผัส

ตารางที่ 4-17 แสดงคะแนนความชอบทางประสาทสัมผัสด้านลักษณะปรากฏ กลิ่น เนื้อสัมผัส และความชอบโดยรวมของวอฟเฟิลที่ใช้แป้งถั่วดาวอินคา SF แทนที่แป้งสาลีอเนกประสงค์และปริมาณ HPMC ระดับต่างๆ ที่พบว่า คะแนนความชอบทางประสาทสัมผัสด้านลักษณะปรากฏไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \geq 0.05$) โดยได้รับคะแนนอยู่ในระดับชอบเล็กน้อยถึงชอบปานกลาง (6.13-6.60 คะแนน) สำหรับคะแนนความชอบด้านกลิ่น เนื้อสัมผัส และความชอบโดยรวมแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) โดยวอฟเฟิลที่ใช้แป้งถั่วดาวอินคา SF แทนที่แป้งสาลีอเนกประสงค์ 25% และใช้ HPMC 0.5% และ 1.0% โดยน้ำหนักแป้ง ได้รับคะแนนความชอบด้านกลิ่นมากที่สุด ($p<0.05$) (4.96 และ 4.87 ตามลำดับ) แต่อย่างไรก็ตามพบว่า ผู้ทดสอบยังมีแนวโน้มไม่ชอบกลิ่นวอฟเฟิล (อยู่ในระดับไม่ชอบเล็กน้อยถึงเฉยๆ) สำหรับคะแนนความชอบด้านเนื้อสัมผัส พบว่า วอฟเฟิลที่ใช้แป้งถั่วดาวอินคา SF แทนที่แป้งสาลีอเนกประสงค์ 25% และใช้ HPMC 0% 0.5% และ 1.0% โดยน้ำหนักแป้ง (6.03 6.37 และ 6.23 ตามลำดับ) ได้รับคะแนนความชอบด้านเนื้อสัมผัสมากที่สุด ($p<0.05$) ทั้งนี้อาจเนื่องมาจาก วอฟเฟิลสูตรดังกล่าวมีเนื้อสัมผัสไม่แน่นแข็งจนเกินไป ซึ่งสอดคล้องกับค่า Hardness (ตารางที่ 4-14) ที่พบว่า มีค่า Hardness ต่ำที่สุด ($p<0.05$) สำหรับคะแนนความชอบโดยรวม พบว่า มีแนวโน้มคล้ายกับคะแนนความชอบด้านกลิ่นและเนื้อสัมผัส ที่พบว่า วอฟเฟิลสูตรที่ใช้แป้งถั่วดาวอินคา SF แทนที่แป้งสาลีอเนกประสงค์ 25% ได้รับคะแนนความชอบโดยรวมมากกว่าการใช้แป้งถั่วดาวอินคา SF แทนที่แป้งสาลีอเนกประสงค์ 50% โดยการใช้ HPMC ร่วมด้วยในปริมาณ 0.5% และ 1.0% โดยน้ำหนักแป้ง เมื่อใช้แป้งถั่วดาวอินคา SF แทนที่แป้งสาลีอเนกประสงค์ 25% มีผลให้ได้รับคะแนนความชอบโดยรวมสูงที่สุด ($p<0.05$) จากตารางที่ 4-18 พบว่า วอฟเฟิลที่ใช้แป้งถั่วดาวอินคา SF แทนที่แป้งสาลีอเนกประสงค์ 25% ได้รับคะแนนความชอบด้านสีและกลิ่นรส (6.30 และ 5.70 ตามลำดับ) มากกว่าวอฟเฟิลที่ใช้แป้งถั่วดาวอินคา SF แทนที่แป้งสาลีอเนกประสงค์ 50% (5.45 และ 4.71 คะแนน) ($p<0.05$)

การคัดเลือกสิ่งทดลองที่เหมาะสม

เมื่อพิจารณาตามเกณฑ์ที่กำหนดไว้ คือ เลือกสิ่งทดลองที่ได้รับคะแนนความชอบทางประสาทสัมผัสด้านความชอบโดยรวมสูงที่สุด และมีการใช้แป้งถั่วดาวอินคาปริมาณมากที่สุด โดยพิจารณาร่วมกับคุณภาพอื่น จากผลการทดลองพบว่า วอฟเฟิลที่แปรปริมาณแป้งถั่วดาวอินคา SF แทนที่แป้งสาลีอเนกประสงค์ 25% และปริมาณ HPMC 0.5% และ 1.0% โดยน้ำหนักแป้ง ได้รับคะแนนความชอบโดยรวมสูงที่สุด ($p<0.05$) รวมถึงทั้ง 2 สิ่งทดลองได้รับคะแนนความชอบด้านกลิ่นและเนื้อสัมผัสสูงที่สุด ($p<0.05$) เช่นกัน อย่างไรก็ตาม เมื่อพิจารณาร่วมกับคุณภาพอื่น พบว่า วอฟเฟิลที่ใช้แป้งถั่วดาวอินคา SF แทนที่แป้งสาลีอเนกประสงค์ 25% และใช้ HPMC 0.5% โดยน้ำหนักแป้ง มีความหนืดของแบตเตอร์ (2.58 cm/min) น้อยกว่าสูตรที่ใช้ HPMC 1.0% (1.65 cm/min) ทำให้ขั้นตอนการผสมส่วนผสมและการเทลงพิมพ์ทำได้ง่าย ติดภาชนะน้อยกว่า และพบแนวโน้มว่าวอฟเฟิลสูตรดังกล่าวได้รับความชอบด้านกลิ่น เนื้อสัมผัส สี และกลิ่นรสมากกว่า รวมถึงเป็นการใช้ HPMC น้อยกว่า จึงเป็นการลดต้นทุนในการผลิตลงได้ ดังนั้นวอฟเฟิลสูตรที่แทนที่แป้งสาลีอเนกประสงค์ด้วยแป้งถั่วดาวอินคา SF 25% และเติม HPMC 0.5% โดยน้ำหนักแป้ง จึงมีความเหมาะสมที่สุดในการนำไปศึกษาต่อไป

ตารางที่ 4-17 คะแนนความชอบทางประสาทสัมผัสของวอฟเฟิลที่ได้จากการแปรปริมาณแป้งถั่วดาวอินคาที่ไม่ผ่านการให้ความร้อน (SF) แทนที่แป้งสาลีอเนกประสงค์และปริมาณไฮดรอกซีโพรพิลเมทิลเซลลูโลส (HPMC) ระดับต่างๆ

ปริมาณแป้งถั่วดาวอินคา SF (%)	ปริมาณ HPMC (% โดยน้ำหนักแป้ง)	คะแนนความชอบเฉลี่ย±ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน			
		ลักษณะปรากฏ^{ns}	กลิ่น	เนื้อสัมผัส	ความชอบโดยรวม
25	0	6.37±1.25	4.30±1.08^{b}	6.03±1.09^{bc}	5.83±0.83^{a}
25	0.5	6.13±1.59	4.96±0.90^{c}	6.37±1.07^{c}	6.60±0.81^{b}
25	1.0	6.60±090	4.87±0.82^{c}	6.23±1.07^{bc}	6.20±0.62^{ab}
50	0	6.30±1.32	4.60±0.81^{b}	4.47±1.01^{a}	5.77±0.73^{a}
50	0.5	6.60±1.28	3.63±1.03^{a}	5.70±1.26^{b}	5.73±0.87^{a}
50	1.0	6.33±1.24	3.40±1.28^{a}	5.63±1.35^{b}	5.80±0.81^{a}

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

^{ns} หมายถึง ค่าเฉลี่ยในแนวตั้งไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\geq0.05$)

ตารางที่ 4-18 คะแนนความชอบทางประสาทสัมผัสของวอฟเฟิลด้านความชอบด้านสีและความชอบด้านกลิ่นรสที่ได้จากการแปรปริมาณแป้งถั่วดาวอินคาที่ไม่ผ่านการให้ความร้อน (SF) แทนที่แป้งสาลีอเนกประสงค์และปริมาณไฮดรอกซีโพรพิลเมทิลเซลลูโลส (HPMC) ระดับต่างๆ

ปริมาณแป้งถั่วดาวอินคา SF (%)	ปริมาณ HPMC (% โดยน้ำหนักแป้ง)	คะแนนความชอบเฉลี่ย±ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน			
		สี		กลิ่นรส	
25	0	6.20±0.89	6.30±0.93[b]	5.80±-0.92	5.70±0.95[b]
	0.5	6.50±1.01		5.73±0.98	
	1.0	6.20±0.89		5.67±0.97	
50	0	5.37±0.93	5.45±0.91[a]	4.43±0.89	4.71±1.12[a]
	0.5	5.40±0.85		4.83±0.95	
	1.0	5.60±0.97		4.87±1.17	

[a, b] หมายถึง ค่าเฉลี่ยในแนวตั้ง (เมื่อใช้แป้งถั่วดาวอินคา SF แทนที่แป้งสาลีอเนกประสงค์ปริมาณต่างกัน) มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

2) การใช้แป้งถั่วดาวอินคาที่ผ่านการให้ความร้อนด้วยการอบ (RSF)

ผลการวิเคราะห์ ANOVA พบว่า อิทธิพลร่วมระหว่างปริมาณการแทนที่แป้งสาลีเอนกประสงค์ด้วยด้วยแป้งถั่วดาวอินคา RSF และปริมาณ HPMC มีผลต่อความหนืดของแบตเตอร์ ค่า Hardness ค่า Springiness คะแนนความชอบด้านกลิ่น กลิ่นรส เนื้อสัมผัส และความชอบโดยรวม ($p<0.05$) อิทธิพลของปัจจัยหลักด้านปริมาณการแทนที่แป้งสาลีอเนกประสงค์ด้วยแป้งถั่วดาวอินคา RSF มีผลต่อค่าคุณภาพด้านค่าสี L* ค่าสี a* ค่าสี b* ค่า Gumminess และคะแนนความชอบด้านสี ($p<0.05$) และพบว่าไม่มีอิทธิพลของปัจจัยใดมีผลต่อค่า Cohesiveness ค่า Chewiness และค่าความชอบด้านลักษณะปรากฏ ($p\geq0.05$) แสดงผลสรุปการวิเคราะห์ ANOVA ดังตารางที่ 4-19

2.1) ค่าสี L* a* และ b*

ปัจจัยร่วมของปริมาณการแทนที่แป้งสาลีอเนกประสงค์ด้วยแป้งถั่วดาวอินคา RSF และปริมาณ HPMC ไม่มีผลต่อค่าสี L* ค่าสี a* และค่าสี b* ของวอฟเฟิล รวมทั้งปัจจัยหลักด้านปริมาณ HPMC ไม่มีผลต่อค่าสี L* ค่าสี a* และค่าสี b* ของวอฟเฟิลเช่นกัน ($p\geq0.05$) มีเพียงปัจจัยหลักด้านปริมาณการแทนที่แป้งสาลีอเนกประสงค์ด้วยแป้งถั่วดาวอินคา RSF ที่มีผลต่อค่าสี L* ค่าสี a* และค่าสี b* ของวอฟเฟิล ซึ่งให้แนวโน้มคล้ายกรณีการใช้แป้งถั่วดาวอินคา SF จากตารางที่ 4-20 พบว่าเมื่อแปรปริมาณแป้งถั่วดาวอินคา RSF เพิ่มขึ้น มีผลทำให้วอฟเฟิลมีค่าสี L* ลดลง และค่าสี a* และค่าสี b* เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

ตารางที่ 4-19 สรุปผลจากการวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) ของสิ่งทดลองที่แปรปัจจัยด้านปริมาณการแทนที่แป้งสาลีอเนกประสงค์ด้วยแป้งถั่วดาวอินคาที่ผ่านการให้ความร้อนด้วยการอบ (RSF) และปริมาณไฮดรอกซีโพรพิลเมทิลเซลลูโลส (HPMC) ต่อค่าคุณภาพของวอฟเฟิล

ค่าคุณภาพ	RSF	HPMC	RSF x HPMC
ค่า L*	*	ns	ns
ค่า a*	*	ns	ns
ค่า b*	*	ns	ns
ความหนืดของแบตเตอร์	ns	ns	*
ค่า Hardness	*	ns	*
ค่า Springiness	*	ns	*
ค่า Cohesiveness	ns	ns	ns
ค่า Gumminess	*	ns	ns
ค่า Chewiness	ns	ns	ns
ความชอบด้านลักษณะปรากฏ	ns	ns	ns
ความชอบด้านสี	*	ns	ns
ความชอบด้านกลิ่น	*	ns	*
ความชอบด้านกลิ่นรส	*	ns	*
ความชอบด้านเนื้อสัมผัส	ns	*	*
ความชอบโดยรวม	ns	ns	*

* หมายถึง มีอิทธิพลต่อค่าคุณภาพอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

ns หมายถึง ไม่มีอิทธิพลต่อค่าคุณภาพมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\geq0.05$)

ผลการทดลองแสดงให้เห็นแนวโน้มว่าการแทนที่แป้งสาลีอเนกประสงค์ด้วยแป้งถั่วดาวอินคา RSF เพิ่มขึ้น ทำให้วอฟเฟิลมีสีคล้ำและเข้มขึ้น ซึ่งให้แนวโน้มเดียวกับการใช้แป้งถั่วดาวอินคา SF โดยมีสาเหตุจากแป้งถั่วดาวอินคา RSF มีสีคล้ำกว่าแป้งสาลีอเนกประสงค์ รวมถึงแป้งถั่วดาวอินคา RSF มีโปรตีนสูง จึงมีโอกาสเกิดปฏิกิริยาเมลลาร์ดได้มากกว่า ตามที่ได้อธิบายไว้ในกรณีการใช้แป้งถั่วดาวอินคา SF นั่นเองอย่างไรก็ตามพบข้อสังเกตว่าสีของวอฟเฟิลที่ใช้แป้งถั่วดาวอินคา RSF คล้ำกว่าเมื่อใช้แป้งถั่วดาวอินคา SF ที่ปริมาณเท่ากัน กล่าวคือ ค่าสี L* เมื่อใช้แป้งถั่วดาวอินคา RSF (57.35-58.74) มีค่าน้อยกว่าค่าสี L* เมื่อใช้แป้งถั่วดาวอินคา SF (58.76-60.97) แต่มีค่าสี a* (7.95-9.85) และค่าสี b* (30.14-31.96) มากกว่าค่าสี a* (7.55-8.11) และค่าสี b* (29.74-30.78) เมื่อใช้แป้งถั่วดาวอินคา SF ทั้งนี้เนื่องมาจาแป้งถั่วดาวอินคา RSF มีสีคล้ำกว่าแป้งถั่วดาวอินคา SF นั่นเอง

ตารางที่ 4-20 ค่าสีของวอฟเฟิลที่ได้จากการแปรปริมาณแป้งถั่วดาวอินคาที่ผ่านการให้ความร้อนด้วยการอบ (RSF) แทนที่แป้งสาลีอเนกประสงค์และปริมาณไฮดรอกซีโพรพิลเมทิลเซลลูโลส (HPMC) ระดับต่างๆ

ปริมาณแป้งถั่วดาวอินคา RSF (%)	ปริมาณ HPMC (% โดยน้ำหนักแป้ง)	ค่าเฉลี่ย±ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน					
		L*		a*		b*	
25	0	58.71±0.37	58.74±0.41[b]	7.88±0.23	7.95±0.53[a]	30.09±0.65	30.14±0.53[a]
	0.5	58.85±0.57		7.84±0.79		30.08±0.63	
	1.0	58.67±0.44		8.13±0.60		30.26±0.52	
50	0	57.32±0.34	57.35±0.51[a]	9.75±0.27	9.85±0.43[b]	31.79±0.45	31.96±0.47[b]
	0.5	57.39±0.91		9.80±0.75		32.03±0.24	
	1.0	57.35±0.75		10.01±0.21		32.08±0.73	

[a, b] หมายถึง ค่าเฉลี่ยในแนวตั้ง (เมื่อใช้แป้งถั่วดาวอินคา RSF แทนที่แป้งสาลีอเนกประสงค์ปริมาณแตกต่างกัน) มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

2.2) ความหนืดของแบตเตอร์

จากตารางที่ 4-21 พบว่า ปริมาณการแทนที่แป้งสาลีอเนกประสงค์ด้วยแป้งถั่วดาวอินคา RSF และปริมาณ HPMC มีผลให้ความหนืดของแบตเตอร์แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) กล่าวคือ สูตรของวอฟเฟิลที่ใช้แป้งถั่วดาวอินคา RSF แทนที่แป้งสาลีอเนกประสงค์ 50% และใช้ HPMC 1.0% มีความหนืดของแบตเตอร์มากที่สุด คือ 0.50 cm/min ($p<0.05$) ซึ่งให้แนวโน้มคล้ายกรณีการใช้แป้งถั่วดาวอินคา SF อาจเนื่องมากจากแป้งถั่วดาวอินคา RSF มีปริมาณเส้นใยอาหารเป็นองค์ประกอบ (18.35% dry basis) สูงกว่าเส้นใยอาหารของแป้งสาลีอเนกประสงค์ (10.90% dry basis) ตามที่ Gebhardt and Thomas (n.d.) รายงานไว้) รวมถึงแป้งถั่วดาวอินคา RSF มีความสามารถในการดูดซับน้ำ (1.31 g/g flour) และมีโปรตีนเป็นองค์ประกอบหลัก จึงสามารถเกิดเจลและก่อให้เกิดความหนืดได้ และเป็นจากการทำหน้าที่เป็นไฮโดรคอลลอยด์ที่ช่วยเพิ่มความหนืดได้ของ HPMC นั่นเอง

อย่างไรก็ตามพบข้อสังเกตว่าความหนืดของแบตเตอร์ที่ใช้แป้งถั่วดาวอินคา RSF สูงกว่าเมื่อใช้แป้งถั่วดาวอินคา SF ที่ปริมาณเท่ากัน ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากแป้งถั่วดาวอินคา RSF เป็นแป้งที่ผ่านการให้ความร้อนด้วยการอบที่อุณหภูมิ 120 องศาเซลเซียส นาน 15 นาที ในระหว่างการให้ความร้อนแป้งถั่วดาวอินคา RSF จึงเกิดการสูญเสียน้ำออกจากตัวแป้ง เหลือความชื้นอยู่เพียง 1.84% เมื่อเปรียบเทียบกับแป้งถั่วดาวอินคา SF ที่มีความชื้น 5.09% ดังนั้นการใช้แป้งถั่วดาวอินคา RSF แทนที่แป้งสาลีอเนกประสงค์ในวอฟเฟิล จึงมีโอกาสทำให้ปริมาณน้ำในสูตรเหลือน้อยลง เมื่อเปรียบเทียบกับการใช้แป้งถั่วดาวอินคา SF การที่ปริมาณน้ำในสูตรลดลง มีโอกาสทำให้ความหนืดของแบตเตอร์ในผลิตภัณฑ์เบเกอรี่เพิ่มขึ้นได้ (สุภาวิณี แสนทวีสุข และมาลีน่า สันเต๊ะ, 2557)

2.3) ลักษณะเนื้อสัมผัส

จากตารางที่ 4-21 พบว่า ค่า Hardness และค่า Springiness ของวอฟเฟิลที่แปรปริมาณการแทนที่แป้งสาลีอเนกประสงค์ด้วยแป้งถั่วดาวอินคา RSF และปริมาณ HPMC ระดับต่างๆ มีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) โดยวอฟเฟิลที่ใช้แป้งถั่วดาวอินคา RSF แทนที่แป้งสาลีอเนกประสงค์ 50% และไม่ใช้ HPMC มีค่า Hardness มากที่สุดคือ 24.71 Kg force ($p<0.05$) และพบแนวโน้มว่าวอฟเฟิลที่ใช้แป้งถั่วดาวอินคา RSF แทนที่แป้งสาลีอเนกประสงค์ 50% มีค่า Hardness (22.97-24.71 Kg force) มากกว่าวอฟเฟิลที่ใช้แป้งถั่วดาวอินคา RSF แทนที่แป้งสาลีอเนกประสงค์ 25% (20.61-20.74 Kg force) และสำหรับกรณีที่ใช้แป้งถั่วดาวอินคา RSF แทนที่แป้งสาลีอเนกประสงค์สูงถึง 50% พบแนวโน้มว่าการใช้ HPMC เพิ่มขึ้น ทำให้วอฟเฟิลมีค่า Hardness ลดลง ($p<0.05$) ทั้งนี้เป็นผลมาจากการใช้แป้งถั่วดาวอินคา RSF แทนที่แป้งสาลีอเนกประสงค์มากเป็นการลดการเกิดโครงร่างกลูเตนที่มีลักษณะเหนียว ยืดหยุ่นและกักเก็บก๊าซ รวมถึงแป้งถั่วดาวอินคา RSF มีปริมาณโปรตีนสูง (39.30% dry basis) สามารถแย่งจับน้ำในส่วนผสมไปได้มาก จึงทำให้วอฟเฟิลมีโครงสร้างแน่นขึ้น เมื่อมีการเติม HPMC เข้ามา จึงช่วยให้มีการยึดจับกับน้ำไว้ในส่วนผสมมากขึ้น แบตเตอร์มีความหนืดขึ้น และมีความยืดหยุ่น ช่วยกักเก็บก๊าซได้มากขึ้น จึงมีแนวโน้มทำให้วอฟเฟิลมีโครงสร้างแน่นน้อยลง

ตารางที่ 4-21 ความหนืดของแบตเตอร์และลักษณะเนื้อสัมผัสด้านค่า Hardness ค่า Springiness ค่า Cohesiveness และค่า Chewiness ของวอฟเฟิลที่ได้จาก การแปรปริมาณแป้งถั่วดาวอินคาที่ผ่านการให้ความร้อนด้วยการอบ (RSF) แทนที่แป้งสาลีอเนกประสงค์และปริมาณไฮดรอกซีโพรพิลเมทิลเซลลูโลส (HPMC) ระดับต่างๆ

ปริมาณแป้งถั่วดาวอินคา RSF (%)	ปริมาณ HPMC (% โดยน้ำหนักแป้ง)	ค่าเฉลี่ย±ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน				
		ความหนืด (cm/min)	Hardness (Kg force)	Springiness	Cohesiveness^{ns}	Chewiness (Kg force)^{ns}
25	0	2.67±0.06^{e}	20.74±0.28^{a}	0.66±0.02^{b}	0.63±0.07	8.80±1.12
25	0.5	2.23±0.03^{c}	20.61±0.45^{a}	0.68±0.02^{bc}	0.62±0.04	8.64±0.69
25	1.0	1.52±0.03^{b}	20.68±0.37^{a}	0.71±0.01^{c}	0.64±0.01	8.66±0.31
50	0	2.43±0.06^{d}	24.71±0.59^{d}	0.54±0.04^{a}	0.66±0.04	8.69±0.61
50	0.5	1.58±0.03^{b}	23.84±0.20^{c}	0.63±0.02^{b}	0.63±0.01	8.76±0.73
50	1.0	0.50±0.10^{a}	22.97±0.17^{b}	0.63±0.01^{b}	0.64±0.04	8.95±0.07

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

^{ns} หมายถึง ค่าเฉลี่ยในแนวตั้งไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\geq0.05$)

สำหรับค่า Springiness พบว่า เมื่อใช้แป้งถั่วดาวอินคา RSF แทนที่แป้งสาลีอเนกประสงค์เพิ่มขึ้น มีแนวโน้มทำให้ค่า Springiness ลดลง และวอฟเฟิลที่ใช้แป้งถั่วดาวอินคา RSF แทนที่แป้งสาลีอเนกประสงค์ 50% และไม่ใช้ HPMC มีค่า Springiness (0.54) น้อยที่สุด ($p<0.05$) แสดงให้เห็นว่าการใช้แป้งถั่วดาวอินคา RSF มากขึ้นมีผลให้วอฟเฟิลมีความยืดหยุ่นน้อยลง ซึ่งสอดคล้องกับการที่มีโอกาสเกิดโครงสร้างกลูเตนได้น้อยลงเมื่อใช้แป้งถั่วดาวอินคา RSF แทนที่แป้งสาลีอเนกประสงค์ขึ้นนั่นเอง โดยหากมีการเติม HPMC เข้าไปจึงเป็นการช่วยให้วอฟเฟิลเกิดความยืดหยุ่นมากขึ้นได้ ตามที่ได้กล่าวไว้ข้างต้นนั่นเอง

สำหรับค่า Cohesiveness และ Chewiness มีค่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\geq0.05$) โดยค่า Cohesiveness มีค่าอยู่ในช่วง 0.62-0.66 และค่า Chewiness มีค่าอยู่ในช่วง 8.64-8.95Kg force แสดงให้เห็นว่าทุกสิ่งทดลองมีลักษณะเนื้อสัมผัสด้านการยึดเกาะกันและการใช้พลังงานในการเคี้ยวของลักษณะอาหารแข็งจนถึงขั้นที่พร้อมจะกลืนได้ไม่แตกต่างกัน

เนื่องจากปัจจัยร่วมของปริมาณการแทนที่แป้งสาลีอเนกประสงค์ด้วยแป้งถั่วดาวอินคา RSF และปริมาณ HPMC ไม่มีผลต่อค่า Gumminess ของวอฟเฟิล รวมทั้งปัจจัยหลักด้านปริมาณ HPMC ไม่มีผลต่อค่า Gumminess ของวอฟเฟิลเช่นกัน ($p\geq0.05$) มีเพียงปัจจัยหลักด้านปริมาณการแทนที่แป้งสาลีอเนกประสงค์ด้วยแป้งถั่วดาวอินคา RSF ที่มีผลต่อค่า Gumminess ของวอฟเฟิล ($p<0.05$) จากตารางที่ 4-22 พบว่า เมื่อแปรปริมาณแป้งถั่วดาวอินคา RSF เพิ่มขึ้น มีผลให้ค่า Gumminess ของวอฟเฟิลเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) โดยวอฟเฟิลที่ใช้แป้งถั่วดาวอินคา RSF แทนที่แป้งสาลีอเนกประสงค์ 25% มีค่า Gumminess เท่ากับ 13.20 Kg force น้อยกว่าวอฟเฟิลที่ใช้แป้งถั่วดาวอินคา RSF แทนที่แป้งสาลีอเนกประสงค์ 50% ที่มีค่า Gumminess เท่ากับ 14.42 Kg force และเนื่องจากค่า Gumminess เป็นผลคูณของค่า Hardness และ Cohesiveness จากผลการทดลองที่พบว่า ค่า Hardness มีแนวโน้มมากขึ้นเมื่อใช้แป้งถั่วดาวอินคา RSF เพิ่มขึ้น แต่ค่า Cohesiveness ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\geq005$) จึงแสดงให้เห็นว่าค่า Cohesiveness มีแนวโน้มสอดคล้องและเป็นผลจากค่า Hardness นั่นเอง จึงแสดงให้เห็นว่าเมื่อวอฟเฟิลแข็งขึ้นจึงต้องใช้พลังงานการเคี้ยวมากที่จะทำอาหารกึ่งแข็งให้แยกตัวจากกันถึงขั้นพร้อมที่จะกลืนได้มากขึ้นนั่นเอง จิตนา อุปดิสสกุล (2540) ได้อธิบายพารามิเตอร์ค่า Gumminess และค่า Chewiness ไว้ว่า เป็นพลังงานที่ใช้ในการเคี้ยวอาหารให้แยกตัวออกจากกันถึงขั้นพร้อมที่จะกลืน แต่ค่า Gumminess เหมาะสมกับกรณีพิจารณาลักษณะเนื้อสัมผัสของอาหารกึ่งแข็ง ได้จากผลคูณของค่า Hardness กับค่า Cohesiveness ดังนั้นกรณีของวอฟเฟิลที่อาจมีโครงสร้างของอาหารใกล้เคียงกับอาหารกึ่งแข็งมากกว่า การพิจารณาลักษณะเนื้อสัมผัสด้วยค่า Gumminess จึงน่าจะมีความเหมาะสมมากกว่า

ตารางที่ 4-22 ลักษณะเนื้อสัมผัสด้านค่า Gumminess ของวอฟเฟิลที่ได้จากการแปรปริมาณแป้งถั่วดาวอินคาที่ผ่านการให้ความร้อนด้วยการอบ (RSF) แทนที่แป้งสาลีอเนกประสงค์และปริมาณไฮดรอกซีโพรพิลเมทิลเซลลูโลส (HPMC) ระดับต่างๆ

ปริมาณแป้งถั่วดาวอินคา RSF (%)	ปริมาณ HPMC (% โดยน้ำหนักแป้ง)	ค่า Gumminess เฉลี่ย±ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน* (Kg force)	
25	0	13.24±1.22	13.20±0.54[a]
	0.5	12.77±0.64	
	1.0	13.43±0.38	
50	0	16.19±0.61	14.42±0.91[b]
	0.5	15.09±0.14	
	1.0	14.81±0.87	

[a, b] หมายถึง ค่าเฉลี่ยในแนวตั้ง (เมื่อใช้แป้งถั่วดาวอินคา RSF แทนที่แป้งสาลีอเนกประสงค์ปริมาณแตกต่างกัน) มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

อย่างไรก็ตามพบข้อสังเกตว่า พารามิเตอร์จากการวัดลักษณะเนื้อสัมผัสทุกคน ได้แก่ ค่า Hardness ค่า Springiness ค่า Cohesiveness ค่า Chewiness และค่า Gumminess ของวอฟเฟิลที่ใช้แป้งถั่วดาวอินคา RSF มีค่าต่ำกว่าเมื่อใช้แป้งถั่วดาวอินคา SF ที่ปริมาณเท่ากัน แสดงให้เห็นว่าวอฟเฟิลที่ได้จากการใช้แป้งถั่วดาวอินคา RSF มีลักษณะแข็งและมีความยืดหยุ่นน้อยกว่า จึงมีลักษณะการยึดเกาะกันน้อย และใช้แรงในการเคี้ยวให้แยกตัวออกจากกันน้อยกว่า ทั้งนี้เป็นผลมาจากแป้งถั่วดาวอินคา RSF มีสมบัติเชิงหน้าที่เปลี่ยนแปลงไปจากแป้งถั่วดาวอินคา SF โดยมีแนวโน้มด้านความสามารถในการดูดซับน้ำ ความสามารถในการดูดซับน้ำมัน ความสามารถในการเกิดอิมัลชัน ความคงตัวของอิมัลชัน และความสามารถในการพองตัวต่ำลง ในขณะที่มีความสามารถในการเกิดโฟมมากขึ้น โดยภาพรวมจึงส่งผลต่อเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์วอฟเฟิลที่ได้

4) คะแนนความชอบทางประสาทสัมผัส

ตารางที่ 4-23 แสดงคะแนนความชอบทางประสาทสัมผัสด้านลักษณะปรากฏ กลิ่น กลิ่นรส เนื้อสัมผัส และความชอบโดยรวม ของวอฟเฟิลที่ใช้แป้งถั่วดาวอินคา RSF แทนที่แป้งสาลีอเนกประสงค์และปริมาณ HPMC ระดับต่างๆ ที่พบว่า มีผลให้คะแนนความชอบด้านกลิ่น กลิ่นรส เนื้อสัมผัส และความชอบโดยรวม แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) โดยพบแนวโน้มว่าเมื่อใช้แป้งถั่วดาวอินคา RSF แทนที่แป้งสาลีอเนกประสงค์เพิ่มขึ้น ทำให้วอฟเฟิลมีคะแนนความชอบด้านกลิ่นลดลง กล่าวคือ วอฟเฟิลที่ใช้แป้งถั่วดาวอินคา RSF แทนที่แป้งสาลีอเนกประสงค์ 25% ได้รับคะแนนความชอบด้านกลิ่นอยู่ในช่วง 5.27-6.13 คะแนน และวอฟเฟิลที่แปรปริมาณแป้งถั่วดาวอินคาแทนที่แป้งสาลีอเนกประสงค์ 50% ได้รับคะแนนความชอบด้านกลิ่นอยู่ในช่วง 5.00-5.33 คะแนน อาจเนื่องจากแป้งถั่วดาวอินคา RSF ยังคงมีกลิ่นถั่วหลงเหลืออยู่บางส่วน เมื่อเติมในปริมาณมากอาจส่งผลให้ผู้ทดสอบได้รับกลิ่นถั่วเข้มมากขึ้น คะแนนความชอบด้านกลิ่นจึงมีแนวโน้มลดลง อย่างไรก็ตามแสดงแนวโน้มให้เห็นว่าการใช้แป้งถั่วดาวอินคา RSF ซึ่งผ่านการอบเพื่อลดกลิ่นถั่วลงแล้ว ทำให้

ได้วอฟเฟิลที่ได้รับคะแนนความชอบด้านกลิ่นมากกว่าการใช้แป้งถั่วดาวอินคา SF (คะแนน 3.40-4.96) ซึ่งอยู่ในระดับไม่ชอบ ในส่วนของคะแนนความชอบด้านกลิ่นรส ผู้ทดสอบให้คะแนนเป็นไปในทางเดียวกับคะแนนความชอบด้านกลิ่น คือ วอฟเฟิลที่ใช้แป้งถั่วดาวอินคา RSF แทนที่แป้งสาลีอเนกประสงค์ 25% ได้รับคะแนนความชอบด้านกลิ่นรสอยู่ในช่วง 6.10-6.60 คะแนน และวอฟเฟิลที่ใช้แป้งถั่วดาวอินคา RSF แทนที่แป้งสาลีอเนกประสงค์ 50% ได้รับคะแนนความชอบด้านกลิ่นรสอยู่ในช่วง 5.20-6.00 คะแนน ซึ่งลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) เมื่อพิจารณาความชอบด้านกลิ่นและกลิ่นรส พบว่า ทุกสิ่งทดลองมีแนวโน้มได้รับคะแนนความชอบมากกว่า 5.00 คะแนน แสดงให้เห็นว่าการนำแป้งถั่วดาวอินคาไปลดกลิ่นถั่วโดยการอบจนได้แป้งถั่วดาวอินคา RSF แล้วนำมาเติมเป็นส่วนผสมในวอฟเฟิล ทำให้ผู้ทดสอบยอมรับและชอบในกลิ่นและกลิ่นรสมากกว่าการใช้แป้งถั่วดาวอินคา SF คะแนนความชอบด้านเนื้อสัมผัส พบว่า วอฟเฟิลที่ใช้แป้งถั่วดาวอินคา RSF แทนที่แป้งสาลีอเนกประสงค์ 25% และปริมาณ HPMC 1.0% โดยน้ำหนักแป้ง และวอฟเฟิลใช้แป้งถั่วดาวอินคา RSF แทนที่แป้งสาลีอเนกประสงค์ 50% และปริมาณ HPMC 0.5% โดยน้ำหนักแป้ง ได้รับคะแนนความชอบด้านเนื้อสัมผัสมากที่สุดคือ 6.33 และ 6.23 คะแนน ตามลำดับ ($p<0.05$) อาจเนื่องมาจากวอฟเฟิลสูตรดังกล่าวมีเนื้อสัมผัสไม่แน่นแข็งจนเกินไป ซึ่งสอดคล้องกับค่า Hardness ที่พบว่า วอฟเฟิลที่ใช้แป้งถั่วดาวอินคา RSF แทนที่แป้งสาลีอเนกประสงค์ 25% และปริมาณ HPMC 1.0% โดยน้ำหนักแป้ง มีค่า Hardness ต่ำที่สุด

สำหรับด้านความชอบโดยรวม พบว่า วอฟเฟิลที่ใช้แป้งถั่วดาวอินคา RSF ทุกสิ่งทดลองได้รับคะแนนความชอบโดยรวมอยู่ในช่วง 5.63-6.33 คะแนน แสดงถึงความชอบระดับชอบเล็กน้อย ซึ่งมีแนวโน้มได้รับคะแนนความชอบโดยรวมมากกว่าวอฟเฟิลที่ใช้แป้งถั่วดาวอินคา SF ทั้งนี้วอฟเฟิลที่ใช้แป้งถั่วดาวอินคา RSF แทนที่แป้งสาลีอเนกประสงค์ 25% และปริมาณ HPMC 1.0% และวอฟเฟิลใช้แป้งถั่วดาวอินคา RSF แทนที่แป้งสาลีอเนกประสงค์ 50% และปริมาณ HPMC 0.5% ได้รับคะแนนความชอบโดยรวมมากที่สุด (6.33 และ 6.27 คะแนน ตามลำดับ) อาจเนื่องมากจากวอฟเฟิลทั้ง 2 สูตร ได้รับคะแนนความชอบด้านเนื้อสัมผัสไม่แตกต่างกัน ($p\geq0.05$) ซึ่งความชอบด้านเนื้อสัมผัสอาจเป็นสิ่งที่ผู้ทดสอบให้ความสำคัญเป็นอันดับต้นๆ ในการพิจารณาความชอบโดยรวมของผลิตภัณฑ์วอฟเฟิล ดังนั้นการที่วอฟเฟิลที่ใช้แป้งถั่วดาวอินคา RSF แทนที่แป้งสาลีอเนกประสงค์ 25% และปริมาณ HPMC 1.0% และวอฟเฟิลใช้แป้งถั่วดาวอินคา RSF แทนที่แป้งสาลีอเนกประสงค์ 50% และปริมาณ HPMC 0.5% ได้รับคะแนนความชอบด้านเนื้อสัมผัสมาก จึงอาจเป็นผลให้ได้รับคะแนนความชอบโดยรวมมากเช่นกัน ปัจจัยร่วมของปริมาณการแทนที่แป้งสาลีอเนกประสงค์ด้วยแป้งถั่วดาวอินคา RSF และปริมาณ HPMC รวมทั้งปัจจัยหลักด้านปริมาณ HPMC ไม่มีผลต่อคะแนนความชอบด้านสี ($p\geq0.05$) มีเพียงปัจจัยหลักด้านปริมาณแป้งถั่วดาวอินคา RSF ที่มีผลต่อค่าคะแนนความชอบด้านสี ($p<0.05$)

ตารางที่ 4-23 คะแนนความชอบทางประสาทสัมผัสของวอฟเฟิลที่ได้จากการแปรปริมาณแป้งถั่วดาวอินคาที่ผ่านการให้ความร้อนด้วยการอบ (RSF) แทนที่แป้งสาลีอเนกประสงค์และปริมาณไฮดรอกซีโพรพิลเมทิลเซลลูโลส (HPMC) ระดับต่างๆ

ปริมาณแป้งถั่วดาวอินคา RSF (%)	ปริมาณ HPMC (% โดยน้ำหนักแป้ง)	คะแนนความชอบเฉลี่ย±ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน				
		ลักษณะปรากฏ^{ns}	กลิ่น	กลิ่นรส	เนื้อสัมผัส	ความชอบโดยรวม
25	0	6.03±1.19	5.27±0.87^{a}	6.10±0.99^{b}	5.53±0.93^{a}	6.17±0.95^{b}
25	0.5	6.23±1.50	6.00±0.68^{b}	6.33±0.76^{bc}	5.67±1.27^{a}	6.00±1.08^{ab}
25	1.0	6.70±1.02	6.13±0.78^{b}	6.60±0.77^{c}	6.33±0.96^{b}	6.33±0.88^{b}
50	0	6.43±1.22	5.00±0.95^{a}	5.20±0.77^{a}	5.20±0.76^{a}	5.63±0.89^{a}
50	0.5	6.63±1.27	5.33±0.93^{a}	6.00±0.87^{b}	6.23±0.97^{b}	6.27±0.98^{b}
50	1.0	6.50±1.25	5.00±0.87^{a}	5.40±0.81^{a}	5.57±0.73^{a}	5.93±0.94^{ab}

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

^{ns} หมายถึง ค่าเฉลี่ยในแนวตั้งไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\geq0.05$)

ตารางที่ 4-24 คะแนนความชอบทางประสาทสัมผัสของวอฟเฟิลด้านความชอบด้านสีที่ได้จากการแปรปริมาณแป้งถั่วดาวอินคาที่ผ่านการให้ความร้อนด้วยการอบ (RSF) แทนที่แป้งสาลีอเนกประสงค์และปริมาณไฮดรอกซีโพรพิลเมทิลเซลลูโลส (HPMC) ระดับต่างๆ

ปริมาณแป้งถั่วดาวอินคา RSF (%)	ปริมาณ HPMC (% โดยน้ำหนักแป้ง)	คะแนนความชอบสีเฉลี่ย±ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน	
25	0	6.33±0.92	6.29±0.86[a]
	0.5	6.26±0.78	
	1.0	6.27±0.91	
50	0	5.33±0.80	5.49±0.86[b]
	0.5	5.53±0.81	
	1.0	5.69±0.97	

[a, b] หมายถึง ค่าเฉลี่ยในแนวตั้ง (เมื่อใช้แป้งถั่วดาวอินคา RSF แทนที่แป้งสาลีอเนกประสงค์ปริมาณแตกต่างกัน) มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

การคัดเลือกสิ่งทดลองที่เหมาะสม

เมื่อพิจารณาตามเกณฑ์ที่กำหนดไว้ คือ เลือกสิ่งทดลองที่ได้รับคะแนนความชอบทางประสาทสัมผัสด้านความชอบโดยรวมสูงที่สุด และมีการใช้แป้งถั่วดาวอินคาปริมาณมากที่สุด โดยพิจารณาร่วมกับคุณภาพอื่น จากผลการทดลองพบว่า วอฟเฟิลที่ใช้แป้งถั่วดาวอินคา RSF แทนที่แป้งสาลีอเนกประสงค์ 25% และใช้ HPMC 1.0% โดยน้ำหนักแป้ง และวอฟเฟิลที่ใช้แป้งถั่วดาวอินคา RSF แทนที่แป้งสาลีอเนกประสงค์ 50% และใช้ HPMC 0.5% โดยน้ำหนักแป้ง ได้รับคะแนนความชอบโดยรวมสูงที่สุด ($p<0.05$) รวมถึงทั้งสอง 2 สิ่งทดลองนี้ ได้รับคะแนนความชอบด้านเนื้อสัมผัสสูงที่สุดและไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\geq0.05$) ดังนั้น จากเกณฑ์ที่กำหนดไว้ คือ เลือกสิ่งทดลองที่มีการใช้แป้งถั่วดาวอินคาปริมาณมากที่สุด วอฟเฟิลที่ใช้แป้งถั่วดาวอินคา RSF แทนที่แป้งสาลีอเนกประสงค์ 50% และใช้ HPMC 0.5% โดยน้ำหนักแป้ง จึงมีความเหมาะสมที่สุดในการนำไปศึกษาต่อในตอนต่อไป

3) การใช้แป้งถั่วดาวอินคาที่ผ่านการให้ความร้อนด้วยการนึ่งด้วยไอน้ำ (SSF)

ผลการวิเคราะห์ ANOVA พบว่า อิทธิพลร่วมระหว่างปริมาณการแทนที่แป้งสาลีอเนกประสงค์ด้วยแป้งถั่วดาวอินคา SSF และปริมาณ HPMC มีผลต่อความหนืดของแบตเตอร์ ค่า Hardness ค่า Springiness ค่า Gumminess ค่า Chewiness คะแนนความชอบด้านสี กลิ่น กลิ่นรส

เนื้อสัมผัส และความชอบโดยรวม ($p<0.05$) อิทธิพลของปัจจัยหลักด้านปริมาณการแทนที่แป้งสาลีอเนกประสงค์ด้วยแป้งถั่วดาวอินคา SSF มีผลต่อค่าสี L* ค่าสี a* และค่าสี b* ($p<0.05$) และพบว่าไม่มีอิทธิพลของปัจจัยใดมีผลต่อค่า Cohesiveness และคะแนนความชอบด้านลักษณะปรากฏ แสดงผลสรุปการวิเคราะห์ ANOVA ดังตารางที่ 4-25

ตารางที่ 4-25 สรุปผลจากการวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) ของสิ่งทดลองที่แปรปัจจัยด้านปริมาณการแทนที่แป้งสาลีอเนกประสงค์ด้วยแป้งถั่วดาวอินคาที่ผ่านการให้ความร้อนด้วยการนึ่งด้วยไอน้ำ (SSF) และปริมาณไฮดรอกซีโพรพิลเมทิลเซลลูโลส (HPMC) ต่อค่าคุณภาพของวอฟเฟิล

ค่าคุณภาพ	SSF	HPMC	SSF x HPMC
ค่า L*	*	ns	ns
ค่า a*	*	ns	ns
ค่า b*	*	ns	ns
ความหนืด	ns	ns	*
ค่า Hardness	*	ns	*
ค่า Springiness	*	*	*
ค่า Cohesiveness	ns	ns	ns
ค่า Gumminess	*	ns	*
ค่า Chewiness	*	ns	*
ความชอบด้านลักษณะปรากฏ	ns	ns	ns
ความชอบด้านสี	*	ns	*
ความชอบด้านกลิ่น	*	ns	*
ความชอบด้านกลิ่นรส	*	*	*
ความชอบด้านเนื้อสัมผัส	*	*	*
ความชอบโดยรวม	*	*	*

หมายเหตุ * หมายถึง มีอิทธิพลต่อค่าคุณภาพอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)
ns หมายถึง ไม่มีอิทธิพลต่อค่าคุณภาพอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\geq0.05$)

3.1) ค่าสี L* a* และ b*

แนวโน้มค่าสี L* ค่าสี a* และค่าสี b* คล้ายกรณีการใช้แป้งถั่วดาวอินคา SF และแป้งถั่วดาวอินคา RSF กล่าวคือ ปัจจัยร่วมของปริมาณการแทนที่แป้งสาลีอเนกประสงค์ด้วยแป้งถั่วดาวอินคา SSF และปริมาณ HPMC ไม่มีผลต่อค่าสี L* ค่าสี a* และค่าสี b* ของวอฟเฟิล รวมทั้งปัจจัยหลักด้านปริมาณ HPMC ไม่มีผลต่อค่าสี L* ค่าสี a* และค่าสี b* ของวอฟเฟิลเช่นกัน ($p\geq0.05$) มีเพียงปัจจัย

หลักด้านปริมาณการแทนที่แป้งสาลีอเนกประสงค์ด้วยแป้งถั่วดาวอินคา SSF ที่มีผลต่อค่าสี L* ค่าสี a* และค่าสี b* ของวอฟเฟิล จากตารางที่ 4-26 พบว่า เมื่อปริมาณแป้งถั่วดาวอินคา SSF เพิ่มขึ้น มีผลทำให้วอฟเฟิลมีค่าสี L* ลดลง และค่าสี a* และค่าสี b* เพิ่มขึ้น อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) โดยพบว่า เมื่อปริมาณการแทนที่แป้งสาลีอเนกประสงค์ด้วยแป้งถั่วดาวอินคา SSF เพิ่มขึ้นจาก 25% เป็น 50% มีผลให้ค่าสี L* ของวอฟเฟิลลงลงจาก 62.00 เป็น 59.8 และทำให้ค่าสี a* และค่าสี b* ของวอฟเฟิลเพิ่มขึ้นจาก 7.37 เป็น 8.62 และ 29.65 เป็น 31.65 ตามลำดับ แสดงให้เห็นแนวโน้มว่า การแทนที่แป้งสาลีอเนกประสงค์ด้วยแป้งถั่วดาวอินคา SSF เพิ่มขึ้น ทำให้วอฟเฟิลมีสีคล้ำและเข้มขึ้น เช่นเดียวกับเมื่อใช้แป้งถั่วดาวอินคา SF และ RSF โดยมีสาเหตุจากแป้งถั่วดาวอินคา SSF มีสีคล้ำกว่าแป้งสาลีอเนกประสงค์ รวมถึงแป้งถั่วดาวอินคา SSF มีปริมาณโปรตีนสูงจึงมีโอกาสเกิดปฏิกิริยาเมลลาร์ดได้มาก

อย่างไรก็ตามพบข้อสังเกตว่า สีของวอฟเฟิลที่ใช้แป้งถั่วดาวอินคา SSF ใกล้เคียงกับเมื่อใช้แป้งถั่วดาวอินคา SF ที่ใช้ในปริมาณเท่ากัน โดยมีสีคล้ำน้อยกว่าเมื่อใช้แป้งถั่วดาวอินคา RSF กล่าวคือ เมื่อใช้แป้งถั่วดาวอินคา SSF วอฟเฟิลมีค่าสี L* อยู่ในช่วง 59.25 – 62.31 ค่าสี a* อยู่ในช่วง 6.73 – 8.83 และค่าสี b* อยู่ในช่วง 29.33 – 31.67 สำหรับเมื่อใช้แป้งถั่วดาวอินคา SF วอฟเฟิลมีค่าสี L* อยู่ในช่วง L* อยู่ในช่วง 58.63 – 61.06 ค่าสี a* อยู่ในช่วง 7.28 – 8.23 และค่าสี b* อยู่ในช่วง 29.10 – 30.93 ทั้งนี้สอดคล้องกับแนวโมค่าสีของแป้งถั่วดาวอินคา ที่พบว่า แป้งถั่วดาวอินคา SSF มีค่าสีแตกต่างจากแป้งถั่วดาวอินคา SF (ΔE เท่ากับ 6.18) น้อยกว่าแป้งถั่วดาวอินคา RSF (ΔE เท่ากับ 10.99)

3.2) ความหนืดของแบตเตอร์

จากตารางที่ 4-27 พบว่า ปริมาณการแทนที่แป้งสาลีอเนกประสงค์ด้วยแป้งถั่วดาวอินคา SSF และปริมาณ HPMC มีผลให้ความหนืดของแบตเตอร์แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) กล่าวคือ สูตรของวอฟเฟิลที่ใช้แป้งถั่วดาวอินคา SSF แทนที่แป้งสาลีอเนกประสงค์ 50% และใช้ HPMC 1.0% โดยน้ำหนักแป้ง มีความหนืดของแบตเตอร์มากที่สุด คือ 0.76 cm/min ($p<0.05$) ซึ่งให้แนวโน้มคล้ายกรณีการใช้แป้งถั่วดาวอินคา SF และ RSF อาจเนื่องมาจากแป้งถั่วดาวอินคา SSF เป็นแป้งที่ผ่านการให้ความร้อนด้วยการนึ่ง ซึ่งมีโอกาสเกิดเจลาทิไนซ์แล้วบางส่วน (Pre-gelatinization) จึงมีโอกาสให้เม็ดแป้งสามารถดูดซับน้ำพองตัวและให้ความหนืดได้ง่ายขึ้น รวมทั้งแป้งถั่วดาวอินคา SSF มีปริมาณเส้นใยอาหารเป็นองค์ประกอบ (17.65% dry basis) สูงกว่าปริมาณใยอาหารของแป้งสาลี (10.9% dry basis ตามที่ Gebhardt and Thomas (n.d.) รายงานไว้) แป้งถั่วดาวอินคา SSF มีความสามารถในการดูดซับน้ำ (1.31 g/g flour) และมีโปรตีนที่เป็นองค์ประกอบหลัก จึงสามารถเกิดเจลและก่อให้เกิดความหนืดได้ และเป็นผลจากการทำหน้าที่เป็นไฮโดรคอลลอยด์ที่ช่วยเพิ่มความหนืดได้ของ HPMC นั่นเอง ตามรายละเอียดที่ได้อธิบายไว้ในกรณีการใช้แป้งถั่วดาวอินคา SF

ตารางที่ 4-26 ค่าสีของวอฟเฟิลที่ได้จากการแปรปริมาณแป้งถั่วดาวอินคาที่ผ่านการให้ความร้อนด้วยการนึ่งด้วยไอน้ำ (SSF) แทนที่แป้งสาลีอเนกประสงค์และปริมาณไฮดรอกซีโพรพิลเมทิลเซลลูโลส (HPMC) ระดับต่างๆ

ปริมาณแป้งถั่วดาวอินคา SSF (%)	ปริมาณ HPMC (% โดยน้ำหนักแป้ง)	ค่าเฉลี่ย±ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน					
		L*		a*		b*	
25	0	61.68±0.90	62.00±0.60[b]	7.62±0.26	7.37±0.67[a]	29.68±0.42	29.65±0.73[b]
	0.5	62.01±0.46		7.76±0.88		29.95±0.78	
	1.0	62.31±0.39		6.73±0.10		29.33±1.02	
50	0	59.28±0.91	59.82±0.81[a]	8.70±0.36	8.62±0.49[b]	32.09±0.84	31.65±0.77[a]
	0.5	59.59±0.47		8.83±0.05		31.18±0.90	
	1.0	60.58±0.46		8.33±0.78		31.67±0.47	

[a, b] หมายถึง ค่าเฉลี่ยในแนวตั้ง (เมื่อใช้แป้งถั่วดาวอินคา SSF แทนที่แป้งสาลีอเนกประสงค์ปริมาณแตกต่างกัน) มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

3.3) ลักษณะเนื้อสัมผัส

จากตารางที่ 4-27 พบว่า ค่า Hardness ค่า Springiness ค่า Gumminess และค่า Chewiness ของวอฟเฟิลที่แปรปริมาณการแทนที่แป้งสาลีอเนกประสงค์ด้วยแป้งถั่วดาวอินคา SSF และปริมาณ HPMC ระดับต่างๆ มีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) ในขณะที่ค่า Cohesiveness ของวอฟเฟิลไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\geq0.05$) โดยมีค่าอยู่ในช่วง 0.61-0.64 แสดงให้เห็นว่าวอฟเฟิลทุกสูตรมีลักษณะเนื้อสัมผัสด้านการยึดเกาะกันไม่แตกต่างกัน

สำหรับค่า Hardness พบแนวโน้มคล้ายกับกรณีการใช้แป้งถั่วดาวอินคา SF และ RSF คือ วอฟเฟิลที่ใช้แป้งถั่วดาวอินคา SSF แทนที่แป้งสาลีอเนกประสงค์ 50% มีค่า Hardness (22.21-24.71 Kg force) มากกว่าวอฟเฟิลที่แปรปริมาณแป้งถั่วดาวอินคา SSF แทนที่แป้งสาลีอเนกประสงค์ 25% (20.72-21.02 Kg force) และพบว่า วอฟเฟิลที่ใช้แป้งถั่วดาวอินคา SSF แทนที่แป้งสาลีอเนกประสงค์ 50% และไม่ใช้ HPMC มีค่า Hardness มากที่สุดคือ 24.71 Kg force ($p<0.05$) ทั้งนี้เป็นผลมาจากการใช้แป้งถั่วดาวอินคา SSF แทนที่แป้งสาลีอเนกประสงค์มาก เป็นการลดการเกิดโครงร่างกลูเตนที่มีลักษณะเหนียว ยืดหยุ่นและกักเก็บก๊าซ รวมถึงโปรตีนในแป้งถั่วดาวอินคา SSF สามารถแย่งจับน้ำในบางส่วนผสมไปได้มากขึ้น จึงมีแนวโน้มทำให้วอฟเฟิลมีโครงสร้างแน่นแข็งมากขึ้น

สำหรับค่า Springiness พบว่า วอฟเฟิลที่ใช้แป้งถั่วดาวอินคา SSF แทนที่แป้งสาลีอเนกประสงค์ 50% และใช้ HPMC 1.0% โดยน้ำหนักแป้ง มีค่า Springiness มากที่สุด คือ 0.67 ($p<0.05$) และวอฟเฟิลที่ใช้แป้งถั่วดาวอินคา SSF แทนที่แป้งสาลีอเนกประสงค์ 25% และไม่ใช้ HPMC มีค่า Springiness น้อยที่สุด คือ 0.54 ($p<0.05$) ในขณะที่สิ่งทดลองอื่นมีค่า Springiness อยู่ในช่วง 0.60 -0.62 ซึ่งไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\geq0.05$) แสดงให้เห็นว่า การใช้แป้งถั่วดาวอินคา SSF มากขึ้น มีผลให้วอฟเฟิลมีความยืดหยุ่นหรือการคืนกลับสู่สภาพเดิมหลังการกดน้อยลง อาจเป็นผลมาจากการเกิดโครงสร้างกลูเตนได้น้อยลง เมื่อใช้แป้งถั่วดาวอินคา SSF แทนที่แป้งสาลีอเนกประสงค์มากขึ้นนั่นเอง โดยหากมีการเติม HPMC เพิ่มขึ้นในปริมาณที่มากเพียงพอจะช่วยให้วอฟเฟิลเกิดความยืดหยุ่นมากขึ้นได้

วอฟเฟิลใช้แป้งถั่วดาวอินคา SSF แทนที่แป้งสาลีอเนกประสงค์ 50% และไม่ใช้ HPMC มีค่า Gumminess และค่า Chewiness มากที่สุดเช่นกัน (15.43 และ 9.47 Kg force ตามลำดับ) ($p<0.05$) ซึ่งพบว่าสอดคล้องกับค่า Hardness ทั้งค่า Gumminess และค่า Chewiness และค่า Hardness เป็นพารามิเตอร์ลักษณะเนื้อสัมผัสที่เกี่ยวข้องกับแรงที่ใช้กดทำลายตัวอย่าง การที่มีค่าดังกล่าวมากขึ้นแสดงให้เห็นว่าวอฟเฟิลมีโครงสร้างแข็งแรงขึ้น สอดคล้องกับผลงานวิจัยของโชติรส ประเสริฐกิตติกุล และชุติกาญน์ จิรตระกูลพรม (2557) ที่ศึกษาการผลิตส่วนเหลือทิ้งเห็ดนางผงซึ่งมีปริมาณโปรตีนสูงกว่าแป้งสาลี และนำมาใช้แทนที่แป้งสาลีในสูตรมัฟฟิน พบว่า แนวโน้มการเปลี่ยนแปลงค่า Hardness ของมัฟฟิน รวมถึงค่า Gumminess และค่า Chewiness มีแนวโน้มไปในทางเดียวกัน หากมัฟฟินมีความแข็งมากขึ้น ค่า Hardness ค่า Gumminess และค่า Chewiness จะมีค่ามากขึ้นด้วย

ตารางที่ 4-27 ความหนืดของแบตเตอร์และลักษณะเนื้อสัมผัสด้านค่า Hardness ค่า Springiness ค่า Cohesiveness ค่า Gumminess และค่า Chewiness ของวอฟฟเฟิลที่ได้จากการแปรปริมาณแป้งถั่วดาวอินคาที่ไม่ผ่านการให้ความร้อน (SSF) แทนที่แป้งสาลีอเนกประสงค์และปริมาณไฮดรอกซีโพรพิลเมทิลเซลลูโลส (HPMC) ระดับต่างๆ

ปริมาณแป้งถั่วดาวอินคา SSF (%)	ปริมาณ HPMC (% โดยน้ำหนักแป้ง)	ค่าเฉลี่ย±ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน					
		ความหนืด (cm/min)	Hardness (Kg force)	Springiness	Cohesiveness^{ns}	Gumminess (Kg force)	Chewiness (Kg force)
25	0	2.53±0.06^{f}	21.02±0.91^{a}	0.54±0.02^{a}	0.62±0.01	13.11±0.55^{a}	7.02±0.22^{a}
25	0.5	2.25±0.10^{e}	20.72±0.65^{a}	0.60±0.01^{b}	0.62±0.02	13.61±0.32^{ab}	8.12±0.54^{bcd}
25	1.0	1.32±0.06^{b}	20.90±0.81^{a}	0.62±0.03^{b}	0.63±0.01	12.88±0.60^{a}	8.21±0.28^{b}
50	0	2.15±0.05^{e}	24.71±0.47^{c}	0.62±0.01^{b}	0.63±0.10	15.43±0.45^{c}	9.47±0.38^{d}
50	0.5	1.68±0.16^{c}	22.87±0.36^{b}	0.62±0.02^{b}	0.64±0.02	14.21±0.68^{b}	8.35±0.53^{bc}
50	1.0	0.76±0.05^{a}	22.21±0.16^{b}	0.67±0.02^{c}	0.61±0.01	13.61±0.19^{ab}	9.09±0.36^{cd}

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

^{ns} หมายถึง ค่าเฉลี่ยในแนวตั้งไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\geq0.05$)

3.4) ความชอบทางประสาทสัมผัส

ตารางที่ 4-28 แสดงคะแนนความชอบทางประสาทสัมผัสด้านลักษณะปรากฏ กลิ่น เนื้อสัมผัส และความชอบโดยรวมของวอฟเฟิลที่แปรปริมาณแป้งถั่วดาวอินคา SSF แทนที่แป้งสาลีอเนกประสงค์และปริมาณ HPMC ระดับต่างๆ ที่พบว่า คะแนนความชอบทางประสาทสัมผัสด้านลักษณะปรากฏ พบว่า มีค่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \geq 0.05$) โดยได้รับคะแนนอยู่ในระดับชอบเล็กน้อยถึงชอบปานกลาง (6.47-6.80 คะแนน) สำหรับคะแนนความชอบด้านสี กลิ่น กลิ่นรส เนื้อสัมผัส และความชอบโดยรวมแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

สำหรับคะแนนความชอบด้านสี พบว่า วอฟเฟิลที่ใช้แป้งถั่วดาวอินคา SSF แทนที่แป้งสาลีอเนกประสงค์ 25% และใช้ HPMC 0.5% และ 1.0% โดยน้ำหนักแป้ง ได้รับคะแนนความชอบด้านสีมากที่สุด ($p<0.05$) (6.67 และ 6.97 ตามลำดับ) ทั้งนี้อาจเนื่องมาสิ่งทดลองดังกล่าวมีการใช้แป้งถั่วดาวอินคาปริมาณน้อย นอกจากนี้การใช้ HPMC ร่วมด้วยอาจมีผลต่อสีของวอฟเฟิล เนื่องจาก HPMC ประกอบด้วยหมู่ไฮดรอกซิล ซึ่งสามารถจับกับโมเลกุลของน้ำด้วยพันธะไฮโดรเจน จึงช่วยป้องกันการสูญเสียความชื้นออกจากผลิตภัณฑ์ในระหว่างการอบ (เฟื่องนภา ขันทะ, 2552) ดังนั้นวอฟเฟิลที่ได้จึงมีลักษณะชุ่ม อุ้มน้ำ และมีโอกาสเกิดลักษณะคล้ายเจลมากกว่า ผู้ทดสอบอาจเห็นว่าสีของวอฟเฟิลโดยเฉพาะส่วนเนื้อมีลักษณะสีเข้มน้อยกว่า จึงมีผลให้ผู้ทดสอบชอบสีของวอฟเฟิลทั้ง 2 สิ่งทดลองนี้มากที่สุด อย่างไรก็ตามพบข้อสังเกตว่าแนวโน้มความชอบด้านสีอาจไม่สอดคล้องกับแนวโน้มผลการวิเคราะห์ค่าสี L* ค่า a* และค่าสี b* ที่พบว่า ค่าสีแตกต่างกันตามปริมาณการใช้แป้งถั่วดาวอินคา SSF ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากการวิเคราะห์ค่าสี L* ค่า a* และค่าสี b* เป็นการวิเคราะห์ ด้วยเครื่องวัดค่าสี ซึ่งมีความแม่นยำมากกว่าการสังเกตด้วยสายตามนุษย์ ดังนั้น การใช้แป้งถั่วดาวอินคา SSF ที่มีสีคล้ำมากกว่าแป้งสาลีอเนกประสงค์ ในปริมาณมาก (50%) จึงทำให้สีของวอฟเฟิลที่วิเคราะห์ได้โดยเครื่องมีแสดงความแตกต่างของสี ว่ามีสีเข้มกว่าวอฟเฟิลที่ใช้แป้งถั่วดาวอินคา SSF ปริมาณน้อย (25%) นั่นเอง

สำหรับคะแนนความชอบด้านกลิ่นและด้านกลิ่นรสมีแนวโน้มคล้ายกัน โดยพบว่า วอฟเฟิลที่ใช้แป้งถั่วดาวอินคา SSF แทนที่แป้งสาลีอเนกประสงค์ 25% และใช้ HPMC 0.5% และ 1.0% โดยน้ำหนักแป้ง ได้รับคะแนนความชอบด้านกลิ่น (6.87 และ 6.90 คะแนน ตามลำดับ) และกลิ่นรส (6.90 และ 7.20 ตามลำดับ) มากที่สุด ($p<0.05$) แสดงให้เห็นว่าการใช้แป้งถั่วดาวอินคา SSF ร่วมกับ HPMC ทำให้ผู้ทดสอบยอมรับกลิ่นของวอฟเฟิลได้มากที่สุด อาจเนื่องมาจากแป้งถั่วดาวอินคาอาจมีกลิ่นที่เป็นลักษณะเฉพาะของแป้งถั่ว ที่ผู้บริโภคไม่คุ้นเคยนัก การใช้ในปริมาณน้อยย่อมมีกลิ่นดังกล่าวน้อยลง และการใช้ HPMC ร่วมด้วยมีผลต่อการเพิ่มความคงตัวของส่วนผสม สามารถเกิดลักษณะเจลที่โอบอุ้มส่วนผสมที่ให้กลิ่น และกลิ่นรส เช่น นมผง ไข่ผง ได้มากกว่า นอกจากนี้ HPMC เป็นไฮโดรคอลลอยด์ที่ไม่กลิ่นและรสชาติ ดังนั้นการใช้ HPMC จึงไม่ได้รบกวนกลิ่นและกลิ่นรสปกติของวอฟเฟิล และพบแนวโน้มว่า เมื่อใช้แป้งถั่วดาวอินคา SSF ปริมาณมากขึ้น ทำให้คะแนนความชอบด้านกลิ่นและด้านกลิ่นลดลง ($p<0.05$) ซึ่งเป็นผลจากกลิ่นที่เป็นลักษณะเฉพาะตัวของแป้งถั่วรวมถึงกลิ่นถั่วที่อาจหลงเหลืออยู่บ้างนั่นเอง อย่างไรก็ตามพบว่า วอฟเฟิลที่ใช้แป้งถั่วดาวอินคาSSF ได้รับคะแนนความชอบด้านกลิ่น (5.77-6.87 คะแนน) และคะแนนความชอบด้านกลิ่นรส (6.23-7.20

คะแนน) มากกว่าวอฟเฟิลที่ใช้แป้งถั่วดาวอินคา SF (3.40-4.96 และ 4.43-5.80 คะแนน ตามลำดับ) และวอฟเฟิลที่ใช้แป้งถั่วดาวอินคา RSF (5.27-6.13 และ 5.20-6.60 คะแนน ตามลำดับ)

สำหรับคะแนนความชอบด้านเนื้อสัมผัส พบว่า วอฟเฟิลที่ใช้แป้งถั่วดาวอินคา SSF แทนที่แป้งสาลีอเนกประสงค์ 25% และใช้ HPMC 1.0% ได้รับคะแนนความชอบด้านเนื้อสัมผัสมากที่สุดคือ 7.00 คะแนน ($p<0.05$) อาจเนื่องมาจากวอฟเฟิลสูตรดังกล่าวมีเนื้อสัมผัสไม่แน่นแข็งมากเกินไป สอดคล้องกับค่า Hardness (ตารางที่ 4-26) ที่พบว่า วอฟเฟิลที่ใช้แป้งถั่วดาวอินคา SSF แทนที่แป้งสาลีอเนกประสงค์ 25% และใช้ HPMC 1.0% มีค่า Hardness ต่ำที่สุด ($p<0.05$) ในขณะที่วอฟเฟิลที่ใช้แป้งถั่วดาวอินคา SSF แทนที่แป้งสาลีอเนกประสงค์ 50% และไม่ใช้ HPMC ได้รับคะแนนความชอบด้านเนื้อสัมผัสน้อยที่สุด (5.77 คะแนน) ทั้งนี้เนื่องจากการใช้แป้งถั่วดาวอินคา SSF แทนที่แป้งสาลีอเนกประสงค์ 50% ทำให้ปริมาณกลูเตนในแป้งสาลีลดลง และเมื่อไม่มีการเติม HPMC ช่วยในการปรับปรุงเนื้อสัมผัสให้ดีขึ้น จึงทำให้วอฟเฟิลที่ได้จึงมีเนื้อสัมผัสแข็งแน่นมากขึ้น ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าสามารถใช้แป้งถั่วดาวอินคาได้ถึง 50% เมื่อมีการใช้ HPMC ร่วมด้วย โดยได้รับคะแนนความชอบด้านเนื้อสัมผัสอยู่ในช่วง 6.17-6.33 คะแนน ซึ่งอยู่ในช่วงชอบเล็กน้อย

สำหรับคะแนนความชอบโดยรวม พบว่า วอฟเฟิลที่แทนที่แป้งสาลีอเนกประสงค์ด้วยแป้งถั่วดาวอินคา SSF และเติม HPMC ทุกสิ่งทดลองได้รับคะแนนความชอบระดับชอบเล็กน้อยถึงชอบปานกลาง ซึ่งมีแนวโน้มคะแนนมากกว่าวอฟเฟิลที่ใช้แป้งถั่วดาวอินคา SF และ RSF ทั้งนี้วอฟเฟิลที่ใช้แป้งถั่วดาวอินคา SSF แทนที่แป้งสาลีอเนกประสงค์ 25% และใช้ HPMC 1.0% วอฟเฟิลที่ใช้แป้งถั่วดาวอินคา SSF แทนที่แป้งสาลีอเนกประสงค์ 50% และใช้ HPMC 0.5% ได้รับคะแนนความชอบโดยรวมมากที่สุด (7.33 และ 7.23 คะแนน ตามลำดับ) อาจเนื่องมาจากทั้ง 2 สิ่งทดลอง มีลักษณะเนื้อสัมผัสไม่แน่นแข็งจนเกินไป ได้รับคะแนนความชอบด้านเนื้อสัมผัสมาก (6.33 และ7.00 คะแนน ตามลำดับ) โดยความชอบด้านเนื้อสัมผัสอาจเป็นสิ่งที่ผู้ทดสอบให้ความสำคัญเป็นอันดับต้นๆ ในการพิจารณาความชอบโดยรวมของผลิตภัณฑ์วอฟเฟิล

การคัดเลือกสิ่งทดลองที่เหมาะสม

เมื่อพิจารณาตามเกณฑ์ที่กำหนดไว้ คือ เลือกสิ่งทดลองที่ได้รับคะแนนความชอบทางประสาทสัมผัสด้านความชอบโดยรวมสูงที่สุด และมีการใช้แป้งถั่วดาวอินคาปริมาณมากที่สุด โดยพิจารณาร่วมกับคุณภาพอื่น จากผลการทดลองพบว่า วอฟเฟิลที่ใช้แป้งถั่วดาวอินคา SSF แทนที่แป้งสาลีอเนกประสงค์ 25% และใช้ HPMC 1.0% โดยน้ำหนักแป้ง และวอฟเฟิลที่ใช้แป้งถั่วดาวอินคา SSF แทนที่แป้งสาลีอเนกประสงค์ 50% และใช้ HPMC 0.5% โดยน้ำหนักแป้ง ได้รับคะแนนความชอบโดยรวมมากที่สุด ($p<0.05$) รวมถึงทั้ง 2 สิ่งทดลองนี้ ได้รับคะแนนความชอบโดยรวม (7.33 และ 7.23 คะแนน ตามลำดับ) อยู่ในระดับชอบปานกลาง ซึ่งสูงมากกว่าวอฟเฟิลที่ใช้แป้งถั่วดาวอินคา SF และแป้งถั่วดาวอินคา RSF อย่างไรก็ตาม จากเกณฑ์ที่กำหนดไว้ คือเลือกสิ่งทดลองที่มีการใช้แป้งถั่วดาวอินคาปริมาณมากที่สุด ดังนั้น วอฟเฟิลที่ใช้แป้งถั่วดาวอินคา SSF แทนที่แป้งสาลีอเนกประสงค์ 50% และใช้ HPMC 0.5% โดยน้ำหนักแป้ง จึงมีความเหมาะสมที่สุดในการนำไปศึกษาต่อในตอนต่อไป

ตารางที่ 4-28 คะแนนความชอบทางประสาทสัมผัสของวอฟเฟิลที่ได้จากการแปรปริมาณแป้งถั่วดาวอินคาที่ผ่านการให้ความร้อนด้วยการนึ่งด้วยไอน้ำ (SSF) แทนที่แป้งสาลีอเนกประสงค์และปริมาณไฮดรอกซีโพรพิลเมทิลเซลลูโลส (HPMC) ระดับต่างๆ

ปริมาณแป้งถั่วดาวอินคา SSF (%)	ปริมาณ HPMC (% โดยน้ำหนักแป้ง)	คะแนนความชอบเฉลี่ย±ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน					
		ลักษณะปรากฏ^{ns}	สี	กลิ่น	กลิ่นรส	เนื้อสัมผัส	ความชอบโดยรวม
25	0	6.80±1.16	6.20±0.66^{b}	5.77±0.50^{a}	6.53±0.57^{a}	6.03±0.61^{ab}	6.43±0.73^{ab}
25	0.5	6.63±0.96	6.67±0.71^{c}	6.87±0.82^{b}	6.90±0.80^{b}	6.67±0.48^{c}	7.00±0.69^{c}
25	1.0	6.57±1.14	6.97±0.76^{c}	6.67±0.96^{b}	7.20±0.41^{b}	7.00±0.83^{d}	7.33±0.55^{d}
50	0	6.47±1.25	5.80±0.88^{a}	5.80±0.81^{a}	6.23±0.57^{a}	5.77±0.57^{a}	6.27±045^{a}
50	0.5	6.77±0.90	6.23±0.63^{b}	6.20±0.89^{a}	6.43±0.57^{a}	6.33±0.48^{b}	7.23±0.57^{d}
50	1.0	6.57±1.07	5.93±0.78^{ab}	6.13±0.82^{a}	6.30±0.65^{a}	6.17±0.70^{b}	6.60±0.56^{b}

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

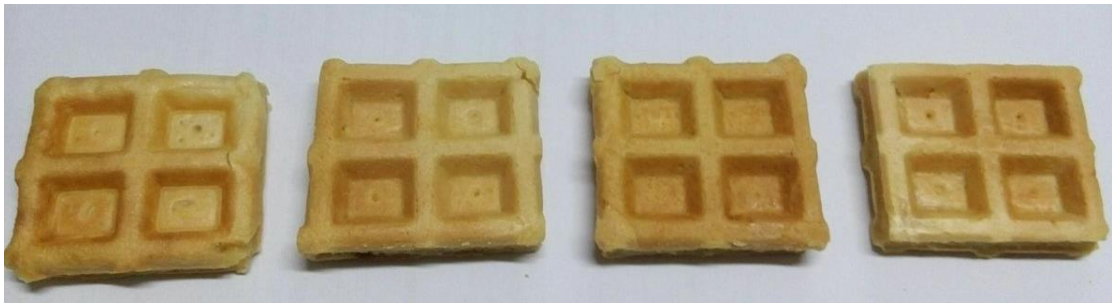
^{ns} หมายถึง ค่าเฉลี่ยในแนวตั้งไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\geq0.05$)

3.1.2 ผลการวิเคราะห์คุณภาพของวอฟเฟิลสูตรที่มีการใช้แป้งถั่วดาวอินคาเปรียบเทียบกับวอฟเฟิลสูตรพื้นฐาน

นำวอฟเฟิลที่ใช้แป้งถั่วดาวอินคาสูตรที่เหมาะสมที่เลือกได้จากข้อ 3.1.1 ทั้ง 3 ชนิด ได้แก่ การใช้แป้งถั่วดาวอินคาที่ไม่ผ่านการให้ความร้อน (SF) แทนที่แป้งสาลีอเนกประสงค์ 25% และใช้ HPMC 0.5% โดยน้ำหนักแป้ง (WF 75, SF 25) การใช้แป้งถั่วดาวอินคาที่ผ่านการให้ความร้อนด้วยการอบ (RSF) แทนที่แป้งสาลีอเนกประสงค์ 50% และใช้ HPMC 0.5% โดยน้ำหนักแป้ง (WF 50, RSF 50) และการใช้แป้งถั่วดาวอินคาที่ผ่านการให้ความร้อนด้วยการนึ่งด้วยไอน้ำ (SSF) แทนที่แป้งสาลีอเนกประสงค์ 50% และใช้ HPMC 0.5% โดยน้ำหนักแป้ง (WF 50, SSF 50) มาศึกษาคุณภาพเปรียบเทียบกับวอฟเฟิลสูตรพื้นฐานที่ใช้แป้งสาลีอเนกประสงค์เพียงอย่างเดียว (WF 100 (control)) ลักษณะของแบตเตอร์ทั้ง 4 สูตร แสดงดังภาพที่ 4-3 พบว่า แบตเตอร์ของวอฟเฟิลสูตรพื้นฐานมีสีเหลืองนวลและค่อนข้างหนืดน้อยกว่าแบตเตอร์ของวอฟเฟิลที่ใช้แป้งถั่วดาวอินคา SF แป้งถั่วดาวอินคา RSF และแป้งถั่วดาวอินคา SSF แทนที่แป้งสาลีอเนกประสงค์ ลักษณะของวอฟเฟิลทั้ง 4 ชนิด แสดงดังภาพที่ 4-4 และภาพที่ 4-5 พบว่า วอฟเฟิลสูตรพื้นฐานและวอฟเฟิลที่ใช้แป้งถั่วดาวอินคา SF แป้งถั่วดาวอินคา RSF และแป้งถั่วดาวอินคา SSF แทนที่แป้งสาลีอเนกประสงค์ มีสีที่แตกต่างกันเมื่อมองด้วยตาเปล่า โดยพบว่าวอฟเฟิลที่ใช้แป้งถั่วดาวอินคาแทนที่แป้งสาลีอเนกประสงค์มีสีเข้มมากกว่าวอฟเฟิลสูตรพื้นฐาน ลักษณะเนื้อวอฟเฟิลที่ใช้แป้งถั่วดาวอินคาแทนที่แป้งสาลีอเนกประสงค์มีลักษณะค่อนข้างแน่นมากกว่าวอฟเฟิลสูตรพื้นฐาน

(ก) (ข) (ค) (ง)

ภาพที่ 4-3 ลักษณะแบตเตอร์ของวอฟเฟิลสูตรพื้นฐาน (WL100 (control)) (ก) แบตเตอร์ของวอฟเฟิลสูตรที่ใช้แป้งถั่วดาวอินคาที่ไม่ผ่านการให้ความร้อน (WF 75, SF 25) (ข) แป้งถั่วดาวอินคาที่ผ่านการให้ความร้อนด้วยการอบ (WF 50, RSF 50) (ค) และแป้งถั่วดาวอินคาที่ผ่านการให้ความร้อนด้วยการนึ่งด้วยไอน้ำ (WF 50, SSF 50) (ง)



(ก) (ข) (ค) (ง)

ภาพที่ 4-4 ลักษณะภายนอกของวอฟเฟิลสูตรพื้นฐาน (WL100 (control)) (ก) วอฟเฟิลสูตรที่ใช้แป้งถั่วดาวอินคาที่ไม่ผ่านการให้ความร้อน (WF 75, SF 25) (ข) แป้งถั่วดาวอินคาที่ผ่านการให้ความร้อนด้วยการอบ (WF 50, RSF 50) (ค) และแป้งถั่วดาวอินคาที่ผ่านการให้ความร้อนด้วยการนึ่งด้วยไอน้ำ (WF 50, SSF 50) (ง)

(ก) (ข) (ค) (ง)

ภาพที่ 4-5 ลักษณะภาพตัดขวางของวอฟเฟิลสูตรพื้นฐาน (WL100 (control)) (ก) วอฟเฟิลสูตรที่ใช้แป้งถั่วดาวอินคาที่ไม่ผ่านการให้ความร้อน (WF 75, SF 25) (ข) แป้งถั่วดาวอินคาที่ผ่านการให้ความร้อนด้วยการอบ (WF 50, RSF 50) (ค) และแป้งถั่วดาวอินคาที่ผ่านการให้ความร้อนด้วยการนึ่งด้วยไอน้ำ (WF 50, SSF 50) (ง)

1) องค์ประกอบทางเคมีโดยประมาณ

ผลการวิเคราะห์ปริมาณองค์ประกอบทางเคมีโดยประมาณของวอฟเฟิลทั้ง 4 สูตร แสดงดังตารางที่ 4-29 พบว่า มีเพียงปริมาณเถ้าที่มีค่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \geq 0.05$) โดยมีปริมาณเถ้าอยู่ในช่วง 2.87 - 3.21% dry basis ส่วนองค์ประกอบทางเคมีโดยประมาณชนิดอื่นมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

ด้านปริมาณความชื้น พบว่า วอฟเฟิลสูตรพื้นฐานมีปริมาณความชื้นมากที่สุด (29.54% dry basis) ($p<0.05$) รองลงมาคือวอฟเฟิลที่ใช้แป้งถั่วดาวอินคา SF แป้งถั่วดาวอินคา SSF และแป้งถั่วดาวอินคา RSF ตามลำดับ (24.19% 21.23% และ 16.87% dry basis) ซึ่งแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) ทั้งนี้อาจเนื่องจากมาแป้งถั่วดาวอินคามีปริมาณความชื้นเริ่มต้นต่ำกว่าแป้งสาลีอเนกประสงค์ (ประมาณ 13%) เป็นผลให้น้ำอิสระที่มีอยู่ในแบตเตอร์ของวอฟเฟิลมีปริมาณน้อยกว่า เมื่อได้รับความร้อนจากการอบน้ำอิสระเหล่านี้จึงระเหยออกไปได้และหลงเหลืออยู่ในวอฟเฟิลน้อยกว่านั่นเอง และเนื่องจากแป้งถั่วดาวอินคา RSF มีปริมาณความชื้นต่ำที่สุด คือ 1.87% dry

basis จึงมีผลให้วอฟเฟิลที่ใช้แป้งถั่วดาวอินคา RSF มีปริมาณความชื้นต่ำที่สุด นอกจากนี้การแปรปริมาณแป้งถั่วดาวอินคาแทนที่แป้งสาลีอเนกประสงค์ทำให้ปริมาณโปรตีนกลูเตนในสูตรลดลงจึงส่งผลแบตเตอร์ของวอฟเฟิลมีความยืดหยุ่นลดลง ความสามารถในการกักเก็บก๊าซและความชื้นจึงลดลงด้วยเมื่อได้รับความร้อนจากการอบ จึงมีผลให้เกิดการสูญเสียความชื้นได้ง่ายกว่า (กนกอร นันตะธนะ, 2555; ยุพร พืชกมุทร และวิญญ์ ผิวนิ่ม, 2554) ด้านปริมาณโปรตีน พบว่า วอฟเฟิลที่ใช้แป้งถั่วดาวอินคาแทนที่แป้งสาลีอเนกประสงค์ทั้ง 3 สูตร มีปริมาณโปรตีน (12.12 – 15.05% dry basis) มากกว่าวอฟเฟิลสูตรพื้นฐานที่ใช้แป้งสาลีอเนกประสงค์เพียงอย่างเดียว ($p<0.05$) เนื่องจากแป้งถั่วดาวอินคามีปริมาณโปรตีนมากกว่าแป้งสาลี (9.86% dry basis) กล่าวคือ แป้งถั่วดาวอินคา SF แป้งถั่วดาวอินคา RSF และแป้งถั่วดาวอินคา SSR มีปริมาณโปรตีนเท่ากับ 42.00% 39.30% และ 39.49% dry basis ตามลำดับ ในขณะที่แป้งสาลีอเนกประสงค์มีปริมาณโปรตีน 10 - 11% (กุลยา ลิ้มรุ่งเรือรัตน์, 2548) ด้านปริมาณไขมัน พบว่า วอฟเฟิลที่ใช้แป้งถั่วดาวอินคาแทนที่แป้งสาลีอเนกประสงค์ทั้ง 3 สูตร มีปริมาณไขมัน (13.93 – 15.19% dry basis) มากกว่าวอฟเฟิลสูตรพื้นฐาน (11.74% dry basis) ที่ใช้แป้งสาลีอเนกประสงค์เพียงอย่างเดียว ($p<0.05$) เนื่องจากเมล็ดถั่วดาวอินคาจัดเป็นพืชน้ำมันที่มีปริมาณน้ำมันสูงถึง 35-60% (อุดมวิทย์ ไวทยาการ, 2557) แป้งถั่วดาวอินคาที่ใช้ในงานวิจัยนี้แม้ได้จากการนำผลพลอยได้จากการบีบสกัดน้ำมันออกแล้ว แต่ยังคงมีปริมาณน้ำมันคงเหลืออยู่ ด้านปริมาณกากใย พบว่า วอฟเฟิลที่ใช้แป้งถั่วดาวอินคาแทนที่แป้งสาลีอเนกประสงค์ทั้ง 3 สูตร มีปริมาณกากใย (1.53-1.71% dry basis) มากกว่าวอฟเฟิลสูตรพื้นฐาน (0.64% dry basis) ที่ใช้แป้งสาลีอเนกประสงค์เพียงอย่างเดียว ($p<0.05$) ด้านปริมาณคาร์โบไฮเดรต ซึ่งในงานวิจัยนี้คำนวณโดยจากการหักลบปริมาณองค์ประกอบทางเคมีด้านต่างๆ คือ ความชื้น โปรตีน ไขมัน กากใย และเถ้า ออกจากน้ำหนักตัวอย่างจากผลการทดลองพบว่า วอฟเฟิลที่ใช้แป้งถั่วดาวอินคา RSF มีปริมาณคาร์โบไฮเดรตมากที่สุด (49.46% dry basis) ซึ่งไม่แตกต่างจากวอฟเฟิลสูตรพื้นฐาน (48.12% dry basis) ($p\geq0.05$) และวอฟเฟิลที่ใช้แป้งถั่วดาวอินคา SSF มีปริมาณคาร์โบไฮเดรตน้อยที่สุด เมื่อพิจารณาองค์ประกอบทางเคมีด้านอื่นๆ พบว่า ความแตกต่างของปริมาณคาร์โบไฮเดรตอาจเนื่องมาจากมีความแตกต่างกันของปริมาณความชื้น โดยวอฟเฟิลที่ใช้แป้งถั่วดาวอินคา RSF มีปริมาณความชื้นน้อยที่สุด ในขณะที่วอฟเฟิลที่ใช้แป้งถั่วดาวอินคา SSF มีปริมาณความชื้นมากที่สุด (1.87% และ 5.96% dry basis ตามลำดับ) ดังนั้น ปริมาณคาร์โบไฮเดรตของวอฟเฟิลที่คำนวณจากการหักลบองค์ประกอบทางเคมี ต่างๆ ออกจากน้ำหนักตัวอย่าง จึงมีปริมาณแตกต่างกัน และวอฟเฟิลที่ใช้แป้งถั่วดาวอินคา RSF จึงมีปริมาณคาร์โบไฮเดรตมากที่สุด และวอฟเฟิลที่ใช้แป้งถั่วดาวอินคา SSF จึงมีปริมาณคาร์โบไฮเดรตน้อยที่สุดนั่นเอง นอกจากนี้อาจเนื่องมาจากวอฟที่ใช้แป้งถั่วดาวอินคา RSF ผลิตจากแป้ง RSF ที่มีปริมาณคาร์โบไฮเดรตมากที่สุด (31.14% dry basis) จึงยังมีโอกาสที่จะคงอยู่ในวอฟเฟิลมากกว่านั่นเอง

ตารางที่ 4-29 องค์ประกอบทางเคมีโดยประมาณของวอฟเฟิลสูตรพื้นฐานที่ใช้แป้งสาลีอเนกประสงค์ วอฟเฟิลสูตรที่ใช้แป้งถั่วดาวอินคาที่ไม่ผ่านการให้ความร้อน (SF) แป้งถั่วดาวอินคาที่ผ่านการให้ความร้อนด้วยการอบ (RSF) และแป้งถั่วดาวอินคาที่ผ่านการให้ความร้อนด้วยการนึ่งด้วยไอน้ำ (SSF)

ชนิดแป้งของวอฟเฟิล	ค่าเฉลี่ย±ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (% dry basis)					
	ความชื้น	โปรตีน	ไขมัน	กากใย	เถ้า^{ns}	คาร์โบไฮเดรต
WF 100 (control)	29.54±0.52^{d}	9.86±0.78^{a}	8.96±0.61^{a}	0.64±0.13^{a}	2.87±0.37	48.12±1.48^{bc}
WF 75, SF 25	24.19±1.78^{c}	12.12±0.77^{b}	13.19±0.64^{b}	1.71±0.10^{b}	2.89±0.14	45.89±2.48^{ab}
WF 50, RSF 50	16.89±0.52^{a}	14.39±0.46^{c}	14.70±1.14^{c}	1.53±0.13^{b}	3.21±0.13	49.46±1.74^{c}
WF 50, SSF 50	21.32±0.68^{b}	15.05±0.35^{c}	15.19±0.46^{c}	1.61±0.24^{b}	3.04±0.25	43.12±0.91^{a}

WF = Wheat Flour SF = Sacha inchi Flour RSF = Roasted Sacha inchi Flour SSF = Steamed Sacha inchi Flour

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

^{ns} หมายถึง ค่าเฉลี่ยในแนวตั้งไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\geq0.05$)

2) ปริมาณเส้นใยอาหารทั้งหมด

ผลการวิเคราะห์ปริมาณเส้นใยอาหารทั้งหมดของวอฟเฟิลสูตรพื้นฐาน และวอฟเฟิลที่ใช้แป้งถั่วดาวอินคา SF แป้งถั่วดาวอินคา RSF และแป้งถั่วดาวอินคา SSF แทนที่แป้งสาลีสาลีอเนกประสงค์ พบว่า ปริมาณเส้นใยอาหารทั้งหมดแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) แสดงดังตารางที่ 4-30 โดยวอฟเฟิลที่ใช้แป้งถั่วดาวอินคา SF แป้งถั่วดาวอินคา RSF และแป้งถั่วดาวอินคา SSF แทนที่แป้งสาลีอเนกประสงค์ มีปริมาณเส้นใยอาหารทั้งหมดไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\geq0.05$) (7.23% 7.58% 7.70% dry basis) มากกว่าโดยวอฟเฟิลสูตรพื้นฐานที่ใช้แป้งสาลีเพียงอย่างเดียว (3.69% dry basis) แสดงให้เห็นว่าแป้งถั่วดาวอินคาทุกชนิดเป็นแหล่งที่ดีของเส้นใยอาหาร การนำมาเติมในวอฟเฟิลทำให้เสริมปริมาณเส้นใยอาหารทั้งหมดมากขึ้นได้ สอดคล้องกับการรายงานของ Amin et al. (2010) ที่รายงานว่าเมื่อแทนที่แป้งถั่วเหลือง 15% ในคุกกี้มีผลให้ปริมาณเส้นใยอาหารทั้งหมดเพิ่มขึ้นจาก 9.73% เป็น 13.28% โดยแป้งถั่วเป็นแหล่งที่ดีของเส้นใยอาหารทั้งหมด โดยเฉพาะกลุ่มของเส้นใยอาหารที่ละลายน้ำ เช่น เพคติน (Pectin) กลูโคแมนแนน (Glucomannan) และกัม (Gum) (พิมพ์เพ็ญ พรเฉลิมพงศ์ และนิธิยา รัตนาปนนท์, ม.ป.ป) Jagersberger (2013) รายงานว่า แป้งถั่วดาวอินคาเป็นแหล่งที่ดีของเส้นใยอาหาร โดยมีองค์ประกอบของเส้นใยอาหารที่ละลายน้ำได้ 2.28% dry solid และเส้นใยอาหารที่ไม่ละลายน้ำ 22.99% dry solid

ตารางที่ 4-30 ปริมาณเส้นใยอาหารทั้งหมดของวอฟเฟิลสูตรพื้นฐานที่ใช้แป้งสาลีอเนกประสงค์ วอฟเฟิลสูตรที่ใช้แป้งถั่วดาวอินคาที่ไม่ผ่านการให้ความร้อน (SF) แป้งถั่วดาวอินคาที่ผ่านการให้ความร้อนด้วยการอบ (RSF) และแป้งถั่วดาวอินคาที่ผ่านการให้ความร้อนด้วยการนึ่งด้วยไอน้ำ (SSF)

ชนิดแป้งของวอฟเฟิล	ปริมาณเส้นใยอาหารทั้งหมดเฉลี่ย±ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (%dry basis)
WF 100 (control)	3.69 ± 0.22^{a}
WF 75, SF 25	7.23 ± 0.14^{b}
WF 50, RSF 50	7.58 ± 0.38^{b}
WF 50, SSF 50	7.70 ± 0.46^{b}

WF = Wheat Flour SF = Sacha inchi Flour RSF = Roasted Sacha inchi Flour SSF = Steamed Sacha inchi Flour

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

3) ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดและสมบัติการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระ

ผลการวิเคราะห์ปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดและสมบัติการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระของวอฟเฟิลสูตรพื้นฐาน และวอฟเฟิลที่ใช้แป้งถั่วดาวอินคา SF แป้งถั่วดาวอินคา RSF และแป้งถั่วดาวอินคา SSF แทนที่แป้งสาลีสาลีอเนกประสงค์ มีปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดและสมบัติการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) แสดงดังตารางที่ 4-31 โดยวอฟเฟิลที่ใช้แป้งถั่วดาว

อินคา RSF และแป้งถั่วดาวอินคา SSF แทนที่แป้งสาลีอเนกประสงค์ มีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดสูงที่สุด (43.56 และ 43.42 mg GAE/100 g ตามลำดับ) ($p<0.05$) รองลงมาคือวอฟเฟิลที่ใช้แป้งถั่วดาวอินคา SF (40.41 mg GAE/100 g) โดยวอฟเฟิลสูตรพื้นฐานที่ใช้แป้งสาลีเพียงอย่างเดียวมีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดต่ำที่สุด (32.51 mg GAE/100 g) ($p<0.05$) สำหรับด้านสมบัติการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระ พบว่า มีแนวโน้มสอดคล้องกัน โดยพบว่าวอฟเฟิลที่ใช้แป้งถั่วดาวอินคา RSF แป้งถั่วดาวอินคา SSF แทนที่แป้งสาลีอเนกประสงค์มีสมบัติการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระสูงที่สุด (18.62% และ 18.63% inhibition ตามลำดับ) ($p<0.05$) รองลงมาคือวอฟเฟิลที่ใช้แป้งถั่วดาวอินคา SF (17.39% inhibition) โดยวอฟเฟิลสูตรพื้นฐานที่ใช้แป้งสาลีเพียงอย่างเดียวมีสมบัติการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระต่ำที่สุด (11.39% inhibition) ($p<0.05$)

ตารางที่ 4-31 ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดและสมบัติการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระของวอฟเฟิลสูตรพื้นฐานที่ใช้แป้งสาลีอเนกประสงค์ วอฟเฟิลสูตรที่ใช้แป้งถั่วดาวอินคาที่ไม่ผ่านการให้ความร้อน (SF) แป้งถั่วดาวอินคาที่ผ่านการให้ความร้อนด้วยการอบ (RSF) และแป้งถั่วดาวอินคาที่ผ่านการให้ความร้อนด้วยการนึ่งด้วยไอน้ำ (SSF)

ชนิดแป้งของวอฟเฟิล	ค่าเฉลี่ย±ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน	
	สารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด (mg GAE/100 g)	สมบัติการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระ (% inhibition)
WF 100 (control)	32.51±0.18[a]	11.39±2.50[a]
WF 75, SF 25	40.41±0.32[b]	17.39±0.31[b]
WF 50, RSF 50	43.56±0.17[c]	18.62±0.59[c]
WF 50, SSF 50	43.42±0.32[c]	18.63±0.61[c]

WF = Wheat Flour SF = Sacha inchi Flour RSF = Roasted Sacha inchi Flour SSF = Steamed Sacha inchi Flour

[a, b, c] หมายถึง ค่าเฉลี่ยในแนวตั้งมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

4) ค่าสี L* a* b* และ ΔE

ค่าสี L* ค่าสี a* และค่าสี b* ของวอฟเฟิลสูตรพื้นฐาน และวอฟเฟิลที่ใช้แป้งถั่วดาวอินคา SF แป้งถั่วดาวอินคา RSF และแป้งถั่วดาวอินคา SSF แทนที่แป้งสาลีสาลีอเนกประสงค์มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\geq0.05$) แสดงดังตารางที่ 4-32 เมื่อพิจารณาค่าสีของวอฟเฟิลด้านค่าความสว่าง (L*) พบว่า วอฟเฟิลสูตรพื้นฐานมีค่าสี L* (67.22) มากที่สุด และมีแนวโน้มค่าความเป็นสีแดง (a* เท่ากับ 7.49) และค่าความเป็นสีเหลือง (b* เท่ากับ 26.87) น้อยที่สุด

เมื่อพิจารณาค่าความแตกต่างของสี (ΔE) เมื่อเปรียบเทียบกับสีของวอฟเฟิลสูตรพื้นฐาน พบว่า ค่า ΔE ของวอฟเฟิลที่ใช้แป้งถั่วดาวอินคาแทนที่แป้งสาลีอเนกประสงค์ทั้ง 3 สูตร มีค่าอยู่ในช่วง 7.88-10.94 ($p<0.05$) แสดงให้เห็นว่า วอฟเฟิลที่ใช้แป้งถั่วดาวอินคาแทนที่แป้งสาลีอเนกประสงค์ทั้ง 3 สูตร มีสีแตกต่างจากวอฟเฟิลสูตรพื้นฐาน ซึ่งค่า ΔE ของวอฟเฟิลที่ใช้แป้งถั่วดาวอินคา RSF มีค่ามากที่สุด (10.94) แสดงให้เห็นว่า วอฟเฟิลที่ใช้แป้งถั่วดาวอินคา RSF แทนที่แป้ง

อเนกประสงค์มีสีที่แตกต่างจากวอฟเฟิลสูตรพื้นฐานมากที่สุด ในขณะที่ค่า ΔE ของวอฟเฟิลที่ใช้แป้งถั่วดาวอินคา SF และแป้งถั่วดาวอินคา SSF ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \geq 0.05$) เมื่อพิจารณาร่วมกับค่าสี L* ค่าสี a* และค่าสี b* ก็พบแนวโน้มว่าวอฟเฟิลที่ใช้แป้งถั่วดาวอินคา RSF แทนที่แป้งสาลีอเนกประสงค์ มีค่าสี L* ต่ำ (57.77) แต่มีค่าสี a* (9.75) และค่าสี b* (31.87) ค่อนข้างสูง

ตารางที่ 4-32 ค่าสีของวอฟเฟิลสูตรพื้นฐานที่ใช้แป้งสาลีอเนกประสงค์ วอฟเฟิลสูตรที่ใช้แป้งถั่วดาวอินคาที่ไม่ผ่านการให้ความร้อน (SF) แป้งถั่วดาวอินคาที่ผ่านการให้ความร้อนด้วยการอบ (RSF) และแป้งถั่วดาวอินคาที่ผ่านการให้ความร้อนด้วยการนึ่งด้วยไอน้ำ (SSF)

ชนิดแป้งของวอฟเฟิล	ค่าเฉลี่ย±ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน			
	L*	a*	b*	ΔE#
WF 100 (control)	67.22±0.28^{c}	7.49±0.22^{a}	26.87±0.29^{a}	-
WF 75, SF 25	60.48±0.87^{b}	8.19±0.21^{ab}	30.85±0.48^{b}	7.88±0.75^{a}
WF 50, RSF 50	57.77±1.24^{a}	9.75±0.52^{c}	31.87±0.57^{c}	10.94±1.24^{b}
WF 50, SSF 50	59.35±0.92^{ab}	8.70±0.80^{b}	31.56±0.55^{bc}	9.06±0.44^{a}

WF = Wheat Flour SF = Sacha inchi Flour RSF = Roasted Sacha inchi Flour SSF = Steamed Sacha inchi Flour

เปรียบเทียบความแตกต่างของค่าสี (ΔE) กับวอฟเฟิลสูตรพื้นฐาน (Control)

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

5) ความหนืดของแบตเตอร์

ความหนืดของแบตเตอร์ของวอฟเฟิลสูตรพื้นฐาน และวอฟเฟิลที่ใช้แป้งถั่วดาวอินคา SF แป้งถั่วดาวอินคา RSF และแป้งถั่วดาวอินคา SSF แทนที่แป้งสาลีอเนกประสงค์ มีความแตกต่างกันอย่างมีนยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) แสดงดังตารางที่ 4-33 พบว่า ความหนืดของแบตเตอร์สูตรที่ใช้แป้งถั่วดาวอินคา SF RSF และ SSF (2.50 1.60 และ 1.67 cm/min ตามลำดับ) มีความหนืดของแบตเตอร์มากกว่าสูตรสูตรพื้นฐานที่ใช้แป้งสาลีเพียงอย่างเดียว (2.67 cm/min) เนื่องจาก แป้งถั่วดาวอินคามีปริมาณเส้นใยอาหารทั้งหมดสูงกว่าแป้งสาลี โดยเส้นใยอาหารมีโครงสร้างประกอบด้วยหมู่ไฮดรอกซิล (Hydroxyl Group) ซึ่งเกิดการสร้างพันธะไฮโดรเจน (Hydrogen Bonding) กับน้ำ จึงทำให้ปริมาณน้ำในผลิตภัณฑ์ลดลง ส่งผลให้ความหนืดของแบตเตอร์เพิ่มขึ้น (สุภาวิณี แสนทวีสุข และมาลีน่า สันเต๊ะ, 2557) นอกจากนี้แป้งถั่วดาวอินคาเป็นแป้งที่มีโปรตีนสูง ซึ่งส่วนที่ชอบน้ำของโมเลกุลโปรตีนจะสามารถจับกับน้ำและมีโอกาสเกิดเจลได้ ซึ่งการเกิดเจลของโปรตีนในแป้งถั่วเกิดจากการเกาะเกี่ยวกันของอนุภาค อาจมีลักษณะเป็นสายยาวหรือเป็นกลุ่มก้อน โดยจะเกิดการอุ้มน้ำไว้กับตัวและทำให้เกิดความหนืดขึ้นได้ (Matsumura and Mori, 1996; ปาริฉัตร หงสประภาส, 2545) รวมทั้งวอฟเฟิลสูตรที่ใช้แป้งถั่วดาวอินคามีการเติม HPMC ร่วมด้วย HPMC สามารถทำให้แบตเตอร์มีความหนืดเพิ่มขึ้นตามกลไกการเกิดความหนืด (Ziegler and Foegeding, 1990; ปาริฉัตร หงสประภาส, 2545)

6) ลักษณะเนื้อสัมผัส

จากตารางที่ 4-33 พบว่า ลักษณะเนื้อสัมผัสทุกค่าของวอฟเฟิลสูตรพื้นฐาน และวอฟเฟิลที่ใช้แป้งถั่วดาวอินคา SF แป้งถั่วดาวอินคา RSF และแป้งถั่วดาวอินคา SSF แทนที่แป้งสาลีอเนกประสงค์มีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) วอฟเฟิลที่ใช้แป้งถั่วดาวอินคา RSF และแป้งถั่วดาวอินคา SSF มีค่า Hardness (23.56 และ 23.42 Kg force) มากกว่าวอฟเฟิลสูตรพื้นฐานและวอฟเฟิลที่ใช้แป้งถั่วดาวอินคา SF (18.24 และ 20.98 Kg force) เนื่องจากเป็นการใช้แป้งถั่วดาวอินคา RSF และแป้งถั่วดาวอินคาปริมาณ SSF 50% ซึ่งมากกว่าปริมาณแป้งถั่วดาวอินคา SF (25%) โดยการแทนที่ของแป้งถั่วดาวอินคานี้จะลดปริมาณกลูเตนและเพิ่มปริมาณโปรตีนที่มีผลต่อโครงสร้างในด้านความแข็งแรงของผลิตภัณฑ์ (Pineli et al. 2015) ดังนั้นเมื่อแทนที่สาลีอเนกประสงค์ด้วยแป้งถั่วดาวอินคาในปริมาณมาก จึงส่งผลให้ค่า Hardness เพิ่มขึ้น สอดคล้องกับค่า Gumminess ที่มีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อใช้แป้งถั่วดาวอินคา RSF และแป้งถั่วดาวอินคา SSF ($p<0.05$) ซึ่งค่าดังกล่าวแสดงให้เห็นแนวโน้มว่าวอฟเฟิลมีโครงสร้างที่แข็งแรงขึ้น ทำให้ต้องใช้พลังงานในการเคี้ยวให้อาหารแยกตัวออกจนถึงขั้นพร้อมที่จะกลืนได้มากขึ้น

ค่า Springiness พบว่า วอฟเฟิลสูตรพื้นฐานและวอฟเฟิลที่ใช้แป้งถั่วดาวอินคา SF มีค่ามากที่สุด คือ 0.77 ($p<0.05$) เนื่องจากเป็นสูตรที่มีปริมาณแป้งสาลีคงเหลืออยู่มากกว่าวอฟเฟิลที่ใช้แป้งถั่วดาวอินคา RSF และแป้งถั่วดาวอินคา SSF จึงมีโอกาสเกิดกลูเตนที่มีลักษณะยืดหยุ่น ยืดตัวได้ มีผลทำให้สามารถกักเก็บก๊าซที่เกิดขึ้นในระหว่างตีผสม เมื่อนำไปอบจึงเกิดเป็นโครงร่างของผลิตภัณฑ์ที่มีลักษณะนุ่มและยืดหยุ่นได้ (กุลยา ลิ้มรุ่งเรืองรัตน์, 2548) เป็นผลให้วอฟเฟิลมีลักษณะยืดหยุ่นและสามารถคืนตัวกลับได้เมื่อมีแรงมากระทำ ซึ่งเป็นความสามารถของวอฟเฟิลที่กลับสู่สภาพเดิมได้ หรือเป็นลักษณะของความสามารถในการยืดหยุ่นของวอฟเฟิล วอฟเฟิลสูตรที่ใช้แป้งถั่วดาวอินคา SF แทนที่แป้งสาลีอเนกประสงค์เพียง 25% จึงผลต่อปริมาณกลูเตนน้อยกว่าวอฟเฟิลที่มีการใช้แป้งถั่วดาวอินคา RSF และแป้งถั่วดาวอินคา SSF นอกจากนี้การเติม HPMC 0.5% ยังช่วยปรับปรุงคุณภาพของผลิตภัณฑ์ ทำให้ผลิตภัณฑ์สามารถอุ้มน้ำและกักเก็บอากาศได้มากขึ้น วอฟเฟิลที่ได้จึงมีความนุ่มและยืดหยุ่นมากขึ้น (ปิยรัตน์ กุลเมธี และคณะ, 2553) จึงอาจช่วยให้วอฟเฟิลที่ใช้แป้งถั่วดาวอินคา SF มีค่า Springiness ไม่แตกต่างจากวอฟเฟิลสูตรพื้นฐาน

สำหรับค่า Cohesiveness ซึ่งแสดงถึงความยึดเกาะกัน และค่า Chewiness ซึ่งแสดงถึงพลังงานที่ใช้ในการเคี้ยวอาหารแข็งจนถึงขั้นพร้อมที่จะกลืน มีแนวโน้มไปในทางเดียวกัน โดยวอฟเฟิลที่ใช้แป้งถั่วดาวอินคา SF แป้งถั่วดาวอินคา RSF และแป้งถั่วดาวอินคา SSF มีค่า Cohesiveness และค่า Chewiness มากกว่าวอฟเฟิลสูตรพื้นฐาน ($p<0.05$) ทั้งนี้เนื่องจากวอฟเฟิลมีปริมาณโปรตีนมาก โดยในระหว่างการให้ความร้อนจากการอบอาจมีโอกาสเกิดการตกตะกอนของโปรตีนและเกิดโครงร่างที่มีลักษณะคล้ายเจลมากขึ้น (น้ำทิพย์ วงศ์ประที, 2547; ปาริฉัตร หงสประภาส, 2545) จึงส่งผลให้วอฟเฟิลมีลักษณะแข็งขึ้น รวมถึงมีการยึดเกาะกันมากขึ้น จึงทำให้ค่าการยึดเกาะกันและแรงที่ใช้ในการเคี้ยวอาหารแข็งมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น

ตารางที่ 4-33 ความหนืดของแบตเตอร์และลักษณะเนื้อสัมผัสด้านค่า Hardness ค่า Springiness ค่า Cohesiveness ค่า Gumminess และค่า Chewiness ของวอฟเฟิลสูตรพื้นฐานที่ใช้แป้งสาลีอเนกประสงค์ วอฟเฟิลสูตรที่ใช้แป้งถั่วดาวอินคาที่ไม่ผ่านการให้ความร้อน (SF) แป้งถั่วดาวอินคาที่ผ่านการให้ความร้อนด้วยการอบ (RSF) และแป้งถั่วดาวอินคาที่ผ่านการให้ความร้อนด้วยการนึ่งด้วยไอน้ำ (SSF)

ชนิดแป้งของวอฟเฟิล	ค่าเฉลี่ย±ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน					
	ความหนืด (cm/min)	Hardness (Kg force)	Springiness	Cohesiveness	Gumminess (Kg force)	Chewiness (Kg force)
WF 100 (control)	2.67±0.07^{c}	18.24±0.58^{a}	0.77±0.06^{b}	0.52±0.05^{a}	9.56±1.11^{a}	7.39±1.29^{a}
WF 75, SF 25	2.50±0.05^{b}	20.98±0.57^{b}	0.77±0.04^{b}	0.64±0.04^{b}	12.87±1.51^{b}	9.54±0.30^{b}
WF 50, RSF 50	1.60±0.09^{a}	23.56±0.32^{c}	0.61±0.04^{a}	0.69±0.03^{b}	16.25±0.51^{c}	9.92±0.82^{b}
WF 50, SSF 50	1.67±0.10^{a}	23.42±0.23^{c}	0.66±0.01^{a}	0.65±0.04^{b}	16.01±1.03^{c}	10.61±0.45^{b}

WF = Wheat Flour SF = Sacha inchi Flour RSF = Roasted Sacha inchi Flour SSF = Steamed Sacha inchi Flour

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

7) คะแนนความชอบทางประสาทสัมผัส

คะแนนความชอบทางประสาทสัมผัสด้านลักษณะปรากฏ สี กลิ่น กลิ่นรส เนื้อสัมผัส และความชอบโดยรวมของวอฟเฟิลสูตรพื้นฐาน และวอฟเฟิลที่ใช้แป้งถั่วดาวอินคา SF แป้งถั่วดาวอินคา RSF และแป้งถั่วดาวอินคา SSF แทนที่แป้งสาลีอเนกประสงค์ มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \geq 0.05$) แสดงดังตารางที่ 4-34 โดยภาพรวมพบว่า วอฟเฟิลที่ใช้แป้งถั่วดาวอินคา SF แป้งถั่วดาวอินคา RSF และแป้งถั่วดาวอินคา SSF แทนที่แป้งสาลีอเนกประสงค์ได้รับคะแนนความชอบด้านสี (5.67-6.37 คะแนน) กลิ่น (5.00-6.37 คะแนน) กลิ่นรส (5.70-6.23 คะแนน) และเนื้อสัมผัส (6.10-6.50 คะแนน) อยู่ในระดับเฉยๆ ถึงชอบเล็กน้อย ซึ่งมีแนวโน้มต่ำกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับวอฟเฟิลสูตรพื้นฐานที่มีคะแนนความชอบด้านสี กลิ่น กลิ่นรส เนื้อสัมผัส และความชอบโดยรวม เท่ากับ 7.00 6.63 6.83 7.13 และ 7.36 อยู่ในระดับชอบปานกลาง แสดงให้เห็นว่าการใช้แป้งถั่วดาวอินคาแทนที่แป้งอเนกประสงค์ในวอฟเฟิลยังคงมีแนวโน้มได้รับคะแนนความชอบด้านต่างๆ น้อยกว่าวอฟเฟิลสูตรพื้นฐาน อาจเนื่องมาจากผู้ทดสอบยังคงคุ้นเคยกับคุณลักษณะทางประสาทสัมผัสของวอฟเฟิลที่ทำจากแป้งสาลีอเนกประสงค์อย่างเดียวมากกว่าวอฟเฟิลที่ใช้แป้งถั่วดาวอินคาทั้ง 3 ชนิด ที่มีลักษณะเฉพาะที่ต่างไปจากวอฟเฟิลสูตรพื้นฐาน อาจมีสีที่คล้ำกว่า อาจมีกลิ่นถั่วและมีรสชาติดิบของถั่วหลงเหลืออยู่บ้างเล็กน้อย รวมถึงอาจมีเนื้อสัมผัสที่แข็งกว่า เมื่อพิจารณาคะแนนความชอบด้านลักษณะปรากฏและกลิ่น พบว่า วอฟเฟิลที่ใช้แป้งถั่วดาวอินคา SSF ได้รับคะแนนความชอบไม่แตกต่างจากวอฟเฟิลสูตรพื้นฐาน โดยได้รับคะแนนความชอบสูงที่สุด เท่ากับ 6.87 และ 6.37 คะแนน ตามลำดับ ซึ่งอยู่ในระดับชอบเล็กน้อย แสดงให้เห็นว่า การแทนที่แป้งสาลีอเนกประสงค์ด้วยแป้งถั่วดาวอินคา SSF ร่วมกับการใช้ HPMC 0.5% สามารถทำให้ผู้ทดสอบมีความชอบด้านลักษณะปรากฏและกลิ่นของวอฟเฟิลได้มากที่สุดและไม่แตกต่างจากสูตรพื้นฐาน คะแนนความชอบด้านสี กลิ่นรส และเนื้อสัมผัสให้แนวโน้มคล้ายกัน

8) คะแนนความแตกต่างจากวอฟเฟิลสูตรพื้นฐาน

ตารางที่ 4-35 พบว่า วอฟเฟิลที่ใช้แป้งถั่วดาวอินคา SF แป้งถั่วดาวอินคา RSF และแป้งถั่วดาวอินคา SSF แทนที่แป้งสาลีอเนกประสงค์ มีคะแนนความแตกต่างจากวอฟเฟิลสูตรพื้นฐานแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) โดยวอฟเฟิลที่ใช้แป้งถั่วดาวอินคา RSF ได้รับคะแนนความแตกต่างมากที่สุด (7.27 คะแนน) รองลงมาคือวอฟเฟิลที่ใช้แป้งถั่วดาวอินคา SF (5.47 คะแนน) และวอฟเฟิลที่ใช้แป้งถั่วดาวอินคา SSF (4.63 คะแนน) ตามลำดับ แสงดให้เห็นว่าวอฟเฟิลที่ใช้แป้งถั่วดาวอินคา SSF มีคุณลักษณะทางประสาทสัมผัสใกล้เคียงกับวอฟเฟิลสูตรพื้นฐานมากที่สุด ซึ่งสอดคล้องกับคะแนนความชอบโดยรวม รวมถึงวอฟเฟิลที่ใช้แป้งถั่วดาวอินคา SSF ได้รับคะแนนความชอบด้านลักษณะปรากฏและกลิ่นไม่แตกต่างจากวอฟเฟิลสูตรพื้นฐาน ($p \geq 0.05$) และได้รับคะแนนความชอบด้านสี กลิ่นรส และเนื้อสัมผัส ใกล้เคียงกับวอฟเฟิลสูตรพื้นฐานมากกว่าวอฟเฟิลที่ใช้แป้งถั่วดาวอินคาชนิดอื่นนั่นเอง จึงเป็นการยืนยันให้เห็นว่า การนำแป้งถั่วดาวอินคามาให้ความร้อนโดยการนึ่ง สามารถนำแป้งที่ได้มาใช้เป็นส่วนผสมในแป้งวอฟเฟิลสำเร็จรูปได้ โดยการเติมแทนที่แป้งสาลีอเนกประสงค์ในปริมาณ 50% ร่วมกับใช้ HPMC 0.5% โดยน้ำหนักแป้งและเป็นที่ยอมรับของผู้ทดสอบได้ใกล้เคียงกับวอฟเฟิลสูตรพื้นฐาน

ตารางที่ 4-34 คะแนนความชอบทางประสาทสัมผัสของวอฟเฟิลสูตรพื้นฐานที่ใช้แป้งสาลีอเนกประสงค์ วอฟเฟิลสูตรที่ใช้แป้งถั่วดาวอินคาที่ไม่ผ่านการให้ความร้อน (SF) แป้งถั่วดาวอินคาที่ผ่านการให้ความร้อนด้วยการอบ (RSF) และแป้งถั่วดาวอินคาที่ผ่านการให้ความร้อนด้วยการนึ่งด้วยไอน้ำ (SSF)

ชนิดแป้งของวอฟเฟิล	คะแนนความชอบเฉลี่ย±ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน*					
	ลักษณะปรากฏ	สี	กลิ่น	กลิ่นรส	เนื้อสัมผัส	ความชอบโดยรวม
WF 100 (control)	7.06±0.87^{c}	7.00±0.87^{c}	6.63±0.81^{b}	6.83±0.91^{c}	7.13±0.63^{c}	7.36±0.76^{c}
WF 75, SF 25	6.20±0.76^{a}	6.37±0.76^{b}	5.00±0.64^{a}	5.70±0.92^{a}	6.50±0.78^{b}	6.63±0.55^{b}
WF 50, RSF 50	6.57±0.73^{ab}	5.67±0.61^{a}	5.27±0.98^{a}	6.03±1.09^{ab}	6.10±0.61^{a}	6.23±0.50^{a}
WF 50, SSF 50	6.87±0.81^{bc}	6.13±0.68^{b}	6.37±0.81^{b}	6.23±0.56^{b}	6.47±0.77^{ab}	7.13±0.63^{c}

WF = Wheat Flour SF = Sacha inchi Flour RSF = Roasted Sacha inchi Flour SSF = Steamed Sacha inchi Flour

* คะแนนความชอบ 1 หมายถึง ไม่ชอบมากที่สุด และ 9 หมายถึง ชอบมาที่สุด

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

ตารางที่ 4-35 คะแนนความแตกต่างจากวอฟเฟิลสูตรพื้นฐานของวอฟเฟิลสูตรที่ใช้แป้งถั่วดาวอินคาที่ไม่ผ่านการให้ความร้อน (SF) แป้งถั่วดาวอินคาที่ผ่านการให้ความร้อนด้วยการอบ (RSF) และแป้งถั่วดาวอินคาที่ผ่านการให้ความร้อนด้วยการนึ่งด้วยไอน้ำ (SSF)

ชนิดแป้งของวอฟเฟิล	คะแนนความแตกต่างเฉลี่ย±ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน*
WF 75, SF 25	5.47 ± 1.11^{b}
WF 50, RSF 50	7.27 ± 0.91^{c}
WF 50, SSF 50	4.63 ± 1.03^{a}

WF = Wheat Flour SF = Sacha inchi Flour RSF = Roasted Sacha inchi Flour SSF = Steamed Sacha inchi Flour

* คะแนนความแตกต่าง 0 หมายถึง ไม่มีความแตกต่างจากตัวอย่างควบคุม และ 10 หมายถึง แตกต่างมากที่สุด

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

การคัดเลือกสิ่งทดลองที่เหมาะสม

จากเกณฑ์ที่กำหนดไว้คือ เลือกสิ่งทดลองได้รับคะแนนความชอบโดยรวมมากที่สุด และได้รับคะแนนความแตกต่างจากวอฟเฟิลสูตรพื้นฐานน้อยที่สุด โดยพิจารณาร่วมกับค่าคุณภาพอื่น จากการทดลองพบว่า วอฟเฟิลที่ใช้แป้งถั่วดาวอินคา SSF ได้รับคะแนนความชอบโดยรวมมากที่สุด (7.13 คะแนน) ไม่แตกต่างจากวอฟเฟิลสูตรพื้นฐาน (7.36 คะแนน) ($p\geq0.05$) และยังได้รับคะแนนความชอบด้านสี กลิ่นรส และเนื้อสัมผัส ใกล้เคียงกับวอฟเฟิลสูตรพื้นฐาน และเมื่อพิจารณาคะแนนความแตกต่างทางประสาทสัมผัส พบว่า วอฟเฟิลที่ใช้แป้งถั่วดาวอินคา SSF ได้รับคะแนนความแตกต่างจากวอฟเฟิล สูตรควบคุมน้อยที่สุด (4.63 คะแนน) และมีสีของวอฟเฟิลใกล้เคียงกับวอฟเฟิลสูตรพื้นฐาน รวมถึง วอฟเฟิลที่ใช้แป้งถั่วดาวอินคา SSF มีปริมาณโปรตีน (15.05% dry basis) ปริมาณเส้นใยอาหารทั้งหมด (7.70% dry basis) สารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด (43.42 mg GAE/100 g) และสมบัติการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระ (18.63% inhibition) มากกว่าวอฟเฟิลสูตรพื้นฐาน แสดงให้เห็นว่า สิ่งทดลองที่เหมาะสมคือ วอฟเฟิลที่ใช้แป้งถั่วดาวอินคา SSF แทนที่แป้งสาลีอเนกประสงค์ 50% ร่วมกับใช้ HPMC 0.5% โดยน้ำหนักแป้ง ซึ่งได้รับการยอมรับจากผู้บริโภค และมีคุณค่าทางโภชนาการเพิ่มขึ้น

3.2 ผลการศึกษาความเป็นไปได้ในการนำแป้งถั่วดาวอินคามาผลิตเครื่องดื่มน้ำนมถั่วดาวอินคาสูตรน้ำตาลต่ำ

3.2.1 ผลของปริมาณแป้งถั่วดาวอินคาต่อคุณภาพของเครื่องดื่มน้ำนมถั่วดาวอินคาสูตรน้ำตาลต่ำ

จากการแปรปริมาณแป้งถั่วดาวอินคาที่ผ่านการให้ความร้อนด้วยการอบ (RSF) เติมในเครื่องดื่มน้ำนมถั่วดาวอินคาสูตรน้ำตาลต่ำเป็น 4 ระดับ ได้แก่ 1 2 3 และ 4% ผลการวิเคราะห์คุณภาพมีรายละเอียดดังนี้

1) ค่าสี L* a* b*

จากตารางที่ 4-36 4-1 และลักษณะเครื่องดื่มน้ำนมถั่วดาวอินคาสูตรน้ำตาลต่ำที่ได้แสดงดังภาพที่ 4-6 พบว่า ปริมาณการเติมแป้งถั่วดาวอินคา RSF เพิ่มขึ้นมีแนวโน้มทำให้เครื่องดื่มน้ำนมถั่วดาวอินคามีสีเหลืองอ่อนเพิ่มขึ้น โดยการเติมแป้งถั่วดาวอินคา RSF 4% มีค่าสี L* และ b* สูงที่สุด ($p<0.05$) ในขณะที่การเติมแป้งถั่วดาวอินคา RSF 1% มีค่า a* สูงที่สุด ($p<0.05$)

ตารางที่ 4-36 ค่าสีของเครื่องดื่มน้ำนมถั่วดาวอินคาสูตรน้ำตาลต่ำที่แปรปริมาณแป้งถั่วดาวอินคาที่ผ่านการให้ความร้อนด้วยการอบ (RSF)

ปริมาณแป้งถั่วดาวอินคา (%)	ค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน		
	L*	a*	b*
1	72.70 ± 0.06^{d}	-1.33 ± 0.05^{a}	4.93 ± 0.05^{d}
2	78.62 ± 0.09^{c}	-0.91 ± 0.04^{b}	7.13 ± 0.07^{c}
3	81.19 ± 0.06^{b}	-0.37 ± 0.06^{c}	9.36 ± 0.04^{b}
4	83.50 ± 0.03^{a}	-0.10 ± 0.01^{d}	10.79 ± 0.06^{a}

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

ภาพที่ 4-6 ลักษณะของเครื่องดื่มน้ำนมถั่วดาวอินคาสูตรน้ำตาลต่ำที่แปรปริมาณแป้งถั่วดาวอินคาที่ผ่านการให้ความร้อนด้วยการอบ (RSF) (ก) 1% (ข) 2% (ค) 3% และ (ง) 4%

2) ค่าความหนืด ค่าการแยกตัวของเหลว และปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด

จาตารางที่ 4-37 พบว่า ปริมาณการเติมแป้งถั่วดาวอินคา RSF มากขึ้น ทำให้ค่าความหนืดเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) โดยการเติมแป้งถั่วดาวอินคาที่ผ่านการลดกลิ่นถั่ว 4% มีผลให้มีค่าความหนืดสูงที่สุด ($p<0.05$) ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากแป้งถั่วดาวอินคามีสมบัติเชิงหน้าที่ ทั้งความสามารถในการอุ้มน้ำ และความสามารถในการพองตัว จึงสร้างพันธะไฮโดรเจนกับน้ำได้ดีมีความเป็น Hydrophilicity สูง สำหรับค่าการแยกตัวของเหลว พบว่า เมื่อเติมแป้งถั่วดาวอินคา RSF มากขึ้น มีผลให้ค่าการแยกตัวของเหลวลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) สำหรับปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด หมายถึง ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ในน้ำทั้งหมด ทั้งนี้ปริมาณของแข็งที่ละลายได้

ทั้งหมดแสดงถึงส่วนประกอบที่ละลายได้ เช่น น้ำตาล กรดอะมิโน กรดอินทรีย์ และวิตามินที่ละลายน้ำ เป็นต้น (วัชรี เทพโยธิน, นันทัชพร เสนาวงค์ และจุฑาทิพย์ เมืองพรม, 2559) พบว่า การแปรปริมาณแป้งถั่วดาวอินคาที่ระดับต่างๆ มีปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดไม่แตกต่างกันที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 ($p \geq 0.05$)

ตารางที่ 4-37 ค่าความหนืด ค่าการแยกตัวของเหลว และปริมาณของแข็งที่ละลายได้ของเครื่องดื่มน้ำนมถั่วดาวอินคาสูตรน้ำตาลต่ำที่แปรปริมาณแป้งถั่วดาวอินคาที่ผ่านการให้ความร้อนด้วยการอบ (RSF)

ปริมาณแป้งถั่วดาวอินคา (%)	ค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน		
	ค่าความหนืด (cP)	ค่าการแยกตัวของเหลว (%)	ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด (°Brix)^{ns}
1	89.96 ± 2.17^{d}	71.71 ± 0.09^{a}	11.0 ± 0.2
2	100.60 ± 1.89^{c}	69.49 ± 0.81^{b}	11.2 ± 0.1
3	117.27 ± 2.01^{b}	65.81 ± 0.12^{c}	11.5 ± 0.2
4	145.09 ± 2.05^{a}	54.41 ± 0.40^{d}	11.9± 0.2

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

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

3) ความชอบทางประสาทสัมผัส

จากตารางที่ 4-38 พบว่า ปริมาณการเติมแป้งถั่วดาวอินคา RSF มีผลต่อความชอบทางประสาทสัมผัสด้านลักษณะปรากฏ สี กลิ่น รสชาติ เนื้อสัมผัส และความชอบโดยรวม ($p < 0.05$) โดยการเติมในปริมาณ 2% ได้รับคะแนนความชอบด้านสี รสชาติ และความชอบโดยรวมสูงที่สุด ($p < 0.05$) ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากมีสีไม่คล้ำและรสชาติกลมกล่อม ดังนั้นการเติมแป้งถั่วดาวอินคา RSF 2% จึงเป็นสูตรที่เหมาะสมมากที่สุด

ตารางที่ 4-38 ความชอบทางประสาทสัมผัสของเครื่องดื่มน้ำนมถั่วดาวอินคาสูตรน้ำตาลต่ำที่แปรปริมาณแป้งถั่วดาวอินคาที่ผ่านการให้ความร้อนด้วยการอบ (RSF)

ปริมาณแป้งถั่วดาวอินคา (%)	ค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน					
	ลักษณะปรากฏ	สี	กลิ่น	รสชาติ	เนื้อสัมผัส	ความชอบโดยรวม
1	7.70 ± 0.75^{bc}	7.27 ± 0.69^{b}	7.00 ± 0.64^{b}	6.43 ± 0.57^{c}	7.53 ± 0.51^{a}	6.93 ± 0.58^{b}
2	8.13 ± 0.78^{a}	7.83 ± 0.70^{a}	7.37 ± 0.49^{a}	7.47 ± 0.51^{a}	7.40 ± 0.72^{a}	7.90 ± 0.55^{a}
3	8.07 ± 0.74^{ab}	7.43 ± 0.57^{b}	7.23 ± 0.63^{ab}	7.03 ± 0.61^{b}	7.23 ± 0.68^{a}	7.20 ± 0.66^{b}
4	7.60 ± 0.50^{c}	7.07 ± 0.58^{b}	7.03 ± 0.61^{ab}	6.60 ± 0.50^{c}	6.30 ± 0.53^{b}	6.47 ± 0.51^{c}

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

3.2.2 ผลการวิเคราะห์คุณภาพเครื่องดื่มน้ำนมถั่วดาวอินคาสูตรน้ำตาลต่ำจากการใช้แป้งถั่วดาวอินคาที่ผ่านและไม่ผ่านการลดกลิ่นถั่ว

จากการเปรียบเทียบคุณภาพทางเคมี ทางกายภาพ และทางประสาทสัมผัส ของเครื่องดื่มน้ำนมถั่วดาวอินคาสูตรน้ำตาลต่ำสูตรที่มีการใช้แป้งถั่วดาวอินคาที่ผ่านการลดกลิ่นถั่วที่เลือกได้จากข้อ 3.2.1 กับเครื่องดื่มน้ำนมถั่วดาวอินคาสูตรน้ำตาลต่ำที่ใช้แป้งถั่วดาวอินคาที่ไม่ผ่านการลดกลิ่นถั่วในปริมาณเท่ากัน ผลการวิเคราะห์คุณภาพมีรายละเอียดดังนี้

จากตารางที่ 4-39 ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีโดยประมาณ ได้แก่ ความชื้น โปรตีน ไขมัน กากใย เถ้า และคาร์โบไฮเดรต ของเครื่องดื่มน้ำนมถั่วดาวอินคาสูตรน้ำตาลต่ำที่เติมแป้งถั่วดาวอินคาที่ผ่านและไม่ผ่านการลดกลิ่นถั่ว พบว่า ชนิดของแป้งถั่วดาวอินคาที่ผ่านและไม่ผ่านการลดกลิ่นถั่วมีผลต่อปริมาณ โปรตีน กากใย และคาร์โบไฮเดรต ($p<0.05$) แต่ไม่มีผลต่อปริมาณความชื้น ไขมัน และเถ้า ($p\geq0.05$) โดยพบว่า เครื่องดื่มน้ำนมถั่วดาวอินคาสูตรน้ำตาลต่ำที่เติมแป้งถั่วดาวอินคาที่ไม่ผ่านการลดกลิ่นถั่วมีปริมาณโปรตีน และกากใย มากกว่าเครื่องดื่มน้ำนมถั่วดาวอินคาสูตรน้ำตาลต่ำที่เติมแป้งถั่วดาวอินคาที่ผ่านการลดกลิ่นถั่ว จากตารางที่ 4-40 แสงผลการวิเคราะห์ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด และสมบัติการต้านอนุมูลอิสระ DPPH รายงานเป็นค่า % Inhibition พบว่า ชนิดของแป้งถั่วดาวอินคาที่ผ่านและไม่ผ่านการลดกลิ่นถั่วไม่มีผลต่อปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดและสมบัติการต้านอนุมูลอิสระของเครื่องดื่มน้ำนมถั่วดาวอินคาสูตรน้ำตาลต่ำ ($p\geq0.05$)

จากตารางที่ 4-41 ผลการวิเคราะห์ค่าสี พบว่า ชนิดของแป้งถั่วดาวอินคาที่ผ่านและไม่ผ่านการลดกลิ่นถั่วมีผลต่อค่าสีของเครื่องดื่มน้ำนมถั่วดาวอินคาสูตรนำตาลต่ำ ($p<0.05$) โดยเครื่องดื่มน้ำนมถั่วดาวอินคาสูตรน้ำตาลต่ำที่เติมแป้งถั่วดาวอินคาที่ผ่านการลดกลิ่นถั่วมีค่าสี L* แสดงถึง ความสว่าง และค่าสี b* แสดงถึง ความเป็นสีเหลือง มากกว่า เครื่องดื่มน้ำนมถั่วดาวอินคาสูตรน้ำตาลต่ำที่เติมแป้งถั่วดาวอินคาที่ไม่ผ่านการลดกลิ่นถั่ว สำหรับค่าสี a* มีค่าเป็นลบ แสดงถึง ความเป็นสีเขียว พบว่า เครื่องดื่มน้ำนมถั่วดาวอินคาสูตรน้ำตาลต่ำที่เติมแป้งถั่วดาวอินคาที่ผ่านการลดกลิ่นถั่ว มีค่า a* น้อยกว่าเครื่องดื่มน้ำนมถั่วดาวอินคาสูตรน้ำตาลต่ำที่เติมแป้งถั่วดาวอินคาที่ไม่ผ่านการลดกลิ่น จากตารางที่ 4-42 แสดงผลการวิเคราะห์ค่าความหนืดของเครื่องดื่มน้ำนมสูตรน้ำตาลต่ำที่เติมแป้งถั่วดาวอินคาที่ผ่านและไม่ผ่านการลดกลิ่นถั่ว พบว่า ชนิดของแป้งถั่วดาวอินคาที่ผ่านและไม่ผ่านการลดกลิ่นถั่วมีผลต่อค่าความหนืดของเครื่องดื่มน้ำนมถั่วดาวอินคาสูตรน้ำตาลต่ำ ($p<0.05$) โดยพบว่า เครื่องดื่มน้ำนมถั่วดาวอินคาสูตรน้ำตาลต่ำที่เติมแป้งถั่วดาวอินคาที่ผ่านการลดกลิ่นถั่วมีความหนืดมากกว่าเครื่องดื่มน้ำนมถั่วดาวอินคาสูตรน้ำตาลต่ำที่เติมแป้งถั่วดาวอินคาที่ไม่ผ่านการลดกลิ่นถั่ว ทั้งอาจเนื่องมาจากการลดกลิ่นถั่วโดยการให้ความร้อนมีผลต่อโครงสร้างของเม็ดสตาร์ชที่อาจมีผลให้แตกตัวหรือโครงสร้างอ่อนตัวลงและทำให้เกิดการดูดน้ำไว้ได้มากกว่าจึงมีความหนืดมากกว่า

ตารางที่ 4-39 องค์ประกอบทางเคมีของเครื่องดื่มน้ำนมถั่วดาวอินคาสูตรน้ำตาลต่ำที่เติมแป้งถั่วดาวอินคาที่ผ่านและไม่ผ่านการลดกลิ่นถั่ว

ชนิดแป้งถั่วดาวอินคา	ค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (ร้อยละน้ำหนักแห้ง)					
	ความชื้น (% wet basis)[ns]	โปรตีน (% wet basis)	ไขมัน (% wet basis)[ns]	กากใย (% wet basis)	เถ้า (% wet basis)[ns]	คาร์โบไฮเดรต (% wet basis)
แป้งถั่วดาวอินคาที่ผ่านการลดกลิ่นถั่ว	85.07 ± 0.94	9.37 ± 0.74[b]	7.68 ± 0.27	0.40 ± 0.09[b]	2.57 ± 0.35	5.09 ± 0.57[a]
แป้งถั่วดาวอินคาที่ไม่ผ่านการลดกลิ่นถั่ว	87.41 ± 0.02	9.91 ± 0.39[a]	7.70 ± 0.13	0.71 ± 0.11[a]	2.63 ± 0.67	8.36 ± 0.27[b]

[ns] หมายถึง ค่าเฉลี่ยในแนวตั้งไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \geq 0.05$)

[a, b,...] หมายถึง ค่าเฉลี่ยในแนวตั้งมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

ตารางที่ 4-40 ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดและ % Inhibition ของเครื่องดื่มน้ำนมถั่วดาวอินคาสูตรน้ำตาลต่ำที่เติมแป้งถั่วดาอินคาที่ผ่านและไม่ผ่านการลดกลิ่นถั่ว

ชนิดแป้งถั่วดาวอินคา	ค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน	
	ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด (mg GAE/100 g)[ns]	% Inhibition[ns]
แป้งถั่วดาวอินคาที่ผ่านการลดกลิ่นถั่ว	5.59 ± 0.27	7.96 ± 0.22
แป้งถั่วดาวอินคาที่ไม่ผ่านการลดกลิ่นถั่ว	5.69 ± 0.20	7.36 ± 0.24

[ns] หมายถึง ค่าเฉลี่ยในแนวตั้งไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \geq 0.05$)

ตารางที่ 4-41 ค่าสีของเครื่องดื่มน้ำนมถั่วดาวอินคาสูตรน้ำตาลต่ำที่เติมแป้งถั่วดาอินคาที่ผ่านและไม่ผ่านการลดกลิ่นถั่ว

ชนิดแป้งถั่วดาวอินคา	ค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน		
	L*	a*	b*
แป้งถั่วดาวอินคาที่ผ่านการลดกลิ่นถั่ว	76.39 ± 0.27[a]	-0.89 ± 0.08[b]	8.81 ± 0.29[a]
แป้งถั่วดาวอินคาที่ไม่ผ่านการลดกลิ่นถั่ว	70.60 ± 0.06[b]	-1.76 ± 0.09[a]	4.91 ± 0.14[b]

[a, b, ...] หมายถึง ค่าเฉลี่ยในแนวตั้งมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

ตารางที่ 4-42 ค่าความหนืดของเครื่องดื่มน้ำนมถั่วดาวอินคาสูตรน้ำตาลต่ำที่เติมแป้งถั่วดาอินคาที่ผ่านและไม่ผ่านการลดกลิ่นถั่ว

ชนิดแป้งถั่วดาวอินคา	ค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน
	ความหนืด (cP)
แป้งถั่วดาวอินคาที่ผ่านการลดกลิ่นถั่ว	103.88 ± 1.14[a]
แป้งถั่วดาวอินคาที่ไม่ผ่านการลดกลิ่นถั่ว	97.95 ± 0.70[b]

[a, b,...] หมายถึง ค่าเฉลี่ยในแนวตั้งมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

สำหรับผลการทดสอบความชอบทางประสาทสัมผัส แสดงผลดังตารางที่ 4-43 พบว่า ชนิดแป้งถั่วดาวอินคาที่ผ่านการลดกลิ่นถั่วมีผลต่อความชอบทางประสาทสัมผัสทุกด้าน ($p<0.05$) โดยพบว่า ผู้ทดสอบชอบเครื่องดื่มน้ำนมถั่วดาวอินคาสูตรน้ำตาลต่ำที่เติมแป้งถั่วดาวอินคาที่ผ่านการลดกลิ่นถั่วมากกว่าเครื่องดื่มน้ำนมถั่วดาวอินคาสูตรน้ำตาลต่ำที่เติมแป้งถั่วดาวอินคาที่ไม่ผ่านการลดกลิ่นถั่ว โดยเครื่องดื่มน้ำนมถั่วดาวอินคาสูตรน้ำตาลต่ำที่เติมแป้งถั่วดาวอินคาที่ผ่านการลดกลิ่นถั่วได้รับคะแนนความชอบโดยรวมเท่ากับ 7.23 (ระดับชอบปานกลาง) ในขณะที่เครื่องดื่มน้ำนมถั่วดาวอินคาสูตรน้ำตาลต่ำที่เติมแป้งถั่วดาวอินคาที่ไม่ผ่านการลดกลิ่นถั่วได้รับคะแนนความชอบโดยรวมเท่ากับ 4.01 (ระดับไม่ชอบเล็กน้อย) จึงยืนยันให้เห็นว่าการลดกลิ่นถั่วลงมีผลให้ ผู้บริโภคให้การยอมรับทางประสาทสัมผัสในผลิตภัณฑ์มากขึ้น

ตารางที่ 4-43 ความชอบทางประสาทสัมผัสของเครื่องดื่มน้ำนมถั่วดาวอินคาสูตรน้ำตาลต่ำที่แปรปริมาณแป้งถั่วดาวอินคาที่ผ่านการลดกลิ่นถั่วระดับต่างๆ

ชนิดแป้งถั่วดาวอินคา	ค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน					
	ลักษณะปรากฏ	สี	กลิ่น	รสชาติ	เนื้อสัมผัส	ความชอบโดยรวม
แป้งถั่วดาวอินคาที่ผ่านการลดกลิ่นถั่ว	7.13 ± 0.78[a]	6.20 ± 0.99[a]	7.29 ± 0.83[a]	7.38 ± 0.78[a]	7.21 ± 0.99[a]	7.23 ± 0.98[a]
แป้งถั่วดาวอินคาที่ไม่ผ่านการลดกลิ่นถั่ว	5.47 ± 0.58[b]	5.11 ± 0.97[b]	4.20 ± 0.85[b]	5.80 ± 0.69[b]	5.51 ± 0.89[b]	4.01 ± 0.59[b]

[a, b,...] หมายถึง ค่าเฉลี่ยในแนวตั้งมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

ตอนที่ 4 ผลการถ่ายทอดเทคโนโลยีและความรู้ที่ได้จากการวิจัยสู่ชุมชน

ดำเนินการจัดทำเอกสารเผยแพร่กับชุมชน เช่น ผู้ประกอบการที่แปรรูปน้ำมันถั่วดาวอินคา กลุ่มวิสาหกิจชุมชน กลุ่มธุรกิจSME หรือประชาชนผู้สนใจ รวมทั้งการถ่ายทอดผลการวิจัยในรูปแบบของการตีพิมพ์ผลงานวิจัยในวารสารทางวิชาการ ตัวอย่างเอกสารที่ใช้เผยแพร่ความรู้สู่ชุมชนแสดงดังภาพที่ 4-7

ภาพที่ 4-7 ตัวอย่างเอกสารที่ใช้เผยแพร่ความรู้ที่ได้สู่ชุมชน

บทที่ 5
สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการทดลอง

1) จากการศึกษาผลของวิธีการให้ความร้อนด้วยการอบ และการนึ่งด้วยไอน้ำ ในการลดกลิ่นถั่วต่อคุณภาพของแป้งถั่วดาวอินคา สำหรับวิธีการให้ความร้อนด้วยการอบ พบว่า อิทธิพลร่วมระหว่างอุณหภูมิและเวลาการอบ มีผลต่อค่าสี L* ค่าสี a* ค่าสี b* ค่า ΔE กิจกรรมของเอนไซม์ไลพอกซีจิเนส และความเข้มกลิ่นถั่ว ($p<0.05$) และอุณหภูมิการอบมีผลต่อปริมาณความชื้น ($p<0.05$) สำหรับวิธีการให้ความร้อนด้วยการนึ่งด้วยไอน้ำ พบว่า เวลาการนึ่ง มีผลต่อค่าสี L* ค่าสี a* ค่าสี b* ค่า ΔE กิจกรรมของเอนไซม์ไลพอกซีจิเนส และความเข้มกลิ่นถั่ว ($p<0.05$) แต่ไม่มีผลต่อปริมาณความชื้น ($p\geq0.05$) โดยสภาวะที่เหมาะสมในการอบ คือ อบที่อุณหภูมิ 120 องศาเซลเซียส เวลา 15 นาที ได้แป้งถั่วดาวอินคาที่ผ่านการอบ มีปริมาณความชื้น 1.84% ค่าสี L* เท่ากับ 81.29 ค่าสี a* เท่ากับ 2.48 ค่าสี b* เท่ากับ 23.88 ΔE เท่ากับ 10.99 กิจกรรมของเอนไซม์ไลพอกซีจิเนส เท่ากับ 126.32 Unit/g และมีคะแนนความเข้มกลิ่นถั่ว 1.20 คะแนน สำหรับสภาวะที่เหมาะสมในการนึ่ง คือ นึ่งด้วยไอน้ำอุณหภูมิ 98±2 องศาเซลเซียส เวลา 30 นาที มีปริมาณความชื้น 6.03% ค่าสี L* เท่ากับ 83.16 ค่าสี a* เท่ากับ 1.7 ค่าสี b* เท่ากับ 19.34 ΔE เท่ากับ 6.29 กิจกรรมของเอนไซม์ไลพอกซีจิเนส เท่ากับ 423.10 Unit/g และมีคะแนนความเข้มกลิ่นถั่ว 1.40 คะแนน

2) จากการศึกษาการใช้แป้งถั่วดาวอินคา (SF) แป้งถั่วดาวอินคาที่ผ่านการให้ความร้อนด้วยการอบ (RSF) และแป้งถั่วดาวอินคาทีผ่านการให้ความร้อนด้วยการนึ่ง (SSF) แทนที่แป้งสาลีอเนกประสงค์และใช้ HPMC ร่วมด้วยในส่วนผสมของแป้งวอฟเฟิลสำเร็จรูป สามารถคัดเลือกสูตรวอฟเฟิลสำเร็จรูปที่เหมาะสมที่สุดได้ดังนี้ วอฟเฟิลสูตรที่ใช้แป้งถั่วดาวอินคา SF แทนที่แป้งสาลีอเนกประสงค์ 25% และใช้ HPMC 0.5% โดยน้ำหนักแป้ง วอฟเฟิลสูตรที่ใช้แป้งถั่วดาวอินคา RSF แทนที่แป้งสาลีอเนกประสงค์ 50% และใช้ HPMC 0.5% โดยน้ำหนักแป้ง และวอฟเฟิลสูตรที่ใช้แป้งถั่วดาวอินคา SSF แทนที่แป้งสาลีอเนกประสงค์ 50% และใช้ HPMC 0.5% โดยน้ำหนักแป้ง และจากการวิเคราะห์คุณภาพของวอฟเฟิลที่ใช้แป้งถั่วดาวอินคา SF แป้งถั่วดาวอินคา RSF และแป้งถั่วดาวอินคา SSF สูตรที่คัดเลือกได้ เปรียบเทียบกับวอฟเฟิลสูตรพื้นฐาน พบว่า วอฟเฟิลที่ใช้แป้งถั่วดาวอินคาทั้ง 3 ชนิด มีปริมาณองค์ประกอบทางเคมีโดยประมาณ ปริมาณเส้นใยอาหารทั้งหมด ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด และ สมบัติการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระ มากกว่าวอฟเฟิลสูตรพื้นฐาน ($p<0.05$) วอฟเฟิลที่ใช้แป้งถั่วดาวอินคามีสีเข้มขึ้น โดยมีค่าสี L* น้อยกว่าวอฟเฟิลสูตรพื้นฐาน แต่มีค่า a* และ b* มากกว่าวอฟเฟิลสูตรพื้นฐาน ($p<0.05$) ด้านเนื้อสัมผัส พบว่า วอฟเฟิลที่ใช้แป้งถั่วดาวอินคาทั้ง 3 ชนิด มีความหนืดของแบตเตอร์ ค่า Hardness ค่า Cohesiveness ค่า Gumminess และค่า Chewiness มากกว่าวอฟเฟิลสูตรพื้นฐาน ($p<0.05$) วอฟเฟิลที่ใช้แป้งถั่วดาวอินคา SSF ได้รับคะแนนความชอบโดยรวมไม่แตกต่างกับวอฟเฟิลสูตรพื้นฐาน ($p\geq0.05$) อยู่ในระดับชอบปานกลาง วอฟเฟิลที่ใช้แป้งถั่วดาวอินคา RSF ได้รับคะแนนความแตกต่างทางประสาทสัมผัสจากวอฟเฟิลสูตรพื้นฐานมากที่สุด ($p<0.05$)

3) จากการศึกษาการแปรปริมาณแป้งถั่วดาวอินคาที่ผ่านการให้ความร้อนด้วยการอบ (RSF) เติมในเครื่องดื่มน้ำนมถั่วดาวอินคาสูตรน้ำตาลต่ำ พบว่า ปริมาณแป้งถั่วดาวอินคา RSF ที่เติมมีผลต่อค่าสี L* a* b* ค่าความหนืด ค่าการแยกตัวของเหลว ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด และความชอบทางประสาทสัมผัส ($p<0.05$) โดยสามารถคัดเลือกสูตรเครื่องดื่มน้ำนมถั่วดาวอินคาสูตรน้ำตาลต่ำที่เหมาะสมที่สุด คือ สูตรที่ใช้แป้งถั่วดาวอินคา RSF 2% และจากการวิเคราะห์คุณภาพเครื่องดื่มน้ำนมถั่วดาวอินคาสูตรน้ำตาลต่ำที่ใช้แป้งถั่วดาวอินคา RSF และแป้งถั่วดาวอินคา (SF) พบว่า เครื่องดื่มน้ำนมถั่วดาวอินคาสูตรน้ำตาลต่ำที่ใช้แป้งถั่วดาวอินคา RSF โปรตีน และกากใยมากกว่าน้อยกว่าเครื่องดื่มน้ำนมถั่วดาวอินคาสูตรน้ำตาลต่ำที่เติมแป้งถั่วดาวอินคา SF ($p<0.05$) แต่ไม่มีผลต่อปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดและสมบัติการต้านอนุมูลอิสระ ($p\geq0.05$) อย่างไรก็ตามพบว่า เครื่องดื่มน้ำนมถั่วดาวอินคาสูตรน้ำตาลต่ำที่ใช้แป้งถั่วดาวอินคา RSF ได้รับคะแนนความชอบโดยรวมอยู่ในระดับชอบปานกลางซึ่งมากกว่าสูตรที่ใช้แป้งถั่วดาวอินคา SF ($p<0.05$)

ข้อเสนอแนะ

1) ศึกษาการลดกลิ่นถั่วในแป้งด้วยวิธีอื่นๆ เช่น วิธีการกำจัดไขมันจากแป้ง โดยการสกัดด้วยตัวทำละลาย ซึ่งเป็นการกำจัดสารตั้งต้นของการเกิดกลิ่นถั่ว

2) ศึกษาแนวทางการนำแป้งถั่วดาวอินคาไปใช้ในผลิตภัณฑ์อื่นๆ เช่น เนยถั่ว ผลิตภัณฑ์เบเกอร์รี่

บรรณานุกรม

กนกอร นันตะธนะ. (2555). *การใช้กากถั่วเหลืองเพื่อเพิ่มคุณค่าทางโภชนาการในเค้กผลไม้.* วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต, วิทยาศาสตร์การอาหาร, อุตสาหกรรมอาหาร, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.

กระวี ตรีอำนรรค. (2547). *การศึกษาวิธีการที่เหมาะสมในการสกัดน้ำมันงาดิบด้วยวิธีการสกัดเย็น*. วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต, วิศวกรรมเกษตร, วิศวกรรมศาสตร์, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

กุลยา ลิ้มรุ่งเรืองรัตน์. (2548). *เอกสารประกอบการสอน วิชา 311471 เทคโนโลยีของผลิตภัณฑ์ขนมอบ.* (Bakery Technology). มหาวิทยาลัยบูรพา: ภาควิชาวิทยาศาสตร์การอาหาร คณะวิยาศาสตร์

คิวซิเนอร์. (2012). *วาฟเฟิล (waffle)*. วันที่ค้นข้อมูล 17 สิงหาคม 2558, เข้าถึงได้จาก http://www.foodtravel.tv/recfoodShow_Detail.aspx?viewId=1471

จินตนา อุปดิสสกุล (2540). *การวัดลักษณะเนื้อสัมผัสของอาหาร.* การพัฒนาผลิตภัณฑ์ใน อุตสาหกรรมเกษตร. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

จินธนา แจ่มเมฆ และอรอนงค์ นัยวิกุล. (2546). *เบเกอรีเทคโนโลยีเบื้องต้น* (พิมพ์ครั้งที่ 7).กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

จิรนาถ ทิพย์รักษา และนาตยา สินทวี. (2553). *การใช้กากเมล็ดทานตะวันเสริมเส้นใยในผลิตภัณฑ์คุกกี้เนย*.สาขาวิทยาศาสตร์เคมีและเภสัช, คณะวิทยาศาสตร์, มหาวิทยาลัยสยาม.

จันทร์เพ็ญ ภูมิ่งเดือน. (2552). *การผลิตแป้งพรีเจลาทิไนซ์และการประยุกต์ใช้ในเครื่องดื่มข้าวชนิดชงดื่ม*. วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต, เทคโนโลยีการอาหาร, คณะวิทยาศาสตร์, มหาวิทยาลัยมหาสารคาม.

ชุลีพร บุ้งทอง. (2558). *ผลของปริมาณกลูเตนจากข้าวสาลี น้ำ ไฮโดรซีโพรพิลเมทิลเซลลูโลส ซูโครสเอสเทอร์ และเอนไซม์ทรานส์กลูตามิเนส ที่มีต่อคุณภาพของขนมปังข้าวหอมนิล*. วิทยาศาตรมหาบัณฑิต, วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีอาหาร, มหาวิทยาลัยบูรพา

โชติรส ประเสริฐกิตติกุล และชุติกาญจน์ จิรคระกูลพรหม. (2557). *ผลของการเตรียมขั้นต้นร่วมกับการทำแห้งด้วยลมร้อนต่อคุณภาพของส่วนเหลือทิ้งเห็ดนางฟ้าผงและการนำไปใช้เป็นส่วนผสมของมัฟฟิน*. วิทยาศาสตรบัณฑิต, ภาควิชาวิทยาศาสตร์การอาหาร, คณะวิทยาศาสตร์, มหาวิทยาลัยบูรพา

ณัฐธิดา มหาชัยราชัน, กมลวรรณ แจ้งชัด และอนุวัตร แจ้งชัด. (2554). *ผลของไฮโดรคอลลอยด์และความชื้นของส่วนผสมต่อคุณภาพของอาหารเช้าชนิดแผ่นจากแป้งข้าวกล้องงอกในการประชุมทางวิชาการของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 49*. (หน้า 398-405). กรุงเทพมหานคร: มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

ถิรนันท์ คุณนพรัตน์ สุวิช สิริวัฒนโยธิน และศักรินทร์ ภูมิรัตน. (2546). อธิพลของเอนไซม์อะไมโลสที่มีต่อการดูดซับน้ำมันของโดนัททอดแบบจุ่ม. *วารสารวิจัยและพัฒนา มจธ, 24*, 221-234

ธงชัย สุวรรณสิชณน์. (ม.ป.ป). *เทคนิคการประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสและการวิเคราะห์.* สาขาพัฒนาผลิตภัณฑ์, คณะอุตสาหกรรมเกษตร, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ธัญญาภาณ์ ศิริเลิศ. (2550). การประเมินลักษณะเนื้อสัมผัสในอาหาร.*วารสารเทคโนโลยีการอาหาร มหาวิทยาลัยสยาม, 1*, 6-13

นิติยา รัตนาปนนท์. (2554). *หลักการวิเคราะห์อาหาร.* (พิมพ์ครั้งที่ 1). กรุงเทพมหานคร: โอ.เอส. พริ้นติ้ง เฮ้าส์.

นิศรา ฮะเจริญ. (2554). การเพิ่มความคงตัวต่อความร้อนในการแปรรูปและความคงตัวต่อความเย็นในการเก็บรักษาของผลิตภัณฑ์กะทิสเตอริไรส์. วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต, ภาควิชาเทคโนโลยีอาหาร, คณะวิทยาศาสตร์, มหาวิทยาลัยศิลปากร

น้ำทิพย์ วงษ์ประทีป, สุขสมาน สังโยคะ และปวีนา น้อยทัพ. (2555). การใช้กากถั่วลิสงหลังบีบน้ำมันเป็นสารเสริมโปรตีนในคุกกี้. *วารสารวิชาการพระจอมเกล้าพระนครเหนือ, 20*, 42-49

ปาริฉัตร หงสประภาส. (2545). *เคมีกายภาพของอาหาร คอลลอยด์ อิมัลชัน และเจล* (1). โรงพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย: นักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ประวีณ์นุช มุสิกะพุกก์ และ สุชาดา ไม้สนธิ์. (2557). การพัฒนาผลิตภัณฑ์แป้งวาฟเฟิลสำเร็จรูปจากข้าวกล้องงอก. วารสาร*วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนคร, 4*, 59-66.

ปิยะรัชช์ กุลเมธี, อภิญญา จันทรวัฒนะ, หทัยชนก ศรีประไพ และภัทรพล เศรษฐโชดึก. (2553). การใช้ประโยชน์จากกากถั่วเหลืองแทนแป้งสาลีในผลิภัณฑ์ขนมปัง. *วารสารวิชาการพระจอมเกล้าพระนครเหนือ*, *20* (1), 97-105.

ปุณฑริกา วิไลพล. (2553). *ผลของขนาดเม็ดสตาร์ชต่อขนาดทางเคมีกายภาพและสมบัติเชิงหน้าที่ของสตาร์ชถั่วมะแฮะ Cajanus cajan (L.)*. วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต, ภาควิชาเทคโนโลยีทางอาหาร, คณะวิทยาศาสตร์, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

ผาณิต รุจิรพิสิฐ. (2549). *องค์ประกอบทางเคมี และสมบัติทาง เคมีกายภาพของแป้งฟลาวร์ และสตาร์ชจากแห้วจีน (Eleocharisdulcis Trin.)*. สาขาวิทยาศาตร์และเทคโนโลยีอาหาร, คณะวิทยาศาสตร์, มหาวิทยาลัยหอการค้าไทย.

พิทักษ์ จันทร์เจริญ. (2549). *การวิเคราะห์การทำแห้งหน่อไม้ไผ่ตงโดยเครื่องอบแห้งชนิดถาด.* คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร, มหาวิทยาลัยราชภัฏสวนดุสิต

พิมพ์เพ็ญ พรเฉลิมพงษ์ และนิธิยา รัตนาปนนท์. (ม.ป.ป). *Bostwick Consistometer*. วันที่ค้นข้อมูล 13 พฤษภาคม 2559, เข้าถึงได้จาก http://www.foodnetworksolution.com/wiki/word/2339

พิมพ์เพ็ญ พรเฉลิมพงศ์ และนิธิยา รัตนาปนนท์. (ม.ป.ป). *Dehydration / การทำแห้ง.* วันที่ค้นข้อมูล 3 พฤษภาคม 2559, เข้าถึงได้จาก http://www.foodnetworksolution.com/wiki/word/0277/dehydration-การทำแห้ง

พิมพ์เพ็ญ พรเฉลิมพงศ์ และนิธิยา รัตนาปนนท์. (ม.ป.ป). *Dietary fiber / เส้นใยอาหาร.*วันที่ค้นข้อมูล 17 พฤษภาคม 2559, เข้าถึงได้จาก http://www.foodnetworksolution.com/wiki/word/1102/dietary-fiber-ใยอาหาร

พิมพ์เพ็ญ พรเฉลิมพงศ์ และนิธิยา รัตนาปนนท์. (ม.ป.ป) . *Protein/โปรตีน*. วันที่ค้นข้อมูล 15 สิงหาคม 2558, เข้าถึงได้จาก http://www.foodnetworksolution.com/wiki/word/1189/protein-โปรตีน

พิมพ์เพ็ญ พรเฉลิมพงศ์ และนิธิยา รัตนาปนนท์. (ม.ป.ป). *Steaming/การนึ่ง.* วันที่ค้นข้อมูล 3 พฤษภาคม 2559, เข้าถึงได้จาก http://www.foodnetworksolution.com/wiki/word/1612/steaming-การนึ่ง

เฟื่องนภา ขันทะ. (2552). *ผลของไฮดรกซีโพรพิลเมทิลเซลลูโลสและคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลสต่อความไม่สดและคุณภาพการเก็บรักษาของขนมปังแป้งสาลี*. วิทยาศาสตรมาหาบัณฑิต, ภาควิชาเทคโนโลยีทางอาหาร, คณะวิทยาศาสตร์, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ยุพร พืชกมุทร และวิญญ์ ผิวนิ่ม. (2554) .การปรับปรุงคุณภาพของขนมปังแซนด์วิชที่ใช้กากถั่วเหลืองทดแทนแป้งสาลี.*วารสารวิชาการพระจอมเกล้าพระนครเหนือ*, 21 (ฉบับที่ 3).607-616

รามราช หมื่นศรีธาราม. (2550). *การเปลี่ยนแปลงปริมาณสารประกอบฟีนอลิกและสมบัติการต้านอนุมูลอิสระของกล้วยตากและกล้วยทอดกรอบแผ่นบางในระหว่างกระบวนการแปรรูปและการเก็บรักษา*. วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต, สาขาวิทยาศาสตร์การอาหาร, คณะวิทยาศาสตร์, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

รัตนาภรณ์ ถาแกว, วารุณอร จันต๊ะอิน และสุวรรณา เดชะรัตนางกูง. (ม.ป.ป). *การทดแทนแปงสาลีดวยกากถั่วเหลืองในเสนขาวซอย*.วันที่ค้นข้อมูล 15 สิงหาคม 2558, เข้าถึงได้จาก http://www.arda.or.th/kasetinfo/north/research_soybean/research_soybean38.pdf

ลูกจันทร์ ภัครัชพันธุ์ และสุชาติ ภูษณะดิลก. (2525). *การกำจัดกลิ่นถั่วเพื่อปรับปรุงคุณภาพโปรตีนจากถั่วเหลือง: ผลของการแช่ถั่วในสารละลายต่าง ๆ ต่อกลิ่นถั่ว.* ภาควิชาเทคโนโลยีชีวภาพ, คณะอุตสาหกรรมเกษตร, มหาวิทยาลัยบูรพา.

วนิดา ชารีมุ้ย. (2556). อิทธิพลของการให้ความร้อนต่อการกะเทาะเปลือกถั่วเหลืองและสมบัติของแป้งถั่วเหลืองไขมันเต็ม. วิศกรรมศาสตรมหาบัณฑิต, ภาควิชาวิศวกรรมอาหาร, คณะวิศวกรรมศาสตร์, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.

วรรณพร นวลศรีไพร. (2550). *ผลของการทดแทนแป้งสาลีด้วยฟลาวร์กากเมล็ดทานตะวันไขมันต่ำต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์ขนมปังกรอบแท่ง*. วิทยาศาสตรบัณฑิต, สาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีอาหาร, คณะวิทยาศาสตร์, มหาวิทยาลัยบูรพา.

วรดา อ่ำบุญ. (2550). ผลของไฮดรอกซีโพรพิลเมทิลเซลลูโลสต่อสมบัติของแบทเทอร์แป้งข้าว. วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต, ภาควิชาเทคโนโลยีทางอาหาร, คณะวิทยาศาสตร์, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ศิริกัญญา กุลสุวรรณ. (2549). *การแยกสตาร์ชและโปรตีนจากแป้งข้าวโดยใช้เอนไซม์นิวทรัลโปรติเอสและการศึกษาสมบัติของสตาร์ชและโปรตีนที่แยกได้*. วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต, ภาควิชาเทคโนโลยีทางอาหาร, คณะวิทยาศาสตร์, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

ศุภรินทร์ มหาสวัสดิ์. (ม.ป.ป). *ผลของการเติมกากข้าวโพดต่อสมบัติทางกายภาพของวอฟเฟิล.* ภาควิชาเทคโนโลยีการอาหาร, คณะทรัพยากรธรรมชาติและอุตสาหกรรมเกษตร, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ศุภลักษณ์ สารพันธ์ และสุมาพร เพาะผล (2549). *ศึกษาปริมาณสะละที่เหมาะสมในการผลิตโยเกิร์ต*. ภาควิชาเทคโนโลยีการอาหาร, คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรมการเกษตร, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก

สักกมน เทพหัสดิน ณ อยุธยา. (ม.ป.ป). *การอบแห้งอาหารและวัสดุชีวภาพ*. ภาควิชาวิศวกรรมอาหาร, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.

สมวิภา พวงมณี. (2547). *การเปลี่ยนแปลงทางเคมีและโครงสร้างของโปรตีนแอลฟาแลคตัลบูมินด้วยปฏิกิริยาเมลลาร์ด*. วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต. สาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร, คณะวิทยาศาสตร์, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

สมพร คุ้มชาติ และคณะ. (2538). การคัดเลือกเอนไซม์ฟอสโฟไลเปสเพื่อใช้ขจัดยางเหนี่ยวในน้ำมันถั่วเหลือง.*วารสารสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี, 18* (2), 32-40.

สุภาวิณี แสนทวีสุข และมาลีน่า สันเต๊ะ. (2557). ผลของการใช้กากถั่วเหลืองทดแทนแป้งสาลีต่อคุณภาพของบัตเตอร์เค้ก.*วารสารวิทยาศาสตร์เกษตร, 45* (2), 453-456

สุมาลี ปัญญาจิรวุฒิ. (2554). *การคัดเลือกสายพันธุ์แบคทีเรียแลคติกที่สามารถลดกลิ่นถั่วและลดน้ำตาลโอลิโกแซคคาไรด์ที่เป็นสาเหตุของการเกิดอาการท้องอืด ท้องเฟ้อในผลิตภัณฑ์โยเกิร์ตพร้อมดื่มจากนมถั่วเหลือง.* วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต. สาขาวิชาเทคโนโลยีอาหาร , บัณฑิตวิทยาลัย, มหาวิทยาลัยศิลปกร.

สถาบันอาหาร.(2558). 10 *เทรนด์ที่มีอิทธิพลต่ออุตสาหกรรมอาหาร*.วันที่ค้นข้อมูล 15 สิงหาคม 2558, เข้าถึงได้จาก http://fic.nfi.or.th/broadcast/WFMR_Feb2015.pdf

อรชนก หวังดีศิริสกุล. (2552). *การพัฒนาผลิตภัณฑ์ท็อปปิ้งเสาวรสสำหรับวอฟเฟิล*. วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต, ภาควิชาพัฒนาผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมเกษตร, คณะอุตสาหกรรมเกษตร, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

อุดมพร แซ่ซื่อ. (2558). *การผลิตวิปปิ้งครีมผสมกะทิเพื่อใช้ในธุรกิจการจัดและบริการอาหาร*. วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต. สาขาเทคโนโลยีการจัดและบริการอาหาร. คณะวิทยาศาสตร์. สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

อุดมวิทย์ ไวทยการ, กัญญรัตน์ จำปาทอง และเถลิงศักดิ์ วีรวุฒิ. (2557). *ดาวอินคา พืชมหัศจรรย์ สุดยอดโภนาการ*. วันที่ค้นข้อมูล 26 กันยายน 2558, เข้าถึงได้จาก http://www.doa.go.th/pibai/pibai/n17/v_10-nov/rai.html

อุทัยวรรณ ทองทั้งวงศ์ และสุนทรี สุวรรณสิชณน์.(2553). *ผลของการทดแทนแป้งสาลีด้วยแป้งข้าวสีนิลต่อคุณภาพของบัตเตอร์เค้ก*. สาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร, คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี, มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ ศูนย์รังสิต

เอื้ออังกูร นันทศรีวิวัฒน์. (2555). *พฤติกรรมของผู้บริโภคในการบริโภคอาหารสำเร็จรูปแช่แข็งในกรุงเทพมหานคร บริเวณศูนย์การค้าสยามพารากอน.*วันที่ค้นข้อมูล 26 กันยายน 2558,

เข้าถึงได้จาก http://library.cmu.ac.th/faculty/econ/Exer751409/2555/Exer2555_no290

Achouri, A. B, J.I., & Zamani, Y. (2006). Identification of compounds in soymilk using solid-phase microextraction-gasn chromatography. *Food chemistry, 99*, 759-766

Aditya, U. J., Liu, C., Sathe, S. K. (2015). Functional properties of select seed flours. *Food Science and Technology, 60*, 325-331

Amin, T., Bashir, A., Dar, B. N., & Naik, H. R. (2016). Development of high protein and sugar-free cookies fortified with pea (Pisum sativum L.) flour, soya bean (Glycine max L.) flour and oat (Avena sativa L.) flakes. *International Food Research Journal, 23*, 72-76

Andrade, J., Mandarino, J., Kurozawa, L., & Ida, E. (2016). The effect of thermal treatment of whole soybean flour on the conversion of isoflavones and inactivation of trypsin inhibitors. *Food Chemistry*, *194*, 1095–1101.

Anonymous. (1981). Natural gum blend stabilizes pulp-rich fruit drink. *Food Development, 15* (8), 22

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

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

Azizah, A.H., & Zainon, H. (1997). Effect of processing on dietary fiber contents of selected legumes and cereals. *Journal of Nutrition, 3*, 131-136

Benjakul, S., & Kudre (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.

Bhat, R., & Binti Y. N. (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.

Blessing, I. A., & Gregory, I. O. (2010). Effect of Processing on the Proximate Composition of the Dehulled and Undehulled Mungbean [Vigna radiata (L.) Wilczek] Flours. *Pakistan Journal of Nutrition, 9*, 1006-1016,

David, O., Arthur, Eric., Kwadwo, S. O., Badu, E., Sakyi, P. (2015). Proximate Composition and Some Functional Properties of Soft Wheat Flour. Horticulture, Kwame Nkrumah University of Science & Technology.

Damodaran, S. (1996). Amino acids, peptides and proteins. *In Food Chemistry, 3*, 321-429

Dhillon, G. K., Amarjeet, K. (2013). Quality Evaluation of Bread Incorporated With Different Levels Cinnamon Powder. *International Journal of Food Science Nutrition and Dietetics, 2*, 70-74

Dickinson, E. (2009). Hydrocolloids as emulsifiers and emulsion stabilizers. *Food Hydrocolloids, 23,* 1473–1482

Campbell, J.M., Crenshaw, J.D., Russell, L.E., & Hayes, S.K. (2008). *Influence of Dietary Plasma Proteins on Supporting Animal Immunity Systems*.

Eldridge, A. G., Warner, K., & Wolf, W. J. (1977). Alcohol treatment of soybeans and soybean protein products [Abstract]. *Cereal Chemistry, 54*, 1229 - 1237

Fanali, C., Dugo, L., Cacciola, F., Beccaria, M., Grasso, S., Dacha, M., Dugo, P., & Mondello, L. (2011). Chemical Characterization of Sacha Inchi (Plukenetia volubilis L.) Oil. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 59, 13043–13049

Gebhardt, S. E. & Thomas, R. G. (n.d.). *Nutrient Composition of Retail Samples of Sorghum, Millet and Whole Wheat Flour*. Beltsville Human Nutrition Research Center

Gomez-Lopez , J., Gadzov, B., & Nixdorf, R. (2014). *Burnt Caramel: From the Flavour Wheel to the tasting room.*

Guilléna, M., Ruiza, A., Caboa, N., Chirinosb, R., & Pascualb, Gloria. (2003). Characterization of Sacha Inchi (Plukenetia volubilis L.) Oil by FTIR Spectroscopy and 1H NMR. Comparison with Linseed Oil. *Journal of the American Oil Chemists' Society*, *80* (8), 755–762.

Gupta, A., Sharma, S., & Walia, S. (2013). Yeild and nutritional content of Pleurotus sajor caju on wheat straw supplemented with raw and detoxified mahua cake. *Food Chemistry, 141*, 4231-4239

Hanssen, H.P., & Schmitz-Hubsch, M. (2011) . *Sacha Inchi (Plukenetia volubilis L.) Nut Oil and Its Therapeutic and Nutritional Uses*. San Diego: Academic Press.

Huii, L. H. (2006). Handbook of food technology and engineering. CRC Press, Taylor Frances group.

Inyang, U. E., Akpan, E. O. & Bello, F. A. (2015). Effect of boiling and roasting on the nutrient and anti- nutrient contents in Conophor nuts flour. *International Journal of Information Research and Review, 2*, 769-772,

Jagersberger, J. (2013) . *Development of novel products on basis of Sacha Inchi – Use of press cakes and hulls*. Masterarbeit, University of Vienna.

Johansson, M. (2012). *Dietary fibre composition and sensory analysisof heat treated wheat and rye bran*. Department of Food Science, Faculty of Natural Resources and Agricultural Sciences, Swedish University of Agricultural Sciences

Kato, H., Doi, Y., Tsugita, T., Kosai, K., Kamiya, T., & T. Kurata. (1981). Changes in volatile flavour components of soybeans during roasting. *Food Chemistry, 7* (2), 87–94

Kim, J., Choi, I., Shin, W. K., & Kim, Y. (2015). Effects of HPMC (Hydroxypropyl methylcellulose) on oil uptake and texture of gluten-free soy donut [Abstract]. *LWT - Food Science and Technology, 62*, 620-627

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

Laure M. Benzing-Purdie, John A. Ripmeester, & Christopher I. Ratcliffe. Effects of temperature on Maillard reaction products. *Agricultural and Food Chemistry*, *33*, 30-33

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

Mary Elaine. (2011). *Homemade Pre-Made Pancake and Waffle Mix Recipe*. วันที่ค้นข้อมูล 4 กันยายน 2558, เข้าถึงได้จาก http://thethriftycouple.com/2011/07/30/homemade-pre-made-pancake-and-waffle-mix-recipe/

Marston, K., houryieh, 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.

Matsumaru, Y., & Mori, T. (1996). *In methods of testing protein functionality*.p.76. G.M. (Ed), Blackie Academic & Professional, London

Mattick, L.R and Hand, D.B. 1969. Identification of a volatile component in soybeans that contributes to the raw bean flavor. *Agricultural and food chemistry, 17* (1), 15-17

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 acids, sacha inchi (Plukenetia volubilis L.) oil. *Food Chemistry*, *134*, 1173-1180

Miftakhussolikhaha, K. M., Poeloengasiha, C., Frediansyaha, A., & Susantoa, A. (2015). Folate Content Of Mung Bean Flour Prepared By Various Heat- Treatments. *Procedia Food Science*, *3*, 69 – 73.

Miller R.A., & Hoseney R.C. (1993). The role of xanthan gum in white layer cake. *Cereal Chemistry*, *70* (5), 585-588.

Noranizan, M., Dzulkifly., & Russly, R. (2010). Effect of heat treatment on the physico-chemical properties of starch from different botanical sources. *International Food Research Journal, 17*, 127-135.

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*. Food Science and Technology, Federal University of Technology

Obaidy, H. M. and 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

Pineli, O., Carvalho, M. V., Aguiar, L. A., Oliveira, T. G., Celestino, S. M. C. R., Botelho, B. A., & Chiarello, D. M. (2015). Use of baru (Brazilian almond) waste from physical extraction oil to produce flour and cookies [Abstract]. *LWT-Food Science and Technology*, *60*, 50-55

Robards, K., Prenzler, P.D., Tucke, G., Swatsitang, P., & Glover W. (1999). Phenolic compounds and their role in oxidative processes in fruits. *Food Chemistry, 66*, 401–436.

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

Scalabrini, P., Rossi, M., Spettoli, P., & Matteuzzi, D. (1998). Characterization of *Bifidobacterium* strains for use in soymilk fermentation. *International of food microbiology, 39*, 213-219

Schroder, D. J., & Jackson H. (1971). Preparation and evaluation of soybean curd reduced beany flavor [Abstract]. *Journal of Food Science*, *37*, 450.

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

Sirivongpaisal, P. (2008). Structure and functional properties of starch and flour from bambarra groundnut. *Songklanakarin Journal of Science and Technology*, *30*, 51-56,

Turan, D., Capanoglu, E., & Altay, F. (2015). Investigating the effect of roasting on functional properties of defatted hazelnut flour by response surface methodology (RSM). *LWT - Food Science and Technology*, *63*, 758-765

Vongsumran, K., Ratphitagsanti, W., Chompreeda, P., & Haruthaitanasan, V. (2014). Effect of Cooking Conditions on Black Bean Flour Properties and Its Utilization in Donut Cake. *Kasetsart Journal, 48*, 970 - 979

Wilken, W. F. (1967) .Effect of processing method on oxidative off flavor of soybean milk. *Food Technology*, *21*, 960.

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.

Xu, B., & Chang S. (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

Ziegler, G.R., & Foegeding, E.A. (1990). The gelation of proteins. *Food Nutrition, 34,* 203

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก
การวิเคราะห์คุณภาพทางเคมี

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

เครื่องมือและอุปกรณ์

1. เครื่องชั่งละเอียด Sartorius รุ่น BA 2115 ประเทศเยอรมันนี
2. ถ้วยอลูมิเนียม
3. โถดูดความชื้น
4. ตู้อบลมร้อนไฟฟ้า Binder รุ่น FD – 53 ประเทศสหรัฐอเมริกา
5. เตาเผาไฟฟ้า Carbolite รุ่น RWF 1200 ประเทศอังกฤษ
6. เครื่องวิเคราะห์โปรตีน Buchi รุ่น B-324 ประเทศสวิสเซอร์แลนด์
7. เครื่องวิเคราะห์ไขมัน Gerhardt รุ่น S306A ประเทศเดนมาร์ก
8. บิวเรต
9. ขวดรูปชมพู่
10. กระดาษกรอง
11. ทิมเบิล
12. ช้อนตักสาร
13. บีกเกอร์ 600 มิลลิลิตร
14. กระดาษกรอง Whatman เบอร 54

สารเคมี

1. น้ำกลั่น
2. สารละลาย Selenium mixture
3. กรดซัลฟูริกเข้มข้น 15 มิลลิกรัม
4. สารละลายกรดบอร์ริกเข้มข้น 2%
5. methyl red
6. สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 32%
7. สารละลายกรดไฮโดรคลอริกความเขมขน 0.1 นอรมัล
8. สารละลายปิโตรเลียมอีเทอร์
9. สารละลายกรดซัลฟูริกเข้มข้น 0.1275 โมลาร์
10. สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซดเข้มข้น 0.313 โมลาร์
11. สารละลายไฮโดรคลอริกความเข้มข้น 1%
12. เอทานอลความเขมขน 95%

การวิเคราะห์ปริมาณความชื้น

1. อบถ้วยอลูมิเนียมในตู้อบที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส จนน้ำหนักคงที่ทำให้เย็นใน desiccator นำมาชั่งน้ำหนักที่แน่นอน

2. ชั่งตัวอย่าง 3 กรัม ใสลงในถ้วยอลูมิเนียมที่อบแห้ง และบันทึกน้ำหนักที่แน่นอน อบที่อุณหภูมิ 105 ถึง 107 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที นำเอามาใส่ใน desiccator ทิ้งไว้ให้เย็นที่อุณหภูมิห้อง นำไปชั่งน้ำหนักอบทุก 30 นาที จนไดน้ำหนักคงที่ โดยค่าที่ได้จะแตกต่างกันไมเกิน 2 มิลลิกรัม บันทึกน้ำหนักถ้วยอลูมิเนียมที่น้อยที่สุดและน้ำหนักตัวอย่างที่น้อยที่สุด

การคำนวณ

$$\text{ปริมาณความชื้นฐานเปียก (\%)} = \frac{\text{น้ำหนักที่หายไป (g)}}{\text{น้ำหนักตัวอย่าง (g)}} \times 100$$

$$\text{ปริมาณความชื้นฐานแห้ง (\%)} = \frac{\text{น้ำหนักที่หายไป (g)}}{\text{น้ำหนักตัวอย่าง (g)} - \text{น้ำหนักที่หายไป (g)}} \times 100$$

การวิเคราะห์ปริมาณโปรตีน

โดยใช้เครื่อง Buchi โดยจะแบงออกเป็น 2 สวนคือ

1. ขั้นตอนการย่อย

1) เปิดเครื่องปรับความร้อนไปที่เบอร์ 10

2) ชั่งตัวอย่าง 1 กรัม ผสมกับ Selenium mixture (Na_2SO_4 6 กรัม + $CuSO_4$ 3.5 กรัม + SeO_2 0.5 กรัม) แล้วเติมกรดซัลฟูริกเข้มข้น 15 มิลลิกรัม ลงในหลอด Buchi

3) ตอหลอด Buchi เขาช่องไม่มีความร้อนเพื่อพักไว้ ปิดฝาแล้วกดล็อค

4) ต่อขั้วน้ำทางด้านหลังของเครื่องเปิดน้ำ (เพื่อจับไอกรดที่เกิดขึ้น)

5) ย้ายหลอด Buchi ไปยังช่องที่มีความร้อน ปรับความร้อนเป็นเบอร์ 8

6) ทิ้งไวให้เครื่องทำงาน (ประมาณ 45 นาที หรือตัวอย่างใส)

7) เมื่อตัวอย่างใสยกหลอด Buchi ไปยังช่องที่ไม่มีความร้อน ตั้งไว้ให้เย็น ปิดน้ำแล้วจึงปิดเครื่อง

2. ขั้นตอนการกลั่น

1) เตรียม boric acid ที่มีความเข้มข้น 2% 50 มิลลิลิตร หยด methyl red เป็นอินดิเคเตอร์

2) นำตัวอย่างที่ผ่านการย่อยเติมน้ำกลั่นหลอดละ 50 มิลลิลิตร ต่อหลอด Buchi เข้ากับเครื่อง แล้วจึงทำการเปิดเครื่อง

3) เติม NaOH ความเข้มข้น 32% 100 มิลลิลิตร แล้วเปิด stream on เพื่อทำการกลั่น โดยใช้เวลากลั่นประมาณ 3-4 นาที เมื่อกลั่นเสร็จแล้วให้ปิด stream on

4) นำตัวอย่างที่ไดไปไตเตรตหาปริมาณโปรตีนด้วย HCl ความเขมขน 0.1 นอรมัล บันทึกปริมาตร HCl ที่ใช้ไป

การคำนวณ

$$\text{ปริมาณโปรตีน (\%)} = \frac{(A - B) \times N \times 1.4007 \times CF \times 100}{\text{น้ำหนักตัวอย่าง (g)}}$$

เมื่อ A = ปริมาณของ HCl ที่ใช้ในการไตเตรทตัวอย่างอาหาร (มิลลิลิตร)

B = ปริมาณของ HCl ที่ใช้ในการไตเตรท Blank (มิลลิลิตร)

N = ความเข้มข้นของ HCl (นอร์มอล)

CF = Conversion Factor

การวิเคราะห์ปริมาณไขมัน

1. ชั่งตัวอย่างที่หาความชื้นแล้ว 3 กรัม ใสบนกระดาษกรองและห่อให้มิดชิด แล้วนำไปใส่ลงในทิมเบิล (Thimble)

2. นำทิมเบิล ใสใน Extraction Unit it of Soxhlet ซึ่งเชื่อมต่อกับ 1046 Service Unit โดยใช้เครื่อง adapter แล้วนำ Extraction cup ไปอบแลวชั่งน้ำหนักที่แน่นอน

3. เติมปิโตรเลียมอีเทอร์ลงในขวดกลั่นที่ทราบน้ำหนักที่แน่นนอน ประมาณ 150 มิลลิลิตร ประกอบเครื่อง Soxhlet เข้าด้วยกัน

4. ทำการสกัดไขมันจากตัวอย่างนานประมาณ 3 ถึง 4 ชั่วโมง โดยปรับความร้อนให้หยดของสารทำละลายกลั่นจาก condenser มีอัตราหยด 150 หยดต่อนาที

5. กลั่นปิโตรเลียมอีเทอร์ออกจากไขมัน นำขวดกลั่นและไขมันไปอบที่อุณหภูมิ 80 ถึง 90 องศาเซลเซียส นาน 30 นาที ชั่งน้ำหนักที่แน่นอน

6. อบซ้ำนานครั้งละ 30 นาที และชั่งน้ำหนักจนได้น้ำหนักคงที่

การคำนวณ

$$\text{ปริมาณไขมัน (\%)} = \frac{\text{น้ำหนักไขมันที่สกัดได}}{\text{น้ำหนักตัวอย่าง (g)}} \times 100$$

การวิเคราะห์ปริมาณกากใย

1. นำตัวอย่างที่สกัดเอาไขมันออกแล้ว มาหาปริมาณกากใย โดยนำตัวอย่างใส่ลงในบีกเกอร์ขนาด 600 มิลลิลิตร

2. เติมสารละลายกรดซัลฟูริกเข้มข้น 0.1275 โมลาร จำนวน 200 มิลลิลิตร แล้วต้มให้เดือดเป็นเวลา 30 นาที โดยตลอดเวลาที่ต้มจะต้องรักษาปริมาตรให้คงที่โดยการเติมด้วยน้ำกลั่น

3. กรองด้วยกระดาษกรอง Whatman เบอร 54 หรือ 531 โดยใช้ suction ล้างด้วยน้ำร้อนหลายๆครั้งจนกรดหมด แล้วเทกากใส่ในบีกเกอร์

4. เติมสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซดเข้มข้น 0.313 โมลาร 200 มิลลิลิตร แล้ว ต้มให้เดือดเป็นเวลา 30 นาที รักษาปริมาตรให้คงที่โดยการเติมด้วยน้ำกลั่น

5. กรองผ่านกระดาษกรอง โดยใช้ suction ล้างด้วยน้ำร้อนหลายๆครั้ง จนหมดด่าง แล้วเทกากใส่ในบีกเกอร์

6. ล้างกากด้วยสารละลายไฮโดรคลอริกความเข้มข้น 1% แล้วตามด้วยน้ำร้อนจนกรดหมด

7. ล้างกากดวยเอธิลแอลกอฮอลความเขมขน 95% สองครั้ง ครั้งละ 15 ถึง 20 มิลลิลิตร

8. นำกากใสลงกระดาษกรอง Whatman ชนิดปราศจากเถ้าเบอร 41 ซึ่งผ่านการอบแห้งที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส และชั่งจนทราบน้ำหนักที่แน่นอน

9. นำไปอบที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียสนาน 1 ชั่วโมงหรือจนน้ำหนักคงที่

10. นำกากไปเผาในเตาเผาที่อุณหภูมิ 550 องศาเซลเซียส จนเป็นเถ้าสีขาว ปล่อยให้เย็นใน desiccator

การคำนวณ

น้ำหนักกากใย (g) = น้ำหนักแห้งของกาก (g) – น้ำหนักเถา (g)

$$\text{ปริมาณกากใย (\%)} = \frac{\text{น้ำหนักกากใย (g)}}{\text{น้ำหนักตัวอย่าง}} \times 100$$

การวิเคราะห์ปริมาณเถ้า

1. อบ crucible ที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส จนน้ำหนักคงที่ ทำให้เย็นใน desiccator นำมาชั่งน้ำหนักที่แน่นอน

2. ชั่งตัวอย่างประมาณ 3 กรัม ใส่ลง crucible ที่ทราบน้ำหนักที่แน่นอน แล้วนำไปเผาในเตาเผาที่อุณหภูมิ 550 องศาเซลเซียส จนได้เถ้าสีขาว

3. นำออกมาทำให้เย็นใน desiccator แล้วชั่งน้ำหนักที่แน่นอน

การคำนวณ

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

การคำนวณปริมาณคาร์โบไฮเดรต

ปริมาณคาร์โบไฮเดรตคำนวณจากสูตรเมื่อทราบปริมาณร้อยละของความชื้น โปรตีน ไขมัน เถ้า และกากใย นำค่าดังกล่าวนี้เมาคำนวณตามสูตร

ปริมาณคารโบไฮเดรต (%) = 100 - (ความชื้น+ โปรตีน + ไขมัน+ เถ้า+ กากใย)

ก-2 ปริมาณเส้นใยอาหารทั้งหมด (AOAC, 1995)

เครื่องมือและอุปกรณ์

1. เครื่องชั่งละเอียด Sartorius รุ่น BA 2115 ประเทศเยอรมันนี
2. บีกเกอร์ขนาด 100 มิลลิลิตร
3. ช้อนตักสาร
4. อลูมิเนียมฟอยด์
5. Crucible
6. อ่างน้ำแบบควบคุมอุณหภูมิ Heto รุ่น RWF CB22-20FL
7. เครื่องวัดค่าความเป็นกรดด่าง (pH-meter) Denver Instrument รุ่น Ub-10 ประเทศเยอรมนี

8. เตาเผาไฟฟ้า Carbolite รุ่น RWF 1200 ประเทศอังกฤษ
9. เครื่องวิเคราะห์โปรตีน Buchi รุ่น B-324 ประเทศสวิสเซอร์แลนด์

สารเคมีและเอนไซม์

1. 0.5 M MES/TRIS buffer pH 8.2
2. ซีไลต์
3. เอนไซม์แอลฟา-อะไมเลส
4. เอนไซม์โปรตีเอส
5. เอนไซม์อะไมโลกลูโคซิเดส
6. สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 5%
7. สารละลายกรดไฮโดรคลอริกความเข้มข้น 0. 561 นอร์มอล และเข้มข้น 5%
8. เอทานอล 95%
9. เอทานอล 78%
10. สารละลายแอซีโตน

การวิเคราะห์

1. เตรียมตัวอย่างโดยทำแห้งที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส จนน้ำหนักคงที่ นำตัวอย่างมาชั่ง 1 ± 0.02 กรัม โดยทำ 2 ตัวอย่าง (น้ำหนัก m1 และ m2) และทำ Blank ควบคู่ไปด้วย (Blank ไม่ใส่ตัวอย่าง)

2. ใส่ตัวอย่างลงในบีกเกอร์ขนาด 400 มิลลิลิตร เติม MES/TRIS buffer pH 8.2 40 มิลลิลิตร ผสมตัวอย่างให้เข้ากัน

3. เติมเอนไซม์แอลฟา-อะไมเลส 50 ไมโครลิตร ปิดปากบีกเกอร์ด้วยอลูมิเนียมฟอยด์ แล้วนำไปต้มในอ่างน้ำเดือดให้อุณหภูมิสูง 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที โดยเขย่าสารทุกๆ 5 นาที

4. หลังจากนั้นตั้งไว้ให้เย็นที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส และล้างด้วยน้ำ 10 มิลลิลิตร

5. เติมเอนไซม์โปรตีเอส ความเข้มข้น 100 ไมโครลิตร ปิดปากบีกเกอร์ด้วยอลูมิเนียมฟอยด์ แล้วนำไปต้มในอ่างน้ำอุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที โดยเขย่าสารทุกๆ 5 นาที

6. ทิ้งให้เย็นที่อุณหภูมิห้องและปรับ pH 4.1 ถึง 4.8 ด้วยกรดไฮโรคลอริกความเข้มข้น 0.561 นอร์มอล ปริมาตร 5 มิลลิลิตร (ปรับด้วยไฮโดรคลอริกเข้มข้น 5% และโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 5%

7. เติมเอนไซม์อะไมโลกลูโคซิเดส 200 ไมโครลิตร หึความร้อนในอ่างน้ำร้อนให้อุณหภูมิสูง 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที โดยเขย่าสารทุกๆ 5 นาที

8. นำตัวอย่างที่ได้มาตกตะกอนด้วยเอทานอล 95% (ให้ความร้อนเอทานอลจรมีอุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส โดยเติมเอทานอล 4 เท่า ของปริมารตัวอย่างที่ได้) ทิ้งให้ตกตะกอนที่อุรหภูมิห้องเป็นเวลา 1 ชั่วโมง

9. ชั่งครูซิเบิลที่เคลือบด้วยซีไลต์ 1 กรัม จากนั้นชะด้วยเอทานอล 78% ต่อครูซเบิลกับปั๊ม (Suction) แล้วถ่ายสารที่ย่อยได้ จากข้อ 8) ลงกรอง

10. ล้างส่วนที่เหลือด้วยเอทานอล 78% ปริมาตร 15 มิลลิลิตร 2 ครั้ง เอทานอล 95% 15 มิลลิลิตร 2 ครั้ง และอะซิโตน ปริมาตร 15 มิลลิลิตร 2 ครั้ง

11. อบส่วนที่เหลือที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียสตลอดทั้งคืน และปล่อยให้เย็นใน desiccator และชั่งน้ำหนักที่แน่นอนซิเบิลและซีไลต์ออก (น้ำหนัก R1 และ R2) เพื่อคำนวณหาน้ำหักส่วนที่เหลือ

12. นำตัวอย่างตะกอนที่ได้ไปหาปริมาณโปรตีน (R1) และเถ้า (R2)

การคำนวณ

$$\text{ปริมาณเส้นใยอาหารทั้งหมด (\%)} = \frac{\left[\frac{R1+R2}{2}\right] - P - A - B}{\left[\frac{m1+m2}{2}\right]} \times 100$$

เมื่อ R1 และ R2 = น้ำหนักตัวอย่าง

B = Blank (มิลลิกรัม)

P = น้ำหนักโปรตีน (กรัม)

m1 และ m2 = น้ำหนักตัวอย่างเริ่มต้น

ก-3 ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด (ดัดแปลงจาก Hun et. al., 2013)

อุปกรณ์

1) ขวดรูปชมพู่ ขนาด 250 มิลลิลิตร
2) ขวดปรับปริมาตร ขนาด 100 มิลลิลิตร
3) กรวยกรองพร้อมกระดาษกรองสาร No.2
4) ปิเปต ขนาด 10 มิลลิลิตร
5) หลอดทดลอง
6) ไมโครปิเปต
7) หลอด vival
8) เครื่องปั่นผสม (Vortex mixture Heidolph รุ่น REAX 2000 ประเทศเยอรมนี)
9) เครื่องวัดค่าการดูดกลืนแสง (Spectronic รุ่น Genesys 20 ประเทศอเมริกา)

สารเคมี

1) เอทานอล (Ethanol : CH_3CH_2OH) 95% บริษัท Lascan ประเทศไทย
2) โฟลิน ซีโอแคลทู รีเอเจนต์ (Folin-ciocalteu reagent) (Garlo ERBA) (Sigma; USA)
3) เมทานอล (methanol) AR grade 99.8 %
4) กรดแกลลิก (Gillic acid : $C_7H_6O_5$) 95% (Fluka, Switzerland)
5) โซเดียมคาร์บอเนต (Sodium carbonate anhydrous: Na_2Co_3)

การเตรียมสารเคมี

1. เตรียมโซเดียมคาร์บอเนตความเข้มข้น 20% โดยชั่งโซเดียมคาร์บอเนต 20 กรัม ละลายด้วยน้ำกลั่น จากนั้นปรับปริมาตรให้เป็น 100 มิลลิลิตร

2. เตรียมสารโฟลิน ซีโอแคลทู โดยปิเปตโฟลิน ซีโอแคลทู 2 มิลลิลิตร ผสมน้ำ 20 มิลลิลิตร จากนั้นเก็บในขวดสีชา

การเตรียมตัวอย่าง

เตรียมตัวอย่างให้ได้ความเข้มข้น 50 มิลลิกรัม/มิลลิลิตร โดยชั่งตัวอย่าง 5 กรัมใส่ขวดรูปชมพู่ ขนาด 250 มิลลิลิตร เติมเมทานอล 80 มิลลิลิตร เก็บไว้ในที่มืดเป็นเวลา 24 ชั่วโมง เมื่อครบตามเวลาที่กำหนด กรองตัวอย่างด้วยกระดาษกรอง No.2 จากนั้นปรับปริมาตรเป็น 100 มิลลิลิตร ด้วยเมทานอล

การวิเคราะห์

1. ปิเปตตัวอย่างที่เตรียมไว้มา 1 มิลลิลิตร เติมน้ำกลั่น 7 มิลลิลิตร เติม โฟลิน ซีโอแคลทู 0.5 มิลลิลิตร ตั้งทิ้งไว้ 30 นาที

2. เติมสารละลายโซเดียมคาร์บอเนตความเข้มข้น 20% ปริมาตร 1.5 มิลลิลิตร ผสมให้เข้ากันด้วยเครื่องปั่นผสม และตั้งทิ้งไว้อีก 2 ชั่วโมง โดยสารละลายจะเปลี่ยนเป็นสีน้ำเงิน

3. วัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 765 นาโนเมตร ด้วยเครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ ทำการทดลอง 3 ซ้ำ

4. คำนวณหาปริมสารประกอบฟินอลิกทั้งหมดจากการแทนค่าการดูดกลืนแสงที่ได้จากการวัดตัวอย่าง (ค่า Y) ในสมการเส้นตรงที่ได้ จะได้ปริมาณฟินอลิกทั้งหมดในรูปกรดแกลลิก (ค่า X) จากนั้นนำมาคำนวณหาปริมาณสารประกอบฟินอลิกทั้งหมด

การทำกราฟมาตรฐานกรดแกลลิก

1. เตรียมกรดแกลลิก 100 ไมโครกรัม/มิลลิลิตรโดยชั่งกรดแกลลิก 0.01 กรัม ละลาย ด้วยเอทานอล (ใส่เอทานอลแค่ละลายกรดให้หมด) เติมน้ำกลั่นและปรับปริมาตรเป็น 100 มิลลิลิตร

2. เตรียมสารละลายมาตรฐานกรดแกลลิกโดยผสมกรดแกลลิกและน้ำกลั่นให้มีความเข้มข้นแตกต่างกัน 8 ระดับ 0, 5, 10, 15, 20, 25, 30 และ 35 ไมโครกรัม/มิลลิลิตรโดยเตรียมจากสารละลายกรดแกลลิกในข้อ 1) ซึ่งเจือจางโดยใช้สูตร $C_1V_1 = C_2V_2$ เตรียม 25 มิลลิลิตร

3. ปิเปตตัวอย่างสารละลายมาตรฐานกรดแกลลิก แต่ละความเข้มข้นมา 1 มิลลิลิตร เติมน้ำกลั่น 7 มิลลิลิตร เติม โฟลิน ซีโอแคลทู 0.5 มิลลิลิตร ตั้งทิ้งไว้ 30 นาที

4. เติมสารละลายโซเดียมคาร์บอเนตความเข้มข้น 20% ปริมาตร 1.5 มิลลิลิตร ผสมให้เข้ากันด้วยเครื่องปั่นผสม และตั้งทิ้งไว้อีก 2 ชั่วโมง โดยสารละลายจะเปลี่ยนเป็นสีน้ำเงิน

5. วัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 765 นาโนเมตร ด้วยเครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ ทำการทดลอง 3 ซ้ำ

6. พล็อตกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าการดูดกลืนแสง (แกน X) และค่าความเข้มข้นของกรดแกลลิก (แกน Y)

ก-4 สมบัติการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระ (ดัดแปลงจากวิธีของ Karagozleret al., 2008 และ Hun et al, 2003)

อุปกรณ์

1. ปิเปต ชนิด Measuring ขนาด 1 มิลลิลิตร
2. ขวดปรับปริมาตร ขนาด 100 มิลลิลิตร
3. หลอดทดลอง
4. เครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ (SPECTRONIC GENESYSTH 5, USA)

สารเคมี

1. ดีพีพีเอช (2-diphenyl-1picrylhydrazyl: $C_{18}H_{12}N_5O_6$) 90 %
2. เอทานอล (Ethanol:CH_3CH_2OH) บริษัท Labscan ประเทศไทย
3. เมทานอล (methanol) AR grade 99.8 %

การเตรียมสารเคมี

เตรียมสารละลาย DPPH ทันทีก่อนใช้ให้มีความเข้มข้น 0.1 mM ปริมาตร 50 มิลลิลิตร โดยชั่ง DPPH 0.004 กรัม ละลายในเอทานอล 95 % แล้วปรับปริมาตรให้ได้ 100 มิลลิลิตร ด้วยเอทานอล เก็บในภาชนะปิดสนิทป้องกันแสงจนกว่าจะนำมาวิเคราะห์

การวิเคราะห์

1. เตรียมตัวอย่างเหมือนกับที่วิเคราะห์ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดโดยนำชั่งตัวอย่าง 5 กรัม ใส่ขวดรูปชมพู่ ขนาด 250 มิลลิลิตร เติมเมทานอล AR grade 80 มิลลิลิตร เก็บไว้ในที่มืดเป็นเวลา 24 ชั่วโมง เมื่อครบตามเวลาที่กำหนด กรองตัวอย่างด้วยกระดาษกรอง NO.2 จากนั้นปรับปริมาตรเป็น 100 มิลลิลิตร ด้วย AR grade

2. ปิเปตสารละลายตัวอย่าง 3 มิลลิลิตร ผสมกับสารละลาย DPPH ความเข้มข้น 0.1 มิลลิโมล 1 มิลลิลิตร ในหลอดทดลองให้เข้ากันและตั้งทิ้งไว้ในที่มืดประมาณ 30 นาที สำหรับตัวอย่าง blank โดยทำเช่นเดียวกัน แต่ใช้เอทานอล 95 % แทนสารละลายตัวอย่าง

3. 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-5 การทำงานของเอนไซม์ไพอกซีจิเนส (Kong et al., 2008 และ Shin et al., 2013)

เครื่องมือและอุปกรณ์

1. เครื่องปั่น
2. เครื่องเซนทริฟิวซ์
3. เครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์แบบยูวี (UV-visible Spectrophotometer) Shimadzu รุ่น UV - 1601 ประเทศญี่ปุ่น

สารเคมี

1. น้ำกลั่น
2. กรดลิโนเลอิก (Linoleic acid)
3. บอเรตบัฟเฟอร์ (50 mM, pH 9.0)
4. Tween-20
5. โซเดียมไฮดรอกไซด์ 50 mM
6. เอทานอล

การวิเคราะห์

1. ปั่นแป้งถั่วดาวอินคา 2 กรัมกับน้ำกลั่น 25 มิลลิลิตร เป็นเวลา 25 นาที จากนั้นนำมาเซนทริฟิวซ์ที่ 2000xg เป็นเวลา 15 นาที ปิเปตสารละลายส่วนใสที่ได้ 1 มิลลิลิตร และเจือจางด้วยน้ำกลั่น 50 มิลลิลิตร และนำไปใช้เป็นสารสกัดเอนไซม์ไลพอกซีจิเนส

2. เตรียมสารตั้งต้นของอนไซม์ไลพอกซีจิเนส โดยปิเปตสารละลายกรดลิโนเลอิก 0.032 M ในบอเรตบัฟเฟอร์ (50 mM, pH 9.0) 1.5 มิลลิลิตร และเติมโซเดียมไฮดรอกไซด์ 50 mM แล้วหยด Tween-20 2 หยด จากนั้นเจือจางสารละลายด้วยบอเรตบัฟเฟอร์ (50 mM, pH 9.0) ให้มีความเข้มข้น 2.24 mM

3. ปิเปตสารสกัดเอนไซม์ไลพอกซีจิเนส 0.3 มิลลิลิตร และเติมสารละลายกรดลิโนเลอิก 2 มิลลิลิตร ผสมให้เข้ากัน แล้วตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้อง 3 นาที ยับยั้งปฏิกิริยาด้วยเอทานอล 5 มิลลิลิตร (Blank ไม่ต้องเติมเอทานอล) และเติมน้ำกลั่น 5 มิลลิลิตร

4. นำมาวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่นด้วยเครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ 234 นาโนเมตร

การคำนวณ

กิจกรรมของเอนไซม์ไลพอกซีจิเนส (Unit/g)

$$= \frac{\text{ค่าการดูดกลืนแสงของตัวอย่าง} - \text{ค่าการดูดกลืนแสงของ Blank}}{0.001}$$

ภาคผนวก ข
การวิเคราะห์คุณภาพทางกายภาพ

ข-1 ค่าสี

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

การวิเคราะห์

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

ข-2 การวิเคราะห์สมบัติเชิงหน้าที่

เครื่องมือและอุปกรณ์

1. เครื่องชั่งละเอียด Sartorius รุ่น BA 2115 ประเทศเยอรมนี
2. หลอดเซนตริฟิวส์
3. เครื่องเซนตริฟิวส์
4. ช้อนตักสาร
5. ปิเปต
6. ลูกยาง
7. บีกเกอร์ขนาด 100 มิลลิลิตร
8. เครื่องปั่น
9. อ่างน้ำควบคุมอุณหภูมิ

วัตถุดิบ

1. น้ำมันพืช
2. น้ำกลั่น

Water and oil absorption capacity (ดัดแปลงจาก Bhat & binti Yahya, 2014)

การวิเคราะห์

1. ชั่งแป้งถั่วดาวอินคา 2.5 กรัมลงในหลอดเซนตริฟิวส์ เติมน้ำกลั่น 25 มิลลิลิตรหรือน้ำมันพืช 50 มิลลิลิตร

2. นำไปปั่นเหวี่ยงที่ 3000xg เป็นเวลา 15 นาที พักไว้ที่อุณหภูมิห้อง 30 นาที ชั่งน้ำหนักสารละลายที่เหลือ

การคำนวณ

$$\text{Water and oil absorption capacity} = \frac{\text{น้ำหนักน้ำหรือน้ำมันที่ดูดซับ (g)}}{\text{น้ำหนักตัวอย่าง (g)}}$$

Emulsifying properties (ดัดแปลงจาก Seena & Sridhar, 2005; Bhat, & binti Yahya, 2014 และ Oladele and Aina, 2007)

การวิเคราะห์

1. ปิเปตสารละลายกากถั่วดาวอินคา 5 มิลลิลิตรใส่ในบีกเกอร์ 100 มิลลิลิตร เติมน้ำมันพืช 5 มิลลิลิตร นำไปปั่นผสมเป็นเวลา 1 นาที ที่อุณหภูมิห้อง

2. นำสารละลายอิมัลชันไปปั่นเหวี่ยงที่ 1100xg 5 min เป็นเวลา 5 นาที วัดความสูงของชั้นอิมัลชันและชั้นของเหลวทั้งหมดในหลอดทดลองเพื่อคำนวณหาค่า Emulsion activity นำไปให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 80 °C เป็นเวลา 30 นาที วัดความสูงของชั้นอิมัลชันและชั้นของเหลวทั้งหมดในหลอดทดลองเพื่อคำนวณหาค่า Emulsion stability

การคำนวณ

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

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

Foaming capacity (ดัดแปลงจาก Seena & Sridhar, 2005 และ Bhat, & binti Yahya, 2014)

การวิเคราะห์

ชั่งแป้งถั่วดาวอินคา 2 กรัม ละลายด้วยน้ำกลั่น 100 มิลลิลิตร ปั่นด้วยเครื่องปั่น (Blender) เป็นเวลา 2 นาที ด้วยความเร็วเบอร์ 1 บันทึกปริมาตรหลังปั่น

การคำนวณ

$$\text{Volume capacity (\%)} = \frac{V_2 - V_1}{V_1}$$

เมื่อ V_1 = ปริมาตรสารละลายก่อนปั่น

V_2 = ปริมาตรสารละลายก่อนปั่น

Swelling properties (ดัดแปลงจาก Oladele and Aina, 2007)

การวิเคราะห์

ชั่งแป้งถั่วดาวอินคา 1 กรัม ใส่หลอดเซนตริฟิวซ์ และเติมน้ำกลั่น 10 มิลลิลิตร นำไปให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที โดยเขย่าตลอดเวลานำมาปั่นเหวี่ยงที่ 1000xg 15 นาที จากนั้นกรองเอาสารละลายออก นำของแข็งที่เหลือไปชั่งน้ำหนัก

การคำนวณ

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

ข-3 ลักษณะเนื้อสัมผัส (ดัดแปลงจาก กนกอร นันตะธนะ, 2555)

การเตรียมตัวอย่าง

ทดลองโดยใช้วิธี Texture Profile Analysis รายงานผลเป็นค่า Hardness Springiness Cohesiveness Gumminess และ Chewiness ทำการเตรียมตัวอย่างโดยวางชิ้นวอฟเฟิลเหนือแท่นวัดกะระยะให้หัววัดเคลื่อนลงมาสัมผัสบริเวณกึ่งกลางของตัวอย่าง โดยใช้หัว Cylinder probe ขนาด 50 mm (P/50) ด้วยอัตราความเร็ว 1 มิลลิเมตรต่อวินาที เป็นระยะทางความสูงของตัวอย่าง กำหนดระยะเวลาระหว่างการกดครั้งแรกกับครั้งที่สองนาน 30 วินาที

ภาคผนวก ค
การประเมินทางประสาทสัมผัส

ค-1 แบบประเมินความเข้มกลิ่นถั่ว

หมายเลขผู้ทดสอบ..... วันที่ทดสอบ.....
ผลิตภัณฑ์.....
<u>คำชี้แจ้ง</u> กรุณาทดสอบตัวอย่างจากซ้ายไปขวาและให้คะแนนความเข้มของกลิ่นถั่วโดยใส่เครื่องหมาย X ลงในช่องว่าง

กำหนดให้ 1 หมายถึง ไม่มีกลิ่นถั่ว
5 หมายถึง มีกลิ่นถั่วเข้มมากที่สุด

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

ข้อเสนอแนะ

.....
.....
.....
.....
.....
.....

ค-2 แบบประเมินทางประสาทสัมผัส วิธี 9-point hedonic scale

หมายเลขผู้ทดสอบ..... วันที่ทดสอบ.....
ผลิตภัณฑ์.....
<u>คำชี้แจ้ง</u> กรุณาทดสอบตัวอย่างจากซ้ายไปขวาและให้คะแนนในด้านลักษณะปรากฏ สี กลิ่น รสชาติ เนื้อสัมผัส และชอบโดยรวม ตามเกณฑ์คะแนนดังนี้

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

	.....	.....	.....	.....	.....	.....
ลักษณะปรากฏ	.....	.....	.....	.....	.....	.....
สี	.....	.....	.....	.....	.....	.....
กลิ่น	.....	.....	.....	.....	.....	.....
รสชาติ	.....	.....	.....	.....	.....	.....
เนื้อสัมผัส	.....	.....	.....	.....	.....	.....
ความชอบโดยรวม	.....	.....	.....	.....	.....	.....

ข้อเสนอแนะ

.....
.....
.....
.....

ค-3 แบบประเมินทางประสาทสัมผัส วิธี Difference from control

หมายเลขผู้ทดสอบ..... วันที่ทดสอบ.....
ผลิตภัณฑ์.....
<u>คำชี้แจ้ง</u> กรุณาทดสอบตัวอย่างควบคุมก่อน แล้วทดสอบตัวอย่างที่เหลือ พร้อมทั้งประเมินว่าตัวอย่างที่ท่านชิมนั้นมีความแตกต่างจากตัวอย่างควบคุมในระดับใด โดยทำเครื่องหมาย X หน้าระดับคะแนนที่ตรงกับความรู้สึกมากที่สุด

กำหนดให้ 0 หมายถึง ไม่มีความแตกต่างจากตัวอย่างควบคุม
10 หมายถึง แตกต่างจากตัวอย่างควบคุมมากที่สุด

ค่าคะแนนความแตกต่าง	.....	.....	.....
1	.....	.....	.....
2	.....	.....	.....
3	.....	.....	.....
4	.....	.....	.....
5	.....	.....	.....
6	.....	.....	.....
7	.....	.....	.....
8	.....	.....	.....
9	.....	.....	.....
10	.....	.....	.....

ข้อเสนอแนะ

.....
.....
.....
.....