



รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์

การพัฒนาผลิตภัณฑ์พาสต้าข้าวเจ้าเพื่อสุขภาพเสริมแป้งถั่ว
Development of functional rice pasta supplemented
with pulse flour

	ผู้วิจัย
กุลยา	ลี้มรุ่งเรืองรัตน์
อโนชา	สุขสมบูรณ์
อาภัสรา	แสงนาค

โครงการวิจัยประเภทงบประมาณเงินรายได้
จากเงินอุดหนุนจากรัฐบาล (งบประมาณแผ่นดิน)
ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2558
มหาวิทยาลัยบูรพา

รหัสโครงการ 173196

สัญญาเลขที่ 45/2558

รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์

การพัฒนาผลิตภัณฑ์พาสต้าข้าวเจ้าเพื่อสุขภาพเสริมแป้งถั่ว
Development of functional rice pasta supplemented
with pulse flour

	ผู้วิจัย
กุลยา	ลิ่มรุ่งเรืองรัตน์
อโนชา	สุขสมบูรณ์
อาภัสรา	แสงนาค

ภาควิชาวิทยาศาสตร์การอาหาร
คณะวิทยาศาสตร์
มหาวิทยาลัยบูรพา

สิงหาคม 2560

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับทุนสนับสนุนการวิจัยจากงบประมาณเงินรายได้จากเงินอุดหนุนรัฐบาล (งบประมาณแผ่นดิน) ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2558 มหาวิทยาลัยบูรพา ผ่านสำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ เลขที่สัญญา 45/2558 ขอขอบคุณงานส่งเสริมการวิจัย มหาวิทยาลัยบูรพา สำหรับการประสานงานอย่างดียิ่ง ขอขอบคุณภาควิชาวิทยาศาสตร์การอาหาร คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพาที่ให้การสนับสนุนเครื่องมือและอุปกรณ์ในการวิจัย ตลอดจนคณาจารย์และเจ้าหน้าที่ของภาควิชาที่ให้คำปรึกษาและช่วยอำนวยความสะดวกในการทำวิจัย สุดท้ายขอขอบคุณนางสาวนพมาศ พูลเจริญศิลป์และนิสิตผู้ช่วยวิจัยทุกคน ตลอดจนนิสิตปริญญาโทและนิสิตปริญญาตรีภาควิชาวิทยาศาสตร์การอาหารที่มีส่วนช่วยในการทำวิจัยและให้ความร่วมมือในการทำวิจัยมาโดยตลอดจนงานวิจัยนี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

คณะผู้วิจัย
สิงหาคม 2560

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาผลิตภัณฑ์พาสต้าเพื่อสุขภาพเสริมแป้งถั่ว โดยเตรียมแป้งถั่ว 3 ชนิด ได้แก่ แป้งถั่วแดง แป้งถั่วดำ และแป้งถั่วเขียว และวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีและสมบัติทางเคมีกายภาพ พบว่าแป้งถั่วทั้ง 3 ชนิดเป็นแหล่งของโปรตีน แร่ธาตุ โยอาหาร และสารต้านอนุมูลอิสระ แต่แป้งถั่วแดงและแป้งถั่วดำมีปริมาณแอนโทไซยานินและความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระสูงกว่าแป้งถั่วเขียว จากนั้นศึกษาการพัฒนาสูตรและกระบวนการผลิตพาสต้าข้าวเจ้าแบบเอ็กซ์ทราชั้น โดยศึกษาหาปริมาณแป้งถั่วที่เหมาะสมในสูตรพาสต้า โดยแปรปริมาณแป้งถั่วแดง แป้งถั่วดำ และแป้งถั่วเขียวที่ใช้ทดแทนแป้งข้าวเจ้า (0-50% โดยน้ำหนักแป้ง) วิเคราะห์คุณภาพของพาสต้า ได้แก่ คุณภาพหลังการต้ม คุณลักษณะทางกายภาพ และคุณลักษณะทางประสาทสัมผัส พบว่า พาสต้าที่ทดแทนด้วยแป้งถั่วแดงร้อยละ 40 แป้งถั่วดำร้อยละ 40 และแป้งถั่วเขียวร้อยละ 30 ได้คะแนนความชอบโดยรวมสูงสุด จึงได้เลือกพาสต้าที่ทดแทนด้วยแป้งถั่วแดงร้อยละ 40 ไปใช้ในการทดลองขั้นต่อไปเนื่องจากใช้ปริมาณแป้งถั่วสูง ใช้เวลาในการต้มสุกสั้น และมีปริมาณของแข็งที่สูญเสียในระหว่างการต้มต่ำ จากนั้นศึกษาผลของปริมาณความชื้นของส่วนผสมแป้ง (ร้อยละ 30-40) และการเติมเอนไซม์ทรานส์กลูตามิเนส (ร้อยละ 0-1) ต่อคุณภาพของพาสต้าข้าวเจ้าเสริมแป้งถั่วแดงที่เตรียมโดยกระบวนการเอ็กซ์ทราชั้น พบว่าพาสต้าที่เตรียมจากส่วนผสมแป้งความชื้นร้อยละ 35 และเติมเอนไซม์ทรานส์กลูตามิเนสร้อยละ 0.5 ได้รับคะแนนความชอบโดยรวมสูงสุด จากนั้นศึกษาผลของอุณหภูมิบาร์เรล (80- 100 องศาเซลเซียส) และความเร็วรอบของสกรู (80-120 รอบต่อนาที) ต่อคุณภาพของพาสต้า จากผลการวิเคราะห์ทางสถิติ พบว่าอิทธิพลร่วมระหว่างอุณหภูมิบาร์เรลและความเร็วรอบของสกรูมีผลต่อน้ำหนักที่ได้หลังการต้ม ค่าความต้านทานต่อการดึงขาด ค่าความแน่นเนื้อ และค่าการเกาะติดที่ผิวหน้าอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) แต่ไม่มีผลต่อปริมาณของแข็งที่สูญเสียระหว่างการต้ม ค่าสี (L^* , a^* , b^*) และคะแนนการทดสอบทางประสาทสัมผัส ($p \geq 0.05$) แม้ว่าคะแนนความชอบโดยรวมของพาสต้าทุกตัวอย่างไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \geq 0.05$) แต่สภาวะของการเอ็กซ์ทราชั้นที่อุณหภูมิบาร์เรล 100 องศาเซลเซียส และความเร็วรอบ 120 รอบต่อนาที ทำให้ผลิตภัณฑ์พาสต้าที่ได้มีปริมาณของแข็งที่สูญเสียระหว่างการต้มต่ำที่สุดและมีปริมาณน้ำหนักรวมที่ได้หลังการต้ม ค่าความต้านทานต่อการดึงขาด และค่าความแน่นเนื้อสูงที่สุด จากนั้นวิเคราะห์คุณภาพของพาสต้าที่เตรียมได้เปรียบเทียบกับพาสต้าข้าวกล้องและพาสต้าข้าวสาลีทางการค้า พบว่าพาสต้าที่เตรียมได้มีคะแนนความชอบในด้านลักษณะปรากฏ สี รสชาติ เนื้อสัมผัส และความชอบโดยรวมไม่แตกต่างกับพาสต้าข้าวกล้องทางการค้า ($p \geq 0.05$) ในขณะที่พาสต้าข้าวสาลีทางการค้าได้คะแนนความชอบโดยรวมสูงสุด แต่อย่างไรก็ตาม พาสต้าข้าวเจ้าเสริมแป้งถั่วแดงมีปริมาณโปรตีน แร่ ธาตุ สารประกอบฟีนอลิก แอนโทไซยานิน และความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระสูงกว่าพาสต้าข้าวกล้องและพาสต้าข้าวสาลีทางการค้า

ABSTRACT

This research aim was to develop functional rice pasta supplemented with pulse flour. Three types of pulse flour including red bean, black bean and mung bean flour were prepared and analyzed for chemical composition and physicochemical properties. All three types of pulse flour could be a good source of protein, mineral, dietary fiber and antioxidant, but red bean and black bean flour had higher anthocyanin content and antioxidant activity than those of mung bean flour. Formulation and process development of extruded rice pasta was studied. The optimum amounts of pulse flour in pasta formulation were carried out by substitution rice flour with red bean, black bean and mung bean flour (0-50% by flour weight). The quality of pasta samples including cooking quality, physical properties and sensory attributes were analyzed. Rice pasta substituted with 40% red bean flour, 40% black bean flour and 30% mung bean flour received the highest overall acceptance scores. The rice pasta with 40% red bean flour was selected for further study because of higher pulse flour level and had low cooking time and cooking loss. The effect of flour blend moisture (30-40%) and transglutaminase addition (0-1%) on the quality of extruded rice pasta fortified with red bean flour were also investigated. The pasta prepared from 35% flour moisture and 0.5% transglutaminase addition received the highest overall acceptance score. Then, the effect of barrel temperature (80-100 °C) and screw speed (80-120 rpm) on pasta quality were studied. Statistical analysis indicated that interaction effect between temperature and screw speed had significant influence on cooking yield, tensile strength, firmness and adhesiveness ($p < 0.05$), but non-significant interaction effect on cooking loss, color values (L^* , a^* , b^*) and sensory scores was observed ($p \geq 0.05$). Although overall acceptance scores of all pasta samples were not significantly different ($p \geq 0.05$), the extrusion condition at 100°C barrel temperature and 120 rpm screw speed yielded the pasta product with the lowest cooking loss and highest cooking yield, tensile strength and firmness. Then, the quality of the obtained red bean pasta and commercial brown rice pasta and wheat pasta were determined. Sensory results indicated that appearance, color, taste, texture and overall acceptance score of the obtained pasta and commercial brown rice pasta were not significantly different ($p \geq 0.05$) whereas commercial wheat pasta received the highest overall acceptance score. However, the rice pasta supplemented with red bean flour contained higher contents of protein, ash, fiber, phenolic compounds, anthocyanin, and antioxidant activity than commercial brown rice and wheat pasta.

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ค
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	ง
สารบัญ.....	จ
สารบัญตาราง.....	ฉ
สารบัญภาพ.....	ณ
บทที่	
1. บทนำ.....	1
2. การตรวจเอกสาร.....	3
3. วิธีดำเนินการทดลอง.....	9
4. ผลการทดลองและวิจารณ์.....	13
5. สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ.....	57
บรรณานุกรม.....	59
ภาคผนวก.....	63
ภาคผนวก ก วิธีวิเคราะห์ห้องค์ประกอบทางเคมี.....	64
ภาคผนวก ข การคำนวณปริมาณน้ำที่ต้องเติมในส่วนผสม.....	77
ภาคผนวก ค การวัดลักษณะเนื้อสัมผัสของเส้นพาสต้า.....	78
ภาคผนวก ง แบบประเมินผลที่ใช้ในการทดสอบคุณภาพทางประสาทสัมผัส.....	82
ประวัตินักวิจัย.....	83

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
4-1	องค์ประกอบทางเคมีและปริมาณสารสำคัญบางชนิดของแป้งถั่วชนิดต่างๆ.....	13
4-2	ชนิดและปริมาณของกรดอะมิโนในแป้งถั่วชนิดต่างๆ	15
4-3	ค่าสีของแป้งถั่วชนิดต่างๆ.....	15
4-4	สมบัติด้านความหนืดของแป้งถั่วชนิดต่างๆ.....	16
4-5	สมบัติด้านความร้อนของแป้งถั่วชนิดต่างๆ.....	16
4-6	สมบัติเชิงหน้าที่ของแป้งถั่วชนิดต่างๆ.....	16
4-7	คุณภาพหลังการต้มของพาสต้าข้าวเจ้าที่ทดแทนด้วยแป้งถั่วแดงระดับต่างๆ.....	17
4-8	ค่าสีของพาสต้าอบแห้งที่ทดแทนด้วยแป้งถั่วแดงระดับต่างๆ.....	20
4-9	ค่าสีของพาสต้าต้มสุกที่ทดแทนด้วยแป้งถั่วแดงระดับต่างๆ.....	20
4-10	ลักษณะเนื้อสัมผัสของพาสต้าที่ทดแทนด้วยแป้งถั่วแดงระดับต่างๆ.....	21
4-11	คะแนนการทดสอบทางประสาทสัมผัสของพาสต้าที่ทดแทนด้วยแป้งถั่วแดง ระดับต่างๆ.....	22
4-12	คุณภาพหลังการต้มของพาสต้าข้าวเจ้าที่ทดแทนด้วยแป้งถั่วดำระดับต่างๆ.....	23
4-13	ค่าสีของพาสต้าอบแห้งที่ทดแทนด้วยแป้งถั่วดำระดับต่างๆ.....	25
4-14	ค่าสีของพาสต้าต้มสุกที่ทดแทนด้วยแป้งถั่วดำระดับต่างๆ.....	25
4-15	ลักษณะเนื้อสัมผัสของพาสต้าที่ทดแทนด้วยแป้งถั่วดำระดับต่างๆ.....	26
4-16	คะแนนการทดสอบทางประสาทสัมผัสของพาสต้าที่ทดแทนด้วยแป้งถั่วดำ ระดับต่างๆ.....	26
4-17	คุณภาพหลังการต้มของพาสต้าข้าวเจ้าที่ทดแทนด้วยแป้งถั่วเขียวระดับต่างๆ....	27
4-18	ค่าสีของพาสต้าอบแห้งที่ทดแทนด้วยแป้งถั่วเขียวระดับต่างๆ.....	29
4-19	ค่าสีของพาสต้าต้มสุกที่ทดแทนด้วยแป้งถั่วเขียวระดับต่างๆ.....	29
4-20	ลักษณะเนื้อสัมผัสของพาสต้าข้าวเจ้าที่ทดแทนด้วยแป้งถั่วเขียวระดับต่างๆ.....	30
4-21	คะแนนการทดสอบทางประสาทสัมผัสของพาสต้าข้าวเจ้าที่ทดแทนด้วยแป้งถั่ว เขียวระดับต่างๆ.....	30
4-22	คุณภาพหลังการต้มของพาสต้าข้าวเจ้าเสริมแป้งถั่วแดงที่เตรียมจากส่วนผสม แป้งที่ปริมาณความชื้นระดับต่างๆ.....	32
4-23	ค่าสีของพาสต้าข้าวเจ้าเสริมแป้งถั่วแดงอบแห้งที่ได้จากการเตรียมส่วนผสม แป้งที่ปริมาณความชื้นระดับต่างๆ.....	33
4-24	ค่าสีของพาสต้าข้าวเจ้าเสริมแป้งถั่วแดงต้มสุกที่ได้จากการเตรียมส่วนผสมแป้ง ที่ปริมาณความชื้นระดับต่างๆ.....	33
4-25	ลักษณะเนื้อสัมผัสของพาสต้าข้าวเจ้าเสริมแป้งถั่วแดงที่ได้จากการเตรียม ส่วนผสมแป้งที่ปริมาณความชื้นระดับต่างๆ.....	34

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่		หน้า
4-26	คะแนนการทดสอบทางประสาทสัมผัสของพาสต้าข้าวเจ้าเสริมแป้งถั่วแดงที่ได้จากการเตรียมส่วนผสมแป้งที่ปริมาณความชื้นระดับต่างๆ.....	34
4-27	คุณภาพหลังการต้มของพาสต้าข้าวเจ้าเสริมแป้งถั่วแดงที่เติมเอนไซม์ทรานส์กลูตามิเนสในระดับต่างๆ.....	35
4-28	ค่าสีของพาสต้าข้าวเจ้าเสริมแป้งถั่วแดงอบแห้งที่เติมเอนไซม์ทรานส์กลูตามิเนสในระดับต่างๆ.....	36
4-29	ค่าสีของพาสต้าข้าวเจ้าเสริมแป้งถั่วแดงต้มสุกที่เติมเอนไซม์ทรานส์กลูตามิเนสในระดับต่างๆ.....	36
4-30	ลักษณะเนื้อสัมผัสของพาสต้าข้าวเจ้าเสริมแป้งถั่วแดงที่เติมเอนไซม์ทรานส์กลูตามิเนสในระดับต่างๆ.....	37
4-31	คะแนนการทดสอบทางประสาทสัมผัสของพาสต้าข้าวเจ้าเสริมแป้งถั่วแดงที่เติมเอนไซม์ทรานส์กลูตามิเนสในระดับต่างๆ.....	38
4-32	ค่า F(p) ของคุณภาพหลังการต้มของพาสต้าข้าวเจ้าเสริมแป้งถั่วแดงที่เตรียมโดยใช้อุณหภูมิบาร์เรลและความเร็วรอบสกรูระดับต่างๆ.....	41
4-33	อัตราการพองตัวและคุณภาพในการต้มของพาสต้าข้าวเจ้าเสริมแป้งถั่วแดงที่เตรียมโดยใช้อุณหภูมิบาร์เรลและความเร็วรอบสกรูระดับต่างๆ.....	42
4-34	ปริมาณของแข็งที่สูญเสียระหว่างการต้มของพาสต้าข้าวเจ้าเสริมแป้งถั่วแดงที่เตรียมโดยใช้อุณหภูมิบาร์เรลระดับต่างๆ.....	43
4-35	ปริมาณของแข็งที่สูญเสียระหว่างการต้มของพาสต้าข้าวเจ้าเสริมแป้งถั่วแดงที่เตรียมโดยใช้เวลาเร็วรอบสกรูระดับต่างๆ.....	43
4-36	36 ค่า F(p) ของค่า L*, a*, b*, c* และ h* ของพาสต้าข้าวเจ้าเสริมแป้งถั่วแดงที่ผ่านการอบแห้งที่เตรียมโดยใช้อุณหภูมิและความเร็วรอบระดับต่างๆ.....	44
4-37	ค่าสีของพาสต้าข้าวเจ้าเสริมแป้งถั่วแดงที่ผ่านการอบแห้งที่ผลิตโดยกระบวนการเอ็กซ์ทรูชันที่อุณหภูมิและความเร็วรอบระดับต่างๆ.....	45
4-38	ค่าความเป็นสีแดง (a*) ของพาสต้าข้าวเจ้าเสริมแป้งถั่วแดงที่ผ่านการอบแห้งที่ความเร็วรอบสกรูระดับต่างๆ.....	45
4-39	ค่าเฉดสี (h*) ของพาสต้าข้าวเจ้าเสริมแป้งถั่วแดงที่ผ่านการอบแห้งที่เตรียมโดยใช้อุณหภูมิบาร์เรลระดับต่างๆ.....	45
4-40	ค่า F(p) ของค่า L*, a*, b*, c* และ h* ของพาสต้าข้าวเจ้าเสริมแป้งถั่วแดงที่ผ่านการต้มสุกที่เตรียมโดยใช้อุณหภูมิและความเร็วรอบระดับต่างๆ.....	46
4-41	ค่าสีของพาสต้าข้าวเจ้าเสริมแป้งถั่วแดงที่ผ่านการต้มสุกที่ผลิตโดยกระบวนการเอ็กซ์ทรูชันที่อุณหภูมิและความเร็วรอบระดับต่างๆ.....	46

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่		หน้า
4-42	ค่าความสว่าง (L^*) ของพาสต้าข้าวเจ้าเสริมแป้งถั่วแดงที่ผ่านการต้มสุกที่เตรียมโดยใช้ความเร็วรอบระดับต่างๆ.....	47
4-43	ค่าความเป็นสีเหลือง (b^*) ความเข้มสี (c^*) และเฉดสี (h^*) ของพาสต้าข้าวเจ้าเสริมแป้งถั่วแดงที่ผ่านการต้มสุกที่เตรียมโดยใช้อุณหภูมิบาร์เรลระดับต่างๆ.....	47
4-44	ค่า $F(p)$ ของค่าความแน่นเนื้อ ค่าความต้านทานต่อการดึงขาด และค่าการยืดเกาะที่ผิวหน้าของพาสต้าข้าวเจ้าเสริมแป้งถั่วแดงที่เตรียมโดยใช้อุณหภูมิบาร์เรลและความเร็วรอบสกรูระดับต่างๆ.....	48
4-45	ลักษณะเนื้อสัมผัสของพาสต้าข้าวเจ้าเสริมแป้งถั่วแดงที่เตรียมโดยใช้อุณหภูมิบาร์เรลและความเร็วรอบสกรูระดับต่างๆ.....	48
4-46	ค่า $F(p)$ ของคะแนนการทดสอบทางประสาทสัมผัสของพาสต้าข้าวเจ้าเสริมแป้งถั่วแดงที่เตรียมโดยใช้อุณหภูมิบาร์เรลและความเร็วรอบสกรูระดับต่างๆ.....	49
4-47	คะแนนการทดสอบทางประสาทสัมผัสของพาสต้าข้าวเจ้าเสริมแป้งถั่วแดงที่เตรียมโดยใช้อุณหภูมิบาร์เรลและความเร็วรอบสกรูระดับต่างๆ.....	50
4-48	องค์ประกอบทางเคมีของพาสต้าข้าวเจ้าเสริมแป้งถั่วแดง พาสต้าข้าวกล้องและพาสต้าข้าวสาลีทางการค้า.....	51
4-49	สมบัติในการต้านอนุมูลอิสระและของพาสต้าข้าวเจ้าเสริมแป้งถั่วแดง พาสต้าข้าวกล้องและพาสต้าข้าวสาลีทางการค้า.....	52
4-50	คุณภาพหลังการต้มของพาสต้าข้าวเจ้าเสริมแป้งถั่วแดง พาสต้าข้าวกล้อง และพาสต้าข้าวสาลีทางการค้า.....	52
4-51	ค่าสีของพาสต้าข้าวเจ้าที่ทดแทนด้วยแป้งถั่วแดง พาสต้าข้าวกล้อง และพาสต้าข้าวสาลีทางการค้าก่อนต้ม.....	53
4-52	ค่าสีของพาสต้าข้าวเจ้าเสริมแป้งถั่วแดง พาสต้าข้าวกล้องและพาสต้าข้าวสาลีทางการค้าหลังต้ม.....	54
4-53	ลักษณะเนื้อสัมผัสของพาสต้าข้าวเจ้าเสริมแป้งถั่วแดง พาสต้าข้าวกล้องและพาสต้าข้าวสาลีทางการค้า.....	54
4-54	คะแนนการทดสอบทางประสาทสัมผัส ของพาสต้าข้าวเจ้าเสริมแป้งถั่วแดง พาสต้าข้าวกล้องทางการค้าและพาสต้าข้าวสาลีทางการค้า.....	55

สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
4-1	พาสต้าอบแห้งที่ทดแทนด้วยแป้งถั่วแดงระดับต่างๆ.....	19
4-2	พาสต้าต้มสุกที่ทดแทนด้วยแป้งถั่วแดงระดับต่างๆ.....	19
4-3	พาสต้าอบแห้งที่ทดแทนด้วยแป้งถั่วดำระดับต่างๆ.....	24
4-4	พาสต้าต้มสุกที่ทดแทนด้วยแป้งถั่วดำระดับต่างๆ.....	24
4-5	พาสต้าอบแห้งที่ทดแทนด้วยแป้งถั่วเขียวระดับต่างๆ.....	28
4-6	พาสต้าต้มสุกที่ทดแทนด้วยแป้งถั่วเขียวระดับต่างๆ.....	28
4-7	โครงสร้างภายในของพาสต้าที่เติมเอนไซม์เอนไซม์ทรานส์กลูตามิเนส (TG) ระดับต่างๆ ที่กำลังขยาย 30X.....	39
4-8	โครงสร้างภายในของพาสต้าที่เติมเอนไซม์เอนไซม์ทรานส์กลูตามิเนส (TG) ระดับต่างๆ ที่กำลังขยาย 100X.....	39
4-9	ลักษณะของพาสต้าข้าวเจ้าเสริมแป้งถั่วแดงและพาสต้าทางการค้า.....	52

บทที่ 1

บทนำ

ความสำคัญและที่มาของปัญหาที่ทำการวิจัย

ปัจจุบันผลิตภัณฑ์อาหารเพื่อสุขภาพหรือที่เรียกว่าฟังก์ชันนัลฟู๊ดส์ (functional foods) ได้รับความนิยมในการบริโภคเพิ่มขึ้น เนื่องจากการบริโภคอาหารมีความสัมพันธ์โดยตรงกับสุขภาพของมนุษย์ ประกอบกับวิถีชีวิตที่เปลี่ยนแปลงไปทำให้อาหารที่บริโภคเป็นสาเหตุให้เกิดโรคร้ายแรงต่างๆ เช่น หลอดเลือดหัวใจ เบาหวาน มะเร็ง เป็นต้น ดังนั้นผู้บริโภคทั่วโลกจึงให้ความสนใจผลิตภัณฑ์อาหารจากธรรมชาติในรูปแบบต่างๆ เช่น อาหารที่เป็นยา อาหารจากพืชสมุนไพร ตลอดจนใช้อาหารสำหรับโภชนบำบัดแทนการรักษาโรคโดยใช้สารเคมี มีผู้ให้คำจำกัดความของฟังก์ชันนัลฟู๊ดส์ไว้หลากหลาย โดยทั่วไป หมายถึงอาหารเพื่อสุขภาพที่มีลักษณะทางกายภาพเหมือนอาหารที่บริโภคเป็นประจำและสามารถบริโภคได้ตามปกติ เมื่อบริโภคแล้วให้ประโยชน์ต่อร่างกายโดยช่วยส่งเสริมสุขภาพให้ดีขึ้นหรือช่วยป้องกันการเกิดโรค (Kaur and Das, 2011) เช่น ช่วยลดปริมาณคอเลสเตอรอลในเลือด ลดอัตราเสี่ยงต่อการเกิดโรคกระดูกพรุน (osteoporosis) มีผลต่อการป้องกันการเกิดโรค มะเร็ง โรคอ้วน โรคเบาหวาน ตลอดจนมีผลต่อการเพิ่มระบบภูมิคุ้มกันให้กับร่างกาย นอกจากนี้จากการให้สารอาหารตามหลักโภชนาการ ตัวอย่างของฟังก์ชันนัลฟู๊ดส์ ได้แก่ โพรไบโอติกส์ พรีไบโอติกส์ ธัญพืช เส้นใยอาหาร สารต้านอนุมูลอิสระ และสารพฤกษเคมีหรือไฟโตเคมีคอล (phytochemicals) (ปิ่นมณี ขวัญเมือง, 2548) ในปัจจุบันตลาดอาหารเพื่อสุขภาพได้รับการตอบรับอย่างดีจากผู้บริโภคทั่วโลกทั้งในเอเชีย อเมริกาเหนือ ยุโรป ลาตินอเมริกา ออสเตรเลีย และนิวซีแลนด์ คาดว่ามูลค่าของยอดขายในปี พ.ศ. 2556 จะสูงถึง 90,500 ล้านดอลลาร์สหรัฐอเมริกา (ประมาณ 2,896,000 ล้านบาท) โดยตลาดที่สำคัญ คือ สหรัฐอเมริกา รองลงมา คือ ญี่ปุ่น และยุโรป (Kaur and Das, 2011)

ผลิตภัณฑ์พาสต้าเป็นผลิตภัณฑ์อาหารเส้นที่นิยมบริโภคกันอย่างแพร่หลายทั้งในประเทศแถบตะวันตกและตะวันออก พาสต้าประกอบด้วยคาร์โบไฮเดรตประเภทสตาARCH เป็นองค์ประกอบหลัก โดยประชากรในหลายประเทศนิยมบริโภคพาสต้าเป็นอาหารหลักจึงทำให้ปริมาณการบริโภคผลิตภัณฑ์พาสต้าทั่วโลกเพิ่มขึ้น ดังนั้นพาสต้าจึงเป็นผลิตภัณฑ์ที่น่าสนใจนำมาปรับปรุงคุณค่าทางโภชนาการและพัฒนาให้เป็นผลิตภัณฑ์อาหารเพื่อสุขภาพ โดยปกติพาสต้ามักทำจากข้าวสาลี อย่างไรก็ตามข้าวสาลีเป็นวัตถุดิบที่ต้องนำเข้าจากต่างประเทศ สำหรับประเทศไทย ข้าวเจ้าเป็นพืชเศรษฐกิจที่สามารถผลิตเพื่อใช้บริโภคภายในประเทศและมีปริมาณมากพอสำหรับการส่งออก การเลือกข้าวเจ้ามาเป็นวัตถุดิบหลักในการผลิตพาสต้า เพื่อช่วยลดการนำเข้าข้าวสาลีและลดการเสียดุลทางการค้า นอกจากนี้ผลิตภัณฑ์พาสต้าข้าวเจ้ายังจัดอยู่ในกลุ่มของผลิตภัณฑ์อาหารที่ปราศจากกลูเตน (gluten-free) ซึ่งในปัจจุบันตลาดผลิตภัณฑ์อาหารปราศจากกลูเตน (gluten-free foods) กำลังเติบโตอย่างรวดเร็วทั่วโลก โดยคาดว่าในปี พ.ศ. 2560 ตลาดผลิตภัณฑ์อาหารปราศจากกลูเตนจะมีมูลค่าสูงถึง 6,000 ล้านดอลลาร์สหรัฐอเมริกาหรือประมาณ 192,000 ล้านบาท (IFT, 2013) ในปัจจุบันวิธีการรักษาและ

ควบคุมโรคมะเร็งวิธีเดียวคือต้องรับประทานอาหารที่ปราศจากกลูเตนไปตลอดชีวิต จึงทำให้ความต้องการอาหารประเภทนี้สูงขึ้น ข้าวเจ้าเป็นหนึ่งในวัตถุดิบที่ใช้ผลิตอาหารปราศจากกลูเตน ดังนั้นประเทศไทยจึงมีศักยภาพในการพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหารปราศจากกลูเตนจากข้าวเจ้า ซึ่งจะช่วยให้มูลค่าของข้าวและผลิตภัณฑ์ให้ประเทศไทยเป็นผู้นำการผลิตอาหารปราศจากกลูเตน(บงกช วรรณะภุติ, 2555)

ถั่วเมล็ดแห้ง (pulse) มีศักยภาพในการเสริมคุณค่าทางโภชนาการและนำมาใช้เป็น Functional ingredients ในผลิตภัณฑ์พาสต้า ถั่วเมล็ดแห้งจัดเป็นพืชที่มีคุณค่าทางโภชนาการสูง โดยเฉพาะเป็นแหล่งของโปรตีน สตาร์ช โยอาหาร สตาร์ชที่ทนต่อการย่อย (resistance starch) และสารประกอบฟีนอล (bioactive phenolic compounds) ที่มีสมบัติในการต้านออกซิเดชัน ด้านแบคทีเรีย ช่วยลดความดันโลหิต และป้องกันโรคมะเร็ง โรคหัวใจ โรคเบาหวาน แบ่งจากถั่วบางชนิด โดยเฉพาะถั่วชนิดที่มีสี ได้แก่ ถั่วแดง และถั่วดำ ยังเป็นแหล่งของแอนโทไซยานินที่มีสมบัติในการต้านอนุมูลอิสระ (ทิพวดี และคณะ, 2550; Xu and Chang, 2009; Aguilera et al., 2011) อย่างไรก็ตามพาสต้าที่ผลิตจากข้าวเจ้ายังมีคุณค่าทางโภชนาการต่ำเมื่อเปรียบเทียบกับพาสต้าจากข้าวสาลี เนื่องจากข้าวเจ้าประกอบด้วยสตาร์ชเป็นองค์ประกอบหลัก แต่มีโปรตีนและใยอาหารต่ำ การนำแป้งถั่วมาใช้ร่วมกับแป้งข้าวเจ้าจะช่วยเพิ่มคุณค่าทางโภชนาการและเสริมสารอาหารที่มีประโยชน์ต่อสุขภาพ นอกจากนี้ แป้งถั่วยังเป็นวัตถุดิบทางเลือกที่ได้รับความนิยมในการนำมาผลิตอาหารปราศจากกลูเตนอีกด้วย (Gelski, 2013) ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงสนใจพัฒนาผลิตภัณฑ์พาสต้าจากแป้งข้าวเจ้าเสริมแป้งถั่วชนิดต่างๆ เพื่อเป็นทางเลือกใหม่ในการบริโภคอาหารเพื่อสุขภาพที่มีคุณค่าทางโภชนาการเพิ่มขึ้น โดยใช้วัตถุดิบที่ผลิตภายในประเทศ เพื่อช่วยลดการนำเข้าวัตถุดิบจากต่างประเทศ ตลอดจนช่วยเพิ่มมูลค่าของผลิตภัณฑ์ทางการเกษตรให้มีศักยภาพในการส่งออกได้

วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาสมบัติทางเคมี กายภาพ และสมบัติเชิงหน้าที่ของแป้งถั่วชนิดต่างๆ
2. เพื่อพัฒนาสูตรพาสต้าจากข้าวเจ้าเสริมแป้งถั่ว
3. เพื่อพัฒนากระบวนการผลิตพาสต้าที่เหมาะสม
4. เพื่อเปรียบเทียบคุณภาพทางเคมี กายภาพ และลักษณะทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์พาสต้าจากข้าวเจ้าเสริมแป้งถั่วกับผลิตภัณฑ์พาสต้าทางการค้า

ขอบเขตของโครงการวิจัย

โครงการวิจัยนี้ศึกษาการพัฒนาผลิตภัณฑ์พาสต้าเพื่อสุขภาพที่ทำจากแป้งข้าวเจ้าทางการค้าที่ผลิตได้ภายในประเทศ และเติมแป้งถั่ว 3 ชนิด คือ ถั่วเขียว (mung bean) ถั่วแดง (red bean) และถั่วดำ (black bean) ในขั้นตอนการวิจัยประกอบด้วยการศึกษาสมบัติทางเคมี กายภาพ และสมบัติเชิงหน้าที่ของแป้งถั่วชนิดต่างๆ ศึกษาการพัฒนาสูตรผลิตภัณฑ์พาสต้าโดยหาอัตราส่วนระหว่างแป้งข้าวเจ้าและแป้งถั่ว ปริมาณความชื้นของส่วนผสม และปริมาณเอนไซม์ทรานส์กลูตามิเนสที่เหมาะสม ศึกษาการพัฒนากระบวนการผลิตโดยศึกษาภาวะที่เหมาะสมในการผลิตพาสต้าข้าวเจ้าเสริมแป้งถั่วโดยใช้เครื่องเอ็กซ์ทรูชันแบบให้ความร้อน (cooking extruder) ได้แก่ อุณหภูมิ และความเร็วรอบ นำผลิตภัณฑ์พาสต้าที่ได้มาวิเคราะห์คุณภาพในด้านลักษณะทางกายภาพ คุณค่าทางโภชนาการ และการยอมรับทางประสาทสัมผัสเปรียบเทียบกับผลิตภัณฑ์พาสต้าทางการค้า

บทที่ 2

การตรวจเอกสาร

ผลิตภัณฑ์อาหารเพื่อสุขภาพ

ผลิตภัณฑ์อาหารเพื่อสุขภาพหรือฟังก์ชันนัลฟู้ดส์ (Functional foods) หมายถึงอาหารเพื่อสุขภาพที่มีลักษณะทางกายภาพเหมือนอาหารที่บริโภคเป็นประจำและสามารถบริโภคได้ตามปกติเมื่อบริโภคแล้วให้ประโยชน์ต่อร่างกายโดยช่วยส่งเสริมสุขภาพให้ดีขึ้นหรือช่วยป้องกันการเกิดโรค นอกจากนี้ยังมีคำที่เกี่ยวข้องหรือใช้แทนฟังก์ชันนัลฟู้ดส์ ได้แก่ Bioactive compounds, Dietary supplements, Functional ingredients, Medical foods, Natural health products และ Nutraceutical (Kaur and Das, 2011) นอกเหนือจากคุณค่าทางโภชนาการแล้ว อาหารเพื่อสุขภาพยังมีหน้าที่อื่นๆ ได้แก่ ปรับปรุงระบบภูมิคุ้มกันของร่างกาย ปรับปรุงระบบและสภาพการทำงาน of ร่างกาย ชะลอการเสื่อมโทรมของอวัยวะต่างๆ จากการสูงอายุ ป้องกันโรคต่างๆ ที่อาจเกิดขึ้นจากภาวะโภชนาการผิดปกติ และบำบัดหรืออาการของโรคที่เกิดจากความผิดปกติของร่างกาย โดยสารประกอบที่ทำให้เกิดหน้าที่ดังกล่าว เรียกว่า Physiological active components หรือ Functional ingredients ในประเทศญี่ปุ่นซึ่งมีพัฒนาการของผลิตภัณฑ์อาหารเหล่านี้มาก่อนประเทศอื่น ได้กำหนดลักษณะจำเพาะของอาหารเพื่อสุขภาพเหล่านี้ คือ ต้องมีสภาพทางกายภาพเป็นผลิตภัณฑ์อาหารที่แท้จริง ไม่อยู่ในรูปของแคปซูล หรือเป็นผงเหมือนยา และเป็นอาหารที่ไม่ได้ดัดแปลงจากวัตถุดิบตามธรรมชาติ สามารถบริโภคได้เป็นประจำไม่มีข้อจำกัดเหมือนยา มีส่วนประกอบที่ให้ผลโดยตรงในการเสริมสร้างการทำงานของระบบต่างๆ ในร่างกายและป้องกันโรคต่างๆ ได้ (ไพโรจน์ หลวงพิทักษ์, 2552)

ประเภทของอาหารเพื่อสุขภาพ สามารถจำแนกได้หลายประเภทดังนี้ (Kaur and Das, 2011)

1. ผลิตภัณฑ์อาหารที่เสริมส่วนผสมที่มีประโยชน์ต่อสุขภาพ เช่น ขนมอบเสริมแคลเซียม ขนมอบเสริมกรดไขมันโอเมก้า 3

ตัวอย่างของ Functional ingredients ที่สำคัญและนิยมใช้ในปัจจุบัน ได้แก่

1) เส้นใยอาหาร (Dietary fiber) ตัวอย่างผลิตภัณฑ์ ได้แก่ เครื่องดื่มเสริมเส้นใยอาหาร ผลิตภัณฑ์ขนมอบเสริมเส้นใยอาหาร ผลิตภัณฑ์อาหารเข้าเสริมเส้นใยอาหาร

2) น้ำตาลโอลิโกแซคคาไรด์ (Oligosaccharides) เช่น โอลิโกฟรุคโตส โอลิโกแลคโตส ตัวอย่างผลิตภัณฑ์ ได้แก่ เครื่องดื่มเสริมน้ำตาลโอลิโกแซคคาไรด์ ผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวเสริมโอลิโกแซคคาไรด์ ผลิตภัณฑ์ลูกกวาดและหมากฝรั่งเสริมโอลิโกแซคคาไรด์

3) แบคทีเรียในกลุ่มแลคติก (Lactic acid bacteria) เช่น แบคทีเรียในกลุ่มแลคโตบาซิลลัส (*Lactobacillus* sp.) บิฟิโดแบคทีเรีย (*Bifidobacterium* sp.) ตัวอย่างผลิตภัณฑ์ ได้แก่ ผลิตภัณฑ์นมเปรี้ยว โยเกิร์ตเสริมแบคทีเรียในกลุ่มแลคติก โยเกิร์ตอัดเม็ดเสริมแบคทีเรียในกลุ่มแลคติก

4) กรดไขมันไม่อิ่มตัวเชิงซ้อนในกลุ่มโอเมก้า 3 (Omega-3 polyunsaturated fatty acid) เช่น น้ำมันปลา EPA (Eicosapentaenoic acid) DHA (Docosahexaenoic acid) ตัวอย่างผลิตภัณฑ์ ได้แก่ เครื่องดื่ม ผลิตภัณฑ์ลูกกวาด ผลิตภัณฑ์ขนมอบ นมผงเสริมน้ำมันปลา

5) เกลือแร่ต่างๆ เช่น แคลเซียม เหล็ก ตัวอย่างผลิตภัณฑ์ ได้แก่ นมผง อาหารสำเร็จรูปเสริมแคลเซียม (ไพโรจน์, 2552)

2. ผลิตภัณฑ์อาหารที่สามารถต่อต้านสารประกอบที่ลดคุณค่าทางโภชนาการของอาหารที่เกิดขึ้นในกระบวนการผลิต เช่น สารประกอบที่เป็นพิษ หรือสารก่อภูมิแพ้

3. วัตถุประสงค์ของอาหารที่มีการปรับปรุงองค์ประกอบเฉพาะโดยการเปลี่ยนแปลงอาหารที่ใช้เลี้ยงสัตว์ เช่น ไข่หรือเนื้อที่มีกรดไขมันโอเมก้า 3 สูง

4. ผลิตภัณฑ์อาหารใหม่ (Novel foods) ที่มีการปรับปรุงให้มีประโยชน์ต่อสุขภาพ ซึ่งผลิตโดยการจัดการด้านพันธุกรรมหรือคัดเลือกสายพันธุ์ใหม่ที่ไม่เคยมีการบริโภคมาก่อน เช่น ข้าวที่มีธาตุเหล็กสูงหรือมีวิตามินบีสูง อาหารที่ปราศจากสารก่อภูมิแพ้ ข้าวสาลีเสริมลูทีน (Lutein)

อาหารปราศจากกลูเตน

ปัจจุบันมีผู้บริโภคจำนวนมากที่เกิดภาวะ Celiac disease หรือมีอาการแพ้โปรตีนกลูเตนที่พบในข้าวสาลี ข้าวไรย์ และข้าวบาร์เลย์ โดยเฉพาะผู้บริโภคในประเทศแถบยุโรปและอเมริกา โรค Celiac disease เป็นโรคภูมิคุ้มกันต้านทานที่สามารถถ่ายทอดได้ทางพันธุกรรม เกิดจากการที่ระบบภูมิคุ้มกันมีปฏิกิริยากับโปรตีนกลูเตน ทำให้เกิดอาการอักเสบและการทำลายเซลล์เยื่อบุลำไส้ ทำให้เกิดปัญหาในระบบการย่อย วิธีการรักษาและควบคุมโรคมียังมีเพียงวิธีเดียวคือต้องรับประทานอาหารที่ปราศจากกลูเตนไปตลอดชีวิต จึงทำให้ความต้องการอาหารประเภทนี้สูงขึ้น (บงกช วรธนะภุติ, 2555) เนื่องจากข้าวสาลีเป็นวัตถุดิบหลักในผลิตภัณฑ์อาหารหลายประเภท ได้แก่ ผลิตภัณฑ์เบเกอรี่ ผลิตภัณฑ์อาหารเส้น และผลิตภัณฑ์อาหารเข้า พาสต้าปราศจากกลูเตนเป็นหนึ่งในผลิตภัณฑ์อาหารปราศจากกลูเตนได้รับความสนใจในการวิจัยและพัฒนาผลิตภัณฑ์เพิ่มขึ้น (Kim et al, 2014; Gimenez et al., 2013; Susanna and Prabhasankar, 2013)

พาสต้า

พาสต้า (Pasta) เป็นผลิตภัณฑ์อาหารเส้นที่ทำจากแป้งและน้ำเป็นส่วนประกอบหลัก โดยทั่วไปพาสต้าหมายถึงผลิตภัณฑ์อาหารเส้นแบบตะวันตกซึ่งทำจากข้าวสาลีชนิดนุ่มและอัดผ่านหน้าแปลน (Die) ออกมาให้มีรูปร่างแตกต่างกัน เช่น สปาเก็ตตี้ มักกะโรนี เป็นต้น นอกจากนี้ยังรวมถึงผลิตภัณฑ์พาสต้าแบบตะวันออก เช่น บะหมี่ (Noodles) ก๋วยเตี๋ยว วุ้นเส้น เป็นต้น การจำแนกประเภทของพาสต้าอาจแตกต่างกันไปขึ้นกับชนิดของวัตถุดิบ สูตรผลิตภัณฑ์ กรรมวิธีการผลิต หรือรูปร่างของผลิตภัณฑ์

กระบวนการผลิตพาสต้า จำแนกตามชนิดของวัตถุดิบได้ดังนี้

1. วิธีการผลิตพาสต้าจากข้าวสาลี

วิธีการผลิตพาสต้าจากข้าวสาลีเป็นวิธีการผลิตแบบดั้งเดิม (Conventional pasta process) โดยการผสมเซโมลินาข้าวสาลีหรือแป้งกับน้ำให้เป็นโด (dough) ที่มีความชื้น 30-ร้อยละ

34 นาโดที่ได้มาอัดให้มีรูปร่างต่างๆ ผ่านหน้าแปลนหรือช่องเปิดของเครื่องเอกซ์ทรูเดอร์ (Extruder) เครื่องเอกซ์ทรูเดอร์เป็นเครื่องมือที่รวมหน่วยปฏิบัติการหลายหน่วยเข้าด้วยกัน โดยสามารถผสม นวด และอัดเส้นออกมาให้มีรูปร่างตามต้องการขึ้นกับหน้าแปลนที่ใช้ จากนั้น นำผลิตภัณฑ์มาทำให้แห้ง เพื่อให้พาสต้ามีความชื้นลดลงเหลือร้อยละ 12.5 ก่อนการบรรจุ (Giese, 1992)

2. วิธีการผลิตพาสต้าจากแป้งที่ปราศจากกลูเตน

วิธีการผลิตพาสต้าจากแป้งชนิดอื่นที่ไม่ใช่แป้งสาลีนั้นไม่ใช้วิธีการผลิตแบบดั้งเดิม เนื่องจากแป้งสาลีนั้นมีโปรตีนกลูเตน เมื่อนำแป้งสาลีผสมกับน้ำแล้วนวดให้เข้ากันจะเกิดเป็นก้อนโดที่มีความแข็งแรงพอเหมาะ แต่สำหรับผลิตภัณฑ์พาสต้าบางประเภท ได้แก่ ก๋วยเตี๋ยว เส้นหมี่ ขนมหุ้น วัณเส้น เป็นต้น สามารถผลิตได้จากแป้งข้าวเจ้า แป้งจากพืชหัว หรือ แป้งจากถั่ว เช่น แป้งมันเทศ แป้งมันฝรั่ง แป้งถั่วเขียว เป็นต้น ซึ่งเป็นที่ไม่มีโปรตีนกลูเตน จึงไม่สามารถใช้การผลิตแบบเดียวกับการทำพาสต้าที่ทำจากข้าวสาลีได้ วิธีการที่นำมาใช้ทำได้หลายวิธี คือ (1) การใช้สมบัติของสตาร์ชซึ่งเป็นองค์ประกอบหลักในแป้ง โดยการให้ความร้อนเช่น การนึ่ง หรือการต้ม เพื่อให้แป้งเกิดเจลและให้โครงสร้างที่แข็งแรงกับผลิตภัณฑ์ (2) การเติมโปรตีนเพื่อให้เป็นโครงสร้างแก่ผลิตภัณฑ์ (3) การใช้สารปรับปรุงคุณภาพที่มีสมบัติเฉพาะ เช่น กัม คาร์ราจีแนน อัลจิเนต เป็นต้น

โดยปกติเทคโนโลยีดั้งเดิมที่ใช้ผลิตพาสต้าจากแป้งที่ไม่ใช่ข้าวสาลีใช้วิธีการให้ความร้อนอุณหภูมิ 90-95 °C กับสตาร์ชโดบางส่วนเพื่อให้เกิดเจล (gelatinization) จากนั้นนำมาผสมกับส่วนผสมที่เหลือ สตาร์ชที่ผ่านการให้ความร้อนทำหน้าที่เป็นตัวประสานให้เกิดการจับกันเป็นโครงสร้างที่แข็งแรง (Pagani, 1986; Tan et al., 2009) กระบวนการเอ็กซ์ทรูชันแบบให้ความร้อน (Cooking extrusion process) เป็นอีกทางเลือกหนึ่งที่น่าสนใจใช้ผลิตพาสต้าจากแป้งที่ปราศจากกลูเตน โดยเป็นการรวมขั้นตอนการผสม การให้ความร้อน และการขึ้นรูปผลิตภัณฑ์เข้าไว้ด้วยกันในเครื่องเอ็กซ์ทรูเดอร์ ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของสตาร์ชและองค์ประกอบอื่นในส่วนผสม (โปรตีน ลิปิด และคาร์โบไฮเดรต) เกิดเป็นโครงสร้างที่แข็งแรงและส่งผลกระทบต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์ (Gimenez et al., 2013) จากการศึกษาของ Marti et al. (2010) พบว่าการผลิตพาสต้าจากแป้งข้าวเจ้าโดยใช้กระบวนการเอ็กซ์ทรูชันแบบให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 115 °C ให้ผลิตภัณฑ์ที่มีคุณภาพดีกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับพาสต้าข้าวเจ้าที่ผลิตโดยใช้วิธีดั้งเดิม อย่างไรก็ตาม คุณภาพของผลิตภัณฑ์ยังขึ้นปัจจัยที่มีผลต่อกระบวนการเอ็กซ์ทรูชันแบบให้ความร้อน ได้แก่ ชนิดและองค์ประกอบของวัตถุดิบ ความชื้นของส่วนผสม อุณหภูมิและความเร็วรอบของเครื่องเอ็กซ์ทรูเดอร์ เป็นต้น

ถั่วเมล็ดแห้ง

ถั่วเมล็ดแห้ง (pulse) เป็นพืชในตระกูลถั่วที่เป็นแหล่งอาหารสำคัญของมนุษย์และสัตว์ โดยองค์การอาหารและเกษตรแห่งสหประชาชาติ (FAO) นิยามคำว่า “pulse” หมายถึง พืชที่ให้ผลผลิตเป็นถั่วเมล็ดแห้ง ซึ่งไม่รวมถั่วที่ใช้บริโภคเป็นผัก เช่น green bean, green pea และถั่วที่ใช้สกัดน้ำมัน เช่น ถั่วเหลือง ถั่วลิสง FAO ได้จำแนกถั่วเมล็ดแห้งได้ถึง 11 กลุ่ม ซึ่งรวมถึงถั่วเมล็ดแห้งในวงศ์ Phaseolus, Vigna, Vicia เช่น ถั่วเขียว ถั่วแดง ถั่วดำ ถั่วปากอ้า ถั่วชิกพี ถั่วแขก เป็นต้น (FAO, 1994) โดยปริมาณผลผลิตของถั่วเมล็ดแห้งในตลาดโลกในช่วงปีพ.ศ. 2549-2555 เพิ่มขึ้นจาก 60.72 ล้านตัน เป็น 70.42 ล้านตัน (FAO, 2013)

ถั่วเมล็ดแห้งมีคุณค่าทางโภชนาการสูง โดยเป็นแหล่งของโปรตีน คาร์โบไฮเดรตเชิงซ้อน (เช่น โยอาหาร สตาร์ชที่ทนต่อการย่อย) วิตามิน และแร่ธาตุหลายชนิด (เช่น เหล็ก แมกนีเซียม ฟอสฟอรัส และสังกะสี) ถั่วเมล็ดแห้งมีปริมาณโปรตีนร้อยละ 20-25 โดยน้ำหนัก ซึ่งสูงกว่าโปรตีนในข้าวเจ้าประมาณ 3 เท่า ถั่วเมล็ดแห้งจัดเป็นอาหารที่ดีต่อสุขภาพเนื่องจากไม่มีคลอเรสเตอรอล รวมทั้งมีโซเดียมและไขมันต่ำ และเป็นแหล่งของ prebiotic resistant starch (Wikipedia, 2009) นอกจากนี้ยังประกอบด้วยสารประกอบฟีนอลิก (bioactive phenolic compounds) เช่น โพลีฟีนอล แอนโทไซยานิน ที่มีสมบัติในการต้านออกซิเดชัน ต้านแบคทีเรีย ช่วยลดความดันโลหิต และป้องกันโรคมะเร็ง โรคหัวใจ โรคเบาหวาน (ทิพวดี และคณะ, 2550; Xu and Chang, 2009; Aguilera et al., 2011) ในแง่ของความปลอดภัยในการบริโภค ถั่วเมล็ดแห้งไม่ถูกจัดอยู่ในกลุ่มอาหารชนิดที่ก่อให้เกิดแพ้ และไม่จำเป็นต้องแสดงชื่อของถั่วในฉลากโภชนาการ ในขณะที่ถั่วเหลืองและถั่วลิสงจำเป็นต้องระบุชื่อไว้ในฉลากโภชนาการ (Boye et al., 2010) อย่างไรก็ตามการนำถั่วมาใช้อินอาหารจำเป็นต้องพิจารณาถึงสมบัติทางเคมีกายภาพ ได้แก่ องค์ประกอบทางเคมี สมบัติด้านความหนืด ลักษณะเนื้อสัมผัสของเจล และสมบัติเชิงหน้าที่ (functional properties) เช่น การละลาย การดูดซับน้ำและน้ำมัน การเกิดโฟม และสมบัติในการเป็นอิมัลซิไฟเออร์ (Wani et al., 2013)

องค์ประกอบในถั่วเมล็ดแห้งที่สำคัญต่อสุขภาพ

ถั่วเมล็ดแห้งประกอบด้วยสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพ (bioactive substance) ที่สำคัญต่อสุขภาพหลายชนิด ได้แก่ กรดไฟติก (phytic acid) สารประกอบฟีนอล และโอลิโกแซคคาไรด์ (oligosaccharide) กรดไฟติกมีสมบัติเป็นสารต้านออกซิเดชันและป้องกันความเสียหายของ DNA สารประกอบฟีนอลิกมีสมบัติเป็นสารต้านอนุมูลอิสระที่มีประโยชน์ต่อร่างกาย ส่วนโอลิโกแซคคาไรด์มีสมบัติเป็นพรีไบโอติกส์ (prebiotic) ถั่วเมล็ดแห้งชนิดที่มีปริมาณสารประกอบฟีนอลสูงมักเป็นสายพันธุ์ที่มีสีเข้มหรือสายพันธุ์ที่มีรงควัตถุสูง เช่น ถั่วแดงหลวง ถั่วเขียวผิวดำ และถั่วดำ โดยพบว่าปริมาณสารประกอบฟีนอลมีความสัมพันธ์กับสมบัติการต้านอนุมูลอิสระซึ่งประเมินด้วยวิธี 2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyl (DPPH) free radical scavenging, ferric reducing antioxidant power (FRAP) และ oxygen radical absorbance capacity (ORAC) โดยถั่วชนิดที่มีปริมาณสารประกอบฟีนอลสูงมีสมบัติในการต้านอนุมูลอิสระ (DPPH, FRAP และ ORAC) สูง นอกจากนี้ถั่วเมล็ดแห้งยังเป็นแหล่งของแร่ธาตุที่สำคัญได้แก่ โพแทสเซียม ฟอสฟอรัส แคลเซียม และแมกนีเซียม (Campos-Vega et al., 2010)

การเสริมแป้งถั่วในผลิตภัณฑ์พาสต้า

Gimenez et al. (2013) ได้เตรียมพาสต้าในรูปสปาเกตตี้จากแป้งผสมระหว่างแป้งข้าวโพดและแป้งถั่ว (broad bean) ในอัตราส่วน 70:30 โดยใช้เครื่องเอ็กซ์ทรูเดอร์แบบสกรูเดี่ยว โดยศึกษาผลของอุณหภูมิของเครื่อง (80, 90 และ 100°C) และความชื้นของส่วนผสม (ร้อยละ 28, 31 และ 34) พบว่า ผลิตภัณฑ์พาสต้าที่ทำจากแป้งผสมที่มีความชื้นร้อยละ 28 และผลิตโดยใช้กระบวนการเอ็กซ์ทรูชันที่อุณหภูมิ 100°C มีปริมาณโปรตีนและใยอาหารสูง และมีคุณภาพเหมาะสม

Susanna and Prabhasankar (2013) ได้พัฒนาผลิตภัณฑ์พาสต้าปราศจากกลูเตนเสริมโปรตีน โดยเตรียมพาสต้าโดยใช้สูตรที่แตกต่างกันซึ่งประกอบด้วยแป้งจากถั่วเหลืองที่ผ่านการให้ความร้อน (tosted soy flour) แป้งถั่ว (tosted channa flour) และแป้งข้าวฟ่าง (toasted

sorghum flour) โปรตีนเวย์เข้มข้น (whey protein concentrate) และสารปรับปรุงคุณภาพ ได้แก่ แชนแทนกัม กัวร์กัม และ ไฮดรอกซีโพรพิลเมทิลเซลลูโลส (HPMC) ประเมินคุณภาพของพาสต้าและทดสอบสมบัติด้านภูมิแพ้ (Immunology test) พบว่า พาสต้าที่พัฒนาได้มีคุณภาพใกล้เคียงกับพาสต้าจากข้าวสาลี แต่มีปริมาณโปรตีนสูงกว่า และสามารถบริโภคได้โดยไม่แสดงอาการแพ้

Petitot et al. (2010) ได้ศึกษาการเติมแป้งถั่ว 2 ชนิด คือ spilt pea และ ถั่วปากอ้า (faba bean) ในพาสต้า โดยใช้ปริมาณเซโมลิน่าข้าวสาลีและแป้งถั่วในอัตราส่วน 65:35 และอุณหภูมิที่ใช้ในการอบแห้งพาสต้า 3 รูปแบบ คือ (1) อุณหภูมิต่ำ (50 °C) (2) อุณหภูมิสูง (70 °C) และ (3) อุณหภูมิสูงมาก (90 °C) ในช่วงสุดท้ายของการอบแห้ง พบว่า การเติมแป้งถั่วทั้ง 2 ชนิดมีผลทำให้คุณภาพบางประการของพาสต้าลดลง (cooking loss เพิ่มขึ้นและค่าความแข็งของเส้นพาสต้าลดลง) ซึ่งเป็นผลจากการที่ปริมาณกลูเตนของส่วนผสมลดลงและมีปริมาณใยอาหารที่ไม่ละลายน้ำเพิ่มขึ้น แต่การใช้อุณหภูมิในการอบแห้งที่อุณหภูมิสูง (2) และสูงมาก (3) ในช่วงสุดท้ายของการอบแห้งช่วยปรับปรุงคุณภาพบางประการของผลิตภัณฑ์ เช่น ทำให้ cooking loss ลดลง

เอนไซม์ทรานส์กลูตามิเนส

เอนไซม์ทรานส์กลูตามิเนส (Transglutaminase, TGase) มีชื่อเรียกระบบตัวเลขคือ EC2.3.2.13 และมีชื่อเรียกตามระบบปฏิกิริยาว่า protein-glutamine γ -glutamyltransferase นอกจากนี้ยังมีชื่อเรียกชื่อสามัญอื่น ๆ ได้แก่ แฟคเตอร์ XIIIa (Factor XIIIa) และไฟบริโนไลเกส (Fibrinoligase) เป็นต้น TGase เป็นเอนไซม์ที่เร่งปฏิกิริยาการย้ายหมู่เอซิล (acyl transfer) ระหว่างหมู่แอมมาคาร์บอกซีเอไมด์ (γ -carboxyamine group) ของอนุโมลกรดอะมิโนกลูตามีน (glutamine residue) ในสายเปปไทด์หรือโปรตีน และสารประกอบเอมีน ในกรณีที่สารประกอบเอมีนเป็นหมู่เอซิลลอนอะมิโน (ϵ -amino group) ในสายเปปไทด์ TGase จะเร่งปฏิกิริยาการเชื่อมพันธะโควาเลนต์ (covalent bond) ระหว่างสายเปปไทด์สองสายเกิดพันธะใหม่ที่เรียกว่าพันธะ ϵ -(γ -glutamyl)lysine หรือเรียกสั้น ๆ ว่า พันธะ G-L สำหรับในสภาวะที่ไม่มีสารประกอบเอมีน TGase จะเร่งปฏิกิริยาไฮโดไลซิส (Hydrolysis) ของหมู่แอมมาคาร์บอกซีเอไมด์ของอนุโมลกรดกลูตามีนในสายเปปไทด์ได้เป็นอนุโมลของกรดกลูตามิก (glutamic residue) และแอมโมเนีย ซึ่งเรียกปฏิกิริยานี้ว่า ดีแอมมิเดชัน (Deamidation) (ประพันธ์ ปิ่นศิริโรดม, 2544)

การใช้เอนไซม์ทรานส์กลูตามิเนสในการปรับปรุงคุณภาพพาสต้า

Sissons, Aravind and Fellows (2010) ศึกษาคุณภาพของสปาเกตตี้ผสมใยอาหารที่เติมเอนไซม์ทรานส์กลูตามิเนสจากจุลินทรีย์ ศึกษาผลของเอนไซม์ต่อคุณภาพของโด โดยเติมปริมาณเอนไซม์ทรานส์กลูตามิเนสที่ระดับร้อยละ 0 0.05 0.1 0.25 0.5 และ 1 โดยน้ำหนักแป้ง และการศึกษาแป้งเซโมลินากับการเติมเส้นใย (Pollard) ร้อยละ 60 โดยน้ำหนักแป้ง และการศึกษาแป้งเซโมลินากับการเติมกัวร์กัมร้อยละ 15 โดยน้ำหนักแป้ง พบว่าการเติมเอนไซม์ทรานส์กลูตามิเนสทำให้โดมีความต้านทานสูงสุด โดจะไม่ขยายตัวออกที่การเติมเอนไซม์ทรานส์กลูตามิเนสน้อยกว่าร้อยละ 1 โดยน้ำหนักแป้ง โดยปริมาณของการเติมเอนไซม์ทรานส์กลูตามิเนสที่เหมาะสมที่ทำให้โดมีความ

แข็งแรงคือปริมาณร้อยละ 0.5 โดยน้ำหนักแป้ง โดที่ได้จะทำให้พาสต้ามีความแน่นเนื้อมากที่สุดและมีความเหนียวน้อยที่สุด แต่การเติมเอนไซม์ทรานส์กลูตามิเนสที่ระดับดังกล่าวจะให้ผลที่ไม่ดีต่อคุณภาพหลังการต้มสุกในพาสต้าที่เติมเส้นใย (Pollard) ร้อยละ 60 โดยน้ำหนักแป้ง หรือให้ผลที่ไม่ดีต่อค่าความเหนียวเหนอะในพาสต้าที่เติมกัวร์กัมร้อยละ 15 โดยน้ำหนักแป้ง

Kim et al. (2014) ศึกษาการปรับปรุงคุณภาพของพาสต้าจากข้าวเจ้าโดยใช้โปรตีนสกัดจากข้าวเจ้าและเอนไซม์ทรานส์กลูตามิเนสซึ่งช่วยเร่งปฏิกิริยาการเชื่อมพันธะโควาเลนต์ (covalent bond) ระหว่างสายเปปไทด์สองสายเกิดพันธะใหม่ที่เรียกว่าพันธะ ϵ -(γ -glutamyl) lysine พบว่าการใช้โปรตีนสกัดจากข้าวเจ้าร้อยละ 10 และเอนไซม์ทรานส์กลูตามิเนสร้อยละ 1 โดยน้ำหนัก ช่วยปรับปรุงคุณภาพของผลิตภัณฑ์ได้

การผลิตพาสต้าปราศจากกลูเตนโดยใช้กระบวนการเอ็กซ์ทรูชัน

Marti, Seetharaman, and Pagani (2010) ได้ศึกษาเปรียบเทียบผลของกระบวนการเอ็กซ์ทรูชันในการผลิตพาสต้าวิธีเอ็กซ์ทรูชันแบบดั้งเดิม (50°C) ซึ่งเป็นกระบวนการเอ็กซ์ทรูชันที่ใช้อุณหภูมิต่ำ กับวิธีเอ็กซ์ทรูชันแบบใช้ความร้อน (115°C) ซึ่งเป็นกระบวนการที่ใช้อุณหภูมิสูงเวลาสั้น โดยใช้วัตถุดิบ 2 ชนิด คือ แป้งข้าวธรรมดา และแป้งข้าวที่ทำจากข้าวกล้อง จากผลการทดลองพบว่าพาสต้าที่เตรียมโดยใช้วิธีเอ็กซ์ทรูชันแบบใช้ความร้อนมีค่าการดูดซับน้ำ (Water absorption) สูงกว่าวิธีเอ็กซ์ทรูชันแบบดั้งเดิม ปริมาณของแข็งที่สูญเสีย (Solid loss) ต่ำกว่าวิธีเอ็กซ์ทรูชันแบบดั้งเดิม ส่วนคุณภาพด้านเนื้อสัมผัสพบว่าพาสต้าที่เตรียมโดยวิธีเอ็กซ์ทรูชันแบบใช้ความร้อนมีความแน่นเนื้อ ค่าแรงเฉือน (Shear force) และค่า ความยืดหยุ่น (Springiness) สูงกว่าพาสต้าที่เตรียมโดยใช้วิธีเอ็กซ์ทรูชันแบบดั้งเดิม

Wang et al. (2016) ได้ศึกษาผลของสภาวะในการเอ็กซ์ทรูชัน ได้แก่ อุณหภูมิ (80 - 120°C) และความเร็วรอบ (80 - 120 รอบต่อนาที) ต่อคุณภาพของพาสต้าที่ทำจากข้าวกล้อง โดยใช้เครื่องเอ็กซ์ทรูชันแบบสกรูคู่ พบว่า พาสต้าที่เตรียมโดยใช้อุณหภูมิเอ็กซ์ทรูชัน 120°C และความเร็วรอบ 120 รอบต่อนาที มีคุณภาพดีที่สุดในแง่ปริมาณของแข็งที่สูญเสียในระหว่างการต้ม (Cooking loss) และค่าการยึดเกาะที่ผิวหน้า (Adhesiveness) ต่ำที่สุด และมีค่าความแข็ง (Hardness) สูงที่สุด นอกจากนี้พาสต้าที่ได้ยังมีคุณภาพใกล้เคียงกับพาสต้าที่ทำจากแป้งปราศจากกลูเตนชนิดอื่นๆ

บทที่ 3

วิธีดำเนินการทดลอง

งานวิจัยนี้ได้ศึกษาการพัฒนาผลิตภัณฑ์พาสต้าข้าวเจ้าเพื่อสุขภาพเสริมแป้งถั่ว โดยมีรายละเอียดขั้นตอนและวิธีการดำเนินการวิจัยดังต่อไปนี้

1. ศึกษาสมบัติทางเคมีกายภาพและสมบัติเชิงหน้าที่ของแป้งถั่ว

1.1 การเตรียมแป้งถั่ว

เตรียมแป้งถั่ว โดยใช้ถั่ว 3 ชนิด ได้แก่ ถั่วแดง ถั่วดำ และถั่วเขียว ตามวิธีของ Wani et al. (2013) โดยนำเมล็ดถั่วมาคัดเลือกเอาเฉพาะเมล็ดที่สมบูรณ์ บด ร่อนผ่านตะแกรงขนาด 80 เมช และบรรจุในถุงพลาสติกปิดสนิท และเก็บในตู้เย็น เพื่อใช้ในการทดลองต่อไป

1.2 วิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีและปริมาณสารสำคัญบางชนิด สมบัติทางกายภาพ และสมบัติเชิงหน้าที่ของแป้งถั่ว

โดยวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี (proximate composition) ได้แก่ ปริมาณ ความชื้น เถ้า โปรตีน ไขมัน โยอาหาร ตามวิธีของ AOAC (2000) ปริมาณโยอาหารรวม โยอาหารที่ไม่ละลายน้ำ และโยอาหารที่ละลายน้ำ ตามวิธีของ AOAC (2000) ปริมาณแอนโทไซยานิน ตามวิธีของ Sun et al. (2009) ปริมาณกรดอะมิโน ตามวิธีของ AOAC (2005) ปริมาณโพลีฟีนอลทั้งหมด ตามวิธีที่ดัดแปลงมาจากวิธีของ Xu and Chang (2007) ความสามารถในการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระโดยวิธี DPPH radical scavenging activity ตามวิธีที่ดัดแปลงมาจากวิธีของ Karagoler et al. (2008) ปริมาณแคลเซียม โปแตสเซียม และฟอสฟอรัส ตามวิธี AOAC (2005) วิเคราะห์ค่าสีของแป้ง โดยใช้เครื่องวัดสี (Hunter lab Colorimeter) วิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงความหนืดของน้ำแป้ง ด้วยเครื่อง Rapid Visco Analyzer (RVA) วิเคราะห์สมบัติด้านความร้อน (Thermal properties) โดยใช้ Differential Scanning Calorimeter (DSC) และวิเคราะห์สมบัติเชิงหน้าที่ ได้แก่ การละลาย การดูดซับน้ำ การดูดซับน้ำมัน การเป็นโฟม การเป็นอิมัลซิไฟเออร์ ตามวิธีของ Wani et al. (2013) (รายละเอียดวิธีการวิเคราะห์แสดงในภาคผนวก ก)

2. พัฒนาสูตรพาสต้าจากข้าวเจ้าเสริมแป้งถั่ว

2.1 ศึกษาปริมาณแป้งถั่วที่เหมาะสมที่ใช้เติมในพาสต้าจากข้าวเจ้า

นำแป้งถั่วแดง แป้งถั่วดำ และแป้งถั่วเขียวมาใช้ทดแทนแป้งข้าวเจ้าเพื่อทำผลิตภัณฑ์พาสต้า โดยแปรปริมาณแป้งถั่วที่ใช้ทดแทนแป้งเจ้าข้าว 6 ระดับ คือ ร้อยละ 0 10 20 30 40 และ 50 โดยน้ำหนัก ผสมแป้งข้าวเจ้า แป้งถั่ว และน้ำโดยปรับให้ส่วนผสมมีความชื้นประมาณ ร้อยละ 30 ผลิตภัณฑ์พาสต้าโดยใช้เครื่องเอกซ์ทรูเดอร์ระดับห้องปฏิบัติการ ปรับอุณหภูมิ (Barrel temperature) 80 °C นำเส้นพาสต้าที่ได้มาทำให้แห้งโดยใช้ตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 50 °C บรรจุพาสต้าในถุงพลาสติกโพลีเอทิลีนและปิดผนึกให้สนิทเพื่อรอการวิเคราะห์คุณภาพดังต่อไปนี้

2.1.1 วิเคราะห์คุณภาพหลังการต้ม (Cooking quality) ได้แก่ เวลาที่เหมาะสมในการต้มบะหมี่ให้สุก (Cooking time) ปริมาณของแข็งที่สูญเสียระหว่างการต้ม (Cooking loss) และน้ำหนักที่ได้หลังการต้ม (Cooking Yield) ตามวิธี AACC (2000)

2.1.2 วัดค่าสี โดยใช้เครื่องวัดสี Hunter Lab รุ่น Miniscan XE Plus วัดค่าความสว่าง (L*) ค่าความเป็นสีแดง (a*) และค่าความเป็นสีเหลือง (b*)

2.1.3 วิเคราะห์ลักษณะเนื้อสัมผัส โดยใช้เครื่องวิเคราะห์เนื้อสัมผัส Texture Analyzer (TA-XT2) วัดค่าความแน่นเนื้อ (Firmness) ของบะหมี่โดยใช้หัววัด A/LKB ค่าความต้านทานต่อการดึงขาดของบะหมี่ (Tensile strength) โดยใช้หัววัด spaghetti Tensile Grips (A/SPR) และค่าการยึดเกาะที่ผิวหน้า (Adhesiveness) ของบะหมี่โดยใช้หัววัด P/ 35

2.1.4 ประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัส

นำพาสต้าที่เตรียมได้มาทดสอบคุณภาพทางประสาทสัมผัสด้านสี กลิ่น รสชาติ เนื้อสัมผัส และความชอบโดยรวม ใช้วิธีการทดสอบความชอบด้วยวิธี 9-Point Hedonic Scale ใช้ผู้ทดสอบ 30 คน โดยการเตรียมตัวอย่างพาสต้าที่ใช้ในการทดสอบใช้เวลาในการต้มพาสต้าให้สุกตามเวลาที่ได้จากการทดลอง

วางแผนการทดลองแบบ CRD (Completely Randomized Design) ทำการทดลอง 3 ซ้ำ เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยโดยวิธี Duncan's New Multiple Range Test (DMRT) ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

สำหรับการประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสวางแผนการทดลองแบบ RCBD (Randomized Complete Block Design) เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยโดยวิธี Duncan's New Multiple Range Test (DMRT) ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

พิจารณาเลือกชนิดและปริมาณแป้งที่ที่เหมาะสมที่ใช้เสริมในผลิตภัณฑ์พาสต้าจากคะแนนความชอบโดยรวมสูงที่สุด ไปใช้ในการทดลองขั้นต่อไปโดยพิจารณาคุณภาพของพาสต้าประกอบด้วย ได้แก่ ปริมาณของแข็งที่สูญเสียระหว่างการต้ม ค่าความแน่นเนื้อ ค่าความต้านทานแรงดึงขาด และ ค่าการยึดเกาะที่ผิวหน้า ซึ่งเป็นคุณลักษณะที่สำคัญของพาสต้า

2.2 ศึกษาปริมาณความชื้นของส่วนผสมที่เหมาะสมในการทำผลิตภัณฑ์พาสต้าจากข้าวเจ้า

โดยแปรปริมาณความชื้นของส่วนผสม 3 ระดับ คือ ร้อยละ 30 35 และ 40 โดยน้ำหนัก ทำพาสต้าเช่นเดียวกับข้อ 2.1 วิเคราะห์คุณภาพดังนี้

2.2.1 การวิเคราะห์คุณภาพหลังการต้ม เช่นเดียวกับข้อ 2.1.1

2.2.2 วัดค่าสี เช่นเดียวกับข้อ 2.1.2

2.2.3 วิเคราะห์ลักษณะเนื้อสัมผัส เช่นเดียวกับข้อ 2.1.3

2.2.4 ประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัส เช่นเดียวกับข้อ 2.1.4

วางแผนการทดลองแบบ CRD (Completely Randomized Design) ทำการทดลอง 3 ซ้ำ เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยโดยวิธี Duncan's New Multiple Range Test (DMRT) ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

สำหรับการประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสวางแผนการทดลองแบบ RCBD (Randomized Complete Block Design) เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยโดยวิธี Duncan's New Multiple Range Test (DMRT) ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

พิจารณาเลือกความชื้นของส่วนผสมแบ่งที่เหมาะสมที่ใช้เติมในผลิตภัณฑ์พาสต้าข้าวเจ้าเสริมแป้งถั่วจากคะแนนความชอบโดยรวมสูงที่สุดไปใช้ในการทดลองขั้นต่อไป โดยพิจารณาคุณภาพของผลิตภัณฑ์หลังการต้มประกอบด้วย

2.3 ศึกษาปริมาณของเอนไซม์ทรานส์กลูตามิเนสที่เหมาะสมที่ใช้เติมในผลิตภัณฑ์พาสต้าจากข้าวเจ้า

โดยแปรปริมาณเอนไซม์ทรานส์กลูตามิเนส 5 ระดับ คือ ร้อยละ 0 0.25 0.50 0.75 และ 1.00 โดยน้ำหนักแป้ง ทำพาสต้าเช่นเดียวกับข้อ 2.1 วิเคราะห์คุณภาพดังนี้

2.3.1 การวิเคราะห์คุณภาพหลังการต้ม เช่นเดียวกับข้อ 2.1.1

2.3.2 วัดค่าสี เช่นเดียวกับข้อ 2.1.2

2.3.3 วิเคราะห์ลักษณะเนื้อสัมผัส เช่นเดียวกับข้อ 2.1.3

2.3.4 ประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัส เช่นเดียวกับข้อ 2.1.4

2.3.5 วิเคราะห์โครงสร้างภายใน (Microstructure) โดยใช้ Scanning Electron Microscope

วางแผนการทดลองแบบ CRD (Completely Randomized Design) ทำการทดลอง 3 ซ้ำ เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยโดยวิธี Duncan's New Multiple Range Test (DMRT) ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

สำหรับการประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสวางแผนการทดลองแบบ RCBD (Randomized Complete Block Design) เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยโดยวิธี Duncan's New Multiple Range Test (DMRT) ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

พิจารณาเลือกปริมาณเอนไซม์ที่เหมาะสมที่ใช้เติมในผลิตภัณฑ์พาสต้าข้าวเจ้าเสริมแป้งถั่วจากคะแนนความชอบโดยรวมสูงที่สุดไปใช้ในการทดลองขั้นต่อไป โดยพิจารณาคุณภาพของผลิตภัณฑ์หลังการต้มประกอบด้วย

3. พัฒนาระบวนการผลิตพาสต้าที่เหมาะสม

ศึกษาภาวะที่เหมาะสมในการผลิตพาสต้าจากข้าวเจ้าโดยใช้เครื่องเอ็กซ์ทรูชันโดยแปรอุณหภูมิบาร์เรล 3 ระดับ คือ 80 90 และ 100 °C และแปรความเร็วรอบของสกรู 3 ระดับ คือ 80 100 และ 120 rpm ผลิตพาสต้าเช่นเดียวกับวิธีการทดลองในข้อ 2 นำพาสต้าที่ได้มาวิเคราะห์คุณภาพดังนี้

3.1 วิเคราะห์คุณภาพของพาสต้า เช่นเดียวกับการทดลองข้อที่ 2.1.1

3.2 วัดค่าสี เช่นเดียวกับข้อ 2.1.2

3.3 วิเคราะห์ลักษณะเนื้อสัมผัส เช่นเดียวกับข้อ 2.1.3

3.4 ประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัส เช่นเดียวกับการทดลองข้อที่ 2.1.4

วางแผนการทดลองแบบ Factorial in CRD (3x3) ทำการทดลอง 3 ซ้ำ เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยโดยวิธี Duncan's New Multiple Range Test (DMRT) ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 สำหรับการประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสวางแผนการทดลองแบบ RCBD (Randomized Complete Block Design) เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยโดยวิธี Duncan's New Multiple Range Test (DMRT) ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

พิจารณาเลือกภาวะที่เหมาะสมในการผลิตภัณฑ์พาสต้าข้าวเจ้าเสริมแป้งั่วแต่ละชนิดจากคะแนนความชอบโดยรวมสูงที่สุดไปใช้ในการทดลองขั้นต่อไป โดยพิจารณาร่วมกับคุณภาพของผลิตภัณฑ์หลังการต้ม

4. เปรียบเทียบคุณภาพทางเคมี กายภาพ และลักษณะทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์พาสต้าจากข้าวเจ้าเสริมแป้งั่วกับผลิตภัณฑ์พาสต้าทางการค้า

โดยนำผลิตภัณฑ์พาสต้าเสริมแป้งั่วชนิดที่ได้รับการยอมรับสูงสุดจากการทดลองข้อที่ 3 มาวิเคราะห์คุณค่าทางโภชนาการและคุณภาพของผลิตภัณฑ์พาสต้าเปรียบเทียบกับพาสต้าทางการค้า ดังนี้

4.1 วิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี เช่นเดียวกับการทดลองข้อที่ 1.2.1

4.2 วิเคราะห์คุณภาพหลังการต้ม เช่นเดียวกับการทดลองข้อที่ 2.1.1

4.3 วัดค่าสี เช่นเดียวกับการทดลองข้อที่ 2.1.2

4.4 วิเคราะห์ลักษณะเนื้อสัมผัส เช่นเดียวกับการทดลองข้อที่ 2.1.3

4.5 ประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัส เช่นเดียวกับการทดลองข้อที่ 2.1.4

วางแผนการทดลองแบบ CRD (Completely Randomized Design) ทำการทดลอง 3 ซ้ำ เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยโดยวิธี Duncan's New Multiple Range Test (DMRT) ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

บทที่ 4

ผลการทดลองและวิจารณ์

1. ผลการศึกษาสมบัติทางเคมีกายภาพและสมบัติเชิงหน้าที่ของแป้งถั่ว

จากการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีและปริมาณสารสำคัญบางชนิด สมบัติทางกายภาพ และสมบัติเชิงหน้าที่ของแป้งถั่ว 3 ชนิด ได้แก่ แป้งถั่วแดง แป้งถั่วดำ และแป้งถั่วเขียวได้ผลแสดงดังตารางที่ 4-1 - 4-6

ตารางที่ 4-1 องค์ประกอบทางเคมีและปริมาณสารสำคัญบางชนิดของแป้งถั่วชนิดต่างๆ

องค์ประกอบทางเคมี	แป้งถั่วแดง	แป้งถั่วดำ	แป้งถั่วเขียว
ความชื้น (%)	11.63±0.11	11.09±0.15	9.45±0.14
โปรตีน ¹ (%db)	27.04±0.05	26.46±0.80	24.75±0.16
ไขมัน (%db)	1.54±0.09	1.22±0.07	0.61±0.03
เถ้า (%db)	3.53±0.01	4.15±0.21	3.86±0.20
เส้นใย (%db)	6.26±0.63	6.28±0.39	5.15±0.36
คาร์โบไฮเดรต (%db)	61.63±0.64	61.88±0.98	65.62±0.60
ใยอาหารรวม (%db)	19.85±0.03	22.25±0.42	21.08±0.43
ใยอาหารที่ไม่ละลายน้ำ (%db)	19.23±0.00	21.61±0.59	20.47±0.37
ใยอาหารที่ละลายน้ำ (%db)	0.62±0.03	0.64±0.17	0.61±0.06
สารประกอบฟีนอลิก (mg gallic acid/g sample)	13.95 ± 0.49	11.82±0.42	6.48±0.06
แอนโทไซยานิน (mg/100 g sample)	7.77±0.61	7.67±0.01	nd
ความสามารถในการเป็น สารต้านอนุมูลอิสระ (%inhibition)	75.23±2.27	71.86±0.50	26.89±0.38
แคลเซียม (mg/100g)	60.12±1.28	51.02±0.71	100.21±1.13
ฟอสฟอรัส (mg/100g)	342.95±8.08	356.04±5.30	324.27±5.28
โปแตสเซียม (mg/100g)	1327.13±6.97	1213.01±5.06	1023.54±8.77

¹ conversion factor = 6.25

%db ร้อยละโดยน้ำหนักแห้ง

nd = Not detected

จากผลการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี (ตารางที่ 4-1) พบว่าแป้งถั่วมีคุณค่าทางโภชนาการสูงกว่าแป้งข้าวเจ้า โดยแป้งถั่วทั้ง 3 ชนิดมีปริมาณโปรตีน เถ้า ไขมัน และเส้นใยร้อยละ 24.75-27.04, 3.53-4.15, 0.61-1.54 และ 5.15-6.28 ตามลำดับ ส่วนแป้งข้าวเจ้ามีปริมาณโปรตีน เถ้า และไขมัน ร้อยละ 6.56, 0.30 และ 0.46 ตามลำดับ (ปราโมทย์ วิจิตรจรรู และทศพล สุชาศิริ

ทรัพย์, 2553) จึงเห็นได้ว่าแป้งถั่วเป็นแหล่งของโปรตีน ไขมัน และเส้นใย และเหมาะแก่การนำมาใช้เพิ่มคุณค่าทางโภชนาการให้ผลิตภัณฑ์พาสต้าจากข้าวเจ้าที่ใช้กระบวนการเอ็กซ์ทรูชันได้ นอกจากนี้แป้งถั่วทั้ง 3 ชนิดยังประกอบด้วยใยอาหารทั้งชนิดที่ไม่ละลายน้ำและไม่ละลาย สารประกอบฟีนอลิก และมีสมบัติในการต้านอนุมูลอิสระ โดยเฉพาะแป้งถั่วแดงและแป้งถั่วดำที่มีแอนโทไซยานินเป็นองค์ประกอบ (7.67-7.77 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัมตัวอย่าง) ซึ่งจากการทดสอบฤทธิ์ต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันด้วยวิธี DPPH พบว่าสารสกัดจากแป้งถั่วทั้ง 3 ชนิดมีความสามารถในการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระร้อยละ 26.89-75.23 แสดงว่าแป้งถั่วมีศักยภาพในการนำไปใช้เป็นวัตถุดิบในผลิตภัณฑ์อาหารเพื่อสุขภาพ

จากผลการวิเคราะห์ชนิดและปริมาณของกรดอะมิโน (ตารางที่ 4-2) พบว่า แป้งถั่วทั้ง 3 ชนิดประกอบด้วยกรดอะมิโนทั้งชนิดที่จำเป็นและไม่จำเป็นในปริมาณที่ใกล้เคียงกัน โดยกรดอะมิโนชนิดที่จำเป็นที่พบมากในแป้งถั่วทั้ง 3 ชนิด ได้แก่ ลิวซีน (1612.90-1662.27 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัม) ไลซีน (1218.66-1325.45 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัม) และฟีนอลอะลานิน (1138.80-1165.85 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัม) ส่วนกรดอะมิโนชนิดที่ไม่จำเป็นที่พบมาก ได้แก่ กรดกลูตามิก (3112.23-3328.91 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัม) กรดแอสปาร์ติก (2090.22-2195.00 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัม) และอาร์จินิน (1322.66-1426.34 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัม)

จากผลการวิเคราะห์ค่าสี (ตารางที่ 4-3) พบว่า แป้งถั่วทั้ง 3 ชนิดมีค่าความสว่าง (L^*) อยู่ในช่วง 85.75-87.25 โดยแป้งถั่วแดงและแป้งถั่วดำมีค่าความเป็นสีแดง (a^*) อยู่ในช่วง 0.91-0.99 และมีค่ามุมของเฉดสี (hue angle) ใกล้เคียงกัน (88.51-88.53) ในขณะที่แป้งถั่วเขียวมีค่า a^* เท่ากับ -0.79 และมีมุมของเฉดสี 92.87 ทั้งนี้เนื่องจากแป้งถั่วแดงและแป้งถั่วดำมีแอนโทไซยานินซึ่งเป็นรงควัตถุที่ให้สีแดงเป็นองค์ประกอบ ส่วนแป้งถั่วเขียวประกอบด้วยคลอโรฟิลล์ซึ่งเป็นรงควัตถุที่ให้สีเขียว จึงทำให้แป้งถั่วเขียวมีสีที่แตกต่างจากแป้งถั่วแดงและแป้งถั่วดำ

ผลการวิเคราะห์สมบัติการเปลี่ยนแปลงความหนืดของแป้งถั่วทั้ง 3 ชนิด (ตารางที่ 4-4) พบว่า แป้งถั่วแดงมีพารามิเตอร์ด้านความหนืดทุกค่าสูงกว่าแป้งถั่วดำและแป้งถั่วเขียว โดยเฉพาะค่า setback ซึ่งบ่งชี้ถึงการเปลี่ยนแปลงความหนืดในช่วงการเกิดรีโทรกราเดชัน ค่า setback สูงเป็นคุณสมบัติที่ต้องการของแป้งที่ใช้ทำผลิตภัณฑ์อาหารเส้น และพบว่าแป้งถั่วทั้ง 3 ชนิดมีอุณหภูมิในการเกิดเจล (pasting temperature) 78.85-82.63 °C สอดคล้องกับผลการวิเคราะห์สมบัติด้านความร้อน (ตารางที่ 4-5) ที่พบว่าแป้งถั่วแดง แป้งถั่วดำ และแป้งถั่วเขียวมีอุณหภูมิการเกิดเจลอยู่ในช่วง 66.65-81.03, 74.22-83.79 และ 69.88-78.40 °C ตามลำดับ

จากการศึกษาสมบัติเชิงหน้าที่ของแป้งถั่วทั้ง 3 ชนิด (ตารางที่ 4-6) พบว่า แป้งถั่วทั้ง 3 ชนิดมีความสามารถในการดูดซับน้ำ 1.92-2.02 กรัมต่อกรัมตัวอย่าง และดัชนีการละลายร้อยละ 22.19-27.55 ซึ่งมีค่าสูงกว่าแป้งข้าวเจ้าที่มีความสามารถในการดูดซับน้ำ 1.03 กรัมต่อกรัมตัวอย่าง และดัชนีการละลายร้อยละ 1.58 นอกจากนี้แป้งถั่วยังมีความสามารถในการดูดซับน้ำมัน ความสามารถในการเกิดโฟมและความสามารถในการเกิดอิมัลชันที่ดี ซึ่งอาจช่วยเอื้อต่อการผลิตพาสต้าโดยใช้กระบวนการเอ็กซ์ทรูชัน

จากการศึกษาสมบัติทางเคมีกายภาพและสมบัติเชิงหน้าที่ของแป้งถั่วทั้ง 3 ชนิด พบว่าแป้ง

ถั่วแดง แป้งถั่วดำ และแป้งถั่วเขียวมีศักยภาพในการนำไปพัฒนาเป็นผลิตภัณฑ์อาหารเพื่อสุขภาพได้ ดังนั้นจึงนำแป้งถั่วทั้ง 3 ชนิดนี้ไปเติมในพาสต้าข้าวเจ้าในขั้นตอนต่อไป

ตารางที่ 4-2 ชนิดและปริมาณของกรดอะมิโนในแป้งถั่วชนิดต่างๆ

ชนิดของกรดอะมิโน	ปริมาณกรดอะมิโน (mg/100g)		
	แป้งถั่วแดง	แป้งถั่วดำ	แป้งถั่วเขียว
กรดอะมิโนชนิดที่จำเป็น			
Isoleucine	743.19	752.37	724.51
Leucine	1662.27	1612.90	1652.50
Lysine	1325.45	1229.75	1218.66
Methionine	270.20	277.58	236.73
Phenylalanine	1138.80	1157.93	1165.85
Tyrosine	637.61	904.02	790.82
Threonine	689.41	741.67	611.70
กรดอะมิโนชนิดที่ไม่จำเป็น			
Alanine	933.56	749.48	964.28
Arginine	1322.66	1426.34	1355.57
Aspartic acid	2158.15	2195.00	2090.22
Cystine	143.62	131.77	101.17
Glutamic acid	3112.23	3317.03	3328.91
Glycine	758.89	821.52	761.39
Histidine	999.57	971.69	1071.72
Proline	889.51	923.46	955.17
Serine	1072.16	1046.81	1033.59
Tryptophan	252.20	257.63	267.85
Valine	964.93	925.96	960.27

ตารางที่ 4-3 ค่าสีของแป้งถั่วชนิดต่างๆ

ค่าสี	แป้งถั่วแดง	แป้งถั่วดำ	แป้งถั่วเขียว
L*	86.10±0.54	85.75±0.31	87.25±0.25
a*	0.99±0.04	0.91±0.04	-0.79±0.04
b*	9.86±0.22	11.97±0.16	15.75±0.28
Chroma (c*)	9.91±0.21	12.00±0.14	15.77±0.28
Hue angle (h*)	88.53±0.31	88.51±0.04	92.87±0.12

ตารางที่ 4-4 สมบัติด้านความหนืดของแป้งถั่วชนิดต่างๆ

สมบัติด้านความหนืด	แป้งถั่วแดง	แป้งถั่วดำ	แป้งถั่วเขียว
Peak viscosity (RVU)	77.30±0.62	54.22±0.89	50.50±4.35
Trough viscosity (RVU)	71.58±0.30	52.69±0.77	44.97±5.45
Breakdown viscosity (RVU)	5.72±0.38	1.53±0.18	5.53±1.17
Final viscosity (RVU)	146.42±1.45	109.36±2.01	99.69±4.89
Setback viscosity (RVU)	74.84±1.18	56.67±1.26	54.72±0.82
Pasting temperature (°C)	78.85±0.39	82.63±0.51	79.83±0.88

ตารางที่ 4-5 สมบัติด้านความร้อนของแป้งถั่วชนิดต่างๆ

สมบัติด้านความร้อน	แป้งถั่วแดง	แป้งถั่วดำ	แป้งถั่วเขียว
T_o (°C)	66.65±0.37	74.22±0.51	69.88±0.95
T_p (°C)	74.75±0.35	79.17±0.47	74.25±0.82
T_c (°C)	81.03±0.07	83.79±0.91	78.40±0.69
ΔH (J/g)	2.60±0.30	1.95±0.05	1.87±0.01

T_o : onset temperature; T_p : peak temperature; T_c : conclusion temperature; ΔH : enthalpy of gelatinization

ตารางที่ 4-6 สมบัติเชิงหน้าที่ของแป้งถั่วชนิดต่างๆ

สมบัติเชิงหน้าที่	แป้งถั่วแดง	แป้งถั่วดำ	แป้งถั่วเขียว
Water absorption capacity (g/g)	2.02±0.01	1.98±0.01	1.92±0.01
Water solubility index (%)	22.92±1.36	26.13±1.63	27.55±1.48
Oil absorption capacity (g/g)	1.84±0.03	1.96±0.03	1.84±0.22
Foaming capacity (%)	93.89±0.96	92.78±0.96	97.22±0.96
Foaming stability (%)	55.62±0.45	19.76±0.21	3.42±0.03
Emulsifying capacity (%)	50.35±0.78	56.06±0.35	56.29±0.15
Emulsifying stability (%)	88.67±0.82	88.29±0.86	88.82±0.24

2. ผลการพัฒนาสูตรพาสต้าจากข้าวเจ้าเสริมแป้งถั่ว

2.1 ผลการศึกษาปริมาณแป้งถั่วที่เหมาะสมที่ใช้เติมในพาสต้าจากข้าวเจ้า

ศึกษาปริมาณแป้งถั่วที่เหมาะสมที่ใช้ทดแทนแป้งข้าวเจ้าในสูตรผลิตภัณฑ์พาสต้าข้าวเจ้าที่ผลิตโดยกระบวนการเอ็กซ์ทรูชัน โดยใช้แป้งถั่ว 3 ชนิด ได้แก่ แป้งถั่วแดง แป้งถั่วดำ และ

แบ่งถั่วเขียว แปรปริมาณแบ่งถั่วเป็นร้อยละ 0 10 20 30 40 และ 50 โดยน้ำหนักแบ่ง ได้ผลการทดลองดังนี้

2.1 (ก) ผลการศึกษาปริมาณแบ่งถั่วแดงที่เหมาะสมที่ใช้ทดแทนแป้งข้าวเจ้าในผลิตภัณฑ์พาสต้า

จากการวิเคราะห์คุณภาพของพาสต้าที่ใช้ปริมาณแบ่งถั่วแดงทดแทนแป้งข้าวเจ้าร้อยละ 0 10 20 30 40 และ 50 ได้ผลการวิเคราะห์คุณภาพหลังการต้ม ค่าสี ลักษณะเนื้อสัมผัส และการทดสอบทางประสาทสัมผัสดังนี้

2.1.1 ผลการวิเคราะห์คุณภาพหลังการต้ม

จากการวิเคราะห์คุณภาพหลังการต้ม ได้แก่ เวลาที่เหมาะสมในการต้มสุก ปริมาณของแข็งที่สูญเสียระหว่างการต้ม และน้ำหนักหลังต้มของพาสต้าได้ผลแสดงดังตารางที่ 4-7

ตารางที่ 4-7 คุณภาพหลังการต้มของพาสต้าข้าวเจ้าที่ทดแทนด้วยแบ่งถั่วแดงระดับต่าง ๆ

ปริมาณแบ่งถั่วแดง (ร้อยละ)	เวลาที่เหมาะสมใน การต้มสุก (นาทีก)	ปริมาณของแข็งที่ สูญเสียระหว่างการต้ม (ร้อยละ)	น้ำหนักหลังต้ม (ร้อยละ)
0	19.5	18.32 ^a ± 0.31	190.74 ^c ± 3.81
10	16.5	14.30 ^b ± 0.82	194.90 ^b ± 1.60
20	14.5	12.73 ^{bc} ± 0.99	204.91 ^a ± 1.77
30	14.0	12.18 ^c ± 0.89	206.78 ^a ± 0.32
40	13.5	12.28 ^c ± 1.06	206.17 ^a ± 0.52
50	13.0	12.31 ^c ± 0.21	205.37 ^a ± 1.30

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

จากผลการทดลอง พบว่าเมื่อปริมาณแบ่งถั่วแดงเพิ่มขึ้น (ร้อยละ 0-50) มีผลทำให้ระยะเวลาในการต้มสุกลดลง (จาก 19.5 นาทีเป็น 13.0 นาที) อาจเป็นผลมาจากความสามารถในการดูดซับน้ำที่แตกต่างกันของแป้งข้าวเจ้าและแบ่งถั่วแดง โดยมีรายงานว่า แป้งจากพืชตระกูลถั่วมีความสามารถในการดูดซับน้ำมากกว่าแป้งข้าวเจ้า (Surojannametkul, Tungtakul, Varanyanond and Supasri, 2002) แป้งข้าวเจ้ามีดัชนีการดูดซับน้ำ (WAI) เท่ากับ 1.27 กรัมต่อกรัม แต่แป้งจากพืชตระกูลถั่วชนิดต่างๆ ได้แก่ ถั่วพริก ถั่วแดงดอยมูเซอ ถั่วพุ่ม ถั่วหัวช้าง 333 และถั่วหัวช้าง 952 มีดัชนีการดูดซับน้ำอยู่ในช่วง 4.29-5.25 กรัมต่อกรัม (โศรดา วัลภา, กุลรภัสวชิรศิริ, ดำรงชัย สิทธิสำอาง และจิตติชญา สุวรรณทัฬ, 2555) จะเห็นว่าแป้งจากพืชตระกูลถั่วมีความสามารถในการดูดซับน้ำสูงกว่าแป้งข้าวเจ้า อาจเป็นผลมาจากมีโครงสร้างผลึกของเม็ดสตาร์ชแตกต่างกัน ทำให้มีความสามารถในการจับกับน้ำต่างกัน กล่าวคือเม็ดสตาร์ชจากพืชตระกูลถั่วมีโครงสร้างผลึกแบบ c มีการจัดเรียงตัวของสายเกลียวคู่เป็นแบบเฮกซะโกนอนอลยูนิตเซลล์ (Hexagonal unit cell) โดยมีช่องว่างขนาดใหญ่ตรงกลางซึ่งสามารถจับกับโมเลกุลของน้ำได้ 36 โมเลกุลยูนิตเซลล์ แต่สตาร์ชข้าวเจ้ามีโครงสร้างผลึกแบบ A มีการจัดเรียงตัวของสายเกลียวคู่เป็นแบบโมโนคลินิกเซลล์ (Monoclinic unit cell) โดยมีสาย

เกลียวคู่ตรงกลางของโครงสร้างโมเลกุลจึงสามารถจับน้ำได้น้อยกว่า (นราพร ดาลัย, 2553) ความสามารถในการจับกับน้ำสูงกว่าทำให้เมื่อสตาρχได้รับความร้อนในระหว่างการต้มเกิดการพองตัวและสุกได้ง่ายกว่า ส่งผลให้พาสต้าข้าวเจ้าที่เติมแป้งถั่วแดงใช้เวลาในการต้มสุกสั้นกว่า

ปริมาณของแข็งที่สูญเสียระหว่างการต้ม (Cooking loss) เป็นลักษณะที่ไม่พึงประสงค์ของผลิตภัณฑ์พาสต้าและสปาเกตตี ปริมาณของแข็งที่สูญเสียระหว่างการต้มสามารถสังเกตได้จากลักษณะการพุ่งขาวของน้ำที่ใช้ในการต้ม โดยสิ่งที่ละลายลงสู่น้ำที่ใช้ต้มจะเป็นแป้งหรืออะไมโลสที่หลุดออกมาจากเส้นสปาเกตตี (Smewing, 1997) จากการทดลองพบว่าพาสต้าข้าวเจ้าที่ทดแทนด้วยแป้งถั่วแดงต่างระดับกันมีปริมาณของแข็งที่สูญเสียแตกต่างกันอย่างมีระดับนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) พาสต้าที่ไม่มีการเติมแป้งถั่วแดงมีปริมาณของแข็งที่สูญเสียมากกว่าพาสต้าที่มีการเติมแป้งถั่วแดงอาจเนื่องจากแป้งถั่วแดงมีโปรตีนเป็นองค์ประกอบสูง จึงช่วยเสริมความแข็งแรงของโครงสร้างพาสต้า ทำให้เม็ดแป้งไม่แตกออก และมีการหลุดออกของอะไมโลสที่ผิวหน้าลดลง ส่งผลให้พาสต้ามีปริมาณของแข็งที่สูญเสียระหว่างต้มลดลง นอกจากนี้อาจเกิดจากระยะเวลาที่ใช้ในการต้มสุกที่สั้นกว่า โดยปริมาณของแข็งที่สูญเสียเป็นปฏิกิริยาโดยตรงกับระยะเวลาที่ใช้ต้ม สอดคล้องกับผลการศึกษาของ Mestres, Colonna and Buleon (1988) พบว่าเส้นก๋วยเตี๋ยวที่ผลิตจากข้าวสามารถคงรูปร่างได้เนื่องจากร่างแหอะไมโลส (Amylose network) ที่สามารถเก็บกักน้ำไว้ภายในและให้ผลิตภัณฑ์ที่มีความยืดหยุ่นดี การจะทำให้เกิดร่างแหดังกล่าวนี้ต้องทำให้เม็ดแป้งสุกและแตกออกเพื่อให้อะไมโลสหลุดออกมาเรียงตัวเป็นร่างแหอะไมโลส ส่งผลต่อคุณภาพในการหุงต้มกล่าวคือทำให้การสูญเสียระหว่างการต้มสูงและหากใช้เวลาในการหุงต้มนานทำให้อะไมโลสที่หลุดออกมีโอกาสละลายลงสู่น้ำได้มากยิ่งขึ้น

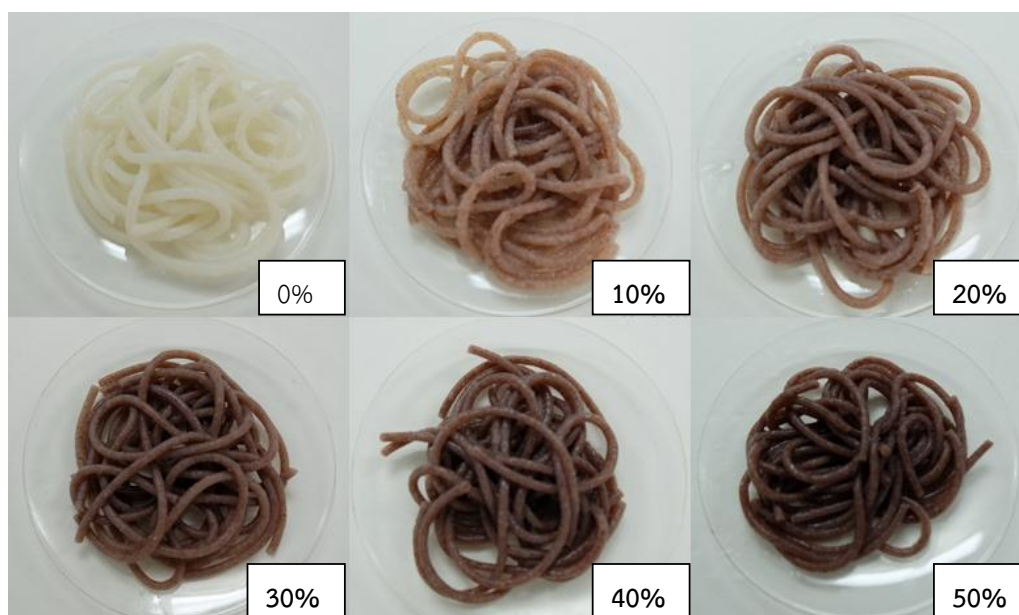
น้ำหนักหลังต้ม (Cooking yield) ของพาสต้าแสดงถึงการพองตัวซึ่งเกิดจากความสามารถในการดูดซับ ดูดซึม และการกักเก็บน้ำของเม็ดแป้งระหว่างการต้มให้สุกในน้ำเดือดโดยลักษณะผลิตภัณฑ์ที่ต้องการคืออัตราการพองตัวหรือน้ำหนักหลังต้มสูงแต่ในขณะเดียวกันผลิตภัณฑ์ที่ผ่านการต้มแล้วต้องไม่เปื่อยยุ่ย (Smewing, 1997) จากการทดลองพบว่าเมื่อใช้ปริมาณแป้งถั่วระดับต่างกันมีผลทำให้น้ำหนักที่ได้หลังการต้มแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) โดยเมื่อมีการทดแทนแป้งถั่วแดงเพิ่มขึ้น ทำให้น้ำหนักที่ได้หลังการต้มเพิ่มขึ้นจากร้อยละ 194.90 เป็น 207.12 อาจเป็นผลมาจากอัตราการดูดซับน้ำของแป้งถั่วแดงสูงกว่าแป้งข้าวเจ้า

2.1.2 ผลการวัดค่าสี

ลักษณะของพาสต้าอบแห้งและต้มสุกที่ทดแทนด้วยแป้งถั่วแดงร้อยละ 0-50 แสดงดังภาพที่ 4-1 และ 4-2 ตามลำดับ ผลการวิเคราะห์ค่าสีของพาสต้าอบแห้งและพาสต้าต้มสุกที่ทดแทนด้วยแป้งถั่วแดงระดับต่างๆ แสดงดังตารางที่ 4-8 และ 4-9 ตามลำดับ



ภาพที่ 4-1 พาสต้าอบแห้งที่ทดแทนด้วยแป้งถั่วแดงระดับต่างๆ



ภาพที่ 4-2 พาสต้าต้มสุกที่ทดแทนด้วยแป้งถั่วแดงระดับต่างๆ

ตารางที่ 4-8 ค่าสีของพาสต้าอบแห้งที่ทดแทนด้วยแป้งถั่วแดงระดับต่างๆ

ปริมาณแป้งถั่วแดง (ร้อยละ)	L*	a*	b*	c*	h (°)
0	57.58 ^a ±0.88	-0.66 ^b ±0.32	12.98 ^c ±0.50	13.00 ^c ±0.48	93.19 ^a ±0.69
10	47.25 ^b ±0.61	8.19 ^a ±0.23	16.85 ^a ±0.14	18.74 ^a ±0.07	64.07 ^b ±0.81
20	40.96 ^c ±0.79	8.29 ^a ±0.30	13.87 ^b ±0.11	16.17 ^b ±0.25	59.08 ^c ±0.69
30	34.73 ^d ±0.78	8.44 ^a ±0.38	10.73 ^d ±0.48	13.67 ^c ±0.60	51.78 ^d ±0.54
40	30.83 ^e ±0.69	8.03 ^a ±0.32	7.90 ^e ±0.42	11.28 ^d ±0.52	44.53 ^e ±0.42
50	27.50 ^f ±0.39	8.02 ^a ±0.17	6.19 ^f ±0.40	10.15 ^e ±0.11	37.66 ^f ±0.82

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

ตารางที่ 4-9 ค่าสีของพาสต้าต้มสุกที่ทดแทนด้วยแป้งถั่วแดงระดับต่างๆ

ปริมาณแป้งถั่วแดง (ร้อยละ)	L*	a*	b*	c*	h*(°)
0	72.27 ^a ±0.12	-1.99 ^c ±0.19	4.26 ^c ±0.61	4.67 ^d ±0.37	116.15 ^a ±1.94
10	53.15 ^b ±0.72	5.81 ^b ±0.60	6.24 ^a ±0.73	8.62 ^a ±0.38	46.44 ^b ±0.89
20	48.33 ^c ±0.71	7.06 ^a ±0.24	5.31 ^b ±0.73	8.84 ^a ±0.72	36.35 ^c ±0.78
30	42.11 ^d ±0.66	7.00 ^a ±0.21	4.07 ^c ±0.86	8.12 ^b ±0.65	29.60 ^d ±0.38
40	39.02 ^e ±0.79	6.84 ^a ±0.47	2.89 ^d ±0.67	7.50 ^c ±0.68	21.10 ^e ±0.35
50	36.23 ^f ±0.43	6.99 ^a ±0.25	2.80 ^d ±0.60	7.50 ^c ±0.61	19.98 ^e ±0.23

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

จากผลการทดลองดังตารางที่ 4-8 และ 4-9 พบว่าทั้งพาสต้าอบแห้งและพาสต้าต้มสุกที่เติมแป้งถั่วแดงในปริมาณเพิ่มขึ้น มีผลทำให้ค่าความสว่าง (L*) และค่าความเป็นสีเหลือง-น้ำเงิน (b*) มีค่าลดลง ($p < 0.05$) ส่วนค่าความเป็นสีแดง-เขียว (a*) มีค่าเพิ่มขึ้น ($p < 0.05$) อาจเป็นผลเนื่องมาจากค่าสีที่แตกต่างกันของแป้งที่ใช้เป็นวัตถุดิบและรงควัตถุในแป้งถั่วแดง โดยแป้งถั่วแดงมีค่าความสว่าง (86.10) ต่ำกว่าแป้งข้าวเจ้า (99.23) ค่าความเป็นสีแดง (0.99) สูงกว่าแป้งข้าวเจ้า (-0.08) และมีค่าความเป็นสีเหลือง (9.86) สูงกว่าแป้งข้าวเจ้า (2.45) ที่ใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตเส้นพาสต้า ดังนั้นเมื่อเติมแป้งถั่วแดงในปริมาณที่เพิ่มขึ้นจึงทำให้ค่าความสว่างลดลง นอกจากนี้แป้งถั่วแดงยังประกอบด้วยแอนโทไซยานินซึ่งเป็นรงควัตถุธรรมชาติที่ให้สีแดง เมื่อเติมมากขึ้นทำให้ค่าความเป็นสีแดงของพาสต้าเพิ่มขึ้น

นอกจากนี้ยังมีการรายงานค่าสีในระบบ $L^*c^*h^*$ โดยค่า Chroma (c^*) เป็นค่าที่แสดงถึงความเข้มของสี c มีค่าเข้าใกล้ศูนย์หมายถึงวัตถุดิบมีความเข้มสีต่ำลงจนเป็นสีเทา หาก Chroma มีค่าเพิ่มขึ้นหมายถึงวัตถุดิบมีความเข้มสีเพิ่มมากขึ้น จากการทดลองพบว่าค่า Chroma ของพาสต้าอบแห้งและพาสต้าต้มสุกที่ทดแทนด้วยแป้งถั่วแดงต่างระดับ มีค่าอยู่ในช่วง 7.50-18.74 และมุมของเฉดสี (h^*) แสดงให้เห็นถึงสีของตัวอย่างได้ชัดเจนกว่าค่า a* และ b* โดยมีรายงานว่าค่า h^* เท่ากับ 0° วัตถุแสดงสีแดง และ 90° วัตถุแสดงสีเหลือง (McGuire, 1992) โดย h^* ของพาสต้าอบแห้งและพาสต้าต้ม

สุกที่เติมแป้งถั่วแดงร้อยละ 10-50 มีค่าอยู่ในช่วง 19.98-64.07 ซึ่งปรากฏอยู่ในช่วงสีแดง แต่พาสต้าอบแห้งและต้มสุกที่ไม่เติมแป้งถั่วแดง มีค่าอยู่ในช่วง 93.19-116.15 ซึ่งปรากฏอยู่ในช่วงสีเหลือง สอดคล้องกับภาพที่ 4-2 และ 4-3

2.1.3 ผลการวิเคราะห์ลักษณะเนื้อสัมผัส

ผลการวิเคราะห์ลักษณะเนื้อสัมผัสของพาสต้าต้มสุกที่ทดแทนด้วยแป้งถั่วแดงร้อยละ 0-50 แสดงดังตารางที่ 4-10

ตารางที่ 4-10 ลักษณะเนื้อสัมผัสของพาสต้าที่ทดแทนด้วยแป้งถั่วแดงระดับต่างๆ

ปริมาณแป้งถั่วแดง (ร้อยละ)	ความแน่นเนื้อ (g_f)	ความต้านทานต่อการ การดึงขาด (g_f)	การเกาะติดกันที่ ผิวน้ำ ($g_f.s$)
0	307.64 ^e ± 1.15	39.33 ^d ± 0.55	4.03 ^a ± 0.12
10	319.01 ^e ± 1.82	43.59 ^c ± 1.80	3.61 ^b ± 0.04
20	395.67 ^d ± 2.83	48.50 ^b ± 1.23	3.37 ^b ± 0.13
30	485.69 ^c ± 1.84	49.11 ^b ± 0.16	2.98 ^c ± 0.09
40	552.78 ^b ± 1.70	51.15 ^a ± 0.59	3.03 ^c ± 0.22
50	584.87 ^a ± 2.47	52.86 ^a ± 0.77	3.10 ^c ± 0.19

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

ค่าความแน่นเนื้อเป็นค่าแรงสูงสุดที่ใช้ในการตัดเส้นพาสต้าขาดออกจากกัน ถ้าใช้แรงในการตัดมากแสดงว่าเส้นพาสต้ามีความแน่นเนื้อมาก และยังแสดงถึงความคงทนของเส้นพาสต้าต่อการหุงต้มได้ ส่วนค่าความต้านทานต่อการดึงขาดแสดงถึงความเหนียว ความยืดหยุ่น ความสามารถในการเกาะรวมกันของเส้นพาสต้าที่สุกแล้ว และยังชี้ความคงทนของเส้นพาสต้าด้วย (วิภา สุโรจนะเมธากุล, 2545) จากผลการทดลองพบว่าเมื่อปริมาณแป้งถั่วแดงเพิ่มขึ้นมีผลทำให้ค่าความแน่นเนื้อและค่าความต้านทานต่อการดึงขาดเพิ่มขึ้น ($p < 0.05$) อาจเป็นผลมาจากองค์ประกอบและสมบัติเชิงหน้าที่ของแป้งถั่วแดงที่แตกต่างจากแป้งข้าวเจ้า โดยแป้งถั่วแดงมีโปรตีนและอะไมโลสสูงกว่าแป้งข้าวเจ้า อัตราส่วนของอะไมโลสและอะไมโลสเพคตินมีผลต่อความแข็งแรงของเจล หากแป้งมีอะไมโลสต่ำจะทำให้เกิดเจลและผลิตภัณฑ์ที่มีความอ่อนนุ่มมากกว่าแป้งที่มีอะไมโลสสูง โดยมีรายงานว่าแป้งข้าวเจ้ามีปริมาณอะไมโลสร้อยละ 27.14 (ปราโมทย์ คุวิจิตรจรรู และ ทศพล สุราสิริทรัพย์, 2553) ส่วนแป้งถั่วแดงมีปริมาณอะไมโลสร้อยละ 32.80 (Uttam, Ajim, Jayshing & Ryszrd, 2009) จึงเห็นได้ว่าแป้งข้าวเจ้ามีปริมาณอะไมโลสต่ำกว่าแป้งถั่วแดงทำให้ผลิตภัณฑ์มีค่าความแน่นเนื้อน้อยกว่า นอกจากนี้อาจเป็นผลจากระยะเวลาที่ใช้ในการต้มกว่าคือหากใช้ระยะเวลาในการต้มที่นานขึ้นทำให้ค่าความแน่นเนื้อลดลง สอดคล้องกับงานวิจัยของปิยมาศ มหาบุญญานนท์ (2546) ที่ศึกษาสมบัติหลังการต้มของสปาเกตตีข้าวเหลืองประทิว 123 พบว่าความแน่นเนื้อมีความสัมพันธ์เชิงบวกกับปริมาณของแข็งที่สูญเสียในระหว่างการต้ม ($p < 0.01$) ที่เป็นเช่นนี้เนื่องมาจากระยะเวลาในการต้มนานจะส่งผลให้อะไมโลสหลุดออกมาละลายในน้ำต้ม มีผลให้ผิวของสปาเกตตีเปื่อยทำให้ความแน่นเนื้อลดลง

ค่าการเกาะติดที่ผิวหน้า หมายถึงแรงที่ใช้แยกผลิตภัณฑ์ออกมาเมื่อผิวผลิตภัณฑ์เกาะกับผิวอื่น คือถ้ามีแรงเกาะที่ผิวหน้าสูงแสดงว่าใช้แรงในการแยกผลิตภัณฑ์ออกจากกันมาก (วิภา สุโรจนะ เมธากุล, 2545) ผลการวิเคราะห์พบว่าเมื่อปริมาณแป้งถั่วแดงเพิ่มขึ้น มีผลทำให้ค่าการเกาะติดที่ผิวหน้าลดลง ($p < 0.05$) เนื่องจากแป้งถั่วแดงมีปริมาณโปรตีนและอะไมโลสสูงกว่าแป้งข้าวเจ้าจึงช่วยเสริมความแข็งแรงของโครงสร้างพาสต้า ทำให้อะไมโลสหลุดออกในขณะที่ต้มน้อยลง ซึ่งสอดคล้องกับค่าของปริมาณของแข็งที่สูญเสียในระหว่างการต้ม

2.1.4 ผลการประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัส

จากการทดสอบทางด้านประสาทสัมผัสโดยวิธี 9-point hedonic scale โดยใช้ผู้ทดสอบจำนวน 30 คน ทำการทดสอบพาสต้าต้มสุกในด้านลักษณะปรากฏ สี กลิ่น รสชาติ เนื้อสัมผัส และความชอบโดยรวมได้ผลแสดงดังตารางที่ 4-11

ตารางที่ 4-11 คะแนนการทดสอบทางประสาทสัมผัสของพาสต้าที่ทดแทนด้วยแป้งถั่วแดงระดับต่างๆ

ปริมาณแป้ง ถั่วแดง (ร้อยละ)	ลักษณะ ปรากฏ ^{ns}	สี	กลิ่น	รสชาติ ^{ns}	เนื้อสัมผัส	ความชอบ โดยรวม
0	6.76±1.22	6.30 ^b ±1.00	5.57 ^c ±0.90	6.26±1.40	6.03 ^c ±0.93	6.07 ^c ±0.78
10	6.18±1.33	6.60 ^{ab} ±1.15	6.43 ^{ab} ±1.17	6.23±1.25	6.53 ^{ab} ±0.79	6.50 ^{abc} ±0.87
20	6.50±1.05	6.70 ^{ab} ±1.00	6.66 ^{ab} ±1.00	6.20±1.78	6.60 ^{ab} ±0.91	6.53 ^{ab} ±1.02
30	6.88±1.30	7.00 ^a ±1.10	6.80 ^a ±0.98	6.37±1.32	6.73 ^a ±0.94	6.87 ^a ±0.87
40	6.64±1.27	7.03 ^a ±1.03	6.70 ^a ±0.91	6.20±1.16	6.63 ^{ab} ±0.96	6.60 ^{ab} ±0.83
50	6.67±1.41	6.93 ^a ±1.37	6.20 ^b ±1.13	5.80±1.28	6.17 ^{bc} ±1.03	6.20 ^{bc} ±0.94

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

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

ผลการทดสอบทางประสาทสัมผัส พบว่าพาสต้าข้าวเจ้าที่ทดแทนด้วยปริมาณแป้งถั่วแดงระดับต่างๆ ได้คะแนนความชอบด้านสี กลิ่น เนื้อสัมผัสและความชอบโดยรวมแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) ส่วนด้านลักษณะปรากฏและรสชาติ พบว่าพาสต้าที่ทดแทนด้วยปริมาณแป้งถั่วแดงระดับต่างๆ ได้คะแนนความชอบไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) โดยพาสต้าที่เติมแป้งถั่วแดงทุกระดับได้รับคะแนนความชอบด้านสี กลิ่น เนื้อสัมผัสและความชอบโดยรวมสูงกว่าพาสต้าที่ไม่มีการเติมด้วยแป้งถั่วแดง อาจเป็นผลมาจากแป้งถั่วแดงมีสีแดง มีกลิ่นเฉพาะของถั่วแดง และมีลักษณะเนื้อสัมผัสเหนียวเป็นที่ยอมรับของผู้ทดสอบ ทำให้เมื่อเติมแป้งถั่วแดงในปริมาณมากขึ้นจึงมีผลทำให้คะแนนความชอบด้านสี กลิ่น และเนื้อสัมผัสมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น แต่เมื่อเติมแป้งถั่วแดงในปริมาณที่มากเกินไป (ร้อยละ 50) คะแนนความชอบมีค่าลดลง ซึ่งอาจเป็นผลมาจากกลิ่นถั่วที่มากเกินไป ทำให้ผลิตภัณฑ์ไม่เป็นที่ยอมรับ โดยพาสต้าที่ทดแทนด้วยแป้งถั่วแดงร้อยละ 10 ถึง 40 ได้คะแนนอยู่ในช่วง 6.07-6.87 คะแนน แสดงถึงผู้ทดสอบชอบเล็กน้อย

เมื่อพิจารณาผลการทดสอบทางประสาทสัมผัส คุณภาพหลังการต้ม และลักษณะเนื้อสัมผัส พบว่าพาสต้าข้าวเจ้าที่มีการทดแทนด้วยแป้งถั่วแดงร้อยละ 40 ได้รับคะแนนความชอบด้านสี กลิ่น เนื้อสัมผัสและความชอบโดยรวมสูงสุด ใช้เวลาในการต้มสุกสั้น ปริมาณของแข็งที่สูญเสียต่ำและ

น้ำหนักที่ได้หลังการต้มสูง ค่าความแน่นเนื้อและความต้านทานต่อการดึงขาดมีค่าสูง นอกจากนี้แป้งถั่วแดงมีคุณค่าทางโภชนาการสูงกว่าแป้งข้าว การใช้แป้งถั่วแดงในปริมาณมากจะช่วยเพิ่มคุณค่าทางโภชนาการให้แก่ผลิตภัณฑ์พาสต้า

2.1 (ข) ผลการศึกษาปริมาณแป้งถั่วดำที่เหมาะสมที่ใช้ทดแทนแป้งข้าวเจ้าในผลิตภัณฑ์พาสต้า

จากการวิเคราะห์คุณภาพของพาสต้าที่ใช้ปริมาณแป้งถั่วดำทดแทนแป้งข้าวเจ้าร้อยละ 0 10 20 30 40 และ 50 ได้ผลการวิเคราะห์ดังนี้

2.1.1 ผลการวิเคราะห์คุณภาพหลังการต้ม

จากการวิเคราะห์คุณภาพหลังการต้มของพาสต้าข้าวเจ้าที่ทดแทนด้วยแป้งถั่วดำร้อยละ 0-50 ได้ผลการวิเคราะห์ดังตารางที่ 4-12

ตารางที่ 4-12 คุณภาพหลังการต้มของพาสต้าข้าวเจ้าที่ทดแทนด้วยแป้งถั่วดำระดับต่าง ๆ

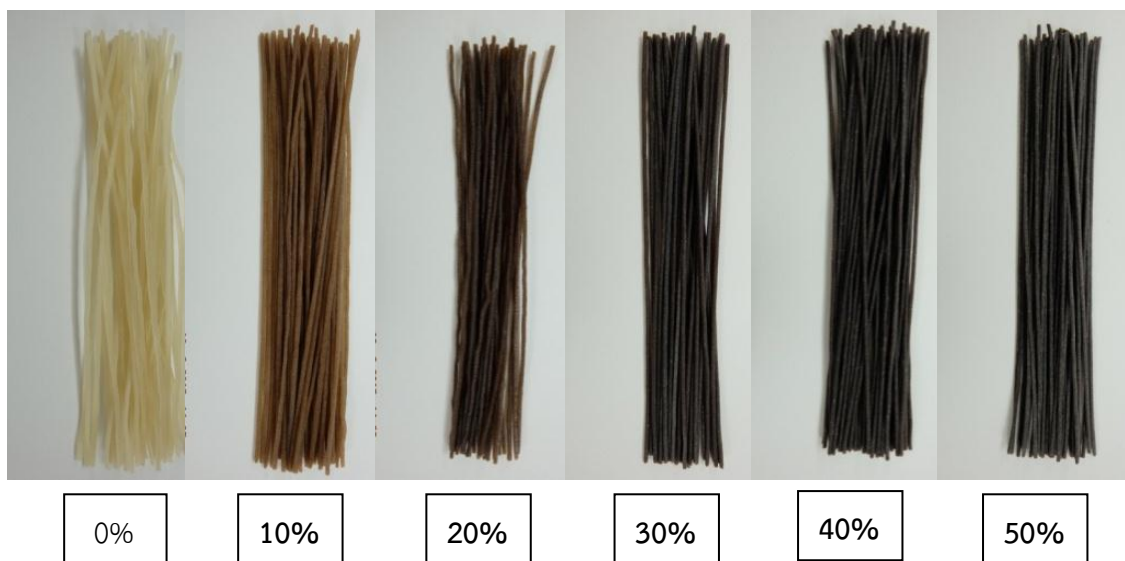
ปริมาณแป้งถั่วดำ (ร้อยละ)	เวลาที่เหมาะสมในการต้มสุก (นาที)	ปริมาณของแข็งที่สูญเสียระหว่างการต้ม (ร้อยละ)	น้ำหนักหลังต้ม (ร้อยละ)
0	19.5	18.49 ^a ±0.28	187.18 ^b ±8.41
10	18.0	15.70 ^b ±0.56	188.88 ^b ±5.22
20	17.5	14.69 ^{bc} ±0.36	192.26 ^b ±3.18
30	16.5	14.32 ^{cd} ±0.53	202.59 ^a ±2.36
40	15.5	13.35 ^d ±0.84	203.46 ^a ±6.65
50	14.5	13.21 ^d ±0.96	208.77 ^a ±2.67

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

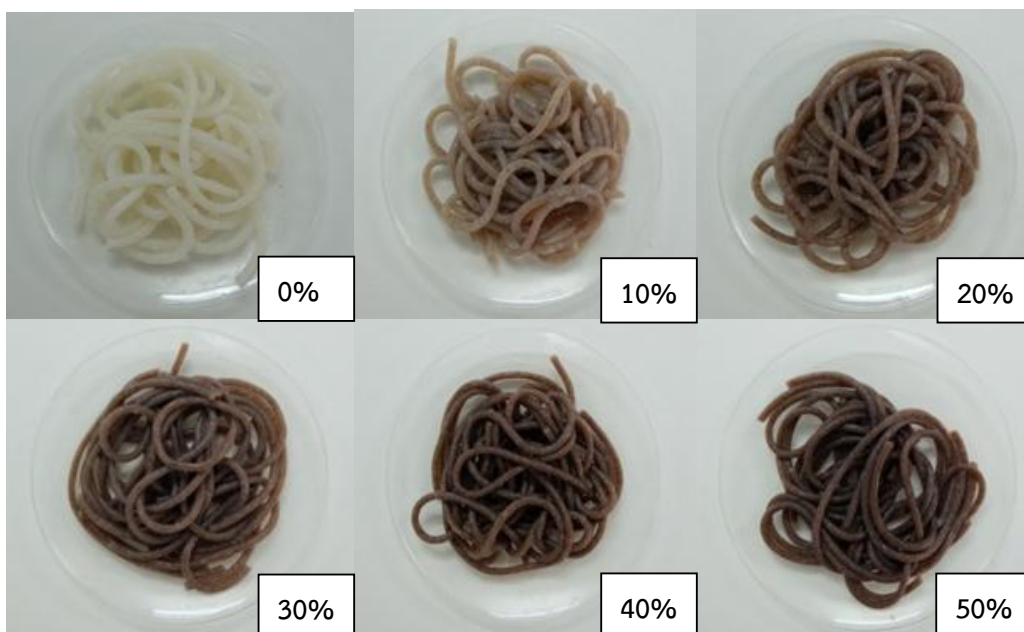
จากผลการวิเคราะห์คุณภาพหลังการต้มของพาสต้า พบว่าเมื่อปริมาณแป้งถั่วดำเพิ่มขึ้น (ร้อยละ 0-50) มีผลทำให้ระยะเวลาในการต้มสุกลดลง (จาก 19.5 นาทีเป็น 13.0 นาที) และมีปริมาณของแข็งที่สูญเสียระหว่างการต้มลดลง แต่น้ำหนักที่ได้หลังการต้มเพิ่มขึ้น ($p < 0.05$) อาจเนื่องจากแป้งถั่วดำมีโปรตีนเป็นองค์ประกอบสูง จึงช่วยเสริมความแข็งแรงของโครงสร้างพาสต้า ทำให้เม็ดแป้งไม่แตกออก และมีการหลุดออกของอะไมโลสที่ผิวหน้าลดลง ทำให้พาสต้ามีปริมาณของแข็งที่สูญเสียระหว่างการต้มลดลง ในขณะที่การเติมแป้งถั่วดำเพิ่มขึ้นทำให้น้ำหนักที่ได้หลังการต้มเพิ่มขึ้น อาจเป็นผลมาจากแป้งถั่วดำมีอัตราการดูดซับน้ำที่สูงกว่าแป้งข้าวเจ้าดังที่กล่าวมาแล้ว

2.1.2 ผลการวัดค่าสี

พาสต้าอบแห้งและต้มสุกที่ทดแทนด้วยแป้งถั่วดำร้อยละ 0-50 มีลักษณะดังภาพที่ 4-3 และ 4-4 ตามลำดับ ผลการวิเคราะห์ค่าสีของพาสต้าอบแห้งและพาสต้าต้มสุกที่ทดแทนด้วยแป้งถั่วดำระดับต่างๆ ได้ผลการวิเคราะห์ดังตารางที่ 4-13 และ 4-14 ตามลำดับ



ภาพที่ 4-3 พาสต้าอบแห้งที่ทดแทนด้วยแป้งถั่วดำระดับต่างๆ



ภาพที่ 4-4 พาสต้าต้มสุกที่ทดแทนด้วยแป้งถั่วดำระดับต่างๆ

ตารางที่ 4-13 ค่าสีของพาสต้าอบแห้งที่ทดแทนด้วยแป้งถั่วดำระดับต่างๆ

ปริมาณแป้งถั่วดำ (ร้อยละ)	L*	a*	b*	c*	h (°)
0	56.78 ^a ±0.70	-0.96 ^e ±0.09	12.57 ^a ±0.77	12.61 ^a ±0.76	94.36 ^a ±0.56
10	32.23 ^b ±2.48	4.94 ^a ±0.61	9.36 ^b ±1.49	10.61 ^b ±1.58	61.89 ^b ±1.43
20	26.02 ^c ±0.92	3.52 ^b ±0.45	5.53 ^c ±0.29	6.59 ^c ±0.45	57.23 ^{bc} ±2.61
30	26.41 ^c ±1.43	2.01 ^c ±0.15	2.86 ^d ±0.32	3.53 ^d ±0.31	54.07 ^c ±2.35
40	26.96 ^c ±1.59	0.99 ^d ±0.08	1.63 ^{de} ±0.10	1.92 ^e ±0.11	58.14 ^{bc} ±1.28
50	26.45 ^c ±2.08	0.77 ^d ±0.08	1.33 ^e ±0.10	1.54 ^e ±0.07	58.95 ^b ±4.43

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

ตารางที่ 4-14 ค่าสีของพาสต้าต้มสุกที่ทดแทนด้วยแป้งถั่วดำระดับต่างๆ

ปริมาณแป้งถั่วดำ (ร้อยละ)	L*	a*	b*	c* ^{ns}	h*(°)
0	72.34 ^a ±0.77	-1.92 ^b ±0.10	4.47 ^a ±0.24	4.48±0.14	113.82 ^a ±2.30
10	46.92 ^b ±0.80	4.04 ^a ±0.60	4.14 ^{ab} ±0.97	5.81±1.10	45.52 ^b ±2.34
20	39.31 ^c ±2.84	3.87 ^a ±0.45	2.99 ^c ±0.45	4.93±0.63	37.38 ^c ±0.86
30	35.27 ^d ±2.41	3.79 ^a ±0.46	3.23 ^{bc} ±0.38	5.01±0.55	39.77 ^{bc} ±2.17
40	32.94 ^d ±1.38	3.94 ^a ±0.63	3.15 ^{bc} ±0.52	5.14±0.71	37.97 ^c ±5.30
50	29.65 ^e ±0.96	4.15 ^a ±0.47	3.16 ^{bc} ±0.27	5.27±0.33	37.30 ^c ±4.82

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

จากผลการวิเคราะห์ค่าสี พบว่าทั้งพาสต้าอบแห้งและพาสต้าต้มสุกที่เติมแป้งถั่วดำในปริมาณเพิ่มขึ้น มีผลทำให้ค่าความสว่าง (L*) และค่าความเป็นสีเหลือง-น้ำเงิน (b*) มีค่าลดลง แต่ค่าความเป็นสีแดง-เขียว (a*) มีค่าเพิ่มขึ้น (p<0.05) อาจเป็นผลเนื่องมาจากความแตกต่างของค่าสีระหว่างแป้งถั่วดำและแป้งข้าวเจ้าที่ใช้เป็นวัตถุดิบและรงควัตถุที่เป็นองค์ประกอบในแป้งถั่วดำ ดังนั้นเมื่อเติมแป้งถั่วดำในปริมาณที่เพิ่มขึ้นจึงทำให้ค่าความสว่างลดลง นอกจากนี้แป้งถั่วดำยังประกอบด้วยแอนโทไซยานินซึ่งเป็นรงควัตถุธรรมชาติที่ให้สีม่วงแดง เมื่อเติมมากขึ้นทำให้พาสต้ามีค่ามุมของแฉด (h*) ลดลง โดยพาสต้าอบแห้งที่เติมแป้งถั่วดำร้อยละ 10-50 มีค่า h* ลดลงจาก 61.89 เป็น 58.95° และพาสต้าต้มสุกมีค่า h* ลดลงจาก 45.52 เป็น 37.30° ส่วนพาสต้าต้มสุกที่ไม่เติมแป้งถั่วดำมีค่า h* อยู่ในช่วง 94.36-113.82° ซึ่งปรากฏอยู่ในช่วงสีเหลืองสอคล้องกับภาพที่ 4-3 และ 4-4

2.1.3 ผลการวิเคราะห์ลักษณะเนื้อสัมผัส

ผลการวิเคราะห์ลักษณะเนื้อสัมผัสของพาสต้าต้มสุกที่ทดแทนด้วยแป้งถั่วดำร้อยละ 0-50 แสดงดังตารางที่ 4-15

ตารางที่ 4-15 ลักษณะเนื้อสัมผัสของพาสต้าที่ทดแทนด้วยแป้งถั่วดำระดับต่างๆ

ปริมาณแป้งถั่วดำ (ร้อยละ)	ความแน่นเนื้อ (g_f)	ความต้านทานต่อการ ดึงขาด (g_f)	การเกาะติดกันที่ ผิวหน้า ($g_f.s$)
0	301.58 ^c ±33.66	35.50 ^e ±5.09	7.96 ^a ±0.64
10	375.23 ^b ±23.46	43.72 ^d ±3.37	4.68 ^b ±0.91
20	400.58 ^{ab} ±12.21	50.94 ^c ±2.32	4.11 ^b ±0.27
30	418.04 ^a ±11.88	56.57 ^b ±4.71	2.40 ^c ±0.14
40	425.76 ^a ±12.68	56.75 ^b ±2.26	1.47 ^d ±0.13
50	434.34 ^a ±12.74	59.43 ^a ±1.47	1.03 ^d ±0.16

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

จากผลการวิเคราะห์ลักษณะเนื้อสัมผัส พบว่าเมื่อปริมาณแป้งถั่วดำเพิ่มขึ้นมีผลทำให้ค่าความแน่นเนื้อและค่าความต้านทานต่อการดึงขาดเพิ่มขึ้น แต่ค่าการเกาะติดที่ผิวหน้าลดลง ($p < 0.05$) เนื่องจากแป้งถั่วดำมีปริมาณโปรตีนและอะไมโลสสูงกว่าแป้งข้าวเจ้าจึงช่วยเสริมความแข็งแรงของโครงสร้างพาสต้า ทำให้อะไมโลสหลุดออกในขณะต้มน้อยลง จึงมีสตาร์ชที่ผิวหน้าของเส้นลดลง ซึ่งสอดคล้องกับค่าของปริมาณของแข็งที่สูญเสียในระหว่างการต้มที่มีค่าลดลงเมื่อเติมแป้งถั่วดำเพิ่มขึ้น

2.1.4 ผลการประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัส

จากการทดสอบทางด้านประสาทสัมผัสของพาสต้าต้มสุกในด้านลักษณะปรากฏ สี กลิ่น รสชาติ เนื้อสัมผัส และความชอบโดยรวม ได้ผลแสดงดังตารางที่ 4-16

ตารางที่ 4-16 คะแนนการทดสอบทางประสาทสัมผัสของพาสต้าที่ทดแทนด้วยแป้งถั่วดำระดับต่างๆ

ปริมาณแป้งถั่วดำ (ร้อยละ)	ลักษณะ ปรากฏ	สี	กลิ่น	รสชาติ	เนื้อสัมผัส	ความชอบ โดยรวม
0	6.03 ^c ±1.00	6.17 ^c ±1.15	6.07 ^b ±0.91	6.07 ^b ±0.78	6.27 ^{bc} ±1.01	6.23 ^b ±0.86
10	6.13 ^{bc} ±0.94	6.20 ^{bc} ±1.10	6.03 ^b ±0.96	6.13 ^b ±0.78	6.00 ^c ±1.05	6.30 ^b ±0.84
20	6.13 ^{ab} ±0.97	6.20 ^{bc} ±1.06	6.03 ^b ±0.89	6.13 ^b ±0.68	6.30 ^{ab} ±0.65	6.30 ^b ±0.79
30	6.60 ^{ab} ±0.97	6.83 ^a ±0.95	6.30 ^{ab} ±0.84	6.37 ^{ab} ±0.67	6.73 ^{ab} ±0.69	6.53 ^{ab} ±0.73
40	6.77 ^a ±1.10	6.73 ^{ab} ±0.83	6.60 ^a ±0.97	6.70 ^a ±0.84	6.87 ^a ±0.97	6.83 ^a ±0.99
50	6.70 ^a ±0.99	7.00 ^a ±0.91	6.60 ^a ±0.86	6.63 ^a ±0.76	6.70 ^a ±0.79	6.67 ^{ab} ±0.80

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

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

ผลการทดสอบทางประสาทสัมผัส พบว่า เมื่อเติมแป้งถั่วดำในปริมาณเพิ่มขึ้น พาสต้าได้คะแนนความชอบทุกด้านเพิ่มขึ้น ($p < 0.05$) โดยพาสต้าที่ทดแทนด้วยแป้งถั่วดำร้อยละ 40 ได้รับความชอบโดยรวมสูงที่สุดและมีคะแนนอยู่ในเกณฑ์ชอบเล็กน้อย แต่เมื่อใช้แป้งถั่วดำร้อยละ 50 พาสต้าได้คะแนนความชอบโดยรวมลดลง ทั้งนี้อาจเนื่องจากแป้งถั่วดำมีกลิ่นรสเฉพาะ การใช้แป้งถั่วดำในปริมาณมากเกินไปอาจมีผลต่อการยอมรับด้านกลิ่นรสของผลิตภัณฑ์

เมื่อพิจารณาผลการทดสอบทางประสาทสัมผัส คุณภาพหลังการต้ม เนื้อสัมผัส และคุณค่าทางโภชนาการพบว่าพาสต้าข้าวเจ้าที่มีการทดแทนด้วยแป้งถั่วดำร้อยละ 40 ได้รับคะแนนความชอบด้านสี กลิ่น เนื้อสัมผัสและความชอบโดยรวมสูง ใช้เวลาในการต้มสุกสั้น ปริมาณของแข็งที่สูญเสียต่ำ และน้ำหนักที่ได้หลังการต้มสูง ความแน่นเนื้อและความต้านทานต่อการดึงขาดมีค่ามากแสดงถึงคุณลักษณะของพาสต้าที่ดี ดังนั้นการใช้แป้งถั่วดำร้อยละ 40 จึงเป็นปริมาณสูงสุดที่ช่วยปรับปรุงคุณค่าทางโภชนาการของผลิตภัณฑ์เมื่อเปรียบเทียบกับพาสต้าที่ทดแทนด้วยแป้งถั่วดำตัวอย่างอื่น

2.1 (ค) ผลการศึกษาปริมาณแป้งถั่วเขียวที่เหมาะสมที่ใช้ทดแทนแป้งข้าวเจ้าในผลิตภัณฑ์พาสต้า

จากการวิเคราะห์คุณภาพของพาสต้าที่ใช้ปริมาณแป้งถั่วเขียวทดแทนแป้งข้าวเจ้าร้อยละ 0 10 20 30 40 และ 50 (โดยน้ำหนักแป้ง) ได้ผลการวิเคราะห์ดังนี้

2.1.1 ผลการวิเคราะห์คุณภาพหลังต้ม

ผลการวิเคราะห์คุณภาพหลังการต้มของพาสต้าที่ทดแทนด้วยแป้งถั่วเขียวร้อยละ 0-50 แสดงดังตารางที่ 4-17

ตารางที่ 4-17 คุณภาพหลังการต้มของพาสต้าข้าวเจ้าที่ทดแทนด้วยแป้งถั่วเขียวระดับต่างๆ

ปริมาณแป้งถั่วเขียว (ร้อยละ)	เวลาที่เหมาะสมในการต้มสุก (นาที)	ปริมาณของแข็งที่สูญเสียระหว่างการต้ม (ร้อยละ)	น้ำหนักหลังต้ม (ร้อยละ)
0	19.5	19.47 ^a ± 0.61	171.17 ^f ± 0.58
10	19.0	9.48 ^b ± 0.36	198.05 ^e ± 0.24
20	18.0	9.18 ^{bc} ± 0.10	215.62 ^d ± 1.24
30	17.0	9.05 ^{bc} ± 0.08	222.92 ^c ± 0.33
40	15.0	8.88 ^{bc} ± 0.04	234.51 ^b ± 0.44
50	14.0	8.62 ^c ± 0.25	241.99 ^a ± 0.23

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

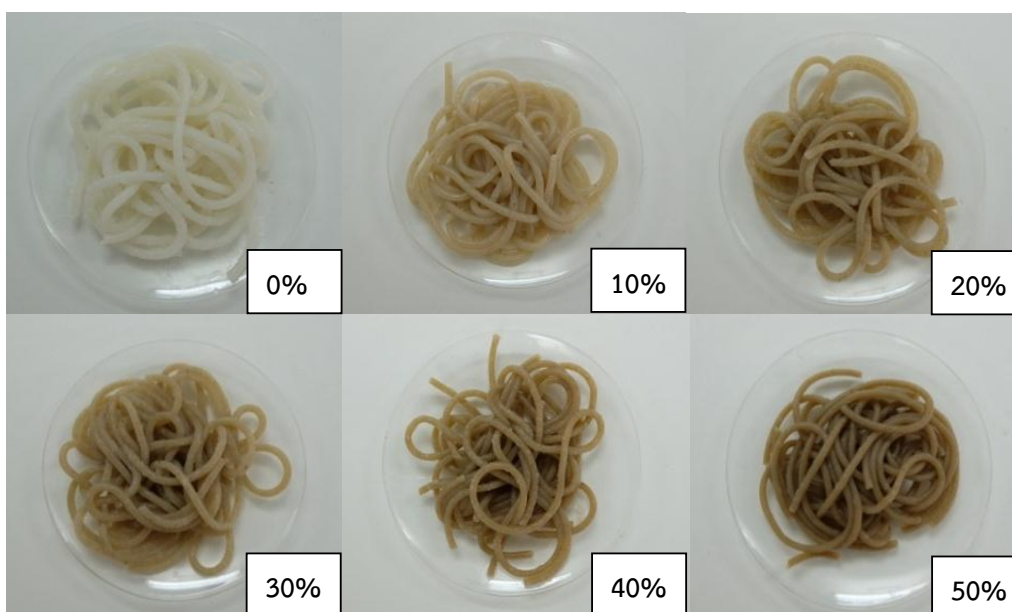
จากผลการวิเคราะห์คุณภาพหลังการต้มของพาสต้า พบว่า เมื่อปริมาณแป้งถั่วเขียวเพิ่มขึ้น (ร้อยละ 0-50) มีผลทำให้เวลาที่ใช้ในการต้มลดลงจาก 19.5 เป็น 14.0 นาที และปริมาณของแข็งที่สูญเสียระหว่างการต้มลดลง ในขณะที่น้ำหนักที่ได้หลังการต้มมีค่าเพิ่มขึ้น ($p < 0.05$) ซึ่งเป็นผลมาจากโครงสร้างผลึกของเม็ดสตาร์ชที่แตกต่างกันทำให้มีความสามารถในการจับน้ำที่แตกต่างกันดังที่ได้กล่าวมาแล้ว ทำให้น้ำหนักหลังการต้มเพิ่มขึ้น นอกจากนี้ แป้งถั่วเขียวมีปริมาณโปรตีนและอะไมโลสสูงกว่าแป้งข้าวเจ้าจึงช่วยเสริมความแข็งแรงให้กับโครงสร้างของเส้นพาสต้า ทำให้เม็ดแป้งหลุดออกน้อยลง พาสต้าจึงมีปริมาณของแข็งที่สูญเสียระหว่างการต้มลดลง นอกจากนี้อาจเป็นผลมาจากการทดแทนแป้งถั่วเขียวในพาสต้าข้าวเจ้าทำให้ระยะเวลาในการต้มสุกมีแนวโน้มลดลง การใช้ระยะเวลาในการต้มสุกน้อยจะทำให้ปริมาณของแข็งที่สูญเสียระหว่างการต้มมีค่าลดลง

2.1.2 ผลการวัดค่าสี

พาสต้าข้าวเจ้าที่ทดแทนด้วยแป้งถั่วเขียวร้อยละ 0-50 ที่ผ่านการอบแห้งและผ่านการต้มสุก มีลักษณะดังภาพที่ 4-5 และ 4-6 จากการวิเคราะห์ค่าสีของพาสต้าอบแห้งและพาสต้าต้มสุกที่ทดแทนด้วยแป้งถั่วเขียวร้อยละ 0-50 ได้ผลการวิเคราะห์ดังตารางที่ 4-18 และ 4-19 ตามลำดับ



ภาพที่ 4-5 พาสต้าอบแห้งที่ทดแทนด้วยแป้งถั่วเขียวระดับต่างๆ



ภาพที่ 4-6 พาสต้าต้มสุกที่ทดแทนด้วยแป้งถั่วเขียวระดับต่างๆ

ตารางที่ 4-18 ค่าสีของพาสต้าอบแห้งที่ทดแทนด้วยแป้งถั่วเขียวระดับต่างๆ

ปริมาณแป้งถั่วเขียว (ร้อยละ)	L*	a*	b*	c*	h* (°)
0	61.58 ^a ± 0.76	0.17 ^f ± 0.05	15.59 ^a ± 0.19	21.91 ^a ± 0.16	91.04 ^a ± 0.18
10	49.17 ^b ± 0.34	3.26 ^a ± 0.02	21.69 ^b ± 0.16	20.09 ^a ± 0.27	81.76 ^b ± 0.04
20	46.39 ^b ± 0.44	3.03 ^b ± 0.04	19.90 ^b ± 0.23	16.12 ^b ± 0.25	81.48 ^b ± 0.08
30	38.18 ^c ± 0.30	2.96 ^c ± 0.13	15.77 ^{bc} ± 0.26	15.59 ^b ± 0.19	78.75 ^b ± 0.36
40	37.48 ^c ± 0.28	2.45 ^d ± 0.02	12.70 ^{cd} ± 0.30	14.21 ^{bc} ± 0.06	77.17 ^b ± 0.17
50	35.51 ^c ± 0.38	2.25 ^e ± 0.03	12.00 ^d ± 0.48	12.72 ^c ± 0.62	76.64 ^c ± 0.16

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

ตารางที่ 4-19 ค่าสีของพาสต้าต้มสุกที่ทดแทนด้วยแป้งถั่วเขียวระดับต่างๆ

ปริมาณแป้งถั่วเขียว (ร้อยละ)	L*	a*	b*	c*	h* (°)
0	72.41 ^a ± 0.73	0.07 ^f ± 0.05	5.73 ^f ± 0.58	15.59 ^a ± 0.51	104.94 ^a ± 0.11
10	62.19 ^b ± 0.39	1.66 ^a ± 0.14	13.63 ^a ± 0.49	13.60 ^b ± 0.49	87.54 ^b ± 0.51
20	57.75 ^c ± 0.64	1.46 ^b ± 0.11	12.95 ^b ± 0.12	12.68 ^c ± 0.13	83.66 ^c ± 0.34
30	50.46 ^d ± 0.53	1.17 ^c ± 0.13	12.54 ^c ± 0.18	12.13 ^c ± 0.20	82.87 ^c ± 0.40
40	48.92 ^d ± 0.91	0.92 ^d ± 0.11	11.64 ^d ± 0.46	12.41 ^c ± 0.47	82.06 ^c ± 0.07
50	45.06 ^e ± 0.53	0.63 ^e ± 0.10	9.84 ^e ± 0.39	10.64 ^d ± 0.03	81.92 ^c ± 0.48

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

จากผลการวิเคราะห์ค่าสี พบว่า ทั้งพาสต้าอบแห้งและพาสต้าต้มสุกที่ทดแทนด้วยแป้งถั่วเขียวในปริมาณเพิ่มขึ้น (ร้อยละ 0-50) มีผลทำให้ค่าความสว่าง (L*) ค่าความเข้มสี (c*) และมุมของเฉดสี (h*) มีค่าลดลง (p<0.05) และพบว่าพาสต้าที่ทดแทนด้วยแป้งถั่วเขียวร้อยละ 10-40 มีค่าความเป็นสีแดง - เขียว (a*) และค่าความเป็นสีเหลือง - น้ำเงิน (b*) ลดลง แต่สูงกว่าพาสต้าที่ไม่ได้ทดแทนด้วยแป้งถั่วเขียว อาจเป็นผลมาจากแป้งถั่วเขียวและแป้งข้าวเจ้ามีค่าสีแตกต่างกัน โดยแป้งถั่วเขียวมีค่าความสว่างต่ำกว่าแป้งข้าวเจ้า ดังนั้นเมื่อเติมแป้งถั่วเขียวในปริมาณที่เพิ่มขึ้นจึงทำให้ค่าความสว่างลดลง ในขณะที่ค่าความเป็นสีแดง (a*) และค่าความเป็นสีเหลือง (b*) ของพาสต้าที่ไม่ได้ทดแทนด้วยแป้งถั่วเขียว (ร้อยละ 0) มีค่าต่ำกว่าพาสต้าที่ทดแทนด้วยแป้งถั่วเขียว อาจเนื่องจากแป้งถั่วเขียวมีรงควัตถุที่ให้สีเขียวและเหลืองเป็นองค์ประกอบ ได้แก่ คลอโรฟิลล์ และแคโรทีนอยด์ อย่างไรก็ตามในการผลิตพาสต้าด้วยกระบวนการอบแห้งและพาสต้าต้มสุก พบว่าพาสต้าต้มสุกมีค่า a* และค่า b* ต่ำกว่าพาสต้าอบแห้ง อาจเนื่องจากการต้มพาสต้าทำให้รงควัตถุที่อยู่ในพาสต้าถูกชะออกในน้ำที่ใช้ต้ม โดยค่า h* ของพาสต้าอบแห้งและพาสต้าต้มสุกที่เติมแป้งถั่ว

เขียวร้อยละ 10-50 มีค่าอยู่ในช่วง 76.64-87.54 แต่พาสต้าอบแห้งและพาสต้าต้มสุกที่ไม่เติมแป้งถั่วเขียว มีค่าอยู่ในช่วง 91.04-104.94 ซึ่งปรากฏอยู่ในช่วงสีเหลืองเขียว

2.1.3 ผลการวิเคราะห์ลักษณะเนื้อสัมผัส

ผลการวิเคราะห์ลักษณะเนื้อสัมผัสของพาสต้าต้มสุกที่ทดแทนด้วยแป้งถั่วเขียวร้อยละ 0-50 แสดงดังตารางที่ 4-20

ตารางที่ 4-20 ลักษณะเนื้อสัมผัสของพาสต้าข้าวเจ้าที่ทดแทนด้วยแป้งถั่วเขียวระดับต่างๆ

ปริมาณแป้งถั่วเขียว (ร้อยละ)	ความแน่นเนื้อ (g_f)	ความต้านทานต่อการ การดึงขาด (g_f)	การเกาะติดที่ผิวหน้า ($g_f.s$)
0	606.45 ^f ± 12.71	53.84 ^f ± 4.78	15.24 ^a ± 2.02
10	683.69 ^e ± 9.14	59.26 ^e ± 0.77	6.63 ^b ± 5.23
20	742.02 ^d ± 3.66	65.29 ^d ± 4.05	6.62 ^b ± 2.43
30	818.06 ^c ± 1.00	77.08 ^c ± 2.37	5.97 ^b ± 2.42
40	893.33 ^b ± 1.71	83.68 ^b ± 4.85	5.51 ^b ± 0.51
50	937.87 ^a ± 0.82	87.77 ^a ± 5.88	5.27 ^b ± 1.55

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

เมื่อปริมาณถั่วเขียวเพิ่มขึ้น (ร้อยละ 0-50) ทำให้ความแน่นเนื้อ และความต้านทานต่อการดึงขาดมีค่าเพิ่มขึ้น แต่การเกาะติดที่ผิวหน้ามีค่าลดลง ($p < 0.05$) ทั้งนี้อาจเป็นผลมาแป้งถั่วเขียวมีปริมาณอะไมโลสและโปรตีนสูงกว่าแป้งข้าวเจ้า ทำให้เส้นพาสต้ามีโครงสร้างที่แข็งแรงขึ้น และทำให้สตาร์ชที่ผิวหน้าหลุดออกมาน้อยลง โดยมีรายงานว่าแป้งถั่วเขียวมีปริมาณอะไมโลสสูงถึงร้อยละ 31.88 (รัชนิพร โปธินาม และคณะ, 2559)

2.1.4 ผลการประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัส

จากการทดสอบทางประสาทสัมผัสของพาสต้าที่ทดแทนด้วยแป้งถั่วเขียวระดับต่างๆ ที่ผ่านการต้มสุกโดยใช้ 9-point hedonic scale โดยใช้ผู้ทดสอบ 30 คน ได้ผลดังตารางที่ 4-21

ตารางที่ 4-21 คะแนนการทดสอบทางประสาทสัมผัสของพาสต้าข้าวเจ้าที่ทดแทนด้วยแป้งถั่วเขียวระดับต่างๆ

ปริมาณแป้งถั่วเขียว (ร้อยละ)	ลักษณะ ปรากฏ	สี	กลิ่น	รสชาติ ^{ns}	เนื้อสัมผัส	ความชอบ โดยรวม
0	6.16 ^c ± 1.43	6.60 ^{ab} ± 1.07	6.29 ^a ± 1.16	6.13 ^b ± 1.33	5.37 ^d ± 0.99	6.60 ^{ab} ± 0.97
10	5.88 ^e ± 1.65	6.07 ^b ± 1.05	6.18 ^b ± 1.17	6.14 ^a ± 1.29	5.90 ^c ± 1.15	5.97 ^c ± 1.00
20	6.05 ^d ± 1.55	6.13 ^b ± 1.28	6.14 ^c ± 1.08	5.92 ^c ± 1.12	6.22 ^b ± 1.09	6.23 ^{bc} ± 1.33
30	7.15 ^a ± 1.55	6.73 ^a ± 1.22	5.96 ^d ± 0.95	5.84 ^d ± 1.03	6.32 ^a ± 0.89	7.03 ^a ± 1.13
40	7.12 ^a ± 1.35	6.56 ^{ab} ± 1.11	5.84 ^e ± 1.54	5.57 ^e ± 1.27	6.35 ^a ± 1.22	6.10 ^{bc} ± 1.37
50	7.13 ^a ± 1.47	6.43 ^{ab} ± 1.39	5.79 ^f ± 1.32	5.37 ^f ± 1.32	6.36 ^a ± 1.12	6.37 ^{bc} ± 1.30

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

ผลการทดสอบทางประสาทสัมผัส พบว่าเมื่อปริมาณแป้งข้าวโพดเพิ่มขึ้น คะแนนความชอบในด้านลักษณะปรากฏ สี และเนื้อสัมผัสมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น แต่คะแนนด้านกลิ่นและรสชาติลดลง ($p < 0.05$) ทั้งนี้อาจเนื่องจากการเติมแป้งข้าวโพดในปริมาณเพิ่มขึ้นมีผลทำให้โครงสร้างของเส้นพาสต้าแข็งแรง และพาสต้าที่ได้มีลักษณะผิวหน้าเรียบและมีความเหนียวเพิ่มขึ้น แต่การทดแทนแป้งข้าวโพดในปริมาณที่สูงขึ้น (ร้อยละ 40-50) อาจทำให้พาสต้ามีกลิ่นรสข้าวโพดมากเกินไปและไม่เป็นที่ยอมรับโดยพาสต้าที่ทดแทนด้วยแป้งข้าวโพดทั้งหมดร้อยละ 30 ได้คะแนนความชอบโดยรวมสูงที่สุด

เมื่อพิจารณาผลการทดสอบทางประสาทสัมผัส คุณภาพหลังการต้ม และลักษณะเนื้อสัมผัส พบว่า พาสต้าที่ทดแทนด้วยแป้งข้าวโพดร้อยละ 30 ได้รับคะแนนความชอบโดยรวมสูงที่สุด สำหรับผลการวิเคราะห์คุณภาพหลังการต้ม พบว่า การทดแทนแป้งข้าวโพดในปริมาณที่สูงขึ้นมีผลทำให้เวลาที่ใช้ในการต้มสุกและปริมาณของแข็งที่สูญเสียในระหว่างการต้มลดลง แต่น้ำหนักที่ได้หลังการต้ม ค่าความแน่นเนื้อ และค่าความต้านทานต่อการดึงขาดเพิ่มขึ้น ($p < 0.05$) อย่างไรก็ตามการทดแทนแป้งข้าวโพดร้อยละ 10-50 มีค่าการเกาะติดกันไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \geq 0.05$) และมีแนวโน้มลดลงเมื่อทดแทนแป้งข้าวโพดในปริมาณที่สูงขึ้น

จากผลการศึกษาปริมาณแป้งข้าวแดง แป้งข้าวดำ และแป้งข้าวโพดที่เหมาะสมที่ใช้เติมในพาสต้าจากข้าวเจ้า พบว่า ปริมาณของแป้งข้าวแดงและแป้งข้าวดำที่เหมาะสม คือ ร้อยละ 40 และปริมาณแป้งข้าวโพดที่เหมาะสม คือ ร้อยละ 30 จึงเห็นได้ว่าสามารถใช้แป้งข้าวแดงและแป้งข้าวดำในปริมาณที่สูงกว่าแป้งข้าวโพด ดังนั้นพาสต้าที่ทดแทนด้วยแป้งข้าวแดงและแป้งข้าวดำจึงมีคุณค่าทางโภชนาการสูงกว่าพาสต้าที่ทดแทนด้วยแป้งข้าวโพด แม้ว่าแป้งข้าวแดงและแป้งข้าวดำมีองค์ประกอบทางเคมีและสมบัติในการต้านอนุมูลอิสระใกล้เคียงกัน แต่พาสต้าที่ทำจากแป้งข้าวแดงใช้เวลาในการต้มสั้นกว่า และมีปริมาณของแข็งที่สูญเสียระหว่างการต้มต่ำกว่าพาสต้าที่ทดแทนด้วยแป้งข้าวดำ ซึ่งเป็นคุณลักษณะที่ต้องการของพาสต้า ดังนั้นจึงเลือกพาสต้าที่ทดแทนด้วยแป้งข้าวแดงร้อยละ 40 เป็นตัวแทนพาสต้าไปศึกษาในขั้นตอนต่อไป

2.2 ผลการศึกษาปริมาณความชื้นของส่วนผสมแป้งที่เหมาะสมในการทำผลิตภัณฑ์พาสต้าจากข้าวเจ้า

จากการวิเคราะห์คุณภาพหลังการต้มของพาสต้าข้าวเจ้าที่ทดแทนแป้งข้าวเจ้าด้วยแป้งข้าวแดงร้อยละ 40 โดยแปรปริมาณความชื้นของส่วนผสมแป้งเป็นร้อยละ 30 35 และ 40 โดยน้ำหนักแป้ง ได้ผลการวิเคราะห์คุณภาพหลังต้ม ค่าสี ลักษณะเนื้อสัมผัส และการทดสอบทางประสาทสัมผัส ดังนี้

2.2.1 ผลการวิเคราะห์คุณภาพหลังการต้ม

ผลการวิเคราะห์คุณภาพหลังการต้มของพาสต้าข้าวเจ้าเสริมแป้งข้าวแดงที่เตรียมจากส่วนผสมแป้งที่ปริมาณความชื้นระดับต่างๆ ได้ผลการวิเคราะห์ดังตารางที่ 4-22

ตารางที่ 4-22 คุณภาพหลังการต้มของพาสต้าข้าวเจ้าเสริมแป้งถั่วแดงที่เตรียมจากส่วนผสมแป้งที่ปริมาณความชื้นระดับต่างๆ

ปริมาณความชื้น (ร้อยละ)	เวลาที่เหมาะสมในการต้มสุก (นาท)	ปริมาณของแข็งที่สูญเสียระหว่างต้ม (ร้อยละ)	น้ำหนักที่ได้หลังการต้ม (ร้อยละ)
30	17	16.51 ^b ± 0.45	189.52 ^a ± 4.26
35	16	12.89 ^c ± 0.74	194.92 ^a ± 2.00
40	14	24.12 ^a ± 0.34	173.81 ^b ± 8.80

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

จากผลการทดลอง พบว่าเมื่อปริมาณความชื้นของส่วนผสมแป้งเพิ่มขึ้นจากร้อยละ 30 เป็นร้อยละ 40 มีผลทำให้ระยะเวลาในการต้มสุกลดลงจาก 17 นาที เป็น 14 นาที อาจเนื่องจากการใช้ปริมาณความชื้นเพิ่มขึ้นมีผลทำให้ปริมาณน้ำในส่วนผสมเพิ่มขึ้น ความหนืดของอาหารภายในบาร์เรลลดลง ทำให้มีแรงต้านทานต่อการหมุนตัว (Chaiyakul et al., 2009) เป็นผลทำให้สัดส่วนของระยะเวลาในการให้ความร้อนกับส่วนผสมแป้งขณะอยู่ในเครื่องเอกซ์ทรูเดอร์สั้น ความสามารถในการเกิดเจลของเม็ดสตาร์ชอาจไม่สมบูรณ์เป็นผลทำให้โครงสร้างของเส้นไม่แข็งแรง เมื่อนำไปต้มโมเลกุลของน้ำจึงแทรกเข้าไปในเม็ดสตาร์ชและเกิดการพองตัวได้ง่ายกว่า เวลาที่ใช้ในการต้มสุกจึงลดลง ในขณะที่ปริมาณความชื้นของส่วนผสมที่ต่ำลง ส่งผลให้แรงเฉือนเนื่องจากการหมุนของสกรูภายในบาร์เรลสูงขึ้น ทำให้การเกิดเจลสตาร์ชในเซชันสูงขึ้น (Chinnaswamy and Hanna, 1998) ซึ่งจากการสังเกตลักษณะของเส้นพาสต้าที่ผ่านกระบวนการเอ็กซ์ทรูชันที่เตรียมโดยใช้ความชื้นของส่วนผสมแป้งร้อยละ 30 และ 35 พบว่าเส้นพาสต้ามีสีแดงอมน้ำตาลใสตลอดทั้งเส้น ส่วนเส้นพาสต้าที่เตรียมจากแป้งผสมที่มีความชื้นร้อยละ 40 มีลักษณะขุ่น มีสีแดงอมน้ำตาลเข้มและเส้นแตกหักง่าย

พาสต้าข้าวเจ้าเสริมแป้งถั่วแดงที่ได้จากการเตรียมส่วนผสมแป้งความชื้นระดับต่างๆ มีปริมาณของแข็งที่สูญเสียระหว่างการต้มและน้ำหนักที่ได้หลังการต้มแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) โดยพาสต้าข้าวเจ้าเสริมแป้งถั่วแดงที่ได้จากการเตรียมส่วนผสมแป้งความชื้นร้อยละ 35 มีปริมาณของแข็งที่สูญเสียระหว่างการต้มต่ำที่สุด (ร้อยละ 12.89) และพาสต้าที่ได้จากการเตรียมส่วนผสมแป้งความชื้นร้อยละ 40 มีปริมาณของแข็งที่สูญเสียระหว่างการต้มสูงที่สุดเท่ากับร้อยละ 24.12 และมีน้ำหนักที่ได้หลังการต้มต่ำที่สุด อาจเป็นผลมาจากปริมาณความชื้นของส่วนผสมแป้งร้อยละ 40 มีผลทำให้ความหนืดของส่วนผสมแป้งน้อย ระยะเวลาในการให้ความร้อนกับส่วนผสมแป้งขณะอยู่ในเครื่องเอกซ์ทรูเดอร์สั้นการเกิดเจลของเม็ดสตาร์ชอาจไม่สมบูรณ์เป็นผลทำให้โครงสร้างของเส้นไม่แข็งแรงเมื่อนำไปต้มส่งผลให้เส้นพาสต้ามีปริมาณของแข็งที่สูญเสียระหว่างการต้มสูงจากการละลายของสตาร์ชที่เกาะกันอย่างหลวมๆ และความสามารถในการดูดซับน้ำลดลง

2.2.2 ผลการวัดค่าสี

จากการวิเคราะห์ค่าสีของพาสต้าอบแห้งและต้มสุกที่ได้จากการเตรียมส่วนผสมแป้งความชื้นร้อยละ 30-40 ได้ผลดังตารางที่ 4-23 และ 4-24 ตามลำดับ

ตารางที่ 4-23 ค่าสีของพาสต้าข้าวเจ้าเสริมแป้งถั่วแดงอบแห้งที่ได้จากการเตรียมส่วนผสมแป้งที่ปริมาณความชื้นระดับต่างๆ

ปริมาณความชื้น (ร้อยละ)	L*	a* ^{ns}	b*	c*	h* (°)
30	36.34 ^a ± 1.10	6.77 ± 0.27	7.23 ^b ± 0.06	9.81 ^b ± 0.97	49.35 ^a ± 0.23
35	34.92 ^a ± 0.80	7.52 ± 0.20	9.64 ^a ± 0.10	12.24 ^a ± 0.97	51.62 ^a ± 0.23
40	26.26 ^b ± 1.04	7.01 ± 0.81	6.01 ^b ± 0.09	9.3 ^b ± 1.02	39.60 ^b ± 0.45

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

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

ตารางที่ 4-24 ค่าสีของพาสต้าข้าวเจ้าเสริมแป้งถั่วแดงต้มสุกที่ได้จากการเตรียมส่วนผสมแป้งที่ปริมาณความชื้นระดับต่างๆ

ปริมาณความชื้น (ร้อยละ)	L*	a* ^{ns}	b* ^{ns}	c* ^{ns}	h* ^{ns} (°)
30	41.40 ^a ± 0.70	5.82 ± 0.16	1.70 ± 0.08	6.07 ± 0.61	16.34 ± 0.54
35	42.29 ^a ± 0.83	5.46 ± 0.78	1.84 ± 0.05	5.77 ± 0.93	18.42 ± 0.43
40	38.63 ^b ± 0.91	6.14 ± 0.41	2.22 ± 0.09	6.60 ± 1.00	19.06 ± 0.45

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

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

จากการวิเคราะห์ค่าสี พบว่าทั้งพาสต้าอบแห้งและพาสต้าที่ผ่านการต้มสุกมีค่าความสว่าง (L*) แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) โดยมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อปริมาณความชื้นของส่วนผสมแป้งลดลง เนื่องจากปริมาณความชื้นของส่วนผสมที่ต่ำลง ส่งผลให้แรงเหวี่ยงจากการหมุนของสกรูภายในบารเรลสูงขึ้น ทำให้การเกิดเจลาตินเซชันสูงขึ้น และเมื่อพิจารณาพาสต้าหลังการต้มสุกพบว่ามีความสว่างสูงกว่าพาสต้าอบแห้งอาจเกิดจากการที่พาสต้าดูดซึมน้ำเข้าสู่โครงสร้างของเส้นได้มากขึ้น พาสต้าอบแห้งที่ทำจากแป้งข้าวเจ้าเสริมแป้งถั่วแดงที่ได้จากการเตรียมส่วนผสมแป้งความชื้นร้อยละ 30-40 มีค่า c* อยู่ในช่วง 9.30 – 12.24 และ h* มีค่าอยู่ในช่วง 39.60- 51.62 ส่วนพาสต้าต้มสุกที่เตรียมส่วนผสมแป้งความชื้นร้อยละ 30-40 มีค่า c* อยู่ในช่วง 5.77 – 6.60 และ h* มีค่าอยู่ในช่วง 16.34 – 19.06 ซึ่งปรากฏอยู่ในช่วงเฉดสีแดง

2.2.3 ผลการวิเคราะห์ลักษณะเนื้อสัมผัส

จากการวิเคราะห์ลักษณะเนื้อสัมผัสของพาสต้าข้าวเจ้าเสริมแป้งถั่วแดงที่ได้จากการเตรียมส่วนผสมแป้งความชื้นในระดับต่างๆ ได้ผลการวิเคราะห์ดังตารางที่ 4-25

ตารางที่ 4-25 ลักษณะเนื้อสัมผัสของพาสต้าข้าวเจ้าเสริมแป้งถั่วแดงที่ได้จากการเตรียมส่วนผสมแป้งที่ปริมาณความชื้นระดับต่างๆ

ปริมาณความชื้น (ร้อยละ)	ค่าความแน่นเนื้อ (gf)	ค่าความต้านทานต่อการดึงขาด (gf)	ค่าการเกาะติดกันที่ ผิวหน้า (gf.s)
30	329.05 ^b ± 3.72	23.46 ^b ± 1.30	0.99 ^b ± 0.02
35	388.97 ^a ± 8.56	32.62 ^a ± 1.21	0.73 ^c ± 0.03
40	295.53 ^c ± 4.67	18.25 ^c ± 0.34	1.18 ^a ± 0.01

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

จากการวิเคราะห์ลักษณะเนื้อสัมผัส พบว่าเมื่อปริมาณความชื้นของส่วนผสมแป้งเพิ่มขึ้น ค่าความแน่นเนื้อ ค่าความต้านทานต่อการดึงขาด และค่าการเกาะติดที่ผิวหน้า มีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) โดยพาสต้าข้าวเจ้าเสริมแป้งถั่วแดงที่ได้จากการเตรียมส่วนผสมแป้งความชื้นร้อยละ 35 มีค่าความต้านทานต่อการดึงขาดและค่าความแน่นเนื้อสูงที่สุดเท่ากับ 32.62 gf และ 388.97 gf ตามลำดับ ส่วนค่าการเกาะติดกันที่ผิวหน้าพาสต้าข้าวเจ้าเสริมแป้งถั่วแดงที่ได้จากการเตรียมส่วนผสมแป้งความชื้นร้อยละ 35 มีค่าการเกาะติดกันที่ผิวหน้าต่ำที่สุด (0.73 gf.s) ในขณะที่พาสต้าที่ได้จากการเตรียมส่วนผสมแป้งความชื้นร้อยละ 40 มีค่าการเกาะติดที่ผิวหน้ามากที่สุด (1.18 gf.s) ซึ่งอาจเป็นผลมาจากความชื้นของส่วนผสมที่มากขึ้น ความหนืดของอาหารภายในบารเรลลดลง ทำให้มีแรงต้านทานต่อการหมุนต่ำ และระยะเวลาในการให้ความร้อนกับส่วนผสมขณะอยู่ในเครื่องเอกซ์ทรูเดอร์สั้น การเกิดเจลของเม็ดสตาร์ชอาจไม่สมบูรณ์เป็นผลทำให้โครงสร้างของเส้นไม่แข็งแรงเมื่อนำไปต้มส่งผลให้เม็ดสตาร์ชที่ผิวหลุดออกมา ทำให้ค่าการเกาะติดที่ผิวหน้าของพาสต้ามีค่าสูงกว่าพาสต้าที่เตรียมจากส่วนผสมแป้งความชื้นในระดับที่ต่ำกว่าซึ่งสอดคล้องกับปริมาณของแข็งที่สูญเสียระหว่างการต้มที่เพิ่มขึ้นด้วย

2.2.4. ผลการประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัส

จากการทดสอบทางประสาทสัมผัสของพาสต้าข้าวเจ้าเสริมแป้งถั่วแดงที่ได้จากการเตรียมส่วนผสมแป้งที่ปริมาณความชื้นระดับต่างๆ ที่ผ่านการต้มสุก โดยใช้ 9-point hedonic scale ได้ผลดังตารางที่ 4-26

ตารางที่ 4-26 คะแนนการทดสอบทางประสาทสัมผัส ของพาสต้าข้าวเจ้าเสริมแป้งถั่วแดงที่ได้จากการเตรียมส่วนผสมแป้งที่ปริมาณความชื้นระดับต่างๆ

ปริมาณ ความชื้น (ร้อยละ)	ลักษณะ ปรากฏ ^{ns}	สี	กลิ่น ^{ns}	รสชาติ ^{ns}	เนื้อสัมผัส	ความชอบ โดยรวม ^{ns}
30	6.37±0.21	6.13 ^b ± 0.22	5.93 ± 0.04	5.90 ± 0.56	6.17 ^a ± 0.44	6.47±0.75
35	6.73±0.71	6.67 ^a ± 0.41	6.27 ± 0.48	5.90 ± 0.72	6.07 ^a ± 0.54	6.50±0.83
40	5.33±0.43	6.77 ^a ± 0.65	5.80 ± 0.65	5.73 ± 0.34	5.43 ^b ± 0.23	6.10±0.76

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

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

จากผลการประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัส พบว่าพาสต้าข้าวเจ้าเสริมแป้งถั่วแดงที่เตรียมจากส่วนผสมแป้งที่ความชื้นระดับต่างๆ ได้คะแนนความชอบด้านสี และเนื้อสัมผัส แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) แต่คะแนนความชอบด้านลักษณะปรากฏ กลิ่น รสชาติ และความชอบโดยรวมไม่แตกต่างกัน ($p \geq 0.05$) โดยพาสต้าทุกตัวอย่างมีคะแนนความชอบโดยรวมอยู่เกณฑ์ชอบเล็กน้อย

เมื่อพิจารณาผลการทดสอบทางประสาทสัมผัสของพาสต้าที่ทำจากแป้งข้าวเจ้าเสริมแป้งถั่วแดงทุกตัวอย่างพบว่าได้คะแนนความชอบโดยรวมมากกว่า 6 คะแนน และเมื่อพิจารณาปริมาณของแข็งที่สูญเสียระหว่างการต้ม น้ำหนักที่ได้หลังการต้ม และเนื้อสัมผัส พบว่าพาสต้าข้าวเจ้าเสริมแป้งถั่วแดงที่ได้จากการเตรียมส่วนผสมแป้งความชื้นร้อยละ 35 มีปริมาณของแข็งที่สูญเสียระหว่างการต้ม และค่าการเกาะติดที่ผิวหน้าต่ำที่สุด และน้ำหนักที่ได้หลังการต้ม ค่าความต้านทานต่อการดึงขาด และค่าความแน่นเนื้อสูงที่สุดซึ่งเป็นคุณลักษณะที่ต้องการของผลิตภัณฑ์พาสต้า ดังนั้นจึงเลือกไปศึกษาในขั้นต่อไป

2.3 ผลการศึกษาปริมาณของเอนไซม์ทรานส์กลูตามิเนสที่เหมาะสมที่ใช้เติมในผลิตภัณฑ์พาสต้าจากข้าวเจ้า

จากการวิเคราะห์คุณภาพหลังการต้มของพาสต้าข้าวเจ้าเสริมแป้งถั่วแดงที่เตรียมจากส่วนผสมแป้งความชื้นร้อยละ 35 และเติมเอนไซม์ทรานส์กลูตามิเนสร้อยละ 0 0.25 0.50 0.75 และ 1.00 (โดยน้ำหนักแป้ง) ได้ผลการวิเคราะห์คุณภาพ ดังนี้

2.3.1 ผลการวิเคราะห์คุณภาพหลังการต้ม

จากการวิเคราะห์คุณภาพหลังการต้มของพาสต้าข้าวเจ้าเสริมแป้งถั่วแดงที่เติมเอนไซม์ทรานส์กลูตามิเนสในระดับต่างๆ ได้ผลการวิเคราะห์ดังตารางที่ 4-27

ตารางที่ 4-27 คุณภาพหลังการต้มของพาสต้าข้าวเจ้าเสริมแป้งถั่วแดงที่เติมเอนไซม์ทรานส์กลูตามิเนสในระดับต่างๆ

ปริมาณเอนไซม์ ทรานส์กลูตามิเนส (ร้อยละ)	เวลาที่เหมาะสมใน การต้มสุก (นาที)	ปริมาณของแข็งที่สูญเสีย ระหว่างการต้ม (ร้อยละ)	น้ำหนักที่ได้หลังการต้ม ^{ns} (ร้อยละ)
0	17	21.36 ^a ± 0.45	181.33 ± 7.06
0.25	17	15.91 ^b ± 0.56	189.36 ± 6.81
0.50	17	13.95 ^c ± 0.77	189.71 ± 4.77
0.75	17	14.09 ^c ± 0.70	185.25 ± 2.69
1.00	17	13.16 ^c ± 0.48	192.06 ± 6.83

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

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

จากการวิเคราะห์คุณภาพหลังการต้มพบว่า เมื่อปริมาณเอนไซม์ทรานส์กลูตามิเนสเพิ่มขึ้น (ร้อยละ 0-1) มีผลทำให้ปริมาณของแข็งที่สูญเสียระหว่างการต้มมีค่าลดลงจากร้อยละ 21.56 เป็นร้อยละ 13.16 เนื่องมาจากเอนไซม์ทรานส์กลูตามิเนสทำหน้าที่ประสานให้เกิดโครงสร้างของโปรตีน โดยเร่งให้เกิดการเชื่อมพันธะโควาเลนต์ระหว่างกรดอะมิโนกลูตามีน (glutamine) และไลซีน (lysine) โดยในแป้งถั่วแดงประกอบไปด้วยกรดอะมิโนกลูตามีนและไลซีนซึ่งเป็นสารตั้งต้นของเอนไซม์ทรานส์กลูตามิเนสที่ทำให้เกิดการเชื่อมพันธะระหว่างกลูตามีนและไลซีน เป็นผลให้โครงสร้างโปรตีนในแป้งถั่วแดงแข็งแรงขึ้นเมื่อมีการเติมปริมาณเอนไซม์ทรานส์กลูตามิเนสที่เหมาะสม โดยโปรตีนจะห่อหุ้มเม็ดสตาร์ชทำให้เม็ดสตาร์ชหลุดออกมาระหว่างการต้มได้น้อยลง อย่างไรก็ตามการเติมเอนไซม์ทรานส์กลูตามิเนสทุกระดับไม่มีผลต่อเวลาในการต้มสุกและน้ำหนักที่ได้หลังการต้ม โดยพาสต้าข้าวเจ้าเสริมแป้งถั่วแดงที่เติมและไม่เติมเอนไซม์ทรานส์กลูตามิเนสใช้เวลาในการต้มสุก 17 นาที และน้ำหนักที่ได้หลังการต้มมีค่าอยู่ในช่วงร้อยละ 181.23 - 192.06

2.3.2 ผลการวัดค่าสี

ผลการวิเคราะห์ค่าสีของพาสต้าอบแห้งและต้มสุกที่เติมเอนไซม์ทรานส์กลูตามิเนสในระดับต่างๆ แสดงดังตารางที่ 4-28 และ 4-29

ตารางที่ 4-28 ค่าสีของพาสต้าข้าวเจ้าเสริมแป้งถั่วแดงอบแห้งที่เติมเอนไซม์ทรานส์กลูตามิเนสในระดับต่างๆ

ปริมาณเอนไซม์ ทรานส์กลูตามิเนส (ร้อยละ)	L* ^{ns}	a* ^{ns}	b* ^{ns}	C* ^{ns}	h* ^{ns} (°)
0	28.73 ± 4.63	7.32 ± 0.67	5.52 ± 0.13	9.17 ± 0.71	36.92 ± 0.81
0.25	26.53 ± 1.79	7.50 ± 0.38	5.40 ± 0.31	9.24 ± 0.43	35.32 ± 0.93
0.50	26.85 ± 0.84	7.51 ± 0.14	5.57 ± 0.22	9.35 ± 0.24	36.82 ± 0.36
0.75	29.15 ± 1.49	7.56 ± 0.16	5.56 ± 0.12	9.39 ± 0.15	36.34 ± 0.83
1.00	29.29 ± 0.68	7.35 ± 0.23	5.53 ± 0.19	9.10 ± 0.12	36.56 ± 0.45

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

ตารางที่ 4-29 ค่าสีของพาสต้าข้าวเจ้าเสริมแป้งถั่วแดงต้มสุกที่เติมเอนไซม์ทรานส์กลูตามิเนสในระดับต่างๆ

ปริมาณเอนไซม์ ทรานส์กลูตามิเนส (ร้อยละ)	L* ^{ns}	a* ^{ns}	b* ^{ns}	C* ^{ns}	h* ^{ns} (°)
0	37.25 ± 1.37	6.39 ± 0.19	1.45 ± 0.11	6.56 ± 0.20	12.82 ± 0.54
0.25	37.14 ± 0.19	6.28 ± 0.31	1.92 ± 0.39	6.57 ± 0.40	16.88 ± 1.30
0.50	38.78 ± 1.11	6.57 ± 0.39	1.89 ± 0.67	6.85 ± 0.56	15.79 ± 1.42
0.75	37.53 ± 1.07	5.85 ± 0.53	1.78 ± 0.73	6.13 ± 0.73	16.49 ± 1.76
1.00	37.70 ± 1.57	6.34 ± 0.27	2.09 ± 0.75	6.71 ± 0.35	18.12 ± 1.96

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

จากผลการวิเคราะห์ค่าสี พบว่าปริมาณเอนไซม์ที่เพิ่มขึ้นไม่มีผลต่อค่าสีของพาสต้าทั้งอบแห้งและต้มสุก โดยค่าสีของพาสต้าทุกตัวอย่างไม่แตกต่างกัน ($p \geq 0.05$) โดยมีค่า L^* อยู่ในช่วง 26.53 – 38.78 ค่า a^* อยู่ในช่วง 5.85 – 7.56 ค่า b^* อยู่ในช่วง 1.44 – 5.57 ค่า c^* อยู่ในช่วง 6.13 – 9.39 และ ค่า h^* อยู่ในช่วง 12.59 – 36.92 องศา

2.3.3 ผลการวิเคราะห์ลักษณะเนื้อสัมผัส

จากการวิเคราะห์ลักษณะเนื้อสัมผัสของพาสต้าข้าวเจ้าเสริมแป้งถั่วแดงที่เติมเอนไซม์ทรานส์กลูตามิเนสในระดับต่างๆ ได้ผลการวิเคราะห์ดังตารางที่ 4-30

ตารางที่ 4-30 ลักษณะเนื้อสัมผัสของพาสต้าข้าวเจ้าเสริมแป้งถั่วแดงที่เติมเอนไซม์ทรานส์กลูตามิเนสในระดับต่างๆ

ปริมาณเอนไซม์ ทรานส์กลูตามิเนส (ร้อยละ)	ความแน่นเนื้อ (g_f)	ค่าความต้านทานต่อการ การดึงขาด (g_f)	การเกาะติดกันที่ ผิวหน้า ($g_f \cdot s$)
0	311.52 ^d ± 6.35	25.91 ^c ± 2.38	2.05 ^a ± 0.11
0.25	379.32 ^c ± 20.83	33.59 ^b ± 0.48	1.46 ^b ± 0.03
0.50	423.98 ^b ± 14.51	36.01 ^b ± 1.29	1.25 ^c ± 0.02
0.75	440.19 ^{ab} ± 8.15	40.97 ^a ± 0.71	1.19 ^{cd} ± 0.08
1.00	461.84 ^a ± 7.31	41.46 ^a ± 1.89	1.11 ^d ± 0.10

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

จากผลการวิเคราะห์ลักษณะเนื้อสัมผัส พบว่า เมื่อปริมาณเอนไซม์ทรานส์กลูตามิเนสเพิ่มขึ้นทำให้ค่าความแน่นเนื้อ และค่าความต้านทานต่อการดึงขาดเพิ่มขึ้น ($p < 0.05$) ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากเอนไซม์ทรานส์กลูตามิเนสทำหน้าที่เชื่อมหมู่อะมิโนกลูตามีนและไลซีนที่อยู่ในแป้งถั่วแดงซึ่งเป็นสารตั้งต้นของเอนไซม์ทรานส์กลูตามิเนสทำให้โครงร่างของโปรตีนมีความแข็งแรง เส้นพาสต้าหลังการต้มสุกจึงมีความแข็งแรงและยืดหยุ่นมากขึ้น ส่วนค่าการเกาะติดที่ผิวหน้าพบว่ามีการลดลง ซึ่งเป็นผลมาจากการเติมเอนไซม์ในปริมาณที่เพิ่มขึ้นทำให้โครงร่างโปรตีนแข็งแรง อะไมโลสในเม็ดสตาร์ชจึงหลุดออกมาที่ผิวหน้าได้น้อยลง

2.3.4 ผลการประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัส

จากการทดสอบทางประสาทสัมผัสของพาสต้าข้าวเจ้าเสริมแป้งถั่วแดงที่เติมเอนไซม์ทรานส์กลูตามิเนสในระดับต่างๆ โดยใช้ 9-point hedonic scale ได้ผลดังตารางที่ 4-31

ตารางที่ 4-31 คะแนนการทดสอบทางประสาทสัมผัสของพาสต้าข้าวเจ้าเสริมแป้งถั่วแดงที่เติม เอนไซม์ทรานส์กลูตามิเนสในระดับต่างๆ

ปริมาณเอนไซม์ ทรานส์กลูตามิเนส (ร้อยละ)	ลักษณะ ปรากฏ ^{ns}	สี ^{ns}	กลิ่น ^{ns}	รสชาติ ^{ns}	เนื้อสัมผัส	ความชอบ โดยรวม
0	6.83 ± 0.58	6.60 ± 0.55	6.87 ± 0.76	6.77 ± 0.84	6.60 ^b ± 0.92	6.70 ^b ± 0.64
0.25	6.87 ± 0.88	6.87 ± 0.88	6.87 ± 0.88	6.70 ± 0.74	6.37 ^b ± 0.91	6.73 ^b ± 0.73
0.50	6.93 ± 0.85	6.83 ± 0.90	6.90 ± 0.70	6.63 ± 0.71	7.10 ^a ± 0.83	7.27 ^a ± 0.73
0.75	6.87 ± 0.88	6.90 ± 0.87	6.77 ± 1.28	6.83 ± 0.90	6.73 ^{ab} ± 1.00	6.83 ^b ± 1.00
1.00	6.73 ± 0.85	6.93 ± 0.77	6.77 ± 0.96	6.73 ± 0.89	6.33 ^b ± 1.27	6.53 ^b ± 0.96

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

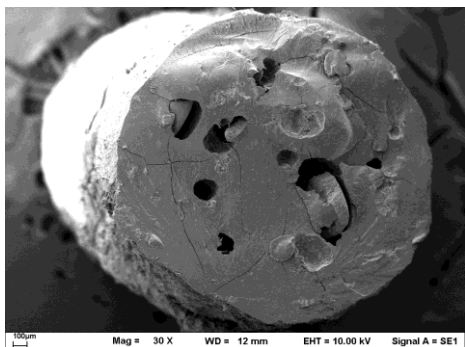
^{ns} หมายถึง ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \geq 0.05$)

จากผลการทดสอบทางประสาทสัมผัส พบว่าพาสต้าที่เติมเอนไซม์ทรานส์กลูตามิเนสระดับต่างๆ ได้คะแนนความชอบด้านเนื้อสัมผัสและความชอบโดยรวมแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) แต่คะแนนความชอบในด้านลักษณะปรากฏ สี กลิ่น และรสชาติไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \geq 0.05$) โดยได้คะแนนความชอบด้านลักษณะปรากฏ ด้านสี ด้านกลิ่น และรสชาติอยู่ในช่วง 6.60 – 6.93 คะแนนซึ่งอยู่ในเกณฑ์ชอบเล็กน้อยถึงชอบปานกลาง โดยพาสต้าข้าวเจ้าเสริมแป้งถั่วแดงที่เติมเอนไซม์ทรานส์กลูตามิเนสร้อยละ 0.50 ได้คะแนนความชอบด้านเนื้อสัมผัสและความชอบโดยรวมสูงสุด ซึ่งสอดคล้องกับผลการวัดค่าเนื้อสัมผัสที่พบว่าพาสต้าตัวอย่างนี้มีค่าการต้านทานต่อการดึงขาดและความแน่นเนื้อสูงที่สุด แต่มีค่าการเกาะติดกันที่ผิวหน้าต่ำที่สุด

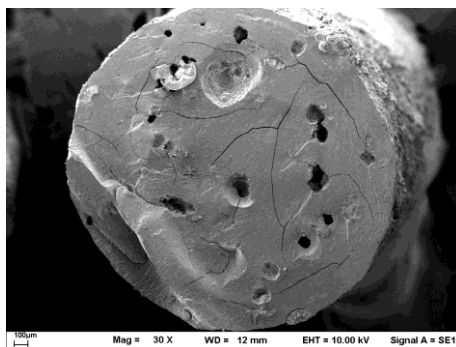
2.3.5 ผลการวิเคราะห์โครงสร้างภายใน (Microstructure)

จากการวิเคราะห์โครงสร้างภายในของพาสต้าที่เติมเอนไซม์เอนไซม์ทรานส์กลูตามิเนสระดับต่างๆ โดยใช้ Scanning Electron Microscope ที่กำลังขยาย 30X และ 100X ได้ผลดังภาพที่ 4-7 และ 4-8 ตามลำดับ

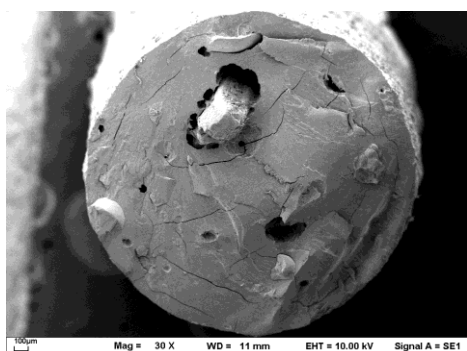
จากการศึกษาโครงสร้างภายในของพาสต้าที่เติมเอนไซม์เอนไซม์ทรานส์กลูตามิเนส (TG) ระดับต่างๆ ที่กำลังขยาย 30X พบว่า พาสต้าที่ไม่ได้เติมเอนไซม์ทรานส์กลูตามิเนส (ร้อยละ 0) มีลักษณะผิวด้านนอกของเส้นพาสต้าที่ขรุขระ มีโพรงขนาดไม่สม่ำเสมอทั้งขนาดเล็กและขนาดใหญ่กระจายอยู่ทั่วบนเส้นพาสต้า และมีรอยแตกจำนวนมาก แต่เมื่อปริมาณเอนไซม์ทรานส์กลูตามิเนสเพิ่มขึ้น ผิวด้านนอกของเส้นพาสต้ามีลักษณะที่เรียบเนียนขึ้น และมีจำนวนโพรงขนาดใหญ่ลดลง รวมถึงพบรอยแตกบนเส้นพาสต้าลดลง ซึ่งสังเกตเห็นได้ชัดเจนขึ้นที่กำลังขยาย 100X ที่พบว่าเส้นพาสต้ามีความลักษณะที่แน่นและเรียบเนียนมากขึ้น



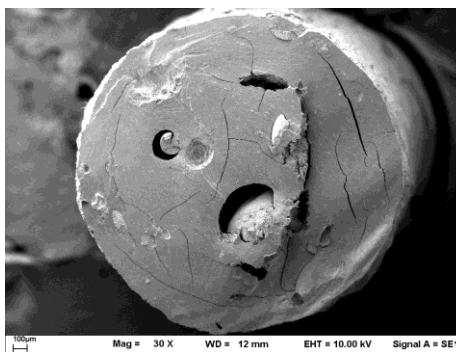
0% TG



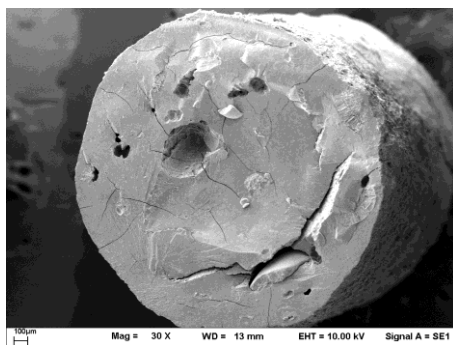
0.25% TG



0.50% TG

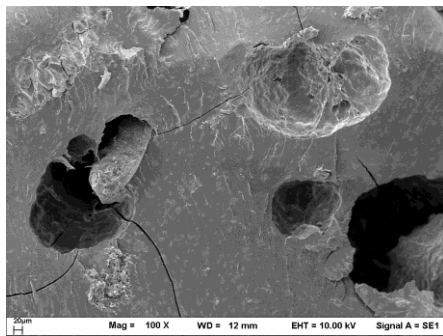


0.75% TG

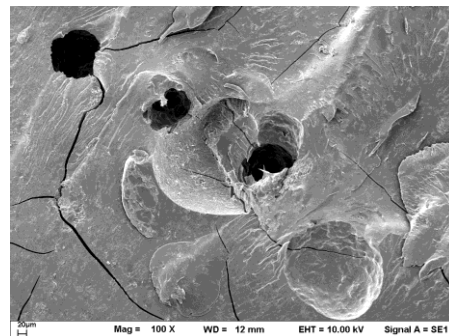


1.00% TG

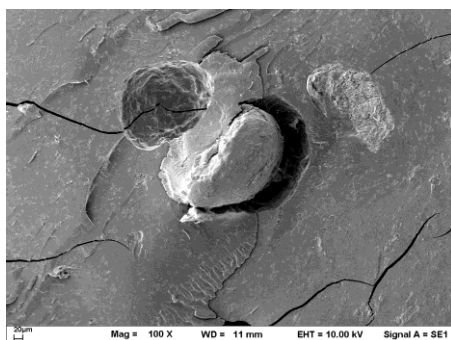
ภาพที่ 4-7 โครงสร้างภายในของพาสต้าที่เติมเอนไซม์เอนไซม์ทรานส์กลูตามิเนส (TG) ระดับต่างๆ ที่กำลังขยาย 30x



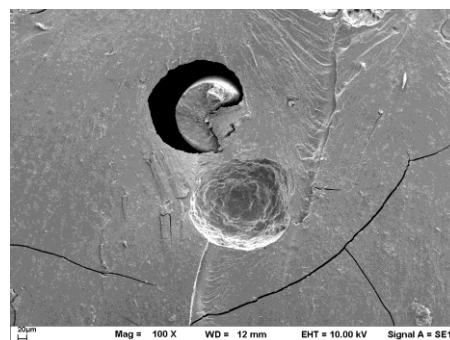
0% TG



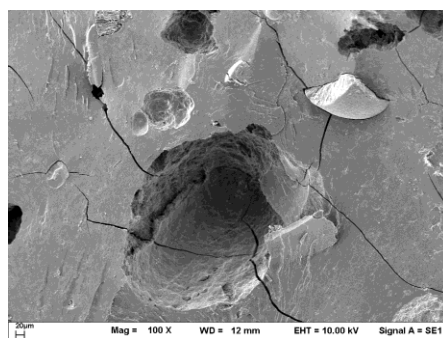
0.25% TG



0.50% TG



0.75% TG



1.00% TG

ภาพที่ 4-8 โครงสร้างภายในของพาสต้าที่เติมเอนไซม์เอนไซม์ทรานส์กลูตามิเนส (TG) ระดับต่าง ๆ ที่กำลังขยาย 100x

เมื่อพิจารณาผลการทดสอบทางประสาทสัมผัสและผลการวิเคราะห์คุณภาพของพาสต้าพบว่าพาสต้าข้าวเจ้าเสริมแป้งถั่วแดงที่เติมเอนไซม์ทรานส์กลูตามิเนสร้อยละ 0.50 (โดยน้ำหนักแป้ง) ได้คะแนนความชอบโดยรวมสูงสุด และมีปริมาณของแข็งที่สูญเสียระหว่างการต้มและค่าการเกาะติดกันที่ผิวหน้าต่ำ อีกทั้งยังมีค่าความต้านทานต่อการดึงขาดและค่าความแน่นเนื้อสูง ดังนั้นจึงเลือกพาสต้าข้าวเจ้าเสริมแป้งถั่วแดงที่เติมเอนไซม์ทรานส์กลูตามิเนสร้อยละ 0.50 ไปศึกษาในขั้นตอนต่อไป

3. ผลการพัฒนากระบวนการผลิตพาสต้าที่เหมาะสม

จากการศึกษาหาอุณหภูมิบาร์เรลและความเร็วรอบของเครื่องเอกซ์ทรูเดอร์ที่เหมาะสมในการผลิตพาสต้าข้าวเจ้าทดแทนบางส่วนด้วยแป้งถั่วแดงร้อยละ 40 ที่ใช้ปริมาณความชื้นส่วนผสมร้อยละ 35 โดยแปรอุณหภูมิบาร์เรลของเครื่องเอกซ์ทรูเดอร์ (Heater 1) 3 ระดับ คือ 80 90 และ 100 องศาเซลเซียส และแปรความเร็วรอบของสกรู 3 ระดับ คือ 80 100 และ 120 รอบต่อนาที ได้ผลการวิเคราะห์คุณภาพหลังการต้ม ค่าสี ลักษณะเนื้อสัมผัส และการทดสอบทางประสาทสัมผัส ดังนี้

3.1 ผลการวิเคราะห์คุณภาพหลังการต้ม

จากการวิเคราะห์คุณภาพหลังการต้มของพาสต้าที่เตรียมโดยใช้อุณหภูมิบาร์เรลและความเร็วรอบสกรูระดับต่างๆ ได้ผลการวิเคราะห์ทางสถิติแสดงดังตารางที่ 4-32 และผลของอุณหภูมิบาร์เรลและความเร็วรอบสกรูต่อคุณภาพหลังการต้มของพาสต้าแสดงดังตารางที่ 4-33 - 4-35

ตารางที่ 4-32 ค่า F(p) ของคุณภาพหลังการต้มของพาสต้าข้าวเจ้าเสริมแป้งถั่วแดงที่เตรียมโดยใช้อุณหภูมิบาร์เรลและความเร็วรอบสกรูระดับต่างๆ

แหล่งความแปรปรวน	F(p)		
	ปริมาณของแข็งที่สูญเสียระหว่างการต้ม	น้ำหนักที่ได้หลังการต้ม	อัตราการพองตัวของเส้นก่อนต้ม
อุณหภูมิ	94.134*(0.000)	761.171*(0.000)	186.333*(0.000)
ความเร็วรอบ	11.998*(0.000)	80.492*(0.000)	174.083*(0.000)
อุณหภูมิ x ความเร็วรอบ	1.451 ^{ns} (0.258)	5.060*(0.007)	56.333*(0.000)

* หมายถึง มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

^{ns} หมายถึง ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

จากผลการวิเคราะห์ทางสถิติ (ตารางที่ 4-32) พบว่าปัจจัยหลัก (อุณหภูมิของบาร์เรลและความเร็วรอบสกรู) และปัจจัยร่วมระหว่างอุณหภูมิของบาร์เรลและความเร็วรอบสกรูมีผลต่อน้ำหนักที่ได้หลังการต้มและอัตราการพองตัวของเส้นก่อนต้มอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) ส่วนปัจจัยร่วมระหว่างอุณหภูมิของบาร์เรลและความเร็วรอบสกรูไม่มีผลต่อปริมาณของแข็งที่สูญเสียระหว่างการต้ม จึงพิจารณาเฉพาะปัจจัยหลัก ซึ่งพบว่าอุณหภูมิของบาร์เรลมีผลต่อปริมาณของแข็งที่สูญเสียระหว่างการต้มอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

ตารางที่ 4-33 อัตราการพองตัวและคุณภาพในการต้มของพาสต้าข้าวเจ้าเสริมแป้งถั่วแดงที่เตรียมโดยใช้อุณหภูมิบาร์เรลและความเร็วรอบสกรูระดับต่าง ๆ

อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	ความเร็วรอบ (รอบ/นาที)	เวลาที่ เหมาะสมใน การต้มสุก (นาที)	อัตราการพองตัว ของเส้นก่อนต้ม	น้ำหนักที่ได้หลัง การต้ม (ร้อยละ)
80	80	13.00	1.25 ^f ±0.00	178.33 ^h ±0.33
	100	13.00	1.21 ^f ±0.02	178.88 ^h ±0.33
	120	13.50	1.33 ^{cd} ±0.02	183.34 ^f ±1.65
90	80	14.00	1.25 ^f ±0.00	185.57 ^e ±0.24
	100	14.00	1.27 ^{ef} ±0.02	188.40 ^d ±0.93
	120	15.00	1.38 ^{bc} ±0.02	190.02 ^c ±0.64
100	80	16.00	1.32 ^{de} ±0.02	193.07 ^b ±0.78
	100	16.50	1.42 ^b ±0.05	193.47 ^b ±0.39
	120	17.00	1.90 ^a ±0.05	196.38 ^a ±0.36

a,b,c... ตัวเลขที่มีอักษรกำกับต่างกันตามแนวดิ่งมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ(p<0.05)

จากผลการวิเคราะห์คุณภาพหลังการต้ม พบว่าเมื่ออุณหภูมิของบาร์เรลและความเร็วรอบเพิ่มขึ้นมีผลทำให้ระยะเวลาในการต้มสุก อัตราการพองตัวของเส้นและน้ำหนักที่ได้หลังการต้มเพิ่มขึ้น โดย ปิยามาศ มหาบุญญานนท์ (2546) รายงานว่า ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อระยะเวลาในการต้มของสปาเกตตีที่ผลิตจากข้าวเหลืองประทิว 123 ประกอบด้วยปัจจัยหลัก ได้แก่ความเร็วรอบสกรู อุณหภูมิของบาร์เรล ความชื้น และปัจจัยร่วมจากความเร็วรอบสกรูและความชื้น และความเร็วรอบสกรูกับอุณหภูมิของบาร์เรล โดยปัจจัยร่วมระหว่างอุณหภูมิของบาร์เรลและความเร็วรอบสกรูมีอิทธิพลต่อระยะเวลาในการต้มสุก รวมทั้งส่งผลต่อขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของเส้นพาสต้าหรืออัตราการพองตัว (Expansion ratio) ซึ่งคำนวณจากอัตราส่วนของเส้นผ่าศูนย์กลางต่อเส้นผ่าศูนย์กลางของหน้าแปลน การใช้อุณหภูมิบาร์เรลและความเร็วรอบสกรูเพิ่มขึ้นทำให้อัตราการพองตัวของเส้นพาสต้ามีแนวโน้มเพิ่มขึ้น เนื่องจากการใช้อุณหภูมิและความเร็วที่สูงขึ้นมีผลต่อการเกิดเจลและอัตราการเหี่ยวของวัตถุดิบ ทำให้ส่วนผสมมีความหนืดเพิ่มขึ้นเมื่ออัดผ่านรูหน้าแปลน เส้นพาสต้าจึงมีอัตราการพองตัวเพิ่มขึ้น จึงต้องใช้ระยะเวลาในการต้มนานขึ้น โดยพาสต้าที่เตรียมโดยใช้อุณหภูมิบาร์เรล 100 องศาเซลเซียส ความเร็วรอบสกรู 120 รอบต่อนาทีมีอัตราการพองตัวสูงสุด (1.90) โดยอัตราการพองตัวมีความสัมพันธ์กับระยะเวลาที่ใช้ในการต้มสุก สอดคล้องกับผลการวิจัยของ Wang et al., (1999) ที่กล่าวว่าเมื่อใช้อุณหภูมิบาร์เรลและความเร็วรอบสกรูเพิ่มขึ้น ทำให้อัตราการพองตัวของเส้นพาสต้าเพิ่มขึ้นและส่งผลให้ต้องใช้ระยะเวลาในการต้มเพิ่มขึ้นด้วย

เมื่ออุณหภูมิบาร์เรลและความเร็วรอบสกรูเพิ่มขึ้น มีผลทำให้น้ำหนักหลังการต้มมีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p<0.05) เมื่อเพิ่มอุณหภูมิบาร์เรลและความเร็วรอบสกรูเพิ่มขึ้นส่งผลให้

น้ำหนักหลังต้มสูงขึ้น เนื่องจากสตาร์ชได้รับความร้อนจากกระบวนการเอ็กซ์ทรูชันทำให้สายอะไมโลส และสายอะไมโลเพคตินที่ยึดเกาะด้วยพันธะไฮโดรเจนถูกทำลายเมื่ออุณหภูมิเพิ่มสูงขึ้น ทำให้สตาร์ช เกิดโครงสร้างสามมิติที่แข็งแรงสามารถดูดซับและจับโมเลกุลของน้ำไว้ภายในโครงสร้างเป็นจำนวนมาก จึงส่งผลให้น้ำหนักหลังการต้มสูงขึ้น (Marti et al., 2010) โดยพาสต้าที่เตรียมโดยใช้อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส และความเร็วรอบ 120 รอบต่อนาทีมีน้ำหนักที่ได้หลังการต้มสูงสุด (ร้อยละ 196.38)

ตารางที่ 4-34 ปริมาณของแข็งที่สูญเสียระหว่างการต้มของพาสต้าข้าวเจ้าเสริมแป้งถั่วแดงที่เตรียม โดยใช้อุณหภูมิบาร์เลอร์ระดับต่างๆ

อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	ปริมาณของแข็งที่สูญเสียระหว่างการต้ม (ร้อยละ)
80	22.05 ^a ± 2.25
90	16.93 ^b ± 1.84
100	13.85 ^c ± 1.17

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

ตารางที่ 4-35 ปริมาณของแข็งที่สูญเสียระหว่างการต้มของพาสต้าข้าวเจ้าเสริมแป้งถั่วแดงที่เตรียม โดยใช้ความเร็วรอบสกรูระดับต่างๆ

ความเร็วรอบสกรู (รอบต่อนาที)	ปริมาณของแข็งที่สูญเสียระหว่างการต้ม (ร้อยละ)
80	19.31 ^a ± 4.56
100	16.86 ^b ± 3.24
120	16.66 ^b ± 3.49

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

เมื่อพิจารณาผลของอุณหภูมิบาร์เลอร์และความเร็วรอบสกรู พบว่าเส้นพาสต้ามีปริมาณของแข็งที่สูญเสียระหว่างการต้มลดลง อาจเนื่องจากเมื่อใช้อุณหภูมิบาร์เลอร์เพิ่มขึ้น มีผลทำให้สตาร์ช เกิดเป็นโครงสร้างตาข่ายสามมิติที่มีความแข็งแรงที่เกิดจากการเจลาตินไนเซชัน และเกิดการจัดเรียงตัวใหม่ด้วยพันธะไฮโดรเจนระหว่างโมเลกุลของสายอะไมโลสระหว่างกระบวนการเอ็กซ์ทรูชัน ส่วนการเพิ่มความเร็วยรอบของสกรูเป็นผลทำให้เกิดความร้อนภายในเครื่องเอ็กซ์ทรูเดอร์ โครงสร้างเม็ดสตาร์ช เกิดการจัดเรียงตัวกันแน่นจากการเกิดรีโทรเกรเดชัน ทำให้ปริมาณของแข็งที่สูญเสียระหว่างการต้มจึงมีค่าลดลง (Wang et al, 2016)

3.2 ผลการวัดสี

จากการวิเคราะห์ค่าสีของพาสต้าข้าวเจ้าเสริมแป้งถั่วแดงที่ผ่านการอบแห้งและต้มสุกที่ผลิต โดยกระบวนการเอ็กซ์ทรูชันที่อุณหภูมิและความเร็วรอบระดับต่างๆ ได้ผลการวิเคราะห์ทางสถิติแสดง

ดังตารางที่ 4-36 และ 4-40 ตามลำดับ ผลการวิเคราะห์ค่าสีของพาสต้าที่ผ่านการอบแห้งและต้มสุก แสดงดังตารางที่ 4-37 - 4-39 และตารางที่ 4-41 - 4-43 ตามลำดับ

ตารางที่ 4-36 ค่า F(p) ของค่า L*, a*, b*, c* และ h* ของพาสต้าข้าวเจ้าเสริมแป้งถั่วแดงที่ผ่านการอบแห้งที่เตรียมโดยใช้อุณหภูมิและความเร็วรอบระดับต่างๆ

แหล่งความแปรปรวน	F(p)				
	L*	a*	b*	c*	h*
อุณหภูมิ	3.538 ^{ns} (0.051)	2.001 ^{ns} (0.164)	1.999 ^{ns} (0.164)	1.147 ^{ns} (0.340)	4.571*(0.025)
ความเร็วรอบ	1.536 ^{ns} (0.242)	3.909*(0.039)	0.070 ^{ns} (0.932)	0.352 ^{ns} (0.708)	0.546 ^{ns} (0.588)
อุณหภูมิ x ความเร็วรอบ	1.106 ^{ns} (0.384)	1.536 ^{ns} (0.234)	0.317 ^{ns} (0.863)	0.338 ^{ns} (0.849)	0.658 ^{ns} (0.629)

* หมายถึง มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

ns หมายถึง ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \geq 0.05$)

จากผลการวิเคราะห์ทางสถิติของค่าสีของพาสต้าอบแห้ง (ตารางที่ 4-46) พบว่าปัจจัยร่วมระหว่างอุณหภูมิของบาร์เรลและความเร็วรอบไม่มีผลต่อค่าความสว่าง (L*) ค่าความเป็นสีแดง (a*) ค่าความเป็นสีเหลือง (b*) ค่าความเข้มสี (c*) และค่าเฉดสี (h*) จึงพิจารณาปัจจัยหลักพบว่า อุณหภูมิมีผลต่อค่าเฉดสี (h*) และความเร็วรอบมีผลต่อค่าความเป็นสีแดง (a*) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

เมื่อความเร็วรอบสกรูเพิ่มขึ้น มีผลทำให้ค่าความเป็นสีแดง (a*) มีค่าเพิ่มขึ้น ($p < 0.05$) อาจเนื่องจากการเพิ่มความเร็วยังสกรูในกระบวนการเอ็กซ์ทรูชันแบบใช้ความร้อนทำให้เกิดปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาล โดยเกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาลชนิดปฏิกิริยาเมลลาร์ดที่เกิดขึ้นระหว่างน้ำตาลรีดิวซ์และกรดอะมิโนจากแป้งข้าวเจ้าและแป้งถั่วแดง โดยเม็ดแป้งของข้าวเจ้าจะถูกเชื่อมเมื่อความเร็วของสกรูเพิ่มขึ้น มีผลทำให้โมเลกุลแป้งที่มีขนาดใหญ่แตกออกเป็นโมเลกุลที่มีขนาดเล็กลง เกิดการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างเป็นน้ำตาลรีดิวซ์ และในแป้งถั่วแดงยังมีกรดอะมิโนเป็นองค์ประกอบ เมื่อได้รับความร้อนเพิ่มขึ้นทำให้เกิดปฏิกิริยากับน้ำตาลรีดิวซ์ได้มากขึ้น (นิธิยา รัตนพนนท์, 2553) จากผลการทดลองพบว่า h* ของพาสต้าอบแห้งเมื่อใช้อุณหภูมิบาร์เรลเพิ่มขึ้นมีค่าเพิ่มขึ้น (51.37-55.31 องศา) โดย h* แสดงถึงสีของตัวอย่างที่ปรากฏโดยมีค่าอยู่ในสีแดง ซึ่งอาจเป็นผลมาจากการที่แป้งถั่วแดงมีแอนโทไซยานินซึ่งเป็นรงควัตถุที่ให้สีแดงเป็นองค์ประกอบ

ตาราง 4-37 ค่าสีของพาสต้าข้าวเจ้าเสริมแป้งถั่วแดงที่ผ่านการอบแห้งที่ผลิตโดยกระบวนการเอ็กซ์ทรูชันที่อุณหภูมิและความเร็วรอบระดับต่างๆ

อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	ความเร็วรอบ (รอบ/นาที)	ค่าสี		
		L* ^{ns}	b* ^{ns}	c* ^{ns}
80	80	38.35±3.49	11.03±0.85	13.34± 0.86
	100	37.89±3.00	10.65±1.67	13.04± 1.37
	120	37.73±0.64	10.64±1.12	12.89± 0.93
90	80	37.70±3.36	9.72±1.40	12.01± 1.32
	100	33.36±0.55	9.57±1.35	12.49± 1.28
	120	36.36±0.14	9.86±0.68	12.44± 0.64
100	80	36.22±2.42	9.46±0.68	12.11± 0.43
	100	35.33±1.11	10.15±1.47	12.96± 1.46
	120	37.73±0.64	10.64±1.12	12.89± 0.93

ns หมายถึง ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \geq 0.05$)

ตารางที่ 4-38 ค่าความเป็นสีแดง (a*) ของพาสต้าข้าวเจ้าเสริมแป้งถั่วแดงที่ผ่านการอบแห้งที่ความเร็วรอบสกรูระดับต่างๆ

ความเร็วรอบ(รอบต่อนาที)	ค่าความเป็นสีแดง (a*)
80	7.35 ^b ±0.41
100	7.83 ^a ±0.43
120	7.51 ^{ab} ±0.35

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

ตารางที่ 4-39 ค่าเฉดสี (h*) ของพาสต้าข้าวเจ้าเสริมแป้งถั่วแดงที่ผ่านการอบแห้งที่เตรียมโดยใช้อุณหภูมิบาร์เรลระดับต่าง ๆ

อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	ค่าเฉดสี (h*)
80	55.31 ^a ±2.86
90	52.06 ^b ±2.74
100	51.37 ^b ±2.82

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

ตารางที่ 4-40 ค่า F(p) ของค่า L*, a*, b*, c* และ h* ของพาสต้าข้าวเจ้าเสริมแป้งถั่วแดงที่ผ่านการต้มสุกที่เตรียมโดยใช้อุณหภูมิและความเร็วรอบระดับต่าง ๆ

แหล่งความแปรปรวน	F(p)				
	L*	a*	b*	c*	h*
อุณหภูมิ	0.407 ^{ns} (0.672)	2.020 ^{ns} (0.162)	8.771*(0.002)	3.886*(0.040)	8.239*(0.003)
ความเร็วรอบ	5.060*(0.018)	2.629 ^{ns} (0.100)	0.534 ^{ns} (0.595)	2.259 ^{ns} (0.133)	0.380 ^{ns} (0.690)
อุณหภูมิ x ความเร็วรอบ	0.238 ^{ns} (0.913)	2.155 ^{ns} (0.116)	0.989 ^{ns} (0.438)	1.947 ^{ns} (0.146)	0.801 ^{ns} (0.540)

* หมายถึง มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p<0.05)

ns หมายถึง ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p<0.05)

จากผลการวิเคราะห์ทางสถิติของค่าสีของพาสต้าต้มสุก พบว่าปัจจัยร่วมระหว่างอุณหภูมิของบาร์เรลและความเร็วรอบไม่มีผลต่อค่าความสว่าง (L*) ค่าความเป็นสีแดง (a*) ค่าความเป็นสีเหลือง (b*) ค่าความเข้มสี (c*) และค่าเฉดสี (h*) จึงเลือกพิจารณาปัจจัยหลักพบว่า อุณหภูมิมีผลต่อค่าความเป็นสีเหลือง (b*) และค่าเฉดสี (h*) และเมื่อพิจารณาความเร็วรอบพบว่าไม่มีผลต่อค่าความสว่าง (L*) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p<0.05)

ตารางที่ 4-41 ค่าสีของพาสต้าข้าวเจ้าเสริมแป้งถั่วแดงที่ผ่านการต้มสุกที่ผลิตโดยกระบวนการเอ็กซ์ทรูชันที่อุณหภูมิและความเร็วรอบระดับต่างๆ

อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	ความเร็วรอบ (รอบ/นาที)	a* ^{ns}
80	80	7.50±1.74
	100	6.83±0.42
	120	6.56±0.24
90	80	5.35±1.20
	100	7.11±0.07
	120	6.19±0.35
100	80	5.56±1.19
	100	7.10±0.06
	120	6.37±0.90

ns หมายถึง ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p ≥ 0.05)

ตารางที่ 4-42 ค่าความสว่าง (L*) ของพาสต้าข้าวเจ้าเสริมแป้งถั่วแดงที่ผ่านการต้มสุกที่เตรียมโดยใช้ความเร็รรอบระดับต่างๆ

ความเร็รรอบ (รอบต่อนาที)	ค่าความสว่าง (L*)
80	41.09 ^a ±3.94
100	37.21 ^b ±1.12
120	37.54 ^b ±1.86

^{a,b} ตัวเลขที่มีอักษรกำกับต่างกันตามแนวตั้งมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p<0.05)

ตารางที่ 4-43 ค่าความเป็นสีเหลือง (b*) ความเข้มสี (c*) และเฉดสี (h*) ของพาสต้าข้าวเจ้าเสริมแป้งถั่วแดงที่ผ่านการต้มสุกที่เตรียมโดยใช้อุณหภูมิบาร์เรลระดับต่าง ๆ

อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	ค่าความเป็นสีเหลือง (b*)	ค่าความเข้มสี (c*)	ค่าเฉดสี (h*)
80	2.72 ^a ±0.89	7.52 ^a ±1.05	21.23 ^a ±6.31
90	1.42 ^b ±0.74	6.40 ^b ±1.11	12.20 ^b ±5.13
100	1.39 ^b ±0.60	6.54 ^b ±0.98	11.93 ^b ±4.20

^{a,b} ตัวเลขที่มีอักษรกำกับต่างกันตามแนวตั้งมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p<0.05)

จากผลการวิเคราะห์ค่าสีของพาสต้าต้มสุก พบว่าเมื่ออุณหภูมิบาร์เรลและความเร็รรอบสกรูเพิ่มขึ้น ค่าความเป็นสีแดงของพาสต้าข้าวเจ้าเสริมแป้งถั่วแดงทุกตัวอย่างมีค่าไม่แตกต่างกัน (p≥0.05) เมื่อความเร็รรอบของสกรูเพิ่มขึ้นเป็นผลทำให้ค่าความสว่างลดลงซึ่งอาจเกิดจากปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาล ทำให้เส้นพาสต้ามีสีคล้ำมากขึ้น และเมื่ออุณหภูมิบาร์เรลเพิ่มขึ้นมีผลทำให้ค่าความเป็นสีเหลือง ค่าความเข้มสี และค่าเฉดสีลดลง โดยมีรายงานว่าถั่วแดงมีปริมาณเบต้าแคโรทีน 16 ไมโครกรัม/100 กรัม (กรมอนามัย, 2554) การใช้ความร้อนอาจทำให้เบต้าแคโรทีนที่อยู่ในแป้งถั่วแดงถูกทำลาย ทำให้ค่า b* และค่า c* ของพาสต้าลดลง อย่างไรก็ตามพาสต้าต้มสุกมี h* อยู่ในช่วง 11.93 - 21.23 องศา โดยแสดงถึงสีของตัวอย่างที่ปรากฏในช่วงสีแดง

3.3 ผลการวิเคราะห์ลักษณะเนื้อสัมผัส

จากการวิเคราะห์ลักษณะเนื้อสัมผัสของพาสต้าต้มสุก ที่ผลิตโดยกระบวนการเอ็กซ์ทรูชันที่อุณหภูมิบาร์เรลและความเร็รรอบสกรูระดับระดับต่างๆ ได้ผลการวิเคราะห์ทางสถิติแสดงดังตารางที่ 4-44 ผลการวิเคราะห์ลักษณะเนื้อสัมผัสดังตารางที่ 4-55

ตารางที่ 4-44 ค่า F(p) ของค่าความแน่นเนื้อ ค่าความต้านทานต่อการดึงขาด และค่าการยืดเกาะที่ผิวหน้าของพาสต้าข้าวเจ้าเสริมแป้งถั่วแดงที่เตรียมโดยใช้อุณหภูมิบาร์เรลและความเร็วรอบสกรูระดับต่างๆ

แหล่งความแปรปรวน	F(p)		
	ค่าความแน่นเนื้อ	ค่าความต้านทานต่อการดึงขาด	ค่าการยืดเกาะที่ผิวหน้า
อุณหภูมิ	94.338*(0.000)	84.585*(0.000)	34.118*(0.000)
ความเร็วรอบ	93.023*(0.000)	367.634*(0.000)	89.270*(0.000)
อุณหภูมิ X ความเร็วรอบ	18.331*(0.000)	21.789*(0.000)	17.696*(0.000)

* หมายถึง มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

จากผลการวิเคราะห์ทางสถิติ พบว่า อุณหภูมิบาร์เรล ความเร็วรอบสกรู และปัจจัยร่วมระหว่างอุณหภูมิบาร์เรลและความเร็วรอบสกรูมีผลต่อค่าความแน่นเนื้อ ค่าความต้านทานต่อการดึงขาด และค่าการยืดเกาะที่ผิวหน้าของพาสต้าอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

ตารางที่ 4-45 ลักษณะเนื้อสัมผัสของพาสต้าข้าวเจ้าเสริมแป้งถั่วแดงที่เตรียมโดยใช้อุณหภูมิบาร์เรลและความเร็วรอบสกรูระดับต่าง ๆ

อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	ความเร็วรอบ (รอบ/นาที)	ค่าความแน่นเนื้อ (gf)	ค่าความต้านทานต่อการดึงขาด (gf)	ค่าการยืดเกาะที่ผิวหน้า (gf.s)
80	80	330.52 ^e ± 16.28	24.69 ^d ± 2.18	7.22 ^{ab} ± 0.19
	100	348.17 ^{cde} ± 16.73	36.04 ^c ± 0.56	6.39 ^c ± 0.37
	120	366.92 ^{cd} ± 9.04	44.89 ^{ab} ± 1.01	5.67 ^d ± 0.13
90	80	342.02 ^{de} ± 24.91	35.45 ^c ± 1.98	7.47 ^{ab} ± 0.23
	100	445.55 ^b ± 25.68	37.40 ^c ± 0.87	7.33 ^{ab} ± 0.23
	120	462.95 ^b ± 19.31	47.88 ^a ± 0.24	6.92 ^{bc} ± 0.52
100	80	379.20 ^c ± 16.60	37.77 ^d ± 0.05	7.67 ^a ± 0.04
	100	445.17 ^b ± 19.14	39.74 ^c ± 0.80	6.45 ^c ± 0.31
	120	574.60 ^a ± 9.58	48.30 ^a ± 0.44	4.44 ^e ± 0.21

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

ผลการวิเคราะห์ลักษณะเนื้อสัมผัส พบว่าเมื่ออุณหภูมิบาร์เรลและความเร็วรอบสกรูเพิ่มขึ้นทำให้ค่าความต้านทานต่อการดึงขาดและค่าความแน่นเนื้อเพิ่มขึ้น ($p < 0.05$) โดยที่อุณหภูมิบาร์เรล 100 องศาเซลเซียส และความเร็วรอบสกรู 120 รอบต่อนาที พาสต้ามีค่าความต้านทานต่อการดึงขาดสูงที่สุด (48.30 g) และมีค่าความแน่นเนื้อสูงที่สุด (574.60 gf) เนื่องจากเมื่อใช้ความเร็วรอบสกรูสูงเกิดความร้อนจากแรงเฉือนของสกรูให้กับแป้งที่ถูกผนวกลึกลงอยู่ในบาร์เรลประกออบกับความร้อนจากอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นทำให้แป้งเกิดเจลลาคีโนซิสเซชันและเกิดโครงร่างตาข่ายที่แข็งแรง เส้นพาสต้าที่ได้จึงมีความสามารถในการต้านทานต่อการดึงขาดและความแน่นเนื้อสูง โดยความต้านทานต่อแรงดึงขาดมีความสัมพันธ์กับความแข็งแรงของเจลที่ได้จากแป้งเมื่อผ่านกระบวนการผลิต (ปิยามาศ มหา

บุญญานนท์, 2546) เมื่อพิจารณาค่าการยึดเกาะที่ผิวหน้า พบว่าเมื่ออุณหภูมิบาร์เรลและความเร็วรอบสกรูเพิ่มขึ้นทำให้ค่าการยึดเกาะที่ผิวหน้ามีแนวโน้มลดลง อาจเนื่องจากการเพิ่มอุณหภูมิบาร์เรลและความเร็วรอบสกรูทำให้แปงเกิดเจลได้สมบูรณ์ เส้นพาสต้าที่ได้จากกระบวนการผลิตจึงมีโครงสร้างที่แข็งแรง และเมื่อนำไปต้มอะไมโลสที่ผิวหน้าของเส้นอาจหลุดออกมาน้อยลง ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ (สันติ หิริญอร และ มาฤติ ผ่องพิพัฒน์พงศ์, 2551) ที่รายงานว่าสภาวะที่ความเร็วรอบของสกรูมีค่าสูงเกิดการส่งผ่านพลังงานความร้อน (Heat transfer) ไปยังเส้นพาสต้า ทำให้เส้นพาสต้ามีอุณหภูมิสูงเมื่อพาสต้าถูกอัดผ่านหน้าแปลน ปริมาณน้ำที่อยู่ภายในเนื้อพาสต้าจะระเหยออกสู่บรรยากาศอย่างรวดเร็ว จึงเป็นสาเหตุให้เส้นพาสต้ามีความแข็งแรงมาก แต่ที่ความเร็วรอบสกรู 80 รอบต่อนาที มีค่าการยึดเกาะที่ผิวหน้าเพิ่มขึ้นเล็กน้อยอาจเกิดจากการที่เส้นพาสต้ายังเกิดเจลได้ไม่สมบูรณ์ เมื่อนำไปต้มก็ส่งผลให้ผิวนอกของเส้นเปื่อยยุ่ยจึงมีค่าการเกาะติดที่ผิวหน้าเพิ่มขึ้นเนื่องมาจากน้ำส่วนเกินที่ไม่สามารถดูดซึมได้ที่ผิวของสပါเกตตีเกาะติดอยู่กับโมเลกุลของอะไมโลส (Dexter et al., 1983; Smewing, 1997)

3.4 ผลการประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัส

จากการทดสอบทางประสาทสัมผัสของพาสต้าข้าวเจ้าเสริมแป้งถั่วแดงเตรียมโดยใช้อุณหภูมิบาร์เรลและความเร็วรอบสกรูระดับต่าง ๆ โดยใช้ 9-point hedonic scale ได้ผลการวิเคราะห์ทางสถิติแสดงดังตารางที่ 4-46 และคะแนนการทดสอบทางประสาทสัมผัสแสดงดังตารางที่ 4-47

ตารางที่ 4-46 ค่า F(p) ของคะแนนการทดสอบทางประสาทสัมผัสของพาสต้าข้าวเจ้าเสริมแป้งถั่วแดงที่เตรียมโดยใช้อุณหภูมิบาร์เรลและความเร็วรอบสกรูระดับต่างๆ

แหล่งความแปรปรวน	F(p)					
	ลักษณะปรากฏ	สี	กลิ่น	รสชาติ	เนื้อสัมผัส	ความชอบโดยรวม
อุณหภูมิ	0.655 ^{ns} (0.520)	0.235 ^{ns} (0.791)	2.330 ^{ns} (0.100)	2.011 ^{ns} (0.136)	2.585 ^{ns} (0.078)	0.716 ^{ns} (0.490)
ความเร็วรอบ	2.551 ^{ns} (0.080)	1.312 ^{ns} (0.271)	0.876 ^{ns} (0.418)	1.359 ^{ns} (0.259)	4.503* (0.012)	1.666 ^{ns} (0.191)
อุณหภูมิ x ความเร็วรอบ	0.5338 ^{ns} (0.708)	1.635 ^{ns} (0.166)	0.630 ^{ns} (0.642)	0.171 ^{ns} (0.953)	2.449* (0.047)	0.841 ^{ns} (0.500)

* หมายถึง มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

ns หมายถึง ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \geq 0.05$)

จากผลการวิเคราะห์ทางสถิติ พบว่า ปัจจัยร่วมระหว่างอุณหภูมิบาร์เรลและความเร็วรอบสกรูมีผลต่อคะแนนความชอบด้านเนื้อสัมผัส ($p < 0.05$) แต่ไม่มีผลต่อคะแนนความชอบด้านลักษณะปรากฏ สี กลิ่น รสชาติ เนื้อสัมผัส และความชอบโดยรวม

ตารางที่ 4-47 คะแนนการทดสอบทางประสาทสัมผัสของพาสต้าข้าวเจ้าเสริมแป้งถั่วแดงที่เตรียมโดยใช้อุณหภูมิบาร์เรลและความเร็วรอบสกรูระดับต่างๆ

อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	ความเร็วรอบ(รอบ/นาที)	ลักษณะปรากฏ ^{ns}	สี ^{ns}	กลิ่น ^{ns}	รสชาติ ^{ns}	เนื้อสัมผัส	ความชอบโดยรวม ^{ns}
80	80	663±0.67	6.67±0.55	6.43 ±1.07	6.80±0.61	6.26 ^b ±1.01	6.66±0.71
	100	6.97±0.71	7.000±0.59	6.36±1.19	6.77±0.62	6.10 ^b ±1.21	6.66±0.84
	120	6.80±0.66	6.80±0.85	6.53±1.25	6.83±0.65	6.10 ^b ±1.37	6.13±1.38
90	80	6.87 ±0.82	6.90±0.84	6.53±1.01	7.00±0.79	6.26 ^b ±0.98	6.66±0.71
	100	6.90±0.76	6.87±0.97	6.46±0.97	6.80±0.71	6.10 ^b ±1.02	6.70±0.98
	120	6.97±0.62	6.70±0.83	6.56±1.10	7.03±0.80	6.10 ^b ±1.29	6.60±1.19
100	80	6.70±0.79	6.67±0.80	6.26±1.34	7.00±0.64	5.93 ^b ±1.22	6.23±1.19
	100	6.97±0.76	6.90±0.88	6.36±1.10	6.90±0.84	6.03 ^b ±1.24	6.50±1.13
	120	7.00±0.74	7.10±0.84	7.10±0.92	7.10±0.84	7.00 ^a ±0.83	7.13±0.62

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

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

จากผลการทดสอบทางประสาทสัมผัส พบว่าเมื่อใช้อุณหภูมิบาร์เรลและความเร็วรอบสกรูระดับต่างๆ ทำให้คะแนนด้านลักษณะปรากฏ สี กลิ่น รสชาติ และความชอบโดยรวมไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \geq 0.05$) แต่คะแนนความชอบด้านเนื้อสัมผัสแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) ซึ่งพาสต้าที่เตรียมโดยใช้อุณหภูมิบาร์เรล 100 องศาเซลเซียส กับความเร็วรอบสกรู 120 รอบต่อนาที ได้คะแนนความชอบด้านเนื้อสัมผัสสูงสุด (7.00 คะแนน) ซึ่งอยู่ในระดับชอบปานกลาง สอดคล้องกับผลการวิเคราะห์ลักษณะเนื้อสัมผัส (ค่าความแน่นเนื้อและค่าความต้านทานต่อการดึงขาด) ที่เพิ่มขึ้น เนื่องจากความแน่นเนื้อและความต้านทานต่อการดึงขาดเป็นคุณลักษณะที่ต้องการของเส้นพาสต้า ซึ่งเห็นได้จากผู้ทดสอบให้คะแนนความชอบด้านเนื้อสัมผัสที่แตกต่างกัน ในขณะที่ตัวอย่างพาสต้าที่เตรียมจากสภาวะอื่นๆ ได้คะแนนความชอบ ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \geq 0.05$)

เมื่อพิจารณาผลการทดสอบทางประสาทสัมผัสและคุณภาพหลังการต้ม พบว่า พาสต้าข้าวเจ้าเสริมแป้งถั่วแดงที่เตรียมโดยใช้อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส และความเร็วรอบ 120 รอบต่อนาที ได้คะแนนความชอบโดยรวมสูงสุด (7.13 คะแนน) มีค่าความแน่นเนื้อสูงสุด (574.60 gf) มีค่าปริมาณของแข็งที่สูญเสียหลังการต้มต่ำที่สุด (ร้อยละ 13.42) และน้ำหนักที่ได้หลังต้มสูงสุด (ร้อยละ 196.38) ดังนั้นจึงเลือกพาสต้าข้าวเจ้าเสริมแป้งถั่วแดงตัวอย่างนี้ไปศึกษาในขั้นตอนต่อไป

4. ผลการเปรียบเทียบคุณภาพทางเคมี กายภาพ และลักษณะทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์พาสต้าจากข้าวเจ้าเสริมแป้งถั่วกับผลิตภัณฑ์พาสต้าทางการค้า

จากการศึกษาคุณภาพของพาสต้าข้าวเจ้าเสริมแป้งถั่วแดง พาสต้าข้าวกล้องทางการค้าและพาสต้าข้าวสาลีทางการค้า ได้ผลการวิเคราะห์คุณภาพของผลิตภัณฑ์ ดังนี้

4.1 ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี

ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของพาสต้าข้าวเจ้าเสริมแป้งถั่วแดง พาสต้าข้าวกล้องทางการค้าและพาสต้าข้าวสาลีทางการค้าแสดงดังตารางที่ 4-48 และผลการวิเคราะห์สมบัติในการต้านอนุมูลอิสระแสดงตารางที่ 4-49 พบว่าพาสต้าข้าวเจ้าเสริมแป้งถั่วแดงมีปริมาณโปรตีนและเถ้าสูงกว่าพาสต้าข้าวเจ้าและพาสต้าข้าวสาลีทางการค้า เนื่องจากถั่วแดงมีปริมาณโปรตีนและแร่ธาตุสูงกว่าข้าวเจ้าและข้าวสาลี และพาสต้าที่ผลิตได้ยังมีการใช้แป้งถั่วแดงทดแทนแป้งข้าวเจ้าสูงถึงร้อยละ 40 โดยน้ำหนักแป้ง ทำให้พาสต้าข้าวเจ้าเสริมแป้งถั่วแดงมีปริมาณโปรตีนสูงกว่าพาสต้าข้าวกล้องและพาสต้าข้าวสาลีทางการค้า โดยโปรตีนจากแป้งถั่วแดงมีกรดอะมิโนที่จำเป็นหลายชนิด เช่น กลูตามีน ไลซีน เป็นต้น จากการวิเคราะห์ปริมาณสารต้านอนุมูลอิสระพบว่าพาสต้าข้าวเจ้าเสริมแป้งถั่วแดงมีปริมาณสารประกอบฟีนอลิก แอนโทไซยานิน และความสามารถในการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระสูงกว่าพาสต้าข้าวกล้องและพาสต้าข้าวสาลีทางการค้า เนื่องจากแป้งถั่วแดงประกอบด้วยปริมาณสารต้านอนุมูลอิสระตามธรรมชาติสูง

ตารางที่ 4-48 องค์ประกอบทางเคมีของพาสต้าข้าวเจ้าเสริมแป้งถั่วแดง พาสต้าข้าวกล้องและพาสต้าข้าวสาลีทางการค้า

องค์ประกอบทางเคมี	พาสต้าข้าวเจ้าเสริมแป้งถั่วแดง	พาสต้าข้าวกล้องทางการค้า	พาสต้าข้าวสาลีทางการค้า
ความชื้น (ร้อยละ)	10.65±0.08	10.15±0.04	10.36±0.06
โปรตีน ¹ (ร้อยละโดยน้ำหนักแห้ง)	15.44±0.00	8.94±0.04	13.51±0.12
เถ้า (ร้อยละโดยน้ำหนักแห้ง)	1.53±0.00	1.39±0.14	0.89±0.00
ไขมัน (ร้อยละโดยน้ำหนักแห้ง)	0.08±0.01	0.91±0.01	0.23±0.00
เส้นใย (ร้อยละโดยน้ำหนักแห้ง)	2.61±0.05	0.38±0.02	0.93±0.04
คาร์โบไฮเดรต (ร้อยละโดยน้ำหนักแห้ง)	80.34±0.01	89.18±0.64	85.38±0.12

¹ conversion factor = 6.25

ตารางที่ 4-49 สมบัติในการต้านอนุมูลอิสระและของพาสต้าข้าวเจ้าเสริมแป้งถั่วแดง พาสต้าข้าวกล้อง และพาสต้าข้าวสาลีทางการค้า

สมบัติในการต้านอนุมูลอิสระ	พาสต้าข้าวเจ้าเสริมแป้งถั่วแดง	พาสต้าข้าวกล้องทางการค้า	พาสต้าข้าวสาลีทางการค้า
สารประกอบฟีนอลิก (mg gallic acid/g sample)	4.18±0.09	0.49±0.00	1.81±0.03
แอนโทไซยานิน (mg/100 g sample)	2.48±0.07	2.17±0.08	1.67±0.00
ความสามารถในการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระ (%inhibition)	44.44±0.00	36.51±0.00	40.74±0.75

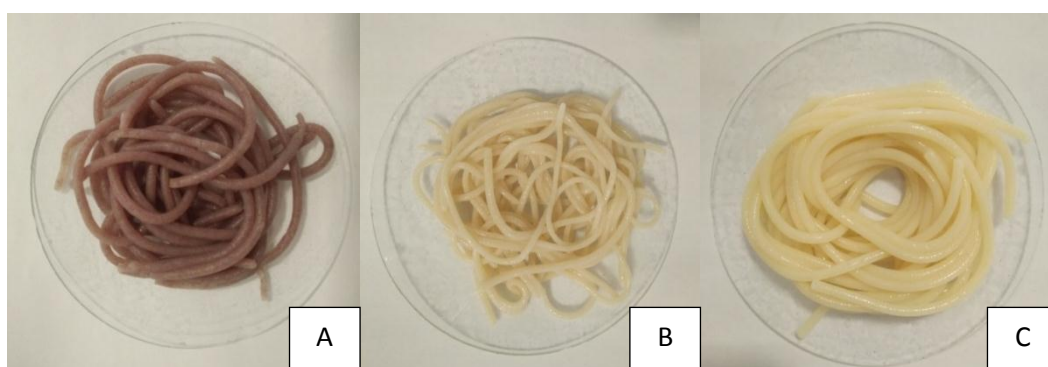
4.2 ผลการวิเคราะห์คุณภาพหลังการต้มของพาสต้าข้าวเจ้าเสริมแป้งถั่วแดง พาสต้าข้าวกล้องและพาสต้าข้าวสาลีทางการค้า

จากการวิเคราะห์คุณภาพหลังการต้มของพาสต้าข้าวเจ้าเสริมแป้งถั่วแดง พาสต้าข้าวกล้อง และพาสต้าข้าวสาลีทางการค้าได้ผลดังตารางที่ 4-50 และลักษณะของพาสต้าแสดงดังภาพที่ 4-8

ตารางที่ 4-50 คุณภาพหลังการต้มของพาสต้าข้าวเจ้าเสริมแป้งถั่วแดง พาสต้าข้าวกล้อง และพาสต้าข้าวสาลีทางการค้า

ตัวอย่างพาสต้า	เวลาที่เหมาะสมในการต้มสุก (นาที)	ปริมาณของแข็งที่สูญเสียระหว่างการต้ม(ร้อยละ)	น้ำหนักหลังต้ม(ร้อยละ)
พาสต้าข้าวเจ้าเสริมแป้งถั่วแดง	16.50	14.42 ^b ±0.08	177.38 ^b ±2.08
พาสต้าข้าวกล้องทางการค้า	16.00	20.48 ^a ±0.33	155.10 ^c ±1.51
พาสต้าข้าวสาลีทางการค้า	12.00	7.44 ^c ±0.65	260.46 ^a ±1.46

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



ภาพที่ 4-8 ลักษณะของพาสต้าข้าวเจ้าเสริมแป้งถั่วแดงและพาสต้าทางการค้า โดย (A) แสดงถึงพาสต้าข้าวเจ้าเสริมแป้งถั่วแดง (B) พาสต้าข้าวกล้องทางการค้า และ (C) พาสต้าข้าวสาลีทางการค้า

จากผลการวิเคราะห์คุณภาพหลังการต้ม พบว่าพาสต้าข้าวสาลีทางการค้าใช้เวลาในการต้มสั้นที่สุด (12.00 นาที) และมีปริมาณของแข็งที่สูญเสียระหว่างการต้มน้อยที่สุด (ร้อยละ 7.44) ส่วนพาสต้าข้าวกล้องทางการค้าและพาสต้าข้าวเจ้าเสริมแป้งถั่วแดงใช้เวลาในการต้มนานกว่าพาสต้าข้าวสาลีทางการค้า โดยใช้เวลาในการต้มสุก 16.00-16.50 นาที และมีปริมาณของแข็งที่สูญเสียในระหว่างการต้มร้อยละ 14.42-20.48 ซึ่งสูงกว่าพาสต้าข้าวสาลีทางการค้า อาจเป็นผลมาจากกระบวนการผลิตพาสต้าและโครงสร้างของโปรตีน-สตาร์ชที่แตกต่างกัน โดยในกระบวนการผลิตพาสต้าข้าวสาลีทางการค้าไม่มีการให้ความร้อนแต่กระบวนการผลิตพาสต้าข้าวกล้องและพาสต้าข้าวเจ้าเสริมแป้งถั่วแดงมีขั้นตอนการให้ความร้อนเพื่อให้สตาร์ชเกิดเจลกลายเป็นโครงร่างที่แข็งแรง จึงอาจไปขัดขวางการซึมผ่านของน้ำเข้าสู่เส้นในระหว่างการต้ม มีผลทำให้น้ำซึมผ่านเข้าไปในเส้นยากขึ้น จึงใช้เวลาในการต้มสุกนานขึ้น นอกจากนี้อาจเป็นผลมาจากสมบัติของวัตถุดิบที่แตกต่างกัน โดยข้าวสาลีทางการค้าผลิตจากข้าวสาลีซึ่งมีโปรตีนกลูเตนเป็นองค์ประกอบและมีคุณสมบัติพิเศษคือเมื่อนำมาผสมกับน้ำจะเกิดเป็นโดเหนียวที่ทำให้โครงสร้างกับผลิตภัณฑ์ จึงส่งผลให้พาสต้าข้าวสาลีดูดซับน้ำได้ดี ใช้เวลาในการต้มสุกสั้น และมีปริมาณของแข็งที่สูญเสียระหว่างการต้มต่ำกว่าพาสต้าข้าวกล้องและพาสต้าข้าวเจ้าเสริมแป้งถั่วแดง โดยพาสต้าข้าวกล้องมีปริมาณของแข็งที่สูญเสียระหว่างการต้มมากที่สุด และจากการวิเคราะห์น้ำหนักที่ได้หลังการต้ม พบว่าพาสต้าข้าวสาลีทางการค้ามีค่าสูงที่สุด รองลงมาคือพาสต้าข้าวเจ้าเสริมแป้งถั่วแดงและพาสต้าข้าวกล้องตามลำดับ ซึ่งอาจเป็นผลมาจากโครงสร้างของสตาร์ชและโปรตีนและส่วนผสมของพาสต้าที่แตกต่างกัน โดยข้าวสาลีมีโปรตีนกลูเตนที่ช่วยให้เกิดโครงสร้าร่างแหที่มีความยืดหยุ่นและยังช่วยป้องกันการแตกของเม็ดแป้ง ในขณะที่ผลิตภัณฑ์ที่ทำจากข้าวอาศัยร่างแหของอะไมโลสที่เมื่อแป้งสุกทำให้อะไมโลสหลุดจากโครงสร้างได้ (มาโนชญ์ สุธีร์วัฒนานนท์, 2546) นอกจากนี้คุณภาพของพาสต้าที่ได้อาจขึ้นกับปัจจัยในการผลิต เช่น วัตถุดิบ อุณหภูมิ และความเร็วรอบของเครื่องเอกทรูเดอร์ กระบวนการผลิตเป็นต้น

4.3 ผลการวัดค่าสี

ผลการวิเคราะห์ค่าสีของพาสต้าข้าวเจ้าเสริมแป้งถั่วแดง พาสต้าข้าวกล้องและพาสต้าข้าวสาลีทางการค้าก่อนและหลังการต้ม ได้ผลดังตารางที่ 4-51 และ 4-52 ตามลำดับ

ตารางที่ 4-51 ค่าสีของพาสต้าข้าวเจ้าที่ทดแทนด้วยแป้งถั่วแดง พาสต้าข้าวกล้อง และพาสต้าข้าวสาลีทางการค้าก่อนต้ม

ตัวอย่างพาสต้า	ค่าสี				
	L*	a*	b*	c*	h*
พาสต้าข้าวเจ้าเสริมแป้งถั่วแดง	34.73 ^c ±0.11	7.88 ^b ±0.09	8.92 ^c ±0.05	11.90 ^c ±0.10	48.54 ^c ±0.15
พาสต้าข้าวกล้องทางการค้า	45.86 ^b ±0.04	7.93 ^{ab} ±0.07	27.70 ^b ±0.18	28.81 ^b ±0.18	74.03 ^b ±0.07
พาสต้าข้าวสาลีทางการค้า	54.68 ^a ±0.11	8.05 ^a ±0.04	39.91 ^a ±0.25	40.72 ^a ±0.25	78.60 ^a ±0.03

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

ตารางที่ 4-52 ค่าสีของพาสต้าข้าวเจ้าเสริมแป้งถั่วแดง พาสต้าข้าวกล้องและพาสต้าข้าวสาลีทางการค้าหลังต้ม

ตัวอย่างพาสต้า	ค่าสี				
	L*	a*	b*	c*	h*
พาสต้าข้าวเจ้าเสริมแป้งถั่วแดง	35.74 ^c ±0.02	6.83 ^a ±0.06	2.01 ^c ±0.10	7.12 ^c ±0.05	16.40 ^c ±0.83
พาสต้าข้าวกล้องทางการค้า	63.79 ^b ±0.19	3.11 ^b ±0.02	17.54 ^b ±0.16	17.82 ^b ±0.16	79.93 ^b ±0.12
พาสต้าข้าวสาลีทางการค้า	67.13 ^a ±0.09	2.12 ^c ±0.05	23.41 ^a ±0.15	23.50 ^a ±0.16	84.82 ^a ±0.10

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

จากผลการวิเคราะห์ค่าสีของพาสต้าก่อนต้มและหลังต้ม พบว่าพาสต้าทั้ง 3 ตัวอย่างมีค่าความสว่าง (L*) ของพาสต้าก่อนต้มต่ำกว่าพาสต้าต้มสุก ส่วนค่าความเป็นสีแดง-เขียว (a*) ค่าความเป็นสีเหลือง-น้ำเงิน (b*) ค่าความเข้มของสี (c*) และค่าเฉดสี (h*) ของพาสต้าก่อนต้มมีค่าสูงกว่าพาสต้าต้มสุกทั้งนี้เนื่องมาจากผลผลิตภณฑพาสต้าทั้ง 3 ตัวอย่างเตรียมจากวัตถุดิบที่แตกต่างกัน ทำให้มีรงควัตถุที่ให้สีที่แตกต่างกัน โดยถั่วแดงมีแอนโทไซยานินซึ่งเป็นรงควัตถุที่ให้สีแดงทำให้เส้นของพาสต้ามีสีแดง พาสต้าข้าวกล้องใช้ข้าวกล้องที่ไม่ผ่านการขัดสีเป็นวัตถุดิบทำให้พาสต้ามีสีน้ำตาล และพาสต้าข้าวสาลีมีแคโรทีนอยด์ที่เป็นรงควัตถุให้สีเหลืองจึงส่งผลให้เส้นของพาสต้ามีสีเหลือง

4.4 ผลการวิเคราะห์ลักษณะเนื้อสัมผัส

ผลการวิเคราะห์ลักษณะเนื้อสัมผัสของพาสต้าข้าวเจ้าเสริมแป้งถั่วแดง พาสต้าข้าวกล้องทางการค้าและพาสต้าข้าวสาลีทางการค้า ได้ผลแสดงดังตารางที่ 4-53

ตารางที่ 4-53 ลักษณะเนื้อสัมผัสของพาสต้าข้าวเจ้าเสริมแป้งถั่วแดง พาสต้าข้าวกล้องและพาสต้าข้าวสาลีทางการค้า

ตัวอย่างพาสต้า	ความแน่นเนื้อ (gf)	ความต้านทานต่อการดึงขาด (gf)	การเกาะติดที่ผิวหน้า (gf.s)
พาสต้าข้าวเจ้าเสริมแป้งถั่วแดง	601.07 ^a ±1.54	34.92 ^b ±1.30	1.80 ^a ±0.13
พาสต้าข้าวกล้องทางการค้า	237.72 ^c ±1.79	16.49 ^c ±1.92	0.95 ^b ±0.09
พาสต้าข้าวสาลีทางการค้า	263.85 ^b ±0.91	38.62 ^a ±0.83	0.29 ^c ±0.01

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

จากผลการวิเคราะห์ลักษณะเนื้อสัมผัสพบว่าพาสต้าข้าวเจ้าเสริมแป้งถั่วแดง พาสต้าข้าวกล้องและพาสต้าข้าวสาลีทางการค้ามีค่าความแน่นเนื้อ ความต้านทานต่อการดึงขาด และการเกาะติดที่ผิวหน้าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) โดยพาสต้าข้าวเจ้าเสริมแป้งถั่วแดงมีค่าความแน่นเนื้อสูงกว่าพาสต้าข้าวกล้องทางการค้าและพาสต้าข้าวสาลีทางการค้า อาจเนื่องจากแป้งถั่วแดงมีปริมาณโปรตีนสูงกว่าข้าวกล้องและข้าวสาลี เมื่อได้รับความร้อนจากกระบวนการผลิตจึงทำให้เกิดการเสียสภาพธรรมชาติของโปรตีนและเกิดการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างโมเลกุลที่สลับซับซ้อน โดย

โครงสร้างตติยภูมิหรือทุติยภูมิเกิดการคลายตัวออก ทำให้มีรูปร่างเปลี่ยนแปลงไปเป็นโพลีเปปไทด์สายยาวและเกาะตัวกันมีขนาดใหญ่ขึ้นหรืออาจเกาะตัวกันมีลักษณะโครงสร้างเป็นตาข่ายสามมิติเกิดการแข็งตัวกลายเป็นเจลได้ (นิริยา รัตนาบุนนท์, 2553) นอกจากนี้ยังอาจมีผลมาจากการเติมเอนไซม์ทรานส์กลูตามิเนสในสูตรพาสต้าซึ่งทำหน้าที่ในการเชื่อมสายของโปรตีนระหว่างกรดอะมิโนกลูตามีนในสายเปปไทด์กับสารประกอบเอมีนเกิดพันธะ ϵ - (Y-Glutamyl) lysine ทำให้เกิดเป็นโครงสร้างที่แข็งแรงขึ้น (Bellido & Hatcher, 2011) โดยแป้งถั่วแดงมีปริมาณกรดอะมิโนกลูตามีนและไลซีนสูงซึ่งกรดอะมิโนทั้งสองชนิดนี้เป็นสารตั้งต้นในการทำปฏิกิริยาของเอนไซม์ทรานส์กลูตามิเนส

พาสต้าข้าวสาลีทางการค้ามีค่าความต้านทานต่อการดึงขาดสูงที่สุดและมีค่าการเกาะติดที่ผิวหน้าต่ำที่สุด อาจเนื่องจากข้าวสาลีมีโปรตีนกลูเตนซึ่งให้โครงสร้างร่างแหที่มีความแข็งแรงและความยืดหยุ่น อีกทั้งยังช่วยห่อหุ้มเม็ดแป้งทำให้แตกออกได้ยาก ในขณะที่พาสต้าข้าวกล้องและพาสต้าข้าวเจ้าเสริมแป้งถั่วแดงไม่มีโปรตีนกลูเตน ดังนั้นโครงสร้างของผลิตภัณฑ์จึงมาจากสตาร์ชที่เป็นองค์ประกอบหลักของวัตถุดิบ เมื่อนำไปให้ความร้อนจนถึงอุณหภูมิที่เกิดเจลลาทีนในเซชันแล้วให้ความร้อนต่อไปจนเม็ดสตาร์ชพองตัวเต็มที่และแตกออก โมเลกุลขนาดเล็กจะกระจายกระจายและหลุดออกมาทำให้ที่ผิวหน้าของเส้นพาสต้ามีการเกาะติดกันเพิ่มสูงขึ้น

4.5 ผลการประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัส

จากการทดสอบทางด้านประสาทสัมผัสของพาสต้าข้าวเจ้าเสริมแป้งถั่วแดง พาสต้าข้าวกล้องและพาสต้าข้าวสาลีทางการค้า โดยใช้ 9-Point Hedonic scale ได้ผลดังตารางที่ 4-54

ตารางที่ 4-54 คะแนนการทดสอบทางประสาทสัมผัส ของพาสต้าข้าวเจ้าเสริมแป้งถั่วแดง พาสต้าข้าวกล้องทางการค้าและพาสต้าข้าวสาลีทางการค้า

ตัวอย่างพาสต้า	ลักษณะปรากฏ	สี	กลิ่น	รสชาติ	เนื้อสัมผัส	ความชอบโดยรวม
พาสต้าข้าวเจ้าเสริมแป้งถั่วแดง	6.72 ^b ±1.41	6.59 ^b ±1.35	6.48 ^a ±1.12	6.10 ^b ±1.21	6.41 ^b ±1.40	6.24 ^b ±1.15
พาสต้าข้าวกล้องทางการค้า	6.41 ^b ±1.21	6.93 ^b ±1.13	6.24 ^b ±1.18	6.38 ^b ±1.15	6.07 ^b ±1.51	6.66 ^b ±0.94
พาสต้าข้าวสาลีทางการค้า	7.47 ^a ±1.04	7.47 ^a ±1.01	6.70 ^a ±1.34	7.17 ^a ±1.21	7.50 ^a ±0.82	7.40 ^a ±1.07

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

จากผลการทดสอบทางประสาทสัมผัส พบว่าพาสต้าข้าวเจ้าเสริมแป้งถั่วแดงและพาสต้าข้าวกล้องทางการค้าได้คะแนนความชอบในทุกด้านต่ำกว่าพาสต้าข้าวสาลีทางการค้า แต่พาสต้าข้าวเจ้าเสริมแป้งถั่วแดงและพาสต้าข้าวกล้องทางการค้าได้คะแนนด้านลักษณะปรากฏ สี รสชาติ เนื้อสัมผัส และความชอบโดยรวมไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \geq 0.05$) โดยได้คะแนนอยู่ในเกณฑ์ชอบเล็กน้อย ทั้งนี้เนื่องจากผู้ทดสอบไม่คุ้นเคยกับผลิตภัณฑ์พาสต้าที่ผลิตจากข้าวเจ้า รวมถึง

พาสต้าข้าวเจ้าเสริมแป้งถั่วแดงซึ่งเป็นผลิตภัณฑ์ใหม่ อย่างไรก็ตามพาสต้าข้าวเจ้าเสริมแป้งถั่วแดงยังได้คะแนนความชอบโดยรวมอยู่ในเกณฑ์ชอบเล็กน้อยแสดงว่าผู้ทดสอบยังให้การยอมรับผลิตภัณฑ์ ดังนั้นพาสต้าข้าวเจ้าเสริมแป้งถั่วแดงจึงอาจเป็นทางเลือกใหม่ของผลิตภัณฑ์อาหารเพื่อสุขภาพและอาหารปราศจากกลูเตน

บทที่ 5

สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

สรุปผลการทดลอง

1. ผลการศึกษาองค์ประกอบทางเคมี สมบัติทางเคมีกายภาพและสมบัติเชิงหน้าที่ของแป้งถั่ว พบว่าแป้งถั่วทั้ง 3 ชนิดมีปริมาณโปรตีน ไขมัน และเส้นใยร้อยละ 24.75-27.04, 3.53-4.15, 0.61-1.54 และ 5.15-6.28 ตามลำดับ นอกจากนี้ยังประกอบด้วยใยอาหารทั้งชนิดที่ไม่ละลายน้ำและไม่ละลาย สารประกอบฟีนอลิก และมีสมบัติในการต้านอนุมูลอิสระ โดยเฉพาะแป้งถั่วแดงและแป้งถั่วดำที่มีแอนโทไซยานินเป็นองค์ประกอบ และมีความสามารถในการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระสูงกว่าแป้งถั่วเขียว แป้งถั่วทั้ง 3 ชนิดประกอบด้วยกรดอะมิโนทั้งชนิดที่จำเป็นและไม่จำเป็นในปริมาณที่ใกล้เคียงกัน โดยกรดอะมิโนชนิดที่จำเป็นที่พบมาก ได้แก่ ลิวซีน ไลซีน และฟีนอลอะลานิน กรดอะมิโนชนิดที่ไม่จำเป็นที่พบมาก ได้แก่ กรดกลูตามิก กรดแอสปาร์ติก และอาร์จินิน แป้งถั่วทั้ง 3 ชนิดมีอุณหภูมิในการเกิดเจลอยู่ในช่วง 78.85-82.63 °C โดยแป้งถั่วแดงมีพารามิเตอร์ด้านความหนืดทุกค่าสูงกว่าแป้งถั่วดำและแป้งถั่วเขียว อีกทั้งยังมีความสามารถการดูดซับน้ำ ดัชนีการละลายความสามารถในการดูดซับน้ำมัน ความสามารถในการเกิดโฟมและความสามารถในการเกิดอิมัลชันที่ช่วยเอื้อต่อการผลิตพาสต้าโดยใช้กระบวนการอัดรีด รวมทั้งมีศักยภาพในการนำไปพัฒนาเป็นผลิตภัณฑ์อาหารเพื่อสุขภาพได้

2. ผลการพัฒนาสูตรพาสต้าจากข้าวเจ้าเสริมแป้งถั่ว พบว่า ปริมาณแป้งถั่วแต่ละชนิดที่เหมาะสมที่ใช้ทดแทนแป้งข้าว คือ แป้งถั่วแดงร้อยละ 40 แป้งถั่วดำร้อยละ 40 และแป้งถั่วเขียวร้อยละ 30 โดยผลิตภัณฑ์ที่ได้คะแนนความชอบโดยรวมสูงที่สุด แต่พาสต้าที่ทำจากแป้งถั่วแดงร้อยละ 40 ใช้ปริมาณแป้งถั่วสูง ใช้เวลาในการต้มสั้น และมีปริมาณของแข็งที่สูญเสียระหว่างการต้มต่ำซึ่งเป็นคุณลักษณะที่ต้องการของพาสต้า ดังนั้นจึงเลือกพาสต้าที่ทดแทนด้วยแป้งถั่วแดงร้อยละ 40 ไปพัฒนาสูตรในขั้นตอนต่อไป และพบว่าพาสต้าข้าวเจ้าเสริมแป้งถั่วแดงที่เตรียมจากส่วนผสมแป้งที่มีปริมาณความชื้นร้อยละ 35 และเติมเอนไซม์ทรานส์กลูตามิเนสร้อยละ 0.5 ได้รับคะแนนความชอบด้านเนื้อสัมผัสและความชอบโดยรวมสูงที่สุด และมีปริมาณของแข็งที่สูญเสียระหว่างการต้มต่ำ

3. ผลการศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการผลิตพาสต้า พบว่า เมื่ออุณหภูมิบาร์เรลและความเร็วรอบสกรูเพิ่มขึ้น ปริมาณของแข็งที่สูญเสียระหว่างการต้ม และค่าการเกาะติดที่ผิวหน้าลดลง เวลาที่เหมาะสมในการต้ม ค่าความแน่นเนื้อ ค่าความต้านทานต่อการดึงขาด และน้ำหนักที่ได้หลังการต้มเพิ่มขึ้น โดยพาสต้าข้าวเจ้าเสริมแป้งถั่วแดงที่เตรียมโดยใช้อุณหภูมิบาร์เรล 100 องศาเซลเซียสและความเร็วรอบสกรู 120 รอบต่อนาที ได้คะแนนความชอบโดยรวมสูงที่สุด

4. ผลการเปรียบเทียบคุณภาพทางเคมี กายภาพ และลักษณะทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์พาสต้าจากข้าวเจ้าเสริมแป้งถั่วแดงกับผลิตภัณฑ์พาสต้าทางการค้า พบว่า พาสต้าข้าวเจ้าเสริมแป้งถั่วแดงและพาสต้าข้าวกล้องทางการค้าได้คะแนนความชอบด้านลักษณะปรากฏ สี รสชาติ เนื้อสัมผัส และความชอบโดยรวมไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) ในขณะที่พาสต้าข้าวสาลีทางการค้าได้คะแนนความชอบโดยรวมสูงที่สุด แต่อย่างไรก็ตามพาสต้าข้าวเจ้าเสริมแป้งถั่ว

แดงมีปริมาณโปรตีน ถั่ว เส้นใย สารประกอบฟีนอลิก แอนโทไซยานิน และความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระสูงกว่าพาสต้าข้าวเจ้าและพาสต้าข้าวสาลีทางการค้า

ข้อเสนอแนะ

1. ควรศึกษาการนำแป้งถั่วไปประยุกต์ใช้ในผลิตภัณฑ์อาหารอื่นๆ เพื่อเพิ่มคุณค่าทางโภชนาการและความหลากหลายให้กับผู้บริโภค
2. ควรศึกษาการพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหารจากแป้งถั่วชนิดอื่นๆ ที่มีการผลิตในประเทศ เพื่อขยายการใช้ประโยชน์ในเชิงพาณิชย์

บรรณานุกรม

- กรมอนามัย. (2544). ตารางแสดงคุณค่าทางโภชนาการของไทย. วันที่สืบค้นข้อมูล 10 ธันวาคม 2559. เข้าถึงได้จาก http://nutrition.anamai.moph.go.th/temp/files/nutritive_values_of_thai_foods.pdf
- ทิพวดี จิตพิศุทธิ์, วิษฐิตา จันทราพรชัย, วิชัย หลุ่ยธนาสันต์ และ สุนนรรัตน์ ชื่นพุฒิ. (2550). การเตรียมและสมบัติด้านความคงตัวของผงสีแอนโทไซยานินจากเมล็ดถั่วดำ (*Vigna sinensis*). การประชุมทางวิชาการของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 45. กรุงเทพฯ. หน้า 554-561.
- นรพร ดาลัย. (2543). การเก็บรักษาและการใช้ความร้อนขึ้นต่อสมบัติทางเคมีและกายภาพของข้าวและแป้งข้าว. วิทยานิพนธ์, สาขาวิชาเทคโนโลยีอาหาร, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี.
- นิธิยา รัตนาปนนท์. (2553). *เคมีอาหาร*. กรุงเทพฯ:โอเดียนสโตร์.
- บงกช วรธนะภูติ. (2555). อาหารไร้สารกลูเตนและโอกาสของประเทศไทย. วันที่ค้นข้อมูล 25 พฤศจิกายน 2555, เข้าถึงได้จาก http://www.ostc.thaiembdc.org/test2012/article_April_12
- ปราโมทย์ คุวิจิตรจากรุ และทศพล สุธาสิริทรัพย์. (2553). คุณสมบัติของเบรตเตอร์ที่เตรียมจากแป้งข้าว. *วารสารวิจัย มช*, 15(10), 965-972.
- ประพันธ์ ปิ่นศิริโรตม. (2544). ทรานซ์กลูตามีนเนสและการประยุกต์ใช้ในกระบวนการแปรรูปอาหาร. *อาหาร*, 31(4), 245-256.
- ปิยมาศ มหาบุญญานนท์. (2546). *คุณลักษณะทางกายภาพและโครงสร้างภายในของพาสต้าข้าวเจ้าที่ได้จากการอัดพองโดยใช้ข้าวพันธุ์ต่างๆ*. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต, สาขาวิชาเทคโนโลยีอาหาร, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี.
- ปิ่นมณี ขวัญเมือง. (2548). ฟังชันนัลฟูดส์: อาหารเพื่อสุขภาพ. *วารสารครุศาสตร์อุตสาหกรรม*, 4(2), 43-50.
- ไพโรจน์ หลวงพิทักษ์. (2552). *ผลิตภัณฑ์อาหารสุขภาพ (Functional foods)*. วันที่ค้นข้อมูล 25 กันยายน 2554, เข้าถึงได้จาก <http://www.sc.mahidol.ac.th/scbt/articles/functional/food-PL-12Oct 09.pdf>
- มาโนชญ์ สุธีร์วัฒนานนท์. (2546). *คุณลักษณะทางกายภาพและโครงสร้างภายในของพาสต้าข้าวเจ้าที่ได้จากการอัดพอง*. งานวิจัย, สาขาวิชาเทคโนโลยีอาหาร, สำนักวิชาเทคโนโลยีการเกษตร, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี.
- รัชนิพร โพธินาม, อนุชิตา มุ่งงาม และทัตดาว ภาชีผล. (2559). องค์ประกอบทางเคมีและคุณสมบัติทางกายภาพของสตาร์ชจากถั่วเขียวและถั่วพุ่มและการประยุกต์ใช้ในการผลิตวุ้นเส้น. *วารสารแก่นเกษตร*, 44 (ฉบับพิเศษ 1), 1073-1079.
- วิภา สุโรจนะเมธากุล. (2545). การวิเคราะห์เนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์อาหารเส้นเพื่อการควบคุมคุณภาพ. *อาหาร*, 32(2), 86-91.

- โศรดา วัลภา, กุศลภัสวชิรศิริ, ดำรงชัย สิทธิสำอาง และฐิติชญา สุวรรณทัฬห. (2555). *องค์ประกอบทางเคมีและสมบัติเชิงหน้าที่ของแป้งถั่วพื้นเมืองชนิดต่างๆ*. วันที่ค้นข้อมูล 12 พฤษภาคม 2558, เข้าถึงได้จาก <http://www.crdc.kmutt.ac.th/Data%202012/CRDC6/data/345-348.pdf>.
- สันติ หิรัญอร และมาฤดี ผ่องพิพัฒน์พงศ์. (2551). ผลของสภาวะการผลิตต่อลักษณะของเอกซ์ทรูเดตที่ได้จากปลายข้าวโดยใช้เครื่องเอกซ์ทรูเดอร์แบบสกรูเดี่ยว. *วิศวกรรมลาดกระบัง*, 25, 31-36.
- AOAC. (2005). *Official Methods of Analysis*. 18th ed. AOAC International. Guithersburg, Maryland, U.S.A.
- AACC. (2000). *Approved Methods of the American Association of Cereal Chemists*. 10th ed. St. Paul, Minnesota, U.S.A.
- Aguilera, Y., Estrella, I., Benitez, V., Esteban, R.M., and Martin-Cabrejas, M.A. (2011). Bioactive phenolic compounds and functional properties of dehydrated bean flours. *Food Research International*, 44, 774-780.
- Bellido, G.G. and Hatcher, D.W. (2011). Effects of a cross-linking enzyme on the protein composition, mechanical properties, and microstructure of Chinese-style noodles. *Food Chemistry*, 125, 813-822.
- Boye, J., Zare, F., and Pletch, A. (2010). Pulse protein: Processing, characterization, functional properties and application in food and feed. *Food Research International*, 43, 413-431.
- Campos-Vega, R., Loarca-Pina, G., and Oomah, B.D. (2010). Minor components of pulses and their potential impact on human health. *Food Research International*, 43, 461-482.
- Chaiyakul, S., Jangchud, K., Jangchud, A., Wuttijumong, P. and Winger, R. (2009). Effect of extrusion conditions on physical and chemical properties of high protein glutinous rice-based snack. *Journal of Food Science and Technology*, 42: 781-787.
- Chinnaswamy, R. and Hanna, M.A. (1988). Relationship between amylose content and extrusion expansion properties of corn starch. *Cereal Chemistry*, 65, 138-143.
- Dexter, J.E., Kibom, R.H., Morgn, B.C., & Matsuo, R.R. (1983). Grain research laboratory compression tester: Instrument measurement of cooked pasta stickiness. *Cereal Chemistry*, 60, 139-142.
- Food and Agriculture Organization of the United Nations [FAO]. (1994). *Definition and Classification of Commodities*, 4. Pulses and Derived Products. Retrieved September 10, 2013, from <http://www.fao.org/waicent/faoinfo/economic/faodef/fdef04e.htm>

- Food and Agriculture Organization of the United Nations [FAO]. (2013). FAOSTAT. Retrieved September 10, 2013, from <http://faostat.fao.org/site/567/DesktopDefault.aspx?PageID=567#ancor>
- Giese, J. (1992). Pasta: *New twist on an old product*. *Food Technology*, 46, 118-126.
- Giménez, M.A., Gonzalez, R.J., Wagner, R.T. Lobo, M.O., and Samman, N.C. (2013). Effect of extrusion conditions on physicochemical and sensorial properties of corn-broad beans (*Vicia faba*) spaghetti type pasta. *Food Chemistry*, 136, 538-545.
- Gelski, J. (2013). *Beans, peas may serve as flour alternatives*. Retrieved September 5, 2013, from http://www.foodbusinessnews.net/articles/news_home/Supplier-Innovations/2013/03/Beans_peas_may_serve_as_flour.aspx
- Karagozler, A. A., Erdag, B., Emek, Y.C., &Uygun, D.A. (2008). Antioxidant activity and proline content of leaf extracts from *Dorystoechas hastate*. *Food Chemistry*, 37, 171-179.
- Kaur, S. and Das, M. (2011). Functional foods: An overview. *Food Science Biotechnology*, 20(4), 861-875.
- Kim, Y., Kee, J.I., Lee, S., and Yoo, S.H. (2014). Quality improvement of rice noodle restructured with rice protein isolate and transglutaminase. *Food Chemistry*, 145, 409-406.
- Marti, A., Seetharaman, K.S., and Pagani. M.A. (2010). Rice-based pasta: A comparison between conventional pasta-making and extrusion cooking. *Journal of Cereal Science*, 52, 404-409.
- McGuire, R.G. (1992). Reporting of objective color measurements. *HortScience*, 27, 1254-1255.
- Mestres, C., Colonna, P., and Buleon, A (1988). Characteristics of starch network within rice flour noodle and mungbean starch vermicelli. *Journal of Food Science*, 53, 1809-1812.
- Pagani, M A. (1986). Pasta products from non conventional raw materials. In: Mercier, C., and Cantarelli, C. (eds), *Pasta and extrusion cooked foods: some technological and nutritional aspects*. Elsevier applied science publisher, New York, pp 52-68.
- Petitot, M., Boyer, L., Minier, C., and Micard, V. (2010). Fortification of pasta with split pea and faba bean flours: Pasta processing and quality evaluation. *Food Research International*, 43, 634-641.
- Smewing, J. (1997). Analyzing the texture of pasta for quality control. *Cereal Foods World*, 42, 8-11.]

- Sissons, M., Aravind, N., & Fellows, C. M. (2010). Quality of fiber-enriched spaghetti containing microbial transglutaminase. *Cereal Chemistry*, 87(1), 57–64.
- Sun, J., Yao, J., Huang, S., Long, X., Wang, J., & Garcia, E. (2009). Antioxidant activity of polyphenol and anthocyanin extract from fruits of *Kadsuracoccineo* (Lem.). *Food Chemistry*, 117, 276-281.
- Surojanmetakul, V., Tungtakul, P., Varanyanond, W., & Supasri, R. (2002). Effects of Partial Replacement of Rice flour with Various Starches on the Physicochemical and Sensory Properties of “SenLek” Noodle. *Kasetsart Journal (Natural Science)*, 36, 55-62.
- Susanna, S. and Prabhasankar, P. (2013). A study on development of gluten free pasta and its biochemical and immunological validation. *LWT-Food Science and Technology*, 50, 613-621.
- Tan, H.Z., Li, Z.G., and Tan, B. (2009). Starch noodles: History, classification, materials, processing, structure, nutrition, quality evaluating and improving. *Food Research International*, 42, 515-576.
- Uttam D. Chavan, AjimMomin, Jayshing K. Chavan, RyszardAmarowicz. (2009). Characteristics of Starch From Rice Ben (*Vignaumbellata* L.) Seeds-A Short Report. *Polish Journal of Food and Nutrition Sciences*. 59, 25-27.
- Wani, I.A., Sogi, D.S., Wani, A.A., and Gill, B.S. (2013). Physico-chemical and functional properties of flours from Indian kidney bean (*Phaseolus vulgais* L.) cultivars. *LWT-Food Science and Technology*, 53, 278-284.
- Wang, N., Bhirud, P.R., Sosulski, F.W., & Tyler, R.T. (1999). Pasta-like product from pea flour by twin screw extrusion. *Journal of Food Science*, 64, 671-678.
- Wang, L., Duan, W., Zhou, S., Qian, H., Zhang, H., and Qi, X. (2016). Effects of extrusion conditions on the extrusion responses and the quality of brown rice pasta. *Food Chemistry*, 204, 320–325.
- Wikipedia. 2009. *Pulse (Legume)*. Retrieved September 10, 2013, from [http://en.wikipedia.org/wiki/Pulse_\(legume\)](http://en.wikipedia.org/wiki/Pulse_(legume))
- Xu, B., and Chang, S.K.C. (2009). Total phenolic, phenolic acid, anthocyanin, flavan-3-ol, and flavonol profiles and antioxidant properties of pinto and black beans (*Phaseolus vulgais* L.) as affected by thermal processing. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 54, 4754-4764.

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก

วิธีวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี

ก-1 การหาปริมาณความชื้น

อุปกรณ์

1. ตู้อบลมร้อน (Hot air oven) Memmert รุ่น ULE 500 ประเทศเยอรมนี
2. โถดูดความชื้น (Desiccator)
3. ภาชนะอะลูมิเนียมสำหรับความชื้น (Moisture can)
4. เครื่องชั่งไฟฟ้าชนิดละเอียด Sartorius รุ่น AC 2115-00MS ประเทศเยอรมนี

วิธีการ

1. อบภาชนะอะลูมิเนียมสำหรับหาความชื้นในตู้อบลมร้อน 105 °C เป็นเวลา 3 ชั่วโมง และนำออกจากตู้อบ ทิ้งให้เย็นจนอุณหภูมิห้องของภาชนะลดลงเท่ากับอุณหภูมิห้องในโถดูดความชื้น แล้วชั่งน้ำหนัก (ทศนิยม 4 ตำแหน่ง)

2. นำภาชนะอะลูมิเนียมไปอบซ้ำ ชั่งน้ำหนักที่แน่นอน (แตกต่างกันไม่เกิน 0.05 กรัม) น้ำหนักของตัวอย่างที่ชั่งได้ ใส่ตัวอย่างลงในภาชนะอะลูมิเนียมหาความชื้นที่ทราบน้ำหนักคงที่แล้วนำไปอบที่ตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 105 °C นาน 5-6 ชั่วโมง นำออกจากตู้อบ ทิ้งให้เย็นในตู้อบความชื้น แล้วชั่งน้ำหนักในภาชนะพร้อมตัวอย่างจากนั้นนำไปอบซ้ำในตู้อบ เช่นเดิม จนได้น้ำหนักคงที่ โดยผลต่างของน้ำหนักที่ชั่งทั้งสองครั้งติดต่อกันไม่เกิน 0.05 กรัม และคำนวณหาร้อยละของความชื้น ดังนี้

$$\text{ความชื้น (ร้อยละ)} = \frac{\text{น้ำหนักที่หายไป}}{\text{น้ำหนักตัวอย่าง}} \times 100$$

ก-2 การหาปริมาณเถ้า

อุปกรณ์

1. ตู้อบลมร้อน (Hot air oven) Memmert รุ่น ULE 500 ประเทศเยอรมัน
2. เตาเผา Carbolite รุ่น RWF 12/23 ประเทศอังกฤษ
3. เตาไฟฟ้า (Hot plate)
4. ถ้วยครุซิบีล (Crucible)
5. โถดูดความชื้น (Desiccator)
6. เครื่องชั่งไฟฟ้าชนิดละเอียด Sartorius รุ่น AC 2115-00MS ประเทศเยอรมนี

วิธีการ

1. นำตัวอย่างที่อบแห้งที่อุณหภูมิ 105 °C เป็นเวลา 3 ชั่วโมง ทิ้งไว้ให้เย็นในโถดูดความชื้น

2. เผาด้วยครุซิบีลในเตาเผาที่อุณหภูมิ 550 °C เป็นเวลา 3 ชั่วโมง รอประมาณ 30-45 นาที

เพื่อให้อุณหภูมิต่ำลงก่อน แล้วนำออกจากเตาเผาใส่ลงในโถดูดความชื้น ปล่อยให้เย็นถึงอุณหภูมิห้องแล้วชั่งน้ำหนัก

3. เผาซ้ำอีกครั้ง ครั้งละประมาณ 30 นาที แล้วนำออกจากเตาเผาใส่ลงในโถดูดความชื้น ปล่อยให้เย็นถึงอุณหภูมิห้องแล้วชั่งน้ำหนักจนได้ผลต่างของน้ำหนักทั้งสองครั้งติดต่อกันไม่เกิน 0.05 กรัม

4. ชั่งตัวอย่างให้ได้น้ำหนักที่แน่นอน นำไปเผาบนเตาไฟฟ้าจนกระทั่งควันดำหมด แล้วนำเข้าเตาเผาที่อุณหภูมิ 550 °C จนกระทั่งได้เถ้าสีขาว ทิ้งให้เย็นในโถดูดความชื้น แล้วชั่งน้ำหนักเถ้าคำนวณหาเปอร์เซ็นต์ของเถ้าทั้งหมดในตัวอย่างอาหาร คำนวณหาร้อยละของเถ้าทั้งหมด ดังนี้

$$\text{เถ้าทั้งหมด (ร้อยละ)} = \frac{\text{น้ำหนักเถ้า} \times 100}{\text{น้ำหนักตัวอย่าง}}$$

ก-3 การหาปริมาณโปรตีน

สารเคมี

1. คตะลิสต์ผสม (Catalyst mixture) ประกอบด้วยโซเดียมซัลเฟตปราศจากน้ำ คอปเปอร์ซัลเฟตร้อยละ 3.5 และเซลเลนียมไดออกไซด์ร้อยละ 0.5
2. กรดซัลฟูริกเข้มข้น
3. สารละลายกรดบอริกเข้มข้นร้อยละ 4 (น้ำหนักต่อปริมาตร)
4. สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้นร้อยละ 50 (น้ำหนักต่อปริมาตร)
5. สารละลายมาตรฐานกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น 0.1 นอร์มัล
6. เซอร์อินดิเคเตอร์ (Sher indicator)

วิธีวิเคราะห์

1. การย่อยสลาย (Digestion)

ชั่งตัวอย่างประมาณ 0.7-2.2 กรัม ใส่ในขวดกลั่น เติมคตะลิสต์ผสมปริมาณ 10 กรัม เติมกรดซัลฟูริกเข้มข้น 25 มิลลิลิตร นำขวดกลั่นไปตั้งบนเตาย่อยทิ้งไว้ 1 ชั่วโมง เพื่อให้แน่ใจว่าปฏิกิริยาสมบูรณ์และถ้าที่คอขวดมีจุดสีดำทิ้งไว้ให้เย็น ล้างด้วยน้ำกลั่น ย่อยต่อไปจนสมบูรณ์

2. การกลั่น (Distillation)

นำตัวอย่างที่ย่อยเสร็จแล้วทิ้งให้เย็น ต่อขวดกลั่นเข้ากับเครื่องกลั่นให้ปลายด้านหนึ่งของคอนเดนเซอร์จุ่มในสารละลายกรดบอริกเข้มข้นร้อยละ 4 ปริมาตร 50 มิลลิลิตร เติมน้ำกลั่น 45 มิลลิลิตรและสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้นร้อยละ 50 ปริมาตร 100 มิลลิลิตร ลงในขวดกลั่น ทำการกลั่นเป็นเวลา 3 นาที

3. การไทเทรต

นำตัวอย่างที่กลั่นมาเติมเซอร์อินดิเคเตอร์ 2-3 หยด แล้วนำไปไทเทรตกับสารละลายมาตรฐานกรดไฮโดรคลอริก 0.1 นอร์มัล คำนวณหาปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด และปริมาณโปรตีน คำนวณหาปริมาณโปรตีนดังนี้

$$\text{ปริมาณไนโตรเจน (ร้อยละ)} = \frac{(X \times N \times 1.4)}{(A-B)}$$

- เมื่อ X คือ ปริมาณของสารละลายกรดไฮโดรคลอริกที่ใช้ในการไทเทรต หน่วยเป็นมิลลิลิตร
 N คือ ความเข้มข้นของสารละลายกรดไฮโดรคลอริก หน่วยเป็นนอร์มัล
 W คือ น้ำหนักหรือปริมาตรของตัวอย่าง หน่วยเป็นกรัม
 A คือ น้ำหนักตัวอย่าง
 B คือ ความชื้นของตัวอย่าง

$$\text{ปริมาณโปรตีน (ร้อยละ)} = \text{ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด(ร้อยละ)} \times 6.25$$

ก-4 การหาปริมาณไขมัน

สารเคมี

ปิโตรเลียมอีเทอร์ จุดเดือด 40-60 °C

วิธีวิเคราะห์

- นำตัวอย่างไปอบแห้งที่อุณหภูมิ 110 °C นาน 1 ชั่วโมง ปล่อยให้เย็นในเดซิเคเตอร์
- ชั่งตัวอย่างที่ผ่านการอบแห้งประมาณ 5 กรัมให้รู้น้ำหนักที่แน่นอน ใส่ในกระดาษกรอง
- อบขวดสกัด (extraction flask) ที่อุณหภูมิ 110 °C นาน 1 ชั่วโมง ปล่อยให้เย็นในเดซิเคเตอร์ นำมาชั่งน้ำหนัก
- ห่อกระดาษกรองที่มีตัวอย่างใส่ในทิมเบิล (paper extraction thimble) และใส่ลงในsoxhlet ที่มีปิโตรเลียมอีเทอร์ 140 มิลลิลิตร ประกอบชุดเครื่องกลั่น
- ให้ความร้อน 200 °C เพื่อให้ปิโตรเลียมอีเทอร์ระเหยขึ้นไป
- ระเหยปิโตรเลียมอีเทอร์ออกจนเหลือประมาณ 5 มิลลิลิตร นำขวดสกัดไปอบแห้งในตู้อบลมร้อน (hot air oven) ที่อุณหภูมิ 100 °C นาน 1 ชั่วโมง
- ปล่อยให้ขวดสกัดเย็นในเดซิเคเตอร์ นำไปชั่งน้ำหนัก คำนวณหาปริมาณไขมันดังนี้

$$\text{ปริมาณไขมัน (ร้อยละ)} = \frac{(A-B) \times 100}{C}$$

เมื่อ A คือ น้ำหนักขวดสกัดหลังการสกัด หน่วยเป็นกรัม

B คือ น้ำหนักขวดสกัด หน่วยเป็นกรัม

C คือ น้ำหนักตัวอย่าง หน่วยเป็นกรัม

ก-5 การหาปริมาณคาร์โบไฮเดรต

$$\text{คาร์โบไฮเดรต (\%โดยน้ำหนักแห้ง)} = 100 - \%(\text{โปรตีน} + \text{ไขมัน} + \text{เถ้า} + \text{เส้นใย})$$

ก-6 การวิเคราะห์ปริมาณใยอาหารรวม ใยอาหารที่ไม่ละลายน้ำ และใยอาหารที่ละลายน้ำ

การวิเคราะห์ปริมาณใยอาหารทั้งหมด ใยอาหารที่ไม่ละลายน้ำ และใยอาหารที่ละลายน้ำได้ จะใช้ชุดวิเคราะห์ใยอาหารและชุดวิเคราะห์โปรตีนในการวิเคราะห์ โดยมีรายละเอียดของขั้นตอนการวิเคราะห์ดังนี้

อุปกรณ์

1. เครื่องชั่งไฟฟ้าสำหรับงานวิเคราะห์ (Electronic analytical balance)
2. เครื่องวัดค่าความเป็นกรดต่าง (pH-meter)
3. โถดูดความชื้น
4. เต้าเผาไฟฟ้า
5. ตู้อบลมร้อนไฟฟ้า
6. อ่างน้ำแบบควบคุมอุณหภูมิ
7. ชุดกรอง suction flask
8. เทอร์โมมิเตอร์
9. ปีกเกอร์ขนาด 250 และ 1000 มิลลิลิตร
10. ครุชีเบิล (crucible)
11. แท่งแก้วคนสาร
12. ช้อนตักสาร
13. กรวยแยก
14. อะลูมิเนียมฟอยด์
15. Hot plate
16. เครื่องกวนสารละลาย (Magnetic Stirrer)
17. แท่งแม่เหล็กกวนสาร (Magnetic Bar)
18. Moisture can
19. ไมโครปิเปต
20. ปิเปต

สารเคมี

1. สารละลายเอทานอล ความเข้มข้นร้อยละ 95
2. อะซิโตน
3. สารละลายทรีสบัฟเฟอร์ ความเข้มข้น 0.05 M pH 8.2
4. สารละลายกรดไฮโดรคลอริก ความเข้มข้น 0.561 M
5. สารละลายกรดไฮโดรคลอริก ความเข้มข้น 0.1 M
6. สารละลาย Tris (hydroxymethyl) aminomethane ความเข้มข้น 0.1 M
7. สารละลายกรดไฮโดรคลอริก ความเข้มข้นร้อยละ 5
8. สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ ความเข้มข้นร้อยละ 5
9. เอนไซม์อัลฟาอะไมเลส (Megazyme International Ireland)

10. เอนไซม์โปรตีเอส (Megazyme International Ireland)
11. เอนไซม์อะไมโลกลูโคซิเดส (Megazyme International Ireland)

การเตรียมสารละลาย

เตรียมสารละลายทริสไฮโดรคลอไรด์บัฟเฟอร์ ความเข้มข้น 0.05 M pH 8.2 โดยผสม 0.1 M Tris ปริมาตร 500 มิลลิลิตร กับ 0.1 M HCl ปริมาตร 220.9 มิลลิลิตร แล้วปรับปริมาตรให้ได้ 1 ลิตร ตรวจสอบ pH ด้วยเครื่องวัดความเป็นกรดต่าง

1) การวิเคราะห์ปริมาณใยอาหารทั้งหมด (Total dietary fiber: TDF)

วิธีวิเคราะห์

1. ชั่งตัวอย่าง (M_1 และ M_2) 1 ± 0.005 กรัม ใส่ในบีกเกอร์ทรงสูง 400 มิลลิลิตร โดยมี Blank (B_1 และ B_2) เพื่อควบคุมความแปรปรวนจากการใช้สารเคมี
2. เติมสารละลายทริสไฮโดรคลอไรด์บัฟเฟอร์ ความเข้มข้น 0.05 M pH 8.2 ปริมาตร 40 มิลลิลิตร ลงในแต่ละบีกเกอร์ใส่แท่งแม่เหล็กกวนสาร และคนด้วยเครื่องกวนสารละลายจนละลาย
3. เติมเอนไซม์อัลฟาอะไมเลส ปริมาตร 50 ไมโครลิตรด้วยไมโครปิเปตลงในแต่ละบีกเกอร์ ปิดปากบีกเกอร์ด้วยอะลูมิเนียมฟอยด์ แล้วนำมาบ่มในอ่างน้ำแบบควบคุมอุณหภูมิ ที่อุณหภูมิ $98-100^\circ\text{C}$ เป็นเวลา 30 นาที โดยเขย่าบีกเกอร์เบาๆ ตลอดเวลา จากนั้นทำให้สารละลายเย็นจนถึงอุณหภูมิ 60°C ชูดตัวอย่างที่ติดตามขอบบีกเกอร์ด้วยข้อตักสาร แล้วล้างน้ำกลั่น 10 มิลลิลิตร
4. เติมเอนไซม์โปรตีเอส ปริมาตร 100 ไมโครลิตร ด้วยไมโครปิเปต ลงในแต่ละบีกเกอร์ ปิดปากบีกเกอร์ด้วยอะลูมิเนียมฟอยด์ แล้วนำไปบ่มในอ่างน้ำแบบควบคุมอุณหภูมิ ที่อุณหภูมิ 60°C เป็นเวลา 30 นาที โดยเขย่าบีกเกอร์เบาๆ ตลอดเวลา แล้ววัดและปรับพีเอชด้วยกระดาษลิตมัสให้ได้ 4.5 โดยเติมสารละลายกรดไฮโดรคลอริกความเข้มข้น 0.561 M จำนวน 5 มิลลิลิตร ปรับพีเอชต่อด้วยสารละลายกรดไฮโดรคลอริกความเข้มข้นร้อยละ 5 และสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้นร้อยละ 5 จนได้พีเอช 4.5 หรือประมาณ 4.1-4.8
5. เติมเอนไซม์อะไมโลกลูโคซิเดส ปริมาตร 200 ไมโครลิตร ด้วยไมโครปิเปต ลงในแต่ละบีกเกอร์ ปิดปากบีกเกอร์ด้วยอะลูมิเนียมฟอยด์ แล้วนำไปบ่มในอ่างน้ำแบบควบคุมอุณหภูมิ ที่อุณหภูมิ 60°C เป็นเวลา 30 นาที โดยเขย่าบีกเกอร์เบาๆ ตลอดเวลา
6. เติมเอทานอลความเข้มข้นร้อยละ 95 ที่อุ่น (60°C) ปริมาตร 225 มิลลิลิตร (อัตราส่วนเอทานอลต่อปริมาตรของตัวอย่าง ควรจะเป็น 4:1) นำออกจากอ่างควบคุมอุณหภูมิ แล้วปล่อยให้ตกตะกอนที่อุณหภูมิห้องใช้เวลาประมาณ 1 ชั่วโมง
7. เตรียม crucible สำหรับใช้ในการกรองโดยนำ crucible ไปอบในเตาเผาที่ 525°C ซ้ำมคิน ทิ้งไว้ให้เย็นแล้วล้างด้วยน้ำและปล่อยให้แห้ง
8. ชั่ง celite ประมาณ 1 กรัม ใส่ลงใน crucible และนำไปอบที่ 130°C จนมีน้ำหนักคงที่ ชั่งน้ำหนัก crucible ที่มี celite (D)

9. นำ crucible ที่มี celite ไปใส่ในเครื่องกรอง เทสารละลายปฏิกิริยาที่ได้จากข้อ 6 ลงไป เปิดปั๊มดูดเอาสารละลายที่ผ่านการย่อยด้วยเอนไซม์ออก

10. ล้างสารที่อยู่ใน crucible ด้วยเอทานอลเข้มข้นร้อยละ 78 เอทานอลและอะซิโตน ปริมาตร 15 มิลลิลิตร 2 ครั้ง ตามลำดับ

11. นำ crucible ที่มีสารที่ได้จากการกรองและ celite ไปอบให้แห้งที่ 105°C ซ้ำมึนคึนในตู้อบจนน้ำหนักคงที่ หลังจากนั้นนำออกมาทิ้งไว้ให้เย็นใน desiccator และนำไปชั่งน้ำหนัก (B) นำน้ำหนักที่ชั่งได้ลบออกจากน้ำหนัก crucible ที่มี celite (D) จะได้น้ำหนักตัวอย่างที่เหลือจากขั้นตอนการย่อยและการกรอง (Sample residue, R)

12. นำตัวอย่าง M_1 ที่เหลือใน crucible ไปวิเคราะห์โปรตีนที่ย่อยไม่ได้ (undigestible protein) ด้วยวิธี Kjeldahl ส่วนตัวอย่าง M_2 นำไปวิเคราะห์หาปริมาณเถ้า โดยนำไปเผาในเตาเผาที่อุณหภูมิ 525°C เป็นเวลา 5 ชั่วโมง แล้วปล่อยให้เย็นใน desiccator และนำไปชั่งน้ำหนัก (C) นำน้ำหนักที่ชั่งได้ลบออกจากน้ำหนัก crucible ที่มี celite (D) จะได้น้ำหนักเถ้า (Ash sample residue, A)

2) การวิเคราะห์ปริมาณใยอาหารที่ไม่ละลายน้ำ (Insoluble dietary fiber: IDF)

วิธีวิเคราะห์

1. ขั้นตอนการย่อยทำเช่นเดียวกับการวิเคราะห์ใยอาหารทั้งหมด ในข้อ 1-6 แต่ไม่ต้องตกตะกอนด้วยเอทานอล

2. เตรียม crucible ที่ทำความสะอาดแล้ว อบในเตาเผาที่ 525°C ประมาณ 6 ชั่วโมง ทิ้งไว้ให้เย็นแล้วล้างด้วยน้ำและปล่อยให้แห้ง

3. ชั่ง celite ประมาณ 1 กรัม ใส่ลงใน crucible และนำไปอบที่ 130°C จนมีน้ำหนักคงที่ ชั่งน้ำหนัก crucible ที่มี celite (D)

4. นำ crucible ที่มี celite ไปใส่ในเครื่องกรอง เทสารละลายปฏิกิริยาที่ได้จากขั้นตอนการย่อยลงไป เปิดปั๊มดูดเอาสารละลายที่ผ่านการย่อยด้วยเอนไซม์ออก

5. ล้างสารที่อยู่ใน crucible ด้วยน้ำที่มีอุณหภูมิ 70°C ปริมาตร 10 มิลลิลิตร 2 ครั้ง

6. ล้างสารที่อยู่ใน crucible ด้วยเอทานอลเข้มข้นร้อยละ 78 เอทานอลและอะซิโตน ปริมาตร 15 มิลลิลิตร 2 ครั้ง ตามลำดับ

7. นำไปอบให้แห้งที่อุณหภูมิ 105°C ซ้ำมึนคึนในตู้อบจนมีน้ำหนักคงที่และวิเคราะห์หาปริมาณใยอาหารที่ไม่ละลายน้ำเช่นเดียวกับการวิเคราะห์ปริมาณใยอาหารทั้งหมด

3) การวิเคราะห์ปริมาณใยอาหารที่ละลายน้ำได้ (Soluble dietary fiber: SDF)

วิธีวิเคราะห์

1. ขั้นตอนการย่อยและการกรองทำเช่นเดียวกันกับการวิเคราะห์ใยอาหารที่ไม่ละลายน้ำ ข้อ 1-4 แต่ในข้อที่ 4 ให้เก็บสารละลายที่ผ่านการย่อยด้วยเอนไซม์ที่ได้จากการกรองไว้ในบีกเกอร์ทรงสูง 600 มิลลิลิตร ซึ่งเป็นใยอาหารที่ละลายน้ำได้

2. ล้างสารที่อยู่ใน crucible ด้วยน้ำที่มีอุณหภูมิ 70 ° C ปริมาตร 10 มิลลิลิตร 2 ครั้ง เก็บน้ำที่ได้จากการล้างไปรวมกับสารละลายที่ผ่านการย่อยด้วยเอนไซม์ในข้อ 1

3. เติมเอทานอลเข้มข้นร้อยละ 95 ที่อุ่นให้มีอุณหภูมิ 60 ° C (อัตราส่วนเอทานอลต่อ ปริมาตรของตัวอย่าง ควรจะเป็น 4:1) ปล่อยให้ตกตะกอนที่อุณหภูมิห้องใช้เวลาประมาณ 1 ชั่วโมง

4. นำไปกรองตามขั้นตอนการกรองและวิเคราะห์หาปริมาณใยอาหารที่ละลายน้ำได้ เช่นเดียวกันกับการวิเคราะห์ปริมาณใยอาหารทั้งหมด

การคำนวณ

1. Blank (B, mg)

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

เมื่อ BR_1, BR_2 = Blank Residue (g)

P_B = Protein on blank residue (g)

A_B = Ash on blank residue (g)

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

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

เมื่อ R_1, R_2 = Sample Residue (g)

P = Protein on sample residue (g)

A = Ash on sample residue (g)

B = Blank weight (g)

M_1, M_2 = Sample weight (g)

ก-7 การวิเคราะห์ปริมาณฟีนอลิกทั้งหมด

อุปกรณ์และเครื่องมือ

1. หลอดทดลอง
2. ขวดรูปชมพู่ ขนาด 50 มิลลิลิตร
3. ขวดปรับปริมาตร ขนาด 25 และ 100 มิลลิลิตร
4. กรวยกรองพร้อมกระดาษกรองสาร No.2
5. ปิเปต ขนาด 1, 5 และ 10 มิลลิลิตร
6. เครื่องเขย่า (Shaker)
7. คิวเวต

8. เครื่องปั่นผสม (Vortex mixer)

9. เครื่องวัดค่าการดูดกลืนแสง

สารเคมี

1. เอทานอล (Ethanol : $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{OH}$) 95%

2. โพลิน ซีโอแคลทู รีเอเจนต์ (Folin-ciocalteu reagent)

3. กรดแกลลิก (Gallic acid : $\text{C}_7\text{H}_6\text{O}_5$)

4. โซเดียมคาร์บอเนต (Sodium carbonate anhydrous : Na_2CO_3)

5. กรดอะซิติก (Acetic acid : CH_3COOH)

6. อะซิโตน (Aceton : $(\text{CH}_3)_2\text{CO}$)

การเตรียมตัวอย่างสารสกัด

ชั่งตัวอย่างแห้ง 1 กรัม ทำการสกัดด้วยอะซิโตน : น้ำกลั่น : กรดอะซิติก (70:29.5:0.5) ปริมาตร 20 มิลลิลิตร จากนั้นนำไปเขย่าโดยใช้เครื่องเขย่าที่ความเร็วรอบ 300 รอบ/นาที นาน 3 ชั่วโมง จากนั้นนำไปเก็บไว้ในที่มืดเป็นเวลา 24 ชั่วโมง เมื่อครบตามเวลาที่กำหนด กรองตัวอย่างด้วยกระดาษกรอง จากนั้นปรับปริมาตรเป็น 25 มิลลิลิตร ด้วยสารสกัด (อะซิโตน : น้ำกลั่น : กรดอะซิติก) เก็บสารสกัดที่ได้ในขวดแก้วสีชาและเก็บที่สภาวะแช่เย็น (อุณหภูมิประมาณ 4 องศาเซลเซียส) จนกว่าจะนำมาวิเคราะห์หาค่าการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดและปริมาณสารแอนโทไซยานิน

การเตรียมสารเคมี

1. เตรียมสารละลายโซเดียมคาร์บอเนตความเข้มข้นร้อยละ 7 โดยใช้โซเดียมคาร์บอเนต 7 กรัม ละลายในน้ำกลั่นและปรับปริมาตรให้ได้ 100 มิลลิลิตรด้วยน้ำกลั่น
2. การเตรียมสารละลายมาตรฐานกรดแกลลิกโดยใช้กรดแกลลิก 0.01 กรัม นำมาละลายด้วยเอทานอลเล็กน้อยและปรับปริมาตรให้ได้ 100 มิลลิลิตรด้วยน้ำกลั่น
3. เตรียมสารโพลิน ซีโอแคลทู โดยปิเปตโพลิน ซีโอแคลทู 2 มิลลิลิตร ผสมน้ำกลั่น 20 มิลลิลิตร จากนั้นเก็บในขวดสีชา

การทำกราฟมาตรฐานกรดแกลลิก

เตรียมสารละลายมาตรฐานกรดแกลลิกโดยผสมกรดแกลลิกและน้ำกลั่นให้มีความเข้มข้นแตกต่างกัน 6 ระดับ คือ 0 20 40 60 80 และ 100 $\mu\text{g/ml}$ ซึ่งเจือจางโดยใช้สูตร $C_1V_1 = C_2V_2$ เตรียม 25 มิลลิลิตร

1. ปิเปตสารละลายมาตรฐานกรดแกลลิกแต่ละความเข้มข้นมา 1 มิลลิลิตร เติมน้ำกลั่น 7 มิลลิลิตร เติมโพลินซีโอแคลทู 0.5 มิลลิลิตร ตั้งทิ้งไว้ 30 นาที
2. เติมสารละลายโซเดียมคาร์บอเนตความเข้มข้นร้อยละ 7 ปริมาตร 1.5 มิลลิลิตร ผสมให้เข้ากันด้วยเครื่องปั่นผสม และตั้งทิ้งไว้ 2 ชั่วโมง โดยสารละลายจะเปลี่ยนเป็นสีน้ำเงิน

3. วัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 765 นาโนเมตร ด้วยเครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ ทำการทดลอง 3 ซ้ำ
4. พล็อตกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าการดูดกลืนแสง (แกน Y) และค่าความเข้มข้นของกรดแกลลิก (แกน X)

วิธีการวิเคราะห์

1. ปิเปตสารสกัดตัวอย่างแบ่งถ่วงน้ำหนัก หรือสารสกัดตัวอย่างผลิตภัณฑ์พาสต้า ที่เตรียมไว้มา 0.1 มิลลิลิตร เติมน้ำกลั่น 7.9 มิลลิลิตร เติม โพลินซีโอแคลทู 0.5 มิลลิลิตร ตั้งทิ้งไว้ 30 นาที
2. เติมสารละลายโซเดียมคาร์บอเนตความเข้มข้นร้อยละ 7 ปริมาตร 1.5 มิลลิลิตร ผสมให้เข้ากันด้วยเครื่องปั่นผสม และตั้งทิ้งไว้อีก 2 ชั่วโมง โดยสารละลายจะเปลี่ยนเป็นสีน้ำเงิน
3. วัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 765 นาโนเมตร ด้วยเครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ ทำการทดลอง 3 ซ้ำ
4. คำนวณหาปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดจากการแทนค่าการดูดกลืนแสงที่ได้จากการวัดตัวอย่าง (ค่า Y) ในสมการเส้นตรง จะได้ปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดในรูปกรดแกลลิก (ค่า X) จากนั้นนำมาคำนวณหาปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด

ก-8 สมบัติในการต้านอนุมูลอิสระ DPPH radical scavenging activity

สารเคมี

1. ดีพีพีเอช (2-diphenyl-1-picrylhydrazyl : $C_{18}H_{12}N_5O_6$)
2. เอทานอลร้อยละ 95

การเตรียมสารเคมี

เตรียม DPPH 0.1 มิลลิโมล โดยชั่งสาร DPPH 0.0039 กรัม ปรับปริมาตรให้เป็น 100 มิลลิลิตร ด้วยเอทานอล

วิธีการวิเคราะห์

1. เตรียมสารละลายดีพีพีเอชให้มีความเข้มข้น 0.1 mM ปริมาตร 100 มิลลิลิตร
2. เตรียมตัวอย่าง (A_{sample}) โดยปิเปตสารสกัดตัวอย่างที่ได้จากภาคผนวก ก-7 ปริมาตร 3 มิลลิลิตร ผสมกับสารละลายดีพีพีเอชความเข้มข้น 0.1 mM 3 มิลลิลิตร ในหลอดทดลอง ปั่นผสมด้วย Vortex เป็นเวลา 3 วินาที ตั้งทิ้งไว้ในที่มืดเป็นเวลา 30 นาที
3. เตรียมตัวควบคุม (A_{control}) โดยปิเปตสารสกัด (อะซีโตน : น้ำกลั่น : กรดอะซิติก) ปริมาตร 3 มิลลิลิตร กับสารละลายดีพีพีเอชความเข้มข้น 0.1 mM 3 มิลลิลิตร ในหลอดทดลอง ปั่นผสมด้วยเครื่อง Vortex เป็นเวลา 3 วินาที ตั้งทิ้งไว้ในที่มืดเป็นเวลา 30 นาที

4. เตรียม blank โดยปิเปตสารสกัด (อะซีโตน : น้ำกลั่น : กรดอะซิติก) ปริมาตร 3 มิลลิลิตร กับ เอทานอลร้อยละ 95 ปริมาตร 3 มิลลิลิตร

5. วัดค่าดูดกลืนแสงของตัวอย่างและตัวควบคุม ที่ความยาวคลื่น 517 นาโนเมตร ด้วยเครื่อง สเปกโตรโฟโตมิเตอร์ วิเคราะห์ 3 ซ้ำ

6. คำนวณหาร้อยละความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ

การคำนวณ

$$\%inhibition = [(A_{control} - A_{sample})/A_{control}] \times 100$$

เมื่อ $A_{control}$ คือ ค่าการดูดกลืนแสงของตัวควบคุม

A_{sample} คือ ค่าการดูดกลืนแสงของสารสกัดตัวอย่าง

ก-9 การวิเคราะห์ปริมาณแอนโทไซยานิน

สารเคมี

1. สารละลายบัฟเฟอร์โพแทสเซียมคลอไรด์ (0.025 M, pH 1.0)
2. สารละลายบัฟเฟอร์โซเดียมอะซิเตท (0.4 M, pH 4.5)

วิธีการวิเคราะห์

1. ใช้สารสกัดตัวอย่างที่ได้จากภาคผนวก ก-7 โดยปิเปตสารละลายตัวอย่างใส่หลอดทดลอง หลอดละ 1 มิลลิลิตร
2. หลอดที่ 1 เติมสารละลายบัฟเฟอร์โพแทสเซียมคลอไรด์ (0.025 M, pH 1.0) 9 มิลลิลิตร
3. หลอดที่ 2 เติมสารละลายบัฟเฟอร์โซเดียมอะซิเตท (0.4 M, pH 4.5) 9 มิลลิลิตร
4. เตรียมสารละลาย Blank โดยใช้ น้ำกลั่นแทนสารสกัดตัวอย่าง
5. นำหลอดทดลองทั้ง 2 หลอดและ Blank ไปวัดค่าดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 513 และ 700 นาโนเมตร
6. คำนวณปริมาณแอนโทไซยานินทั้งหมดจากสมการ

การคำนวณ

$$\text{Total Anthocyanin (mg/l)} = \frac{A \times MW \times DF \times 1000}{(\epsilon \times 1)}$$

เมื่อ A คือ ค่าการดูดกลืนแสงเท่ากับ $[(A_{513} - A_{700})_{pH 1.0} - (A_{513} - A_{700})_{pH 4.5}]$

MW คือ น้ำหนักโมเลกุลของ Cyanidin-3-glucoside เท่ากับ 449.2

DF คือ Dilution factory

ϵ คือ Molar extinction coefficient ของ Cyanidin-3-glucoside เท่ากับ 29600

ก-11 ดัชนีการละลายน้ำ ความสามารถในการดูดซับน้ำและน้ำมัน

อุปกรณ์

1. เครื่องปั่นเหวี่ยงสาร
2. ตู้อบลมร้อน
3. เครื่องชั่งไฟฟ้าชนิดละเอียด
4. เครื่องปั่นผสม (Vortex mixer)

วิธีการวิเคราะห์

1. ชั่งตัวอย่างแห้ง 2 กรัม (บันทึกน้ำหนักที่แน่นอน) ใส่ในหลอดเหวี่ยงที่รู้น้ำหนักแน่นอน
2. เติมน้ำกลั่น 40 มิลลิลิตร นำไปเขย่าด้วยเครื่องปั่นผสม 10 นาที นำไปปั่นเหวี่ยงด้วยเครื่องปั่นเหวี่ยงสาร ความเร็วรอบ 1000 g นาน 15 นาที ที่อุณหภูมิ 20°C
3. ดูดน้ำใส่ต่อนบนใส่ moisture can ที่ผ่านการอบแห้งและทราบน้ำหนัก แล้วจึงชั่งน้ำหนัก โดยดูดน้ำส่วนใสให้มากที่สุดเท่าที่จะทำได้ และนำไปอบแห้งในตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 105°C อบจนกระทั่งแห้ง จากนั้นลบด้วยน้ำหนักของ moisture can ออก เป็นค่าน้ำหนักส่วนที่ละลายน้ำ
4. ส่วนแห้งเปียกที่อยู่ในหลอด นำไปชั่งน้ำหนักทั้งหลอดแล้วหักลบน้ำหนักหลอดออก
5. ในกรณีหาความสามารถในการดูดซับน้ำมัน ทำการทดลองเช่นเดียวกับข้อ 1-4 แต่ใช้น้ำมันพืชแทนน้ำกลั่น

การคำนวณ

$$\text{Water solubility index (\%)} = \frac{\text{น้ำหนักส่วนใสหลังอบแห้ง} \times 100}{\text{น้ำหนักตัวอย่างแห้งเริ่มต้น}}$$

$$\begin{aligned} \text{Water absorption capacity (g/g)} \\ \text{or Oil absorption capacity (g/g)} \end{aligned} = \frac{\text{น้ำหนักตะกอนแห้งหลังการปั่นเหวี่ยง}}{\text{น้ำหนักตัวอย่างแห้งเริ่มต้น}}$$

ก-12 การเกิดโฟมและความเสถียรของโฟม

อุปกรณ์

1. ปีกเกอร์
2. กระจกตวง
3. เครื่องชั่งไฟฟ้า
4. เครื่องโฮโมจีไนส์ (Homogenizer)

วิธีการวิเคราะห์

1. ชั่งตัวอย่างแห้ง 1.5 กรัม ใส่ในปีกเกอร์ และเติมน้ำกลั่น 50 มิลลิลิตร

2. นำไปปั่นด้วย Homogenizer ที่ความเร็วรอบ 1000 รอบ/นาที เป็นเวลา 2-3 นาที
3. นำตัวอย่างเพื่อใส่กระบอกตวงขนาด 100 มิลลิลิตร และล้างภาชนะที่ใส่ตัวอย่างด้วยน้ำกลั่น 10 มิลลิลิตร วัดปริมาตรของฟองที่เกิดขึ้นและคำนวณเป็นค่า Foam capacity
4. วัดปริมาตรของฟองที่ยังคงเหลือในกระบอกตวงเมื่อตั้งทิ้งไว้เป็นเวลา 20, 40, 60 และ 120 นาที และคำนวณเป็นค่า Foam stability

การคำนวณ

$$\text{Foam capacity} = \frac{\text{ปริมาตรฟองที่เกิดขึ้น} \times 100}{\text{ปริมาตรของตัวอย่างเริ่มต้น}}$$

$$\text{Foam stability} = \frac{\text{ปริมาตรฟองที่ตั้งทิ้งไว้} \times 100}{\text{ปริมาตรฟองที่เกิดขึ้นเริ่มต้น}}$$

ก-13 การเกิดอิมัลชันและความเสถียรของอิมัลชัน

อุปกรณ์

1. ปีกเกอร์
2. เครื่องหมุนเหวี่ยง
3. เครื่องชั่งไฟฟ้า
4. เครื่องโฮโมจีไนส์ (Homogenizer)

วิธีการวิเคราะห์

1. ชั่งตัวอย่างแป้ง 3.5 กรัม ใส่ในปีกเกอร์ และเติมน้ำกลั่น 50 มิลลิลิตร
2. นำไปปั่นด้วย Homogenizer ที่ความเร็วรอบ 1000 รอบ/นาที เป็นเวลา 30 วินาที
3. เติมน้ำมันพืช 25 มิลลิลิตร และนำไปปั่นด้วย Homogenizer เป็นเวลา 30 วินาที
4. เติมน้ำมันพืช 25 มิลลิลิตร และนำไปปั่นด้วย Homogenizer เป็นเวลา 90 วินาที
5. เทอิมัลชันในหลอดเหวี่ยง หลอดละ 50 มิลลิลิตร จำนวน 2 หลอด และนำไปหมุนเหวี่ยงที่ 1100 g เป็นเวลา 5 นาที วัดปริมาตรของอิมัลชัน และคำนวณค่า Emulsion activity
6. นำหลอดเหวี่ยงที่มีอิมัลชันไปให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 85°C เป็นเวลา 15 นาที ทิ้งให้เย็น
7. นำมาผสมด้วย Homogenizer ที่ 1100 รอบ/นาที เป็นเวลา 5 นาที วัดปริมาตรของอิมัลชันที่เหลืออยู่ และคำนวณค่า Emulsion stability

การคำนวณ

$$\text{Emulsion activity} = \frac{\text{ปริมาตรอิมัลชันที่เกิดขึ้น} \times 100}{\text{ปริมาตรของตัวอย่างเริ่มต้น}}$$

$$\text{Emulsion stability} = \frac{\text{ปริมาตรอิมัลชันที่เกิดหลังจากให้ความร้อน} \times 100}{\text{ปริมาตรอิมัลชันที่เกิดขึ้นเริ่มต้น}}$$

ก-14 การเปลี่ยนแปลงความหนืดของน้ำแป้ง

อุปกรณ์

1. Rapid Visco Analyzer (RVA-3D, Newport Scientific)
2. เครื่องชั่งไฟฟ้า
3. ถ้วยตัวอย่าง

วิธีการวิเคราะห์

1. เตรียมน้ำแป้งที่ความเข้มข้นร้อยละ 10 โดยน้ำหนักแห้ง ใส่ในถ้วยตัวอย่าง
2. กวนแป้งโดยใช้ใบพัดแบบ paddle ที่ความเร็วรอบ 160 rpm ให้ความร้อนจากอุณหภูมิ 50 จนถึง 95 °C ด้วยอัตรา 12.2 °C /min รักษาระดับอุณหภูมิที่ 95 °C เป็นเวลา 2.5 นาที และลดระดับอุณหภูมิลงเป็น 50°C ด้วยอัตรา 11.8 °C /min รักษาระดับอุณหภูมิที่ 50 °C เป็นเวลา 2 นาที
3. บันทึกค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ดังนี้ ความหนืดสูงสุด (Peak viscosity; PV) ความหนืดต่ำสุด (Trough) ความแตกต่างของความหนืดสูงสุดและความหนืดต่ำสุด (Breakdown; BD) ความหนืดสุดท้าย (Final viscosity; FV) ผลต่างของความหนืดสุดท้ายกับความหนืดต่ำสุด (Setback) เวลาในการเกิดความหนืดสูงสุด (Peak time) และอุณหภูมิแป้งเปื่อย (Pasting temperature; PT)

ก-15 สมบัติด้านความร้อนของแป้ง

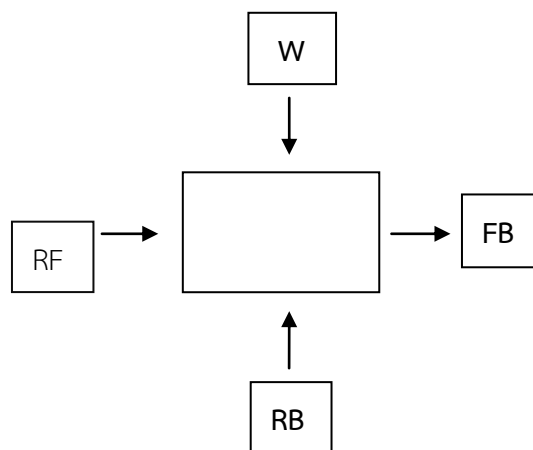
อุปกรณ์

1. Differential Scanning Calorimeter (DSC 1, Mettler Toledo)
2. เครื่องชั่งไฟฟ้าแบบละเอียด
3. ถ้วยอลูมิเนียมสำหรับใส่ตัวอย่าง

วิธีการวิเคราะห์

1. ชั่งแป้ง 3 มิลลิกรัมใส่ในถ้วยอลูมิเนียม และเติมน้ำ 6 มิลลิกรัม ปิดฝีกถ้วยอลูมิเนียม ทิ้งไว้เป็นเวลา 24 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิ 4°C
2. นำตัวอย่างในถ้วยอลูมิเนียมมาวิเคราะห์โดยกำหนดอุณหภูมิในการสแกน 20-95°C และอัตราการให้ความร้อน 10°C / นาที ใช้ถ้วยอลูมิเนียมเปล่าเป็นตัวอ้างอิง

ภาคผนวก ข
การคำนวณปริมาณน้ำที่ต้องเติมในส่วนผสม



RF = Rice flour (แป้งข้าวเจ้า)

W = Water (น้ำ)

RB = Red bean (แป้งถั่วแดง)

FB = Flour blend (ส่วนผสมแป้ง)

ตัวอย่างการคำนวณ

สมมติแป้งข้าวเจ้ามีความชื้นร้อยละ 12 แป้งถั่วแดงมีความชื้นร้อยละ 14 และต้องการส่วนผสมที่มีความชื้นร้อยละ 30 ใช้แป้งข้าวเจ้า 70 กรัม และแป้งถั่วแดง 30 กรัม

$$\text{Mass Balance : } \quad \text{RF} + \text{RB} + \text{W} = \text{FB}$$

$$(70 \times 0.12) + (30 \times 0.14) + \text{W} = (70 + 30 + \text{W}) 0.3$$

$$\text{แก้สมการหาค่า W จะได้} \quad \text{W} = 24.86$$

ดังนั้นจะต้องเติมน้ำ 24.86 กรัม จึงจะได้ส่วนผสมที่มีความชื้นร้อยละ 30

ภาคผนวก ค

การวัดลักษณะเนื้อสัมผัสของเส้นพาสต้า

การวัดความต้านทานต่อการดึงขาด

วัดค่าแรงดึงสูงสุดที่ทำให้เส้นขาดออกจากกัน (Peak force) และเวลาที่ใช้ในการดึงเส้นให้ขาดออกจากกัน ใช้หัววัด spaghetti tensile grips (A/SPR)

การเตรียมตัวอย่าง : นำเส้นพาสต้าที่มีความยาว 30 เซนติเมตร มา 50 กรัม ต้มในน้ำเดือด (ใช้น้ำกลั่น 2000 มิลลิลิตร ในการต้ม) ตามเวลาที่ได้จากการทดลอง ตักเส้นพาสต้าขึ้นแล้วแช่ในน้ำเย็น 1 นาที ตักพาสต้าขึ้นจากน้ำเย็น ทิ้งให้สะเด็ดน้ำเป็นเวลา 2 นาที นำเส้นพาสต้าใส่กล่องพลาสติก ปิดฝา แล้วนำออกมาวัดค่าที่ละเส้น โดยพันกับหัววัดด้านบนและด้านล่าง ด้านละ 3 รอบ ซึ่งการวัดตัวอย่างจะต้องทำให้เสร็จภายในเวลา 15 นาที หลังจากการต้ม

การวัดค่าการยึดเกาะที่ผิวหน้า (Adhesiveness)

วัดค่า adhesiveness โดยใช้หัววัด p/35

การเตรียมตัวอย่าง : นำเส้นพาสต้าที่มีความยาว 15 เซนติเมตร มา 50 กรัม ต้มในน้ำเดือด (ใช้น้ำกลั่น 2000 มิลลิลิตร ในการต้ม) ตามเวลาที่ได้จากการทดลอง ตักเส้นพาสต้าขึ้นแล้วแช่ในน้ำเย็น 1 นาที ตักพาสต้าขึ้นจากน้ำเย็น ทิ้งให้สะเด็ดน้ำเป็นเวลา 2 นาที นำเส้นพาสต้าใส่กล่องพลาสติก ปิดฝา แล้วนำออกมาวัดค่าที่ละเส้น ใช้กระดาษร้อยปอนด์รองที่ฐานโดยใช้กระดาษสองหน้าติดตามแนวยาวกับฐาน วางเส้นทั้งสองให้ติดบนกระดาษร้อยปอนด์และอยู่ตรงกลางเมื่อหัววัดกดลงมา ซึ่งการวัดตัวอย่างจะต้องทำให้เสร็จภายในเวลา 15 นาที หลังจากการต้ม

การวัดความแน่นเนื้อ (firmness)

วัดค่า firmness โดยใช้หัววัด A/LKB

การเตรียมตัวอย่าง : นำเส้นพาสต้าที่มีความยาว 10 เซนติเมตร มา 50 กรัม ต้มในน้ำเดือด (ใช้น้ำกลั่น 2000 มิลลิลิตร ในการต้ม) ตามเวลาที่ได้จากการทดลอง ตักเส้นพาสต้าขึ้นแล้วแช่ในน้ำเย็น 1 นาที ตักพาสต้าขึ้นจากน้ำเย็น ทิ้งให้สะเด็ดน้ำเป็นเวลา 2 นาที นำเส้นพาสต้าใส่กล่องพลาสติก ปิดฝา แล้วนำออกมาวัดค่าที่ละเส้น โดยวางเส้นพาสต้า 5 เส้น ให้ติดกันและอยู่ตรงกลางเมื่อหัววัดกดลงมาซึ่งการวัดตัวอย่างจะต้องทำให้เสร็จภายในเวลา 15 นาที หลังจากการต้ม

วิธีการใช้เครื่องวัดลักษณะเนื้อสัมผัส (Texture analyzer รุ่น TA-XT2)

1) เริ่มทำงาน

1.1) เปิดเครื่องคอมพิวเตอร์และเครื่อง Texture Analyzer

1.2) คลิกที่ Start → Program → Texture Export → Texture Export U.S.

English จะปรากฏหน้าต่าง User Selection → คลิก ok

1.3) จากนั้นไปที่ File → New Project จะปรากฏหน้าต่างต่างของ Project (ถ้าใช้เป็นครั้งแรก) หรือถ้าไม่ต้องการจะตั้ง Project → Restart จะปรากฏหน้าต่างต่างของกราฟ

1.4) กรณีมีข้อมูลแล้วให้คลิกที่ Open Icon จะปรากฏหน้าต่างต่างของ Open ให้เลือกชื่อไฟล์ตามต้องการโดยเปลี่ยนชนิดของไฟล์ได้ที่ List First of Type โดย *.ARC คือ ไฟล์ที่เป็นกราฟ*.RSE คือ ไฟล์ที่เป็นตารางข้อมูล *.PRJ คือไฟล์ที่เป็น Project Document.MAC คือ ไฟล์ที่เป็นMacro และ *.LIS คือ ไฟล์ที่เป็นข้อมูลดิบ

2) การปรับเทียบ (Calibration)

2.1) ต้องทำการ Calibrate Force ทุกครั้งที่ทำการทดสอบ

โดยไปที่ T.A บน Menu Bar → Calibrate Force จะปรากฏหน้าต่างต่างของ Force Calibration ตรวจสอบให้แน่ใจว่าไม่มีหัววัด (Probe) ติดอยู่ที่ Calibrate Platform จากนั้นให้คลิก ok

2.2) จากนั้นจะปรากฏหน้าต่างต่างใหม่ของ Force Calibration ต่อไปให้วางตุ้มน้ำหนัก 5 กิโลกรัม บน Calibration Platform แล้วคลิก ok

2.3) เมื่อปรากฏข้อความว่า “Calibration Successful” ให้ยกตุ้มน้ำหนักลงแล้วคลิก ok

3) การทำ T.A.Setting

3.1) ไปที่ T.A → T.A.Setting จะปรากฏหน้าต่างต่างของ Texture Analyzer Setting ตั้งค่าพารามิเตอร์ดังนี้

กรณีวัดค่า Tensile Strength

Mode	Measure Force in Tension
Option	Return to Start
Pre-Test Speed	3.0 mm/s
Test Speed	3.0 mm/s
Post-Test Speed	5.0 mm/s
Distance	80 mm
Trigger Type	Auto-5g
Data Acquisition Rate	200pps

กรณีวัดค่า Adhesiveness

Mode	Measure Force in Compression
Option	Return to Start
Pre-Test Speed	2.0 mm/s
Test Speed	2.0 mm/s
Post-Test Speed	2.0 mm/s
Distance	75%
Trigger Type	Auto-10g
Data Acquisition Rate	200pps

กรณีวัดค่า Firmness

Mode	Measure Force in Compression
Option	Return to Start
Pre-Test Speed	10.0 mm/s
Test Speed	10.0 mm/s
Post-Test Speed	10.0 mm/s
Distance	90%
Trigger Type	Auto-10g
Data Acquisition Rate	200pps

3.2) ถ้าต้องการบันทึกข้อมูลไว้ให้คลิก Save กรณีจะเรียกใช้ข้อมูลเดิมให้คลิก

Load

3.3) เมื่อจะทำขั้นต่อไปให้คลิก Update

4) การทำ Run a Test

4.1) เมื่อวางตัวอย่างบนแท่นทดสอบหรือ Probe ชุดล่างเรียบร้อยแล้ว ให้เลือก

T.A. บน Menu Bar → Run a Test จะปรากฏหน้าต่างของ Run a Test พารามิเตอร์ต่าง ๆ มีความหมายดังนี้

Auto Save : บันทึกข้อมูลโดยอัตโนมัติตาม Drive หรือ Path ที่ตั้งไว้

File Id : ตั้งชื่อ File สำหรับกราฟแสดงผล (5 ตัวอักษร)

File No : ตั้งหมายเลขไฟล์ (จำเป็นในครั้งแรกเพราะจะเพิ่มขึ้นเองโดยอัตโนมัติ

หลังจากที่แต่ละไฟล์ถูกบันทึก)

Drive : ตำแหน่งที่จะบันทึกข้อมูลไว้

Title : ตั้งชื่อกราฟแสดงผล

Note : บันทึกรายละเอียดของตัวอย่างนำมาทดสอบ

Probe and Product Data : เลือกชนิดของ Probe ให้ตรงกับที่นำมาใช้

Configure : ใส่ Production dimension

Delay Start : เมื่อต้องการเลื่อนเวลาในการเริ่มการวัดออกไป

Clear Previous Graph : เมื่อต้องการให้การทดสอบแต่ละครั้งปรากฏกราฟเพียงเส้นเดียว (เป็นการลบ ARC file เดิมออกเพื่อให้ ARC file ใหม่เข้ามาแทน

Run Macro : เมื่อต้องการให้วิเคราะห์ผลโดยอัตโนมัติ

PPS : อัตราเร็วในการบันทึกข้อมูลในหน่วยความจำของคอมพิวเตอร์ โดยทั่วไปใช้

200 PPS

4.2) เมื่อตั้งค่าต่างๆ เรียบร้อยแล้ว ให้คลิก OK เครื่องจะเริ่มทำการทดสอบพร้อมกับปรากฏเส้นกราฟบนหน้าต่างกราฟ ส่วนการทดสอบขั้นต่อไปให้เลือก T.A. บน Menu Bar → Quick Test Run

4.3) การอ่านค่าที่ได้จากกราฟ

กรณีอ่านค่า Tensile Strength

เลือก Go To บน Menu Bar → Min Time → Max Force เลือก
Process Data บน Menu Bar → Mark Force → Mark Time

กรณีอ่านค่า Adhesiveness

เลือก Go To บน Menu Bar → Min Time → Max Force เลือก
Process Data บน Menu Bar → Mark Force → เลือก Go To บน Menu bar → Specified
Force เลือกค่าแรงเป็น 0 → เลือก Process Data บน Menu Bar → Anchor → เลือก Go To
บน Menu Bar → Peak Force- → Specified Force เลือกค่าแรงเป็น 0 → เลือก Process
Data บน Menu Bar → Anchor → Area

กรณีวัดค่า Firmness

เลือก Go To บน Menu Bar → Min Time → Max Force เลือก
Process Data บน Menu Bar → Mark Force → Mark Time

ภาคผนวก ง
แบบประเมินผลที่ใช้ในการทดสอบทางประสาทสัมผัส

คำแนะนำ กรุณาทดสอบพาสต้าข้าวเจ้าเสริมแป้งถั่วจากซ้ายไปขวา และให้คะแนนความชอบตามคำอธิบายคะแนนความชอบข้างล่างนี้ และบันทึกปากกระหว่างตัวอย่าง

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

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

ข้อเสนอแนะ.....
.....