รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์

เรื่อง

การพัฒนาผลิตภัณฑ์พาสต้าเพื่อสุขภาพจากข้าวเจ้าเสริมสาหร่าย

Development of Healthy Rice Pasta Fortified with Algae

ผู้วิจัย

กุลยา	**ลิ้มรุ่งเรืองรัตน์**
สมถวิล	**จริตควร**
อโนชา	**สุขสมบูรณ์**
บงกช	**วรรธนะภูติ**

โครงการวิจัยนี้ได้รับเงินอุดหนุนการวิจัยจากงบประมาณเงินรายได้
(เงินอุดหนุนจากรัฐบาล)
มหาวิทยาลัยบูรพา ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2556
สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ

กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยขอขอบคุณสำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติที่ให้ทุนสนับสนุนการวิจัยนี้ ขอขอบคุณฝ่ายส่งเสริมการวิจัย มหาวิทยาลัยบูรพา สำหรับการประสานงานอย่างดียิ่ง ขอขอบคุณภาควิชาวิทยาศาสตร์การอาหาร คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพาที่ให้การสนับสนุนเครื่องมือและอุปกรณ์ในการวิจัย ตลอดจนคณาจารย์และเจ้าหน้าที่ของภาควิชาที่ให้คำปรึกษาและช่วยอำนวยความสะดวกในการทำวิจัย สุดท้ายขอขอบคุณนางสาวกิตติยา ไชยฉิม นางสาวเมธาวี สุนณรงค์ นางสาวณัชชา ประกอบดี และ นางสาวชนิกานต์ กุณา ตลอดจนนิสิตปริญญาโท และนิสิตปริญญาตรีภาควิชาวิทยาศาสตร์การอาหารที่มีส่วนช่วยในการทำวิจัยและให้ความร่วมมือในการทำวิจัยมาโดยตลอดจนงานวิจัยนี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

คณะผู้วิจัย
สิงหาคม 2558

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาผลิตภัณฑ์พาสต้าจากข้าวเจ้าเสริมสาหร่าย โดยแบ่งการทดลองออกเป็น 2 ตอน คือ ตอนที่ 1 การพัฒนาผลิตภัณฑ์พาสต้าเสริมสาหร่ายผักกาดทะเลผง โดยศึกษาผลของปริมาณสาหร่ายผักกาดทะเลผง (ร้อยละ 0, 2, 4, 6 และ 8 โดยน้ำหนักแป้ง) ปริมาณความชื้นของส่วนผสม (ร้อยละ 27 30 และ 33) และอุณหภูมิของเครื่องเอกซ์ทรูเดอร์ (70, 80, 90 และ 100 °C) ต่อคุณภาพหลังการต้ม ค่าสี เนื้อสัมผัส ลักษณะทางประสาทสัมผัส สมบัติการไหลของโด และโครงสร้างระดับจุลภาคของผลิตภัณฑ์พาสต้าจากข้าวเจ้าที่ผลิตโดยกระบวนการเอกซ์ทรูชัน พบว่าเมื่อปริมาณสาหร่ายผักกาดทะเลผงเพิ่มขึ้นมีผลทำให้เวลาที่เหมาะสมในการต้ม และค่าความแน่นเนื้อลดลง ในขณะที่ปริมาณของแข็งที่สูญเสียระหว่างการต้ม ค่าการยึดเกาะที่ผิวหน้า Elastic modulus (G') และ Viscous modulus (G'') เพิ่มขึ้น ค่าสี (L*, a*, b*) ของพาสต้าที่ผ่านการอบแห้งและผ่านการต้มสุกมีค่าลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) โดยพาสต้าที่เติมสาหร่ายผักกาดทะเลผงร้อยละ 4 ได้คะแนนความชอบโดยรวมสูงที่สุดจึงเลือกไปศึกษาผลของปริมาณความชื้นของส่วนผสม พบว่าเมื่อปริมาณความชื้นส่วนผสมเพิ่มขึ้น มีผลทำให้ปริมาณของแข็งที่สูญเสียระหว่างการต้ม ค่าการยึดเกาะที่ผิวหน้าและค่าสีเพิ่มขึ้น ในขณะที่เวลาที่เหมาะสมในการต้ม ค่าความต้านทานต่อการดึงขาดและค่าความแน่นเนื้อลดลง ผลการวิเคราะห์โครงสร้างภายในพบว่าพาสต้าที่ยังไม่ผ่านการต้มมีโครงสร้างที่แน่นขึ้น โดยพาสต้าที่ใช้ปริมาณความชื้นส่วนผสมร้อยละ 30 ได้คะแนนความชอบโดยรวมสูงที่สุด จากนั้นจึงศึกษาผลของอุณหภูมิของเครื่องเอกซ์ทรูเดอร์ต่อคุณภาพของพาสต้า พบว่าเมื่ออุณหภูมิของเครื่องเอกซ์ทรูเดอร์เพิ่มขึ้น ปริมาณของแข็งที่สูญเสียระหว่างการต้ม น้ำหนักที่ได้หลังการต้มและค่าการยึดเกาะที่ผิวหน้ามีค่าเพิ่มขึ้น ในขณะที่เวลาที่เหมาะสมในการต้ม ค่าความต้านทานต่อการดึงขาด ค่าความแน่นเนื้อ ค่าความเป็นสีเขียว (-a*) และค่าความเป็นสีเหลือง (b*) ของพาสต้าต้มสุกมีค่าลดลง และพาสต้าข้าวเจ้าที่ใช้อุณหภูมิของเครื่องเอกซ์ทรูเดอร์ 80 °C ได้คะแนนความชอบโดยรวมสูงที่สุด โดยพาสต้าเติมสาหร่ายผักกาดทะเลผงร้อยละ 4 มีปริมาณเถ้าและใยอาหารสูงกว่าพาสต้าที่ไม่เติมสาหร่ายผักกาดทะเลผง แต่มีปริมาณไขมันที่ต่ำกว่า ตอนที่ 2 การพัฒนาผลิตภัณฑ์พาสต้าเสริมสาหร่ายเกลียวทองผง ศึกษาผลของปริมาณสาหร่ายเกลียวทองผง ปริมาณความชื้นของส่วนผสมแป้งและสาหร่าย อุณหภูมิของเครื่องเอกซ์ทรูเดอร์ที่เหมาะสมต่อลักษณะทางกายภาพ และลักษณะทางประสาทสัมผัสต่อพาสต้าข้าวเจ้าที่เตรียมโดยกระบวนการเอ็กซ์ทรูชัน โดยแปรปริมาณสาหร่ายเกลียวทองผงเป็นร้อยละ 0, 0.5, 1.0, 1.5 และ 2.0 (โดยน้ำหนักแป้ง) แปรปริมาณความชื้นของส่วนผสมแป้งเป็นร้อยละ 27, 30 และ 33 และอุณหภูมิของเครื่องเอกซ์ทรูเดอร์เป็น 70, 80, 90 และ 100 องศาเซลเซียส พบว่า เมื่อปริมาณสาหร่ายเกลียวทองผงเพิ่มขึ้น ปริมาณของแข็งที่สูญเสียระหว่างการต้ม น้ำหนักที่ได้หลังการต้มมีค่าเพิ่มขึ้น ($p < 0.05$) และระยะเวลาที่ใช้ในการต้มสุกลดลง ค่าความต้านทานต่อการดึงขาด ค่าความแน่นเนื้อ แต่ค่ายึดเกาะที่ผิวหน้าของพาสต้าต้มสุกที่เติมสาหร่ายเกลียวทองผงทุกระดับ มีค่าต่ำกว่าพาสต้าที่ไม่ได้เติมสาหร่าย เมื่อใช้วิธีการทดสอบทางประสาทสัมผัสโดยการให้คะแนนพบว่า คะแนนของค่าสี กลิ่นรส ความแน่นเนื้อ ความเหนียว และการเกาะติดกันของเส้นพาสต้าเพิ่มขึ้น ในขณะที่คะแนนการทดสอบทางประสาทสัมผัส พบว่าพาสต้าข้าวที่เติมสาหร่ายเกลียวทองผงร้อยละ 1 ได้คะแนนการยอมรับโดยรวม

สูงสุด จึงเลือกไปศึกษาในขั้นตอนต่อไป เมื่อปริมาณความชื้นของส่วนผสมแป้งเพิ่มขึ้น พบว่าความต้านทานต่อการดึงขาด และความแน่นเนื้อเพิ่มขึ้น โดยพาสต้าที่เตรียมโดยความชื้นร้อยละ 30 ได้คะแนนความชอบโดยรวมสูงสุด ผลของการแปรระดับอุณหภูมิพบว่า เมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้น ความต้านทานต่อการดึงขาด และความแน่นเนื้อของพาสต้าต้มสุกลดลง ($p < 0.05$) และพาสต้าที่ระดับอุณหภูมิ 70° C เป็นพาสต้าที่เหมาะสมที่สุด ผลการทดสอบทางประสาทสัมผัสพบว่า พาสต้าที่ทำจากข้าวเจ้าได้รับคะแนนความชอบโดยรวมสูงสุด และพาสต้าข้าวเจ้าเสริมด้วยสาหร่ายเกลียวทองผงมีปริมาณโปรตีน เถ้าและใยอาหารเพิ่มขึ้น แต่มีปริมาณไขมันต่ำกว่าพาสต้าข้าวเจ้าที่ไม่เติมสาหร่าย แต่อย่างไรก็ตาม พาสต้าที่เติมสาหร่ายทั้งสองชนิดยังประกอบด้วยแร่ธาตุ กรดไขมันไม่อิ่มตัวที่จำเป็นต่อร่างกาย และสารต้านอนุมูลอิสระ ดังนั้น พาสต้าข้าวเจ้าเสริมสาหร่ายจึงเป็นอีกทางเลือกหนึ่งของอาหารเพื่อสุขภาพสำหรับผู้บริโภค

ABSTRACT

This research aim was to develop extruded rice pasta fortified with different types of algae including sea lettuce (*Ulva rigida*) and spirulina (*Spirulina plantensis*). The experiment was divided into two parts. In part 1, development of extruded rice pasta fortified with sea lettuce powder, the effect of the amounts of sea lettuce powder (0, 2, 4, 6, 8 % by flour weight), moisture contents of flour blends (27, 30, 33%) and extrusion temperature (70, 80, 90 and 100 °C) on cooking quality, color, texture, sensory attributes, dough rheological property and microstructure of rice pasta produced by cooking extrusion were investigated. As the levels of sea lettuce powder increased, cooking time and firmness decreased while cooking loss and adhesiveness increased. Color values (L*, a*, b*) of uncooked and cooked rice pasta samples were significantly increased ($p<0.05$). The rice pasta with 4% sea lettuce powder received the highest overall acceptance score. The obtained rice pasta formulation was selected for investigation on the effect of moisture content of flour blends. The increase of moisture levels caused the increase of cooking loss, adhesive and color values, however; cooking time, tensile strength and firmness of cooked pasta decreased. Microstructure result revealed the more compact structure of uncooked pasta. The rice pasta produced from seaweed flour blends at 30% moisture content had the highest score of overall acceptability. Then, the effect of different extrusion temperatures on pasta qualities were carried out. The increase of cooking loss, cooking yield and adhesiveness were related to the increase of extrusion temperatures. In contrast, cooking time, tensile strength, firmness, greenness (-a*) and yellowness (b*) of cooked pasta decreased. The extrusion temperature at 80°C gave the rice pasta with the highest acceptability. The rice pasta fortified with 4% sea lettuce powder had the higher contents of protein, ash, fiber, calcium and carotenoids but lower fat content than rice pasta without seaweed. In part 2, development of extruded rice pasta fortified with spirulina powder was studied. The levels of spirulina powder (0, 0.5, 1.0, 1.5 and 2.0% flour weight), moisture content of flour blends (27, 30 and 33%) and extrusion temperatures (70, 80, 90 and 100°C) were carried out. As the levels of spirulina powder increased, cooking loss and cooking yield of cooked pasta increased ($p < 0.05$) while cooking time decreased. Tensile strength, firmness and adhesiveness of cooked rice pasta with all levels of spirulina powder were lower than those of pasta without spirulina. The rice pasta with 1% spirulina powder received the highest overall acceptability score, and was selected for further study. As the moisture content of flour blends

increased, the tensile strength and firmness increased. The rice pasta made from the flour blend contained 30% moisture content was the highest overall liking score. After that the effect of extrusion temperatures on pasta qualities were examined. The increase in temperature levels caused tensile strength and firmness of cooked pasta decreased ($p<0.05$) and the extrusion temperature at 70 °C yielded the rice pasta with the highest overall liking score. The rice pasta fortified with spirulina had the higher contents of protein, ash and dietary fiber, but lower fat content than rice pasta without spirulina. However, pasta fortified with both types of algae contained minerals, essential polyunsaturated fatty acids and antioxidants. Therefore, rice pasta fortified with algae could be an alternative healthy food for consumer.

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ค
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	จ
สารบัญ	ช
สารบัญตาราง	ซ
สารบัญภาพ	ฎ
บทที่	
1. บทนำ	1
2. การตรวจเอกสาร	3
ผลิตภัณฑ์อาหารเพื่อสุขภาพ	3
พาสต้า	4
สาหร่าย	5
สาหร่ายผักกาดทะเล	6
สาหร่ายเกลียวทอง	8
การใช้สาหร่ายในผลิตภัณฑ์พาสต้า	11
3. วิธีดำเนินการทดลอง	13
4. ผลการทดลองและวิจารณ์	21
5. สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ	79
รายการอ้างอิง	81
ภาคผนวก	86
ภาคผนวก ก วิธีวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี	87
ภาคผนวก ข การคำนวณปริมาณน้ำที่ต้องเติมในส่วนผสม	100
ภาคผนวก ค การวัดลักษณะเนื้อสัมผัสของเส้นพาสต้า	101
ภาคผนวก ง แบบประเมินผลที่ใช้ในการทดสอบคุณภาพทางประสาทสัมผัส	105

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
2-1	ชนิดและปริมาณของกรดอะมิโนที่จำเป็น (essential amino acid) และกรดอะมิโนที่ไม่จำเป็น (non-essential amino acid) ที่มีในสาหร่าย *Spirulina platensis*	9
2-2	ปริมาณวิตามินและแร่ธาตุของสาหร่าย *Spirulina platensis*	10
2-3	ชนิดและปริมาณของรงควัตถุที่พบในสาหร่าย *Spirulina platensis*	10
4-1	องค์ประกอบทางเคมีของสาหร่ายผักกาดทะเลผง	23
4-2	ชนิดและปริมาณของกรดไขมันในสาหร่ายผักกาดทะเลผง	24
4-3	คุณภาพหลังการต้มของพาสต้าข้าวเจ้าเมื่อเติมสาหร่ายผักกาดทะเลผงในปริมาณต่างๆ	27
4-4	ค่าสีของพาสต้าอบแห้งที่เติมสาหร่ายผักกาดทะเลผงในปริมาณต่างๆ	28
4-5	ค่าสีของพาสต้าต้มสุกที่เติมสาหร่ายผักกาดทะเลผงในปริมาณต่างๆ	28
4-6	ลักษณะเนื้อสัมผัสของพาสต้าข้าวเจ้าเติมสาหร่ายผักกาดทะเลผงในปริมาณต่างๆ	29
4-7	คะแนนการทดสอบทางประสาทสัมผัสของพาสต้าข้าวเจ้าที่เติมสาหร่ายผักกาดทะเลผงในปริมาณต่างๆ	33
4-8	คุณภาพหลังการต้มของพาสต้าข้าวเจ้าเสริมสาหร่ายผักกาดทะเลผงที่ใช้ปริมาณความชื้นของส่วนผสมระดับต่างๆ	35
4-9	ค่าสีของของพาสต้าข้าวเจ้าเสริมสาหร่ายผักกาดทะเลผงที่ใช้ปริมาณความชื้นของส่วนผสมระดับต่างๆ ที่ผ่านการอบแห้ง	36
4-10	ค่าสีของของพาสต้าข้าวเจ้าเสริมสาหร่ายผักกาดทะเลผงที่ใช้ปริมาณความชื้นของส่วนผสมระดับต่างๆ ที่ผ่านการต้มสุก	37
4-11	ลักษณะเนื้อสัมผัสของพาสต้าข้าวเจ้าเสริมสาหร่ายผักกาดทะเลผงที่ใช้ปริมาณความชื้นของส่วนผสมระดับต่างๆ	38
4-12	คะแนนการทดสอบทางประสาทสัมผัสของพาสต้าข้าวเจ้าเสริมสาหร่ายผักกาดทะเลผงที่ใช้ปริมาณความชื้นของส่วนผสมระดับต่างๆ	40
4-13	คุณภาพหลังการต้มของพาสต้าข้าวเจ้าเสริมสาหร่ายผักกาดทะเลผงที่เตรียมโดยใช้อุณหภูมิของเครื่องเอกซ์ทรูเดอร์ระดับต่างๆ	41
4-14	ค่าสีของพาสต้าข้าวเจ้าเสริมสาหร่ายผักกาดทะเลผงที่เตรียมโดยใช้อุณหภูมิเครื่องเอกซ์ทรูเดอร์ระดับต่าง ๆ ที่ผ่านการอบแห้ง	44

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่		หน้า
4-15	ค่าสีของพาสต้าข้าวเจ้าเสริมสาหร่ายผักกาดทะเลผงที่เตรียมโดยใช้อุณหภูมิเครื่องเอกซ์ทรูเดอร์ระดับต่างๆ ที่ผ่านการต้มสุก	44
4-16	ลักษณะเนื้อสัมผัสของพาสต้าข้าวเจ้าเสริมสาหร่ายผักกาดทะเลผงที่เตรียมโดยใช้อุณหภูมิเครื่องเอกซ์ทรูเดอร์ระดับต่างๆ	45
4-17	คะแนนการทดสอบทางประสาทของพาสต้าข้าวเจ้าเสริมสาหร่ายผักกาดทะเลผงที่เตรียมโดยใช้อุณหภูมิเครื่องเอกซ์ทรูเดอร์ระดับต่างๆ	46
4-18	คุณภาพหลังการต้มของพาสต้าข้าวเจ้าเสริมสาหร่ายผักกาดทะเลผง พาสต้าข้าวเจ้า และพาสต้าข้าวสาลีทางการค้า	47
4-19	ลักษณะเนื้อสัมผัสของพาสต้าข้าวเจ้าเสริมสาหร่ายผักกาดทะเลผง พาสต้าข้าวเจ้าและพาสต้าข้าวสาลีทางการค้า	48
4-20	คะแนนการทดสอบทางประสาทสัมผัสของพาสต้าข้าวเจ้าเสริมสาหร่ายผักกาดทะเลผง พาสต้าข้าวเจ้าและพาสต้าข้าวสาลีทางการค้า	49
4-21	องค์ประกอบทางเคมีของพาสต้าข้าวเจ้าเสริมสาหร่ายผักกาดทะเลผง พาสต้าข้าวเจ้าและพาสต้าข้าวสาลีทางการค้า	51
4-22	ชนิดและปริมาณของกรดไขมันในพาสต้าจากแป้งข้าวและพาสต้าข้าวเจ้าเสริมสาหร่ายผักกาดทะเลผง	52
4-23	ชนิดและปริมาณของกรดอะมิโนในสาหร่ายผักกาดทะเลผงและพาสต้าข้าวเจ้าเสริมสาหร่ายผักกาดทะเลผง	53
4-24	องค์ประกอบทางเคมีของสาหร่ายเกลียวทองผง	55
4-25	ชนิดและปริมาณของกรดไขมันในสาหร่ายเกลียวทองผง	56
4-26	คุณภาพหลังการต้มของพาสต้าข้าวเจ้าที่เติมสาหร่ายเกลียวทองผงในปริมาณต่างๆ	57
4-27	ค่าสีของพาสต้าอบแห้งที่ทำจากข้าวเจ้าที่เติมสาหร่ายเกลียวทองผงในปริมาณต่างๆ	58
4-28	ค่าสีของพาสต้าต้มสุกที่ทำจากข้าวเจ้าที่เติมสาหร่ายเกลียวทองผงในปริมาณต่างๆ	59
4-29	ลักษณะเนื้อสัมผัสของพาสต้าข้าวเจ้าที่เติมสาหร่ายเกลียวทองผงในปริมาณต่างๆ	60
4-30	คะแนนการทดสอบทางประสาทสัมผัสของพาสต้าข้าวเจ้าที่เติมสาหร่ายเกลียวทองผงในปริมาณต่างๆ	62
4-31	คุณภาพหลังการต้มของพาสต้าข้าวเจ้าเสริมสาหร่ายเกลียวทองผงที่ใช้ปริมาณความชื้นของส่วนผสมระดับต่างๆ	64

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่		หน้า
4-32	ค่าสีของพาสต้าข้าวเจ้าเสริมสาหร่ายเกลียวทองผงที่ใช้ปริมาณความชื้นของส่วนผสมระดับต่างๆ ที่ผ่านการอบแห้ง	66
4-33	ค่าสีของพาสต้าข้าวเจ้าเสริมสาหร่ายเกลียวทองผงที่ใช้ปริมาณความชื้นของส่วนผสมระดับต่างๆ ที่ผ่านการต้มสุก	66
4-34	ลักษณะเนื้อสัมผัสของพาสต้าข้าวเจ้าเสริมสาหร่ายเกลียวทองผงที่ใช้ปริมาณความชื้นของส่วนผสมระดับต่างๆ	67
4-35	คะแนนการทดสอบทางประสาทสัมผัสของพาสต้าข้าวเจ้าเสริมสาหร่ายเกลียวทองผงที่ใช้ปริมาณความชื้นของส่วนผสมระดับต่างๆ	67
4-36	คุณภาพหลังการต้มของพาสต้าข้าวเจ้าเสริมสาหร่ายเกลียวทองผงที่เตรียมโดยใช้อุณหภูมิของเครื่องเอกซ์ทรูเดอร์ระดับต่างๆ	68
4-37	ค่าสีของพาสต้าข้าวเจ้าเสริมสาหร่ายเกลียวทองผงที่เตรียมโดยใช้อุณหภูมิของเครื่องเอกซ์ทรูเดอร์ระดับต่างๆ ที่ผ่านการอบแห้ง	70
4-38	ค่าสีของพาสต้าข้าวเจ้าเสริมสาหร่ายเกลียวทองผงที่เตรียมโดยใช้อุณหภูมิของเครื่องเอกซ์ทรูเดอร์ระดับต่างๆ ที่ผ่านการต้มสุก	70
4-39	ลักษณะเนื้อสัมผัสของพาสต้าข้าวเจ้าเสริมสาหร่ายเกลียวทองผงที่เตรียมโดยใช้อุณหภูมิของเครื่องเอกซ์ทรูเดอร์ระดับต่างๆ	71
4-40	คะแนนการทดสอบทางประสาทสัมผัสของพาสต้าข้าวเจ้าเสริมสาหร่ายเกลียวทองผงที่เตรียมโดยใช้อุณหภูมิของเครื่องเอกซ์ทรูเดอร์ระดับต่างๆ	72
4-41	คุณภาพหลังการต้มของพาสต้าข้าวเจ้าเสริมสาหร่ายเกลียวทองผง พาสต้าข้าวเจ้าและพาสต้าข้าวสาลีทางการค้า	73
4-42	ลักษณะเนื้อสัมผัสของพาสต้าข้าวเจ้าเสริมสาหร่ายเกลียวผง พาสต้าข้าวเจ้าและพาสต้าข้าวสาลีทางการค้า	74
4-43	คะแนนการทดสอบทางประสาทสัมผัสของพาสต้าข้าวเจ้าเสริมสาหร่ายเกลียวทองผง พาสต้าข้าวเจ้า และพาสต้าข้าวสาลีทางการค้า	74
4-44	องค์ประกอบทางเคมีของพาสต้าข้าวเจ้าเสริมสาหร่ายเกลียวทองผง พาสต้าข้าวเจ้าและพาสต้าข้าวสาลีทางการค้า	75
4-45	ชนิดและปริมาณของกรดไขมันในพาสต้าจากแป้งข้าวและพาสต้าข้าวเจ้าเสริมสาหร่ายเกลียวทองผง	77
4-46	ชนิดและปริมาณของกรดอะมิโนในสาหร่ายเกลียวทองผงและพาสต้าข้าวเจ้าเสริมสาหร่ายเกลียวทองผง	78

สารบัญภาพ

ตารางที่		หน้า
3-1	ลักษณะของสาหร่ายผักกาดทะเลสด.....	13
3-2	ลักษณะของสาหร่ายผักกาดทะเลอบแห้ง.....	14
3-3	ส่วนประกอบเครื่องเอกซ์ทรูเดอร์ (Extruder).....	15
3-4	สาหร่ายเกลียวทองผงทางการค้า.....	18
4-1	ลักษณะของสาหร่ายผักกาดทะเลผง.....	21
4-2	Pasting profile ของพาสต้าที่เติมสาหร่ายผักกาดทะเลผง	26
4-3	พาสต้าอบแห้งที่เติมสาหร่ายผักกาดทะเลผงร้อยละ 0, 2, 4, 6 และ 8.....	27
4-4	พาสต้าต้มสุกที่เติมสาหร่ายผักกาดทะเลผงร้อยละ 0, 2, 4, 6 และ 8.....	27
4-5	ค่า Storage modulus (G') และค่า Loss modulus (G'') ของเจลแป้งข้าวเจ้าที่เติมสาหร่ายผักกาดทะเลผงร้อยละ 0, 2, 4, 6 และ 8 เมื่อใช้การทดสอบแบบ Amplitude sweep.....	31
4-6	ค่า Storage modulus (G') และค่า Loss modulus (G'') ของเจลแป้งข้าวเจ้าที่เติมสาหร่ายผักกาดทะเลผงร้อยละ 0, 2, 4, 6 และ 8 เมื่อใช้การทดสอบแบบ Frequency sweep.....	31
4-7	Creep and recovery profile ของเจลแป้งข้าวเจ้าที่เติมสาหร่ายผักกาดทะเลผงร้อยละ 0, 2, 4, 6 และ 8.....	32
4-8	พาสต้าข้าวเจ้าเสริมสาหร่ายผักกาดทะเลผงที่ใช้ปริมาณความชื้นของส่วนผสมระดับต่างๆ ที่ผ่านการอบแห้ง.....	36
4-9	พาสต้าข้าวเจ้าเสริมสาหร่ายผักกาดทะเลผงที่ใช้ปริมาณความชื้นของส่วนผสมระดับต่างๆ ที่ผ่านการต้มสุก.....	36
4-10	โครงสร้างระดับจุลภาคของเส้นพาสต้าที่เติมสาหร่ายผักกาดทะเลผงร้อยละ 4 ที่ใช้ปริมาณความชื้นของส่วนผสมระดับต่างๆ.....	39
4-11	พาสต้าข้าวเจ้าเสริมสาหร่ายผักกาดทะเลผงที่เตรียมโดยใช้อุณหภูมิเครื่องเอกซ์ทรูเดอร์ระดับต่าง ๆ ที่ผ่านการอบแห้ง.....	43
4-12	พาสต้าข้าวเจ้าเสริมสาหร่ายผักกาดทะเลผงที่เตรียมโดยใช้อุณหภูมิเครื่องเอกซ์ทรูเดอร์ระดับต่าง ๆ ที่ผ่านการต้มสุก.....	43
4-13	พาสต้าอบแห้งที่เติมสาหร่ายเกลียวทองผงร้อยละ 0, 0.5, 1.0, 1.5 และ 2.0...	58
4-14	พาสต้าต้มสุกที่เติมสาหร่ายผมเกลียวทองผงร้อยละ 0, 0.5, 1.0, 1.5 และ 2.0.	58
4-15	ค่า Storage modulus (G') และค่า Loss modulus (G'') ของเจลแป้งข้าวเจ้าที่เติมสาหร่ายเกลียวทองผงร้อยละ 0, 0.5, 1.0, 1.5 และ 2.0 เมื่อใช้การทดสอบแบบ Amplitude sweep.....	60

สารบัญภาพ (ต่อ)

ตารางที่		หน้า
4-16	ค่า Storage modulus (G') และค่า Loss modulus (G'') ของเจลแป้งข้าวเจ้าที่เติมสาหร่ายเกลียวทองผงร้อยละ 0, 0.5, 1.0, 1.5 และ 2.0 เมื่อใช้การทดสอบแบบ Frequency sweep.....	61
4-17	Creep and recovery profile ของเจลแป้งข้าวเจ้าที่เติมสาหร่ายเกลียวทองผงร้อยละ 0, 0.5, 1.0, 1.5 และ 2.0.....	61
4-18	พาสต้าข้าวเจ้าเสริมสาหร่ายเกลียวทองผงที่ใช้ปริมาณความชื้นของส่วนผสมระดับต่างๆ ที่ผ่านการอบแห้ง.....	65
4-19	พาสต้าข้าวเจ้าเสริมสาหร่ายเกลียวทองผงที่ใช้ปริมาณความชื้นของส่วนผสมระดับต่างๆ ที่ผ่านการต้มสุก.....	65
4-20	พาสต้าข้าวเจ้าเสริมสาหร่ายเกลียวทองผงที่เตรียมโดยใช้อุณหภูมิของเครื่องเอกซ์ทรูเดอร์ระดับต่างๆ ที่ผ่านการอบแห้ง.....	69
4-21	พาสต้าข้าวเจ้าเสริมสาหร่ายเกลียวทองผงที่เตรียมโดยใช้อุณหภูมิของเครื่องเอกซ์ทรูเดอร์ระดับต่างๆ ที่ผ่านการต้มสุก.....	69

บทที่ 1
บทนำ

ความสำคัญและที่มาของปัญหาที่ทำการวิจัย

ปัจจุบันผลิตภัณฑ์อาหารเพื่อสุขภาพ หรือฟังก์ชันนัลฟูดส์ (Functional foods) ได้รับความนิยมในการบริโภคเพิ่มขึ้น เนื่องจากการบริโภคอาหารมีความสัมพันธ์โดยตรงกับสุขภาพของมนุษย์ ประกอบกับวิถีชีวิตที่เปลี่ยนแปลงไปทำให้อาหารที่บริโภคเป็นสาเหตุให้เกิดโรคร้ายแรงต่างๆ เช่น หลอดเลือดหัวใจ เบาหวาน มะเร็ง เป็นต้น ดังนั้นผู้บริโภคทั่วโลกจึงให้ความสนใจผลิตภัณฑ์อาหารจากธรรมชาติในรูปแบบต่างๆ เช่น อาหารที่เป็นยา อาหารจากพืชสมุนไพร ตลอดจนใช้อาหารสำหรับโภชนบำบัดแทนการรักษาโรคโดยใช้สารเคมี มีผู้ให้คำจำกัดความของฟังก์ชันนัลฟูดส์ไว้หลากหลาย โดยทั่วไป หมายถึงอาหารเพื่อสุขภาพที่มีลักษณะทางกายภาพเหมือนอาหารที่บริโภคเป็นประจำและสามารถบริโภคได้ตามปกติ เมื่อบริโภคแล้วให้ประโยชน์ต่อร่างกายโดยช่วยส่งเสริมสุขภาพให้ดีขึ้นหรือช่วยป้องกันการเกิดโรค (Kaur and Das, 2011) เช่น ช่วยลดปริมาณคอเลสเทอรอลในเลือด ลดอัตราเสี่ยงต่อการเกิดโรคกระดูกพรุน (Osteroporosis) มีผลต่อการป้องกันการเกิดโรคมะเร็ง โรคอ้วน โรคเบาหวาน ตลอดจนมีผลต่อการเพิ่มระบบภูมิคุ้มกันให้กับร่างกาย นอกเหนือจากการให้สารอาหารตามหลักโภชนาการ ตัวอย่างของฟังก์ชันนัลฟูดส์ ได้แก่ โพรไบโอติกส์ พรีไบโอติกส์ ธัญพืช เส้นใยอาหาร สารต้านออกซิเดชัน และสารพฤกษเคมีหรือไฟโทเคมีคอล (Phytochemicals) (ปิ่นมณี ขวัญเมือง, 2548)

ตลาดอาหารเพื่อสุขภาพได้รับการตอบรับอย่างดีจากผู้บริโภคทั่วโลกทั้งในเอเชีย อเมริกาเหนือ ยุโรป ลาตินอเมริกา ออสเตรเลีย และนิวซีแลนด์ โดยในปี พ.ศ. 2553 มีมูลค่าสูงถึง 7,000-63,000 ล้านเหรียญสหรัฐอเมริกา (ประมาณ 210,000-1,890,000 ล้านบาท) และคาดว่าในปี พ.ศ. 2556 จะมีมูลค่าประมาณ 90,500 ล้านเหรียญสหรัฐอเมริกา (ประมาณ 2,715,000 ล้านบาท) โดยตลาดที่สำคัญ คือ สหรัฐอเมริกา รองลงมา คือ ญี่ปุ่น และยุโรป (Kaur and Das, 2011)

ผลิตภัณฑ์พาสต้าเป็นผลิตภัณฑ์อาหารเส้นที่นิยมบริโภคกันอย่างแพร่หลายทั้งในประเทศแถบตะวันตกและตะวันออก พาสต้าประกอบด้วยคาร์โบไฮเดรตประเภทสตาร์ชเป็นองค์ประกอบหลัก โดยประชากรในหลายประเทศนิยมบริโภคพาสต้าเป็นอาหารหลัก ส่งผลให้ปริมาณการบริโภคในหลายประเทศทั่วโลกเพิ่มขึ้น ดังนั้นพาสต้าจึงเป็นผลิตภัณฑ์ที่น่าสนใจนำมาปรับปรุงคุณค่าทางโภชนาการและพัฒนาให้เป็นผลิตภัณฑ์อาหารเพื่อสุขภาพ สาหร่ายเป็นหนึ่งในผลิตภัณฑ์อาหารจากทะเลที่มีศักยภาพในการนำมาใช้เป็น Functional ingredients ในผลิตภัณฑ์พาสต้า เนื่องจากสาหร่าย (Seaweed) เป็นแหล่งของโพลีแซคคาร์ไรด์ที่ละลายน้ำได้ (Soluble polysaccharide) ซึ่งจัดเป็นเส้นใยอาหารประเภทหนึ่ง นอกจากนี้ยังเป็นแหล่งของไฟโทเคมีคอล และ Bioactive compounds ที่มีสมบัติเป็นสารต้านออกซิเดชัน ต้านแบคทีเรีย และต้านไวรัส สาหร่ายประเภทนี้มักเป็นสาหร่ายขนาดใหญ่ (Macroalgae) เช่น สาหร่ายสีน้ำตาล สาหร่ายสีแดง เป็นต้น ส่วนสาหร่ายขนาดเล็ก (Microalgae) เช่น สไปรูไลน่า (*Spirulina*) สามารถนำมาใช้ในการเพิ่มคุณค่าทาง

โภชนาการให้กับผลิตภัณฑ์อาหาร และเป็นแหล่งของไฟโทเคมิคอล เช่น คลอโรฟิลล์ แคโรทีนอยด์ เป็นต้น (Kadam and Prabhasankar, 2010) อย่างไร ก็ตาม พาสต้ามีหลากหลายรูปแบบ พาสต้าแบบตะวันตกที่นิยม ได้แก่ สปาเกตตี้ มักกะโรนี เป็นต้น ส่วนพาสต้าตะวันออกได้แก่ ก๋วยเตี๋ยว บะหมี่ ราเมน เป็นต้น วัตถุดิบหลักที่ใช้ในการผลิตพาสต้าส่วนใหญ่ ได้แก่ ข้าวสาลีและข้าวเจ้า โดยข้าวสาลีเป็นวัตถุดิบที่ต้องนำเข้าจากต่างประเทศ สำหรับประเทศไทย ข้าวเจ้าเป็นพืชเศรษฐกิจที่สามารถผลิตเพื่อใช้บริโภคภายในประเทศและมีปริมาณมากพอสำหรับการส่งออก การเลือกข้าวเจ้ามาเป็นวัตถุดิบหลักในการผลิตพาสต้า เพื่อช่วยลดการนำเข้าข้าวสาลีและลดการเสียดุลทางการค้า ดังนั้น งานวิจัยนี้จึงสนใจพัฒนาผลิตภัณฑ์พาสต้าจากข้าวเจ้าเสริมสาหร่ายชนิดต่างๆ เพื่อเป็นทางเลือกใหม่ในการบริโภคอาหารเพื่อสุขภาพโดยใช้วัตถุดิบภายในประเทศ ช่วยลดการนำเข้าวัตถุดิบจากต่างประเทศ ตลอดจนช่วยเพิ่มมูลค่าของผลิตภัณฑ์ทางการเกษตรให้มีศักยภาพในการส่งออกได้

วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาองค์ประกอบทางเคมีและปริมาณสารสำคัญบางชนิดของสาหร่าย
2. เพื่อพัฒนาสูตรพาสต้าจากข้าวเจ้าเสริมสาหร่าย
3. เพื่อพัฒนากระบวนการผลิตพาสต้าที่เหมาะสม
4. เพื่อเปรียบเทียบคุณภาพทางเคมี กายภาพ และลักษณะทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์พาสต้าจากข้าวเจ้าเสริมสาหร่ายกับผลิตภัณฑ์พาสต้าทางการค้า

ขอบเขตของโครงการวิจัย

โครงการวิจัยนี้ศึกษาการพัฒนาผลิตภัณฑ์พาสต้าเพื่อสุขภาพที่ทำจากแป้งข้าวเจ้าทางการค้าที่ผลิตได้ภายในประเทศ และพัฒนาให้เป็นอาหารเพื่อสุขภาพโดยการเติมสาหร่ายที่สามารถผลิตได้ภายในประเทศ 2 ชนิด คือ (1) สาหร่ายเล็ก (Microalgae) เช่น *Spirulina* sp. และ *Chlorella* sp. และ (2) สาหร่ายทะเลขนาดใหญ่ (Macroalgae) เช่น *Sargassum* sp. และ *Gracilaria* sp. ในขั้นตอนการวิจัยประกอบด้วยการพัฒนาสูตรพาสต้าและการพัฒนากระบวนการผลิต ในการพัฒนาสูตรผลิตภัณฑ์พาสต้าจะศึกษาหาปริมาณสาหร่ายแต่ละชนิดที่เหมาะสมและปริมาณน้ำที่เหมาะสมที่สามารถเติมในผลิตภัณฑ์ ส่วนการพัฒนากระบวนการผลิตจะศึกษาภาวะที่เหมาะสมในการผลิตพาสต้าจากข้าวเจ้าโดยใช้เครื่องเอกซ์ทรูชัน โดยแปรอุณหภูมิในการให้ความร้อนของเครื่องเอกซ์ทรูเดอร์ (Cooking extruder) หลังจากนั้น นำผลิตภัณฑ์พาสต้าที่ได้มาวิเคราะห์คุณภาพในด้านลักษณะทางกายภาพ คุณค่าทางโภชนาการ และการยอมรับทางประสาทสัมผัสเปรียบเทียบกับผลิตภัณฑ์พาสต้าทางการค้า

บทที่ 2
การตรวจเอกสาร

ผลิตภัณฑ์อาหารเพื่อสุขภาพ

ผลิตภัณฑ์อาหารเพื่อสุขภาพ หรือฟังก์ชันนัลฟูดส์ (Functional foods) หมายถึงอาหารเพื่อสุขภาพที่มีลักษณะทางกายภาพเหมือนอาหารที่บริโภคเป็นประจำและสามารถบริโภคได้ตามปกติ เมื่อบริโภคแล้วให้ประโยชน์ต่อร่างกายโดยช่วยส่งเสริมสุขภาพให้ดีขึ้นหรือช่วยป้องกันการเกิดโรค นอกจากนี้ยังมีคำที่เกี่ยวข้องหรือใช้แทนฟังก์ชันนัลฟูดส์ ได้แก่ Bioactive compounds, Dietary supplements, Functional ingredients, Medical foods, Natural health products และ Nutraceutical (Kaur and Das, 2011)

หน้าที่อื่นๆ ของอาหารเพื่อสุขภาพที่นอกเหนือจากคุณค่าทางโภชนาการ ได้แก่ ปรับปรุงระบบภูมิคุ้มกันของร่างกาย ปรับปรุงระบบและสภาพการทำงานของร่างกาย ชะลอการเสื่อมโทรมของอวัยวะต่างๆ จากการสูงอายุ ป้องกันโรคต่างๆ ที่อาจเกิดขึ้นจากภาวะโภชนาการผิดปกติ และบำบัดหรืออาการของโรคที่เกิดจากความผิดปกติของร่างกาย โดยสารประกอบที่ทำให้เกิดหน้าที่ดังกล่าว เรียกว่า Physiological active components หรือ Functional ingredients ในประเทศญี่ปุ่นซึ่งมีพัฒนาการของผลิตภัณฑ์อาหารเหล่านี้มาก่อนประเทศอื่น ได้กำหนดลักษณะจำเพาะของอาหารเพื่อสุขภาพเหล่านี้ คือ ต้องมีสภาพทางกายภาพเป็นผลิตภัณฑ์อาหารที่แท้จริง ไม่อยู่ในรูปของแคปซูล หรือเป็นผงเหมือนยา และเป็นอาหารที่ไม่ได้ดัดแปลงจากวัตถุดิบตามธรรมชาติ สามารถบริโภคได้เป็นประจำไม่มีข้อจำกัดเหมือนยา นอกจากนี้ยังมีส่วนประกอบที่ให้ผลโดยตรงในการเสริมสร้างการทำงานของระบบต่างๆ ในร่างกายและป้องกันโรคต่างๆ ได้ (ไพโรจน์ หลวงพิทักษ์, 2552)

ประเภทของอาหารเพื่อสุขภาพจำแนกได้ดังนี้ (Kaur and Das, 2011)

1. ผลิตภัณฑ์อาหารที่เสริมส่วนผสมที่มีประโยชน์ต่อสุขภาพ เช่น ขนมปังเสริมแคลเซียม ขนมปังเสริมกรดไขมันโอเมก้า 3 ตัวอย่างของ Functional ingredients ที่สำคัญและนิยมใช้ในปัจจุบัน ได้แก่

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

    2) น้ำตาลโอลิโกแซคคาร์ไรด์ (Oligosaccharides) เช่น โอลิโกฟรุกโตส โอลิโกแลคโตส ตัวอย่างผลิตภัณฑ์ ได้แก่ เครื่องดื่มเสริมน้ำตาลโอลิโกแซคคาร์ไรด์ ผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวเสริมโอลิโกแซคคาร์ไรด์ ผลิตภัณฑ์ลูกกวาดและหมากฝรั่งเสริมโอลิโกแซคคาร์ไรด์

    3) แบคทีเรียในกลุ่มแลคติค (Lactic acid bacteria) เช่น แบคทีเรียในกลุ่มแลคโตบาซิลลัส (*Lactobacillus* sp.) บิฟิโดแบคทีเรียม (*Bifidobacterium* sp.) ตัวอย่างผลิตภัณฑ์ ได้แก่ ผลิตภัณฑ์นมเปรี้ยว โยเกิร์ตเสริมแบคทีเรียในกลุ่มแลคติค ผลิตภัณฑ์โยเกิร์ตอัดเม็ดเสริมแบคทีเรียในกลุ่มแลคติค

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 หลวงพิทักษ์, 2552)

2. ผลิตภัณฑ์อาหารที่สามารถต่อต้านสารประกอบที่ลดคุณค่าทางโภชนาการของอาหารที่เกิดขึ้นในกระบวนการผลิต เช่น สารประกอบที่เป็นพิษ หรือสารก่อภูมิแพ้

3. วัตถุดิบของอาหารที่มีการปรับปรุงองค์ประกอบเฉพาะโดยการเปลี่ยนแปลงอาหารที่ใช้เลี้ยงสัตว์ เช่น ไข่หรือเนื้อที่มีกรดไขมันโอเมก้า 3 สูง

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

พาสต้า

พาสต้า **(Pasta)** เป็นผลิตภัณฑ์อาหารเส้นที่ทำจากแป้งและน้ำเป็นส่วนประกอบหลัก โดยทั่วไปพาสต้าหมายถึงผลิตภัณฑ์อาหารเส้นแบบตะวันตกซึ่งทำจากข้าวสาลีชนิดดูรัมและอัดผ่านหน้าแปลน (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) ที่มีความชื้นร้อยละ 30-34 นำโดที่ได้มาอัดให้มีรูปร่างต่างๆ ผ่านหน้าแปลนหรือช่องเปิดของเครื่องเอกซ์ทรูเดอร์ (Extruder) เครื่องเอกซ์ทรูเดอร์เป็นเครื่องมือที่รวมหน่วยปฏิบัติการหลายหน่วยเข้าด้วยกัน โดยสามารถผสม นวด และอัดเส้นออกมาให้มีรูปร่างตามต้องการขึ้นกับหน้าแปลนที่ใช้ จากนั้น นำผลิตภัณฑ์มาทำให้แห้งเพื่อให้พาสต้ามีความชื้นลดลงเหลือร้อยละ 12.5 ก่อนการบรรจุ (Giese, 1992)

2. วิธีการผลิตพาสต้าจากแป้งชนิดอื่น

วิธีการผลิตพาสต้าจากแป้งชนิดอื่นที่ไม่ใช่แป้งสาลีนั้นไม่ใช้วิธีการผลิตแบบดั้งเดิม เนื่องจากแป้งสาลีนั้นมีโปรตีนกลูเตน เมื่อนำแป้งสาลีผสมกับน้ำแล้วนวดให้เข้ากันจะเกิดเป็นก้อนโดที่มีความแข็งพอเหมาะ แต่สำหรับผลิตภัณฑ์พาสต้าบางประเภท ได้แก่ ก๋วยเตี๋ยว เส้นหมี่ ขนมจีน วุ้นเส้น เป็นต้น สามารถผลิตได้จากแป้งข้าวเจ้า แป้งจากพืชหัว หรือ แป้งจากถั่ว เช่น แป้งมันเทศ แป้งมันฝรั่ง แป้งถั่วเขียว เป็นต้น ซึ่งเป็นที่ไม่มีโปรตีนกลูเตน จึงไม่สามารถใช้การผลิตแบบเดียวกับการทำพาสต้าที่ทำจากข้าวสาลีได้ วิธีการที่นำมาใช้ทำได้หลายวิธี คือ (1) การใช้สมบัติของสตาร์ชซึ่งเป็นองค์ประกอบหลักในแป้ง โดยการให้ความร้อนเช่น การนึ่ง หรือการต้ม เพื่อให้แป้งเกิดเจลและให้

โครงสร้างที่แข็งแรงกับผลิตภัณฑ์ (2) การเติมโปรตีนเพื่อให้เป็นโครงสร้างแก่ผลิตภัณฑ์ (3) การใช้สารปรับปรุงคุณภาพที่มีสมบัติเฉพาะ เช่น กัม คาร์ราจีแนน อัลจิเนต เป็นต้น โดยปกติเทคโนโลยีที่ใช้ผลิตพาสต้าจากแป้งที่ไม่ใช่ข้าวสาลีใช้วิธีการให้ความร้อนอุณหภูมิ 90-95 °C กับสตาร์ชโดบางส่วนจากนั้นนำมาผสมกับส่วนผสมที่เหลือ สตาร์ชที่ผ่านการให้ความร้อนทำหน้าที่เป็นตัวประสานให้เกิดการจับกันเป็นโครงสร้างที่แข็งแรง (Pagani, 1986)

สาหร่าย

สาหร่าย (Algae) เป็นกลุ่มของสิ่งมีชีวิตที่พบแพร่กระจายอยู่ทั่วไปตามธรรมชาติ สามารถดำรงชีวิตอยู่ได้หลายรูปแบบ ทั้งแบบที่เป็นแพลงก์ตอน (Plankton) ล่องลอยอยู่ในน้ำ หรือเรียกว่าแพลงก์ตอนพืช (Phytoplankton) หรือสาหร่ายขนาดเล็ก (microalgae) และแบบที่ดำรงชีวิตด้วยการยึดติดกับพื้นทะเลหรือวัสดุอื่นๆ เช่น กลุ่มของสาหร่ายหลายเซลล์ หรือเรียกว่า สาหร่ายทะเล (Seaweed) นอกจากนี้ยังอาจพบได้ในสภาพแวดล้อม เช่น ดิน หิมะ น้ำพุร้อน หรือใช้ชีวิตร่วมกับสิ่งมีชีวิตอื่นๆ ในการศึกษาวิจัยมักจำแนกสาหร่ายออกเป็น 2 กลุ่ม คือ สาหร่ายขนาดเล็ก (Microalgae) หรือจุลสาหร่าย ซึ่งครอบคลุมสาหร่ายที่มีขนาดเล็กที่มองด้วยตาเปล่าไม่เห็น และมหสาหร่าย (Macroalgae) ซึ่งหมายถึงสาหร่ายที่มีขนาดใหญ่รวมทั้งกลุ่มของสาหร่ายทะเลและสาหร่ายน้ำจืดที่มีขนาดใหญ่ (จงกล พรมยะ, 2552)

สาหร่ายขนาดเล็กมีคุณค่าทางโภชนาการสูงโดยเป็นแหล่งของโปรตีนที่มีคุณภาพ นอกจากนี้ยังประกอบด้วยสารประกอบอื่นๆ เช่น เปปไทด์ คาร์โบไฮเดรต ไขมัน วิตามิน รงควัตถุที่ให้สี และแร่ธาตุที่มีประโยชน์หลายชนิด สาหร่ายเล็กมีปริมาณโปรตีนร้อยละ 6-71 คาร์โบไฮเดรตร้อยละ 8-57 และไขมันร้อยละ 3-22 โดยน้ำหนักแห้ง องค์ประกอบที่พบในสาหร่ายแตกต่างกันไปขึ้นกับชนิดและสายพันธุ์ของสาหร่าย เช่น *Chlorella vulgaris* มีโปรตีนร้อยละ 51-58 คาร์โบไฮเดรตร้อยละ 12-17 และไขมันร้อยละ 14-22 โดยน้ำหนักแห้ง *Spirulina platensis* มีโปรตีนร้อยละ 46-63 คาร์โบไฮเดรตร้อยละ 8-14 และไขมันร้อยละ 4-9 โดยน้ำหนักแห้ง และ *Arthrospira maxima* มีโปรตีนร้อยละ 60-71 คาร์โบไฮเดรตร้อยละ 13-16 และไขมันร้อยละ 6-7 โดยน้ำหนักแห้ง (Becker, 2007)

สาหร่ายทะเลมีคุณสมบัติทั่วไปเช่นเดียวกับพืชบกที่มีโปรตีนและไขมันไม่มากนัก มีแคลอรี่ต่ำและมีเส้นใยอาหารสูง รวมทั้งมีปริมาณวิตามินและเกลือแร่ที่ร่างกายมนุษย์ต้องการสูง ได้แก่ วิตามิน A, B, C, D, E และ K ส่วนแร่ธาตุได้แก่ แมกนีเซียม ช่วยให้กล้ามเนื้อและประสาททำงานอย่างมีประสิทธิภาพ แคลเซียมช่วยบำรุงกระดูก โปแตสเซียมช่วยควบคุมการทำงานของเซลล์และความสมดุลของน้ำในร่างกาย สังกะสีช่วยเสริมระบบคุ้มกัน ทองแดงและเหล็กมีประโยชน์ต่อการสร้างเม็ดเลือดแดง ไอโอดีนป้องกันและรักษาโรคคอพอก เป็นต้น นอกจากนี้ในสาหร่ายทะเลยังมีเบตาแคโรทีนเป็นองค์ประกอบ ซึ่งมีคุณสมบัติต้านอนุมูลอิสระ ต้านมะเร็ง และเป็นสารตั้งต้นของวิตามิน A อีกทั้งมีกรดอะมิโนที่จำเป็นแก่ร่างกายหลายชนิดที่ไม่พบในพืชบก สาหร่ายทะเลถึงแม้จะมีรสเค็ม แต่มีปริมาณเกลือต่ำเหมาะสำหรับใช้แทนเกลือในผู้ป่วยที่ไม่ต้องการโซเดียมในอาหารสูง การที่สาหร่ายทะเลมีเส้นใยอาหารสูงถึงร้อยละ 33-75 โดยน้ำหนักแห้ง ช่วยให้การขับถ่ายสะดวก ป้องกันท้องผูก และป้องกันการเกิดริดสีดวงทวาร นอกจากนี้การที่สาหร่ายมีปริมาณไขมันต่ำ ให้พลังงานน้อย

แต่มีคุณค่าทางอาหารสูง จึงมีประโยชน์ต่อสุขภาพและช่วยให้อายุยืน เหมาะสำหรับผู้ป่วยโรคเบาหวาน ความดันโลหิตสูง และโรคหัวใจ (กาญจนภาชน์ ลิ่วมโนมนต์, 2548)

สาหร่ายผักกาดทะเล

สาหร่ายผักกาดทะเล มีชื่อสามัญว่า sea lettuce มีชื่อวิทยาศาสตร์ว่า *Ulva rigida* C. Agardh เป็นสาหร่ายทะเลชนิดหนึ่งของประเทศไทย ที่มีชื่อเรียกว่าผักกาดทะเลเนื่องจากแผ่นใบของสาหร่ายชนิดนี้แผ่กว้างใบหยักคล้ายใบผักกาด (นวรัตน์ เหล่าชวลิตกุล, 2544; พิมพ์ชนก บัวเพชรและคณะ, 2550) สาหร่ายผักกาดทะเลมีขนาดตั้งแต่ขนาดเล็กมากต้องส่องด้วยกล้องจุลทรรศน์จนถึงขนาด 65 เซนติเมตร จัดอยู่ในประเภทสาหร่ายสีเขียว Division Chlorophyta, Class Ulvophyceae, Order Ulvaceae, Genus *Ulva* หรือ green laver มีลักษณะเป็นแผ่นบาง (thallus) พื้นผิวละเอียดและมีขอบหยัก มีความหนา 2 ชั้นของเซลล์ การเจริญเติบโตโดยการแบ่งเซลล์ทั้งในแนวกว้างและแนวยาว จึงแผ่ออกเป็นแผ่นและมีรอยจีบอยู่ตรงขอบ การแพร่พันธุ์ของสาหร่ายผักกาดทะเล มี 2 แบบ คือ แบบอาศัยเพศ (sexual reproduction) สร้าง gamete และแบบไม่อาศัยเพศ (asexual reproduction) การเจริญเติบโตและการแพร่พันธุ์ของสาหร่ายผักกาดทะเล สามารถเกิดขึ้นได้มากหรือน้อยนั้น ยังขึ้นอยู่กับปัจจัยแวดล้อมต่าง ๆ เช่น ชนิดของสาหร่ายผักกาดทะเล ซึ่งบางชนิดสามารถปล่อยสปอร์ได้ทุกวัน สามารถแพร่ขยายพันธุ์ได้ตลอดทั้งเดือน ประมาณร้อยละ 20 – 60 ของปริมาณสิ่งมีชีวิตทั้งหมด ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับฤดูกาล อัตราการสังเคราะห์แสงสูงจะให้ reproductive cells (กาญจนภาชน์ ลิ่วมโนมนต์, 2527; ยุวดี พีรพรพิศาล, 2549; Lee, 1995; Kirby, 2001; Dhargalkar, 2004)

การเพาะเลี้ยงสาหร่ายผักกาดทะเล

การเพาะเลี้ยงสาหร่ายผักกาดทะเล สามารถกระทำได้ทั้งแบบที่เป็นการเลี้ยงแบบชนิดเดียว (monoculture) หรือแบบการเลี้ยงกับสัตว์น้ำชนิดต่าง ๆ (polyculture) ในบ่อซีเมนต์ หรือบ่อดิน เช่น ปลากะรังจุดฟ้า หอยหวาน ฯลฯ ทั้งนี้หากทำการเลี้ยงสาหร่ายแบบชนิดเดียวในการเลี้ยงยังมีความจำเป็นต้องใช้ปุ๋ยเพิ่มแร่ธาตุอาหารแก่สาหร่าย แต่หากทำการเลี้ยงสาหร่ายร่วมกับสัตว์น้ำโดยนำสาหร่ายชนิดนี้มาช่วยปรับคุณภาพน้ำให้สามารถนำน้ำกลับมาใช้แบบระบบหมุนเวียนได้ โดยไม่จำเป็นต้องใช้ปุ๋ยใดๆ เลย ซึ่งเป็นการช่วยลดปริมาณก๊าซแอมโมเนียในน้ำ ลดปริมาณไนไตรท์ ไนเตรท ฯลฯ ได้เป็นอย่างดี สาหร่ายจะเป็นผลพลอยได้จากระบบการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำซึ่งมีคุณค่าขึ้นมาได้ ความเค็มของน้ำระดับต่าง ๆ กัน ทำให้สาหร่ายผักกาดทะเลมีการเจริญเติบโตที่แตกต่างกัน จากการทดลองของสุวรรณา วรสิงห์ (2552) เพื่อหาอัตราการเจริญเติบโตของสาหร่ายผักกาดทะเลที่ระดับความเค็มต่าง ๆ พบว่าสาหร่ายผักกาดทะเลชนิดนี้สามารถเจริญเติบโตได้ในน้ำทะเลที่มีความเค็มตั้งแต่ระดับ 15–40 ส่วนในพันส่วน (ppt) อัตราการเจริญเติบโตโดยสาหร่ายมีน้ำหนักเฉลี่ยมากที่สุดเมื่อเลี้ยงในน้ำทะเลที่ระดับความเค็ม 25 ppt ช่วงเวลาการเลี้ยงตั้งแต่ 15–20 วัน มีค่าอัตราการเจริญเติบโตเฉลี่ยค่อนข้างสูงกว่าช่วงเวลาการเลี้ยงอื่นๆ

องค์ประกอบทางเคมีของสาหร่ายผักกาดทะเล

จากการศึกษาองค์ประกอบทางเคมีของสาหร่ายผักกาดทะเลที่เพาะเลี้ยงโดยสถานีเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำชายฝั่งจังหวัดตราด พบว่าสาหร่ายผักกาดทะเลแห้งมีความชื้นร้อยละ 20.7 โปรตีนร้อยละ

23.0 คาร์โบไฮเดรตร้อยละ 25.35 ไขมันร้อยละ 2.76 เส้นใยร้อยละ 9.79 อีกทั้งยังประกอบด้วย แคลเซียม 388.8 มิลลิกรัม/100 กรัม โซเดียม 1,051.8 มิลลิกรัม/100 กรัม ไอโอดีน 227.7 มิลลิกรัม/1,000 กรัม ให้พลังงาน 218.2 กิโลแคลอรี/100 กรัม และไม่พบโลหะหนักปนเปื้อน ได้แก่ สารหนู ปรอท และตะกั่ว เป็นต้น ซึ่ง Lee (1995) รายงานองค์ประกอบทางเคมีของสาหร่ายชนิดนี้ไว้ว่าประกอบด้วย โปรตีนร้อยละ 15 คาร์โบไฮเดรตร้อยละ 50 ไขมันน้อยกว่าร้อยละ 1 โดยน้ำหนักแห้ง (สุวรรณา วรสิงห์, 2552)

Padua et al. (2004) ได้รายงานองค์ประกอบทางเคมีของสาหร่าย *Ulva lactuca* และ *Ulva fasciata* ว่าประกอบด้วยโปรตีนร้อยละ 13–18 ไขมันร้อยละ 0.3–1.9 คาร์โบไฮเดรตร้อยละ 53–58 ใยอาหารร้อยละ 9–12 โดยน้ำหนักแห้ง และความชื้นร้อยละ 15–20 ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบกับไข่มีโปรตีนร้อยละ 10–15 เนื้อวัวมีโปรตีนร้อยละ 18–20 และในปลาทู ปลาอินทรีย์มีโปรตีนร้อยละ 20 นอกจากจะมีสารอาหารดังกล่าวแล้ว สาหร่ายผักกาดทะเลยังอุดมไปด้วยวิตามินและเกลือแร่ชนิดต่างๆ เช่น วิตามินบี วิตามินซี แคลเซียม ไอโอดีน และคลอโรฟิลล์ เป็นต้น ซึ่งคลอโรฟิลล์เป็นสารที่ช่วยสร้างโลหิตแดง ช่วยให้ร่างกายใช้โปรตีน ควบคุมความดันโลหิต ลดน้ำตาล และช่วยรักษาแผลให้หายเร็ว สาหร่ายทะเลยังเป็นอาหารที่ย่อยง่ายและไขมันต่ำ จึงเหมาะสำหรับผู้ที่ต้องการจะลดน้ำหนัก และยังมีสรรพคุณช่วยรักษาโรคกระดูกผุ ชำระล้างหลอดเลือด ทำให้หลอดเลือดมีความยืดหยุ่น ช่วยลดโคเลสเตอรอล ลดความดันโลหิต รักษาโรคท้องผูก สมานแผลในกระเพาะอาหาร กระตุ้นภูมิคุ้มกันโรค บรรเทาไขข้ออักเสบ เป็นยาระงับประสาท และช่วยกำจัดแบคทีเรียบางชนิดที่ก่อสารมะเร็งได้ นอกจากนี้สาหร่ายผักกาดทะเลยังป้องกันมะเร็งลำไส้ใหญ่เนื่องจากสาหร่ายผักกาดทะเลมีกากเส้นใยสูง (Kakodkar, 2005)

Satpati and Pal (2011) ได้ศึกษาองค์ประกอบทางเคมีของสาหร่ายผักกาดทะเล พบว่าสาหร่ายผักกาดทะเลมีปริมาณโปรตีน คาร์โบไฮเดรต ไขมัน ร้อยละ 6.64, 22 และ 12 (in dry biomass) ตามลำดับ และประกอบด้วยสารประกอบฟีนอลิกรวมร้อยละ 23 คลอโรฟิลล์เอ ร้อยละ 13 คลอโรฟิลล์บีร้อยละ 7.5 แคโรทีนอยด์ร้อยละ 4.5 และกรดไขมันอิสระรวมร้อยละ 8.9 (in dry biomass) ตามลำดับ

Yildiz, Celikler, Vatan, and Dere (2012) ได้ศึกษาองค์ประกอบของสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพ (bioactive) ของสาหร่ายผักกาดทะเล พบว่าสาหร่ายผักกาดทะเลประกอบด้วยสารประกอบฟีนอลิกรวม สารต้านอนุมูลอิสระ วิตามิน (A, E และ C) โปรตีน คาร์โบไฮเดรต และ pigment ซึ่งสาหร่ายผักกาดทะเลมีสารประกอบฟีนอลิกรวม วิตามิน E และแคโรทีนอยด์รวมอยู่ในปริมาณมาก

สาหร่ายผักกาดทะเล จึงเป็นอาหารสุขภาพอีกชนิดหนึ่งที่น่าสนใจ เหมาะสำหรับผู้บริโภคที่ไม่ชอบรับประทานพืชผักบนบก ซึ่งมีการปนเปื้อนสารเคมีกันมากจนผู้บริโภคหวาดกลัว แต่สาหร่ายผักกาดทะเลเลี้ยงในน้ำทะเลที่ไม่มีการใช้ยาและสารเคมี อีกทั้งยังได้รับสารอาหารจากทะเล อาทิเช่น แคลเซียม ไอโอดีน แร่ธาตุ และวิตามินต่างๆ รวมถึงกรดไขมันที่จำเป็น/ไม่จำเป็น จึงนับได้ว่าสาหร่ายผักกาดทะเลเป็นอาหารเพื่อสุขภาพของคนไทยในยุคนี้ สาหร่ายผักกาดทะเลนอกจากจะเป็นประโยชน์ต่อร่างกายของเราแล้ว ในด้านการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำยังสามารถนำสาหร่ายไปเป็นตัวช่วยในการปรับคุณภาพน้ำในบ่อเลี้ยงสัตว์น้ำ โดยสาหร่ายเป็นตัวดึงพวกสารประกอบอนินทรีย์ เช่น

แอมโมเนีย ไนเตรท ฯลฯ มาใช้ในกระบวนการเมตาบอลิซึมต่าง ๆ และที่สำคัญออกซิเจนที่เราใช้หายใจกันอยู่ทุกวันนี้ ส่วนหนึ่งมาจากสาหร่ายพวกนี้อีกด้วย อีกทั้งยังช่วยในเรื่องการลดปริมาณคาร์บอนซึ่งช่วยในการลดภาวะโลกร้อนได้

สาหร่ายเกลียวทอง

สาหร่ายเกลียวทอง (*Spirulina*) จัดเป็นจุลินทรีย์ชนิดหนึ่งอยู่ในกลุ่มโปรแคริโอต (prokaryote) ซึ่งเป็นสิ่งมีชีวิตที่ไม่มีเยื่อหุ้มนิวเคลียส และสามารถสังเคราะห์แสงได้จึงเรียกว่าไซยาโนแบคทีเรีย (cyanobacteria) หรือสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงิน (blue-green algae) สาหร่ายชนิดนี้มีลักษณะเป็นเส้นสายที่เรียกว่าไตรโคม (trichome) ซึ่งเกิดจากการเรียงต่อกันของเซลล์หลายเซลล์ขดเป็นเกลียวแบบวนซ้าย (open left-hand helix) คล้ายสปริง ไม่แตกแขนงและไม่พบเฮเทอโรซิส (heterocyst) โดยไตรโครมอาจเกิดการคล้ายเป็นเส้นตรง ซึ่งสันนิษฐานว่าอาจเป็นผลมาจากความสมบูรณ์ของอาหาร แสง อุณหภูมิหรือค่า pH สาหร่ายสไปรูลินามีลักษณะเซลล์ยาว 300-500 μm กว้าง 8 μm มีผนังเซลล์หลายชั้นประกอบด้วยสารพวกมิวโคโปรตีน (mucoprotein) และเพคติน (pectin) ชั้นนอกเป็นสารโพลีแซคคาไรด์ (polysaccharide) ตัวเซลล์ไม่ปกคลุมด้วยเยื่อเมือก (mucous membrane) และไม่พบสารพวกเซลลูโลส (cellulose) ซึ่งเป็นข้อดีสำหรับนำมาเป็นอาหารเนื่องจากภายในร่างกายมนุษย์ไม่มีเอนไซม์ย่อยเซลลูโลส ชื่อจีนัสของชื่อเดิมคือ *Arthrospira platensis* (Nordst.) ซึ่งเกิดขึ้นก่อนที่เปลี่ยนชื่อจีนัสของสาหร่ายชนิดนี้เป็น *Spirulina* เหตุผลที่เปลี่ยนเนื่องจากเป็นการให้ผู้บริโภคเข้าถึงสาหร่ายชนิดนี้ได้ง่ายกว่าชื่อเดิม เนื่องจาก คำว่า *Spirulina* มีความหมายว่าสิ่งมีชีวิตที่มีลักษณะเป็นเกลียวและในปัจจุบันสาหร่ายชนิดนี้เป็นสาหร่ายเศรษฐกิจ คำว่า *Spirulina* จึงติดหูหรือติดตลาดมากกว่า *Arthorspira* (ยุวดี พีพรพิศาล, 2535)

การสืบพันธุ์ของสาหร่ายเกลียวทอง จะสืบพันธุ์แบบไม่อาศัยเพศ ไม่สร้างเฮเทอโรซิสต์และสปอร์ สืบพันธุ์โดยการหักเป็นท่อน (fragmentation) และแบ่งเซลล์ทำให้ไตรโคมยืดยาวออกสาหร่ายเกลียวทองสามารถพบได้ทั่วไปในแหล่งน้ำจืด น้ำเค็ม หรือน้ำกร่อยแต่ส่วนใหญ่พบในน้ำจืดเจริญเติบโตได้ดีในน้ำที่มีความเป็นด่าง (alkalinity) สูง ซึ่งสิ่งมีชีวิตอื่น เจริญเติบโตได้ค่อนข้างยาก

Spirulina platensis เป็นสปีชีส์ที่ได้รับความนิยมนำมาเพาะเลี้ยง โดยเฉพาะการเลี้ยงในเชิงพาณิชย์ ไม่ว่าจะเป็นการเพาะเลี้ยงเพื่อนำมาทำเป็นอาหารเสริมของคนหรือของสัตว์ ทั้งนี้เนื่องจากมีเส้นสายขนาดใหญ่ สามารถเก็บเกี่ยวได้ง่าย นอกจากนี้สาหร่ายเกลียวทองยังมีคุณสมบัติที่ดีกว่าจุลินทรีย์โปรตีนชนิดอื่น (ยุวดี พีพรพิศาล, 2535) คือ เซลล์มีขนาดใหญ่สามารถแยกออกจากอาหารสำหรับเพาะเลี้ยงโดยการกรองได้ นำไปทำให้แห้งได้โดยไม่เสียคุณค่าทางโภชนาการ เมื่อแห้งแล้วเก็บได้นานที่อุณหภูมิห้อง ถ้าสกัดสีออกโดยใช้ตัวทำละลายก็ไม่ทำให้เสียคุณค่าทางโภชนาการ และสีที่ได้สามารถนำไปใช้เป็นสีผสมอาหารได้ นอกจากนี้ยังมีอัตราส่วนของกรดนิวคลีอิกต่อโปรตีนต่ำ ใช้เป็นอาหารของคนได้โดยตรง ไม่ต้องแยกเอากรดนิวคลีอิกออก และสามารถใช้ผสมในอาหารได้ถึง 10% โดยไม่ทำให้รสชาติและกลิ่นของอาหารเปลี่ยนไป

คุณค่าทางโภชนาการของสาหร่ายเกลียวทอง

ปัจจุบันมีการนำสาหร่ายเกลียวทอง มาใช้ประโยชน์อย่างกว้างขวาง มีการผลิตสาหร่ายชนิดนี้เป็นอุตสาหกรรมในหลายแห่งทั่วโลก ผลิตภัณฑ์ที่ออกมามีทั้งผลิตภัณฑ์ในรูปอาหารเสริมเพื่อ

สุขภาพมนุษย์ ซึ่งทำเป็นผงหรือเป็นเม็ดคล้ายยา หรือเป็นแคปซูล รวมทั้งอาจมีการผสมในอาหารอื่นๆ เช่น ผสมในเส้นสปาเกตตี้ สาหร่ายเกลียวทองเป็นสิ่งมีชีวิตชนิดหนึ่งที่มีปริมาณโปรตีนสูงถึง คลอโรฟิลล์ 70 โดยน้ำหนักแห้ง จึงเหมาะสมในการนำมาเป็นอาหารเสริมของคนและสัตว์ โดยจะอยู่ในรูปของกรดอะมิโนและไฟโคบิลิโปรตีน ซึ่งเป็นรงควัตถุที่สำคัญชนิดหนึ่งของสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินซึ่งมีความสำคัญในระดับอุตสาหกรรมหลายประเภท ปริมาณของกรดอะมิโนในสาหร่าย *Spirulina platensis* แสดงดังตารางที่ 2-1 (ยุวดี พีรพรพิศาล, 2535)

ตารางที่ 2-1 ชนิดและปริมาณของกรดอะมิโนที่จำเป็น (essential amino acid) และ กรดอะมิโนที่ไม่จำเป็น (non-essential amino acid) ที่มีในสาหร่าย *Spirulina platensis*

กรดอะมิโนจำเป็น (%)		กรดอะมิโนที่ไม่จำเป็น (%)	
Isoleucine	6.7	Alanine	9.1
Leucine	9.7	Arginine	7.3
Lysine	4.8	Aspartic acid	11.8
Methionine	2.5	Cystine	0.9
Phenylalanine	5.3	Glutamic acid	10.3
Threonine	6.2	Glycine	5.7
Tryptophan	0.3	Histidine	2.2
Valine	7.1	Proline	4.2
		Serine	5.1
		Tyrosine	5.3

ที่มา : ยุวดี พีรพรพิศาล (2535)

สาหร่ายเกลียวทองประกอบด้วยลิปิด (lipid) ซึ่งส่วนใหญ่ประกอบด้วยไขมันไม่อิ่มตัว โดยเฉพาะกรดแกมม่า-ลิโนลินิค (γ-linolenic acid: GLA) เป็นกรดไขมันที่จำเป็นต่อร่างกาย นอกจากนี้ GLA ยังมีประโยชน์ในทางเภสัชกรรมคือ ช่วยลดปัญหาเรื่องโคเลสเตอรอล ลดอาการปวดประจำเดือน (pre-menstrual syndrome) และลดผื่นแพ้จากกรรมพันธุ์ (sulfolipid) ซึ่งมีซัลเฟอร์เป็นองค์ประกอบ เป็นไขมันในกลุ่ม sulfoquinovosyl diacylglycerol (SQDG) มีประสิทธิภาพในการต่อต้านไวรัส HIV ได้ จากการวิจัยของสถาบันวิจัย AmericanNational Cancer Institute พบว่าซัลโฟลิปิดในสาหร่ายเกลียวทอง สามารถต่อต้านไวรัสเอดส์ได้

สาหร่ายเกลียวทองประกอบด้วยวิตามินและแร่ธาตุ (vitamin and mineral) หลายชนิด วิตามินเป็นสิ่งจำเป็นต่อร่างกายที่มนุษย์ไม่สามารถสร้างเองได้ ได้แก่ โปรวิตามิน*เอ* วิตามินบี 1 วิตามินบี 2 วิตามินบี 6 วิตามินบี 12 วิตามินซี วิตามินอี ไนอาซีน แพนโทเธนิค กรดนิโคตินิค และกรดโฟลิค ส่วนแร่ธาตุอื่นๆ ที่พบได้แก่ โปตัสเซียม แมกนีเซียม โซเดียม แคลเซียม เหล็ก สังกะสี โครเมียมและทองแดง ปริมาณวิตามินและแร่ธาตุของสาหร่ายเกลียวทองแสดงดังตารางที่ 2-2

ตารางที่ 2-2 ปริมาณวิตามินและแร่ธาตุของสาหร่าย *Spirulina platensis* แห้ง 1 กิโลกรัม

วิตามิน	มิลลิกรัม	แร่ธาตุ	มิลลิกรัม
Biotin	0.4	Ca	1,315
Vitamin B	2.0	P	8,92
Ca-panthothenate	11.0	Fe	580
Folic acid	0.5	Na	412
Inositol	350.0	Cl	4,400
Nicotinic	118.0	Mg	1,915
Pyridoxine	3.0	Mn	25
Riboflavin	40.0	Zn	39
Thiamine	55.0	K	15,400
Vitamin E	190.0	อื่นๆ	57

ที่มา : ยุวดี พีรพรพิศาล (2535)

สาหร่ายเกลียวทองมีรงควัตถุ(pigments) ที่สำคัญคือ คลอโรฟิลล์เอ แคโรทีนอยด์และไฟโคบิลินโปรตีน ซึ่งประกอบด้วย ไฟโคไซยานิน อัลโลไฟโคไซยานินและไฟโคเออริธริน ซึ่งรงควัตถุเหล่าใช้เป็นส่วนผสมในผลิตภัณฑ์อาหารและเครื่องสำอาง โดยเฉพาะไฟโคไซยานินซึ่งให้สารสีฟ้านำมาใช้เป็นสีผสมอาหาร ยา และเครื่องสำอาง เพื่อทดแทนสี สังเคราะห์ที่อาจมี ผลข้างเคียง ไฟโคไซยานินที่มีความบริสุทธิ์สูงใช้เป็นสารเรืองแสง ดังตารางที่ 2-3

ตารางที่ 2-3 ชนิดและปริมาณของรงควัตถุที่พบในสาหร่าย *Spirulina platensis* ในปริมาณ 10 กรัม

ชนิดของรงควัตถุ	สี	ปริมาณที่พบ (มิลลิกรัม/กรัม)
ไฟโคไซยานิน	ฟ้า	1400
คลอโรฟิลล์	เขียว	100
แคโรทีนอยด์	ส้ม,เหลือง	47

ที่มา :สมศักดิ์ วรคามิน (2547)

การเก็บรักษาสาหร่าย

การเก็บรักษาสาหร่ายให้มีชีวิตรอดได้นาน โดยยังมีความบริสุทธิ์และไม่เปลี่ยนแปลงลักษณะทางพันธุกรรม มีวิธีการเก็บรักษาสาหร่ายหลายวิธี แต่มีหลักการสำคัญ คือ การหยุดหรือลดการ

เจริญเติบโตของเชื้อโดยควบคุมปัจจัยที่จำเป็นในการเจริญเช่น การจำกัด อากาศ อุณหภูมิ และการอาหาร โดยมีวิธีการเก็บรักษาสาหร่ายดังนี้

1. การต่อเชื้อหรือการเปลี่ยนอาหารใหม่ (subculture) ทำโดยการเพาะเลี้ยง สาหร่ายลงในอาหารเลี้ยงเชื้อที่เหมาะสมและบ่มไว้ในสภาพที่เหมาะสมต่อการเจริญ เมื่อถึงเวลาที่สารอาหารหมดจึงต่อเชื้อลงในอาหารใหม่ ทำเช่นนี้เรื่อยไป สาหร่ายจึงมี ชีวิตอยู่ได้ต้องใช้เครื่องมือซับซ้อน สามารถใช้เก็บรักษาสาหร่ายทั่วไปที่เพาะเลี้ยงได้ แต่มีข้อเสีย เช่น ต้องใช้เวลาและแรงงานมากในการเตรียมอาหารและการเพาะเชื้อ ถ้ามีเชื้อจำนวนมาก และต้องใช้พื้นที่มากในการเก็บหลอดเชื้ออีกทั้งในขณะต่อเชื้อลงในอาหารใหม่อาจเกิดการ ปนเปื้อน (contaminate) จากเชื้ออื่น และเชื้ออื่นเจริญมากขึ้น จนทำให้เชื้อที่เก็บรักษาไว้ ตายได้ นอกจากนี้ยังสามารถเกิดความผิดพลาด ในการเขียนรหัสเชื้อทำให้สับเปลี่ยนสายพันธุ์กัน รวมทั้งการต่อเชื้อลงในอาหารใหม่เรื่อยๆ อาจทำให้เกิด การกลายพันธุ์และเปลี่ยนลักษณะ

2. การทำให้แห้งในวัสดุต่างๆ ได้แก่ ดิน ทราย ซิลิกาเจล เหมาะสำหรับใช้เก็บ สาหร่ายที่สร้างสปอร์ การเก็บบนชิ้นวัตถุแห้ง (predried plug) เช่น แป้ง เพปโทน (peptone) หรือเดกซ์แทรน (dextran) ซึ่งวัสดุเหล่านี้จะดูดซับซัสเพนชัน (suspension) เชื้อไว้แล้วจึงนำไปทำให้แข็ง และเก็บภายใต้สูญญากาศ

3. การทำให้แห้งแบบเยือกแข็ง (freeze drying หรือ lyophilization) เป็นการทำให้น้ำระเหยไปจากซัสเพนชันเชื้อที่เยือกแข็งแล้ว โดยนำสาหร่ายที่เจริญบนอาหารวุ้นมาผสมกับสารแขวนลอย(suspending medium) เช่น หางนม (skim milk) หรือกลูโคสซีรัม (glucose serum) แล้วนำไปเข้าเครื่องทำให้เซลล์แข็งตัวในสภาพสูญญากาศ น้ำในเซลล์จะถูกดึงออกโดยการระเหิด จุลินทรีย์จะอยู่ในสภาพแห้งและแข็ง แต่ยังมีชีวิตอยู่และสามารถเก็บเชื้อไว้ได้นานมากกว่า 10 ปี ข้อดีของวิธีนี้ คือเหมาะสำหรับการเก็บรักษาเชื้อจำนวนมากและเก็บรักษาได้นาน ส่วนข้อเสีย คือ มีค่าใช้จ่ายสูงในการซื้ออุปกรณ์และเครื่องมือ

4. การทำเยือกแข็งหรือแช่เยือกแข็ง (freezing หรือ cryopreservation) เป็นการทำให้น้ำในเซลล์กลายเป็นน้ำแข็งโดยการลดอุณหภูมิ การทำให้เซลล์อยู่ในสภาพแข็งตัว เช่นนี้มีหลายวิธี ได้แก่ การเก็บบนเม็ดแก้ว (glass bead) ที่อุณหภูมิ -70 °C โดยผสมเชื้อสาหร่ายด้วยอาหารเหลวและสาร cryoprotectant ให้เป็นซัสเพนชัน หยดซัสเพนชันเชื้อบนเม็ดแก้ว แล้วเก็บไว้ในตู้แช่แข็งที่อุณหภูมิ -70 °C เวลาจะใช้จึงตักเม็ดแก้วมาใส่ในอาหารเลี้ยงเชื้อ อีกวิธีหนึ่ง คือ การเก็บไว้ในไนโตรเจนเหลวที่อุณหภูมิ -196 °C โดยเลี้ยงสาหร่ายบนอาหารวุ้นและเติมสาร cryoprotectant เพื่อป้องกันเซลล์แตก แล้วถ่ายใส่หลอดเล็กๆ ปิดฝาให้สนิท นำเข้าเครื่องลดอุณหภูมิ เพื่อให้อุณหภูมิลดลงมาถึงจุดเยือกแข็งในระดับ -20 °C ถึง -30 °C แล้วจึงนำไปเก็บไว้ในถังบรรจุไนโตรเจนเหลวอุณหภูมิ -196 °C

การใช้สาหร่ายในผลิตภัณฑ์พาสต้า

Prabhasankar et al. (2009a) ได้ศึกษาผลของการเติมสาหร่ายญี่ปุ่นวากาเมะ (Wakame; *Undaria pinnatifida*) ซึ่งเป็นสาหร่ายสีน้ำตาลในปริมาณต่างๆ ต่อคุณภาพของพาสต้าในด้านลักษณะทางประสาทสัมผัส การหุงต้ม คุณค่าทางโภชนาการ และคุณลักษณะในการเป็นสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพ เปรียบเทียบกับพาสต้าตัวอย่างควบคุมที่ไม่ได้เติมสาหร่ายโดยแปรปริมาณวากาเมะ

เป็นร้อยละ 5, 10, 20 และ 30 ของน้ำหนักเซโมลิน่าข้าวสาลี ผลการศึกษาพบว่า พาสต้าที่เติมสาหร่ายในปริมาณเพิ่มขึ้นมีปริมาณฟูโคแซนทิน (Fucoxanthin) และฟูโคสเตอรอล (Fucosterol) เพิ่มขึ้น แต่ไม่พบสารทั้งสองชนิดนี้ในพาสต้าตัวอย่างควบคุม และเมื่อเพิ่มปริมาณสาหร่ายมีผลทำให้ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกเพิ่มขึ้น รวมทั้งสมบัติในการเป็นสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพ (Antioxidant acitivity, DPPH radical scavenging activity, Superoxide radical scavenging activity, Metal chelating activity, Reducing power) เพิ่มขึ้น นอกจากนี้ยังพบว่าการเติมสาหร่ายมีผลทำให้โครงสร้างระหว่างโปรตีนและสตาร์ชในพาสต้าแข็งแรงขึ้น อย่างไรก็ตามสามารถเติมสาหร่ายได้ในปริมาณไม่เกินร้อยละ 20 โดยตัวอย่างพาสต้าที่เติมสาหร่ายร้อยละ 10 ได้รับการยอมรับทางประสาทสัมผัสสูงสุด

Prabhasankar et al. (2009b) ได้พัฒนาผลิตภัณฑ์พาสต้าที่เติมสาหร่ายสีน้ำตาลของอินเดีย (Sargassum marginatum) เพื่อเพิ่มคุณค่าทางโภชนาการและสมบัติการเป็นสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพ โดยแปรปริมาณสาหร่ายเป็นร้อยละ 1.0, 2.5 และ 5.0 โดยน้ำหนัก เปรียบเทียบกับพาสต้าตัวอย่างควบคุมซึ่งไม่ได้เติมสาหร่าย จากการศึกษาโครงสร้างภายในของพาสต้าพบว่าการเติมสาหร่ายตั้งแต่ร้อยละ 2.5 ขึ้นไปช่วยให้โครงสร้างร่างแหของกลูเตนแข็งแรง และมีสมบัติในการต้านออกซิเดชันเพิ่มขึ้น แต่ถ้าใช้ปริมาณสาหร่ายต่ำกว่าร้อยละ 2.5 ไม่มีผลต่อการเพิ่มขึ้นของสมบัติการต้านออกซิเดชัน

Fradique et al. (2010) ได้ศึกษาการเติมสาหร่ายเล็กในพาสต้า โดยเตรียมพาสต้าสดในรูปแบบสปาเก็ตตี้เสริมชีวมวลของสาหร่าย (Algae biomass) 2 ชนิด คือ *Chlorella vulgaris* **และ** *Spirulina maxima* ในปริมาณต่างๆ และเปรียบเทียบคุณภาพของพาสต้า ได้แก่ เวลาที่เหมาะสมในการต้ม (Optimum cooking time) ปริมาณของแข็งที่สูญเสียในระหว่างการต้ม (Cooking loss) ดัชนีการพองตัว (Swelling index) และการดูดซึมน้ำ (Water absorption) รวมถึงองค์ประกอบทางเคมี ลักษณะเนื้อสัมผัส และสีของพาสต้ากับผลิตภัณฑ์พาสต้าที่ทำจากเซโมลิน่าข้าวสาลี (ตัวอย่างควบคุม) โดยพบว่าการเติมสาหร่ายในปริมาณเพิ่มขึ้น (ร้อยละ 0.5-2) ทำให้คุณภาพของพาสต้าและความแน่นเนื้อ (Firmness) ของพาสต้าเพิ่มขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับตัวอย่างควบคุม และได้คะแนนการยอมรับทางประสาทสัมผัสสูงกว่าตัวอย่างควบคุม นอกจากนี้พาสต้าที่ได้มีสีที่น่าดึงดูด เช่น สีส้มและเขียวคล้ายกับสีของพาสต้าที่เติมผัก โดยสีของพาสต้ายังไม่มีการเปลี่ยนแปลงในระหว่างการต้ม การเติมสาหร่ายในพาสต้าจึงช่วยเพิ่มคุณค่าทางโภชนาการและทำให้พาสต้าได้รับการยอมรับทางประสาทสัมผัสเพิ่มขึ้น

บทที่ 3
วิธีดำเนินการทดลอง

งานวิจัยนี้ได้ศึกษาการพัฒนาผลิตภัณฑ์พาสต้าข้าวเจ้าเสริมสาหร่าย 2 ชนิด คือ สาหร่ายผักกาดทะเล (*Ulva rigida*) ซึ่งเป็นสาหร่ายทะเลขนาดใหญ่ (macro algae) และ สาหร่ายเกลียวทอง (*Spirulina* sp.) ซึ่งเป็นสาหร่ายทะเลขนาดเล็ก (micro algae) โดยแบ่งการทดลองเป็น 2 ตอน ซึ่งมีรายละเอียดขั้นตอนและวิธีการดำเนินการวิจัยดังต่อไปนี้

<u>ตอนที่ 1</u> การพัฒนาผลิตภัณฑ์พาสต้าข้าวเจ้าเสริมสาหร่ายผักกาดทะเลผง

1. ศึกษาองค์ประกอบทางเคมีและปริมาณสารสำคัญบางชนิดของสาหร่ายผักกาดทะเลผง

1.1 การเตรียมสาหร่ายผักกาดทะเลผง

เตรียมสาหร่ายผักกาดทะเลในรูปผงแห้ง โดยนำสาหร่ายผักกาดทะเลสดมาล้างน้ำให้สะอาดจนกระทั่งไม่มีกรวดทรายแล้วทิ้งให้สะเด็ดน้ำเป็นเวลา 15 นาที ลักษณะของสาหร่ายผักกาดทะเลสดแสดงดังภาพที่ 3-1แล้วนำไปอบให้แห้งด้วยตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 50 °C เป็นเวลาประมาณ 2-3 ชั่วโมง จนมีความชื้นสุดท้ายประมาณร้อยละ 4 ลักษณะของสาหร่ายผักกาดทะเลอบแห้งแสดงดังภาพที่ 3-2 บดให้เป็นผงละเอียดโดยใช้เครื่องบด แล้วร่อนผ่านตะแกรงขนาด 80 เมช บรรจุในถุงพลาสติกปิดผนึกด้วยเครื่องปิดผนึกถุงด้วยความร้อน แล้วบรรจุลงในถุงฟอยล์ เก็บไว้ที่อุณหภูมิห้อง คำนวณหาร้อยละผลผลิตสาหร่ายผักกาดทะเลผงดังนี้

$$\text{ร้อยละผลผลิต} = \frac{\text{น้ำหนักสาหร่ายผักกาดทะเลผง}}{\text{น้ำหนักสาหร่ายผักกาดทะเลสด}} \times 100$$

ภาพที่ 3-1 ลักษณะของสาหร่ายผักกาดทะเลสด

ภาพที่ 3-2 ลักษณะของสาหร่ายผักกาดทะเลอบแห้ง

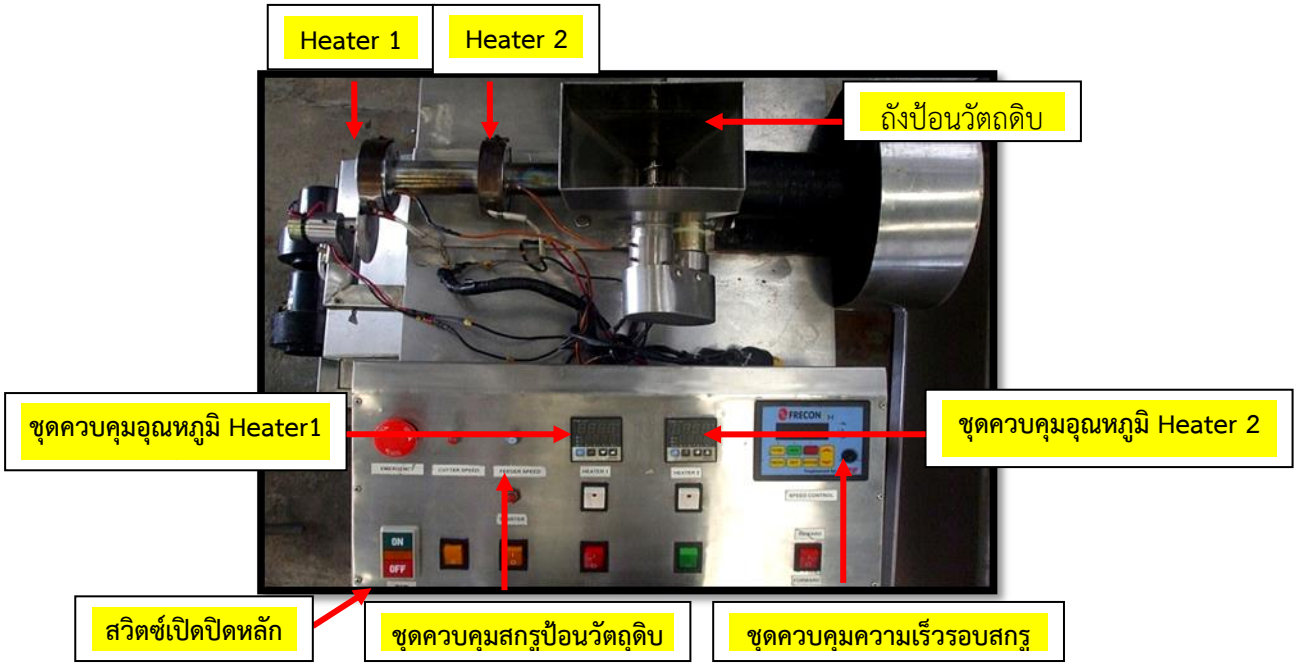
1.2 วิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีและปริมาณสารสำคัญบางชนิดในสาหร่ายผักกาดทะเลผง

นำตัวอย่างสาหร่ายผักกาดทะเลผงที่เตรียมได้มาวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี ดังนี้ วิเคราะห์ปริมาณองค์ประกอบทางเคมี (proximate composition) ได้แก่ ความชื้น โปรตีน ไขมัน และเส้นใย (Crude fiber) ตามวิธีของ AOAC (2000) ปริมาณใยอาหาร (Dietary fiber) ตามวิธีของ AOAC (2000) ปริมาณกรดอะมิโนตามวิธีของ Diaz et al. (1996) ปริมาณกรดไขมัน ตามวิธีดัดแปลงของ Shimasu et al. (1989) ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดตามวิธีที่ดัดแปลงมาจากวิธีของ Dewanto et al. (2002) ความสามารถในการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระโดยวิธี DPPH radical scavenging activity (ดัดแปลงมาจากวิธีการวิเคราะห์ของ Reungmaneepaitoon, 2009) ปริมาณแคลเซียมตามวิธีของ (AOAC, 1990) ปริมาณไอโอดีนตามวิธีของ Moxon และ Dixon (1980) ปริมาณโซเดียมคลอไรด์ตามวิธี Mohr method ปริมาณเบต้าแคโรทีน ตามวิธีของ Hiranvarachat (2011) และแคโรทีนอยด์ ตามวิธีของ KMUTT (2001) (รายละเอียดวิธีการวิเคราะห์แสดงในภาคผนวก ก)

2. พัฒนาสูตรพาสต้าจากข้าวเจ้าเสริมสาหร่ายผักกาดทะเลผง

2.1 ศึกษาปริมาณสาหร่ายผักกาดทะเลผงที่เหมาะสมที่ใช้เติมในพาสต้าข้าวเจ้า

โดยแปรปริมาณสาหร่ายผักกาดทะเลผงที่ใช้เติมลงในพาสต้าข้าวเจ้า 5 ระดับ คือ ร้อยละ 0 2 4 6 และ 8 (โดยน้ำหนักแป้ง) ผสมแป้งข้าวเจ้า สาหร่ายผง และน้ำโดยปรับให้ส่วนผสมมีความชื้นประมาณร้อยละ 30 (การคำนวณปริมาณน้ำแสดงในภาคผนวก ข) ผลิตพาสต้าโดยใช้เครื่องเอกซ์ทรูเดอร์ระดับห้องปฏิบัติการซึ่งมีส่วนประกอบแสดงดังภาพที่ 3-3 โดยกำหนดอุณหภูมิของ Heater 1 เท่ากับ 80 ^{o}C อุณหภูมิของ Heater 2 เท่ากับ 70 ^{o}C และความเร็วรอบของสกรู 80 รอบต่อนาที ตัดเส้นพาสต้าให้มีความยาว 30 เซนติเมตร นำเส้นพาสต้าที่ได้มาทำให้แห้งโดยใช้ตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 50 ^{o}C เป็นเวลา 2-3 ชั่วโมง จนเหลือความชื้นประมาณร้อยละ 12 โดยน้ำหนัก บรรจุพาสต้าในถุงพลาสติกโพลีเอทิลีนและปิดผนึกให้สนิท เพื่อรอการวิเคราะห์คุณภาพดังต่อไปนี้



ภาพที่ 3-3 ส่วนประกอบเครื่องเอกซ์ทรูเดอร์ (Extruder)

2.1.1 การวิเคราะห์คุณภาพของพาสต้าหลังการต้ม

นำพาสต้าที่เตรียมได้มาศึกษาคุณภาพหลังการต้ม (Cooking Quality) ได้แก่ เวลาที่เหมาะสมในการต้มบะหมี่ให้สุก (Cooking Time) ปริมาณของแข็งที่สูญเสียระหว่างการต้ม (Cooking Loss) และน้ำหนักที่ได้หลังการต้ม (Cooking Yield) ตามวิธีของ 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) วัดค่าความต้านทานต่อการดึงขาดของบะหมี่ (Tensile strength) โดยใช้หัววัด spaghetti Tensile Grips (A/SPR) วัดค่าความแน่นเนื้อ (Firmness) ของบะหมี่โดยใช้หัววัด A/ LKB และค่าการยึดเกาะที่ผิวหน้า (Adhesiveness) ของบะหมี่โดยใช้หัววัด P/35 (รายละเอียดวิธีการวิเคราะห์แสดงในภาคผนวก ค)

2.1.4 วิเคราะห์สมบัติการไหล (Rheological properties) ของเจลจากแป้งข้าวเจ้าและสาหร่ายโดยใช้เครื่อง Kinexus Rheometer (Malvern Instrument, UK) บันทึกผลการเกิดโครงสร้างของเจล (gel formation) และคุณสมบัติของเจล (storage modulus, G′ และ loss modulus, G″) เป็นเวลาอย่างน้อย 4 ชม.

2.1.5 ประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัส

นำตัวอย่างพาสต้ามาทดสอบคุณภาพทางประสาทสัมผัสด้วยวิธี 9-Point Hedonic Scale ในด้านสี กลิ่น รสชาติ เนื้อสัมผัส และความชอบโดยรวม ใช้ผู้ทดสอบ 30 คน ให้คะแนนตัวอย่างพาสต้าต้มสุกตามความชอบ (แบบประเมินการทดสอบคุณภาพทางประสาทสัมผัสแสดงในภาคผนวก ง)

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

พิจารณาเลือกปริมาณสาหร่ายผักกาดทะเลผงที่เหมาะสมที่ใช้เสริมในผลิตภัณฑ์พาสต้าจากคะแนนความชอบโดยรวมสูงที่สุดไปใช้ในการทดลองขั้นต่อไป โดยพิจารณาคุณภาพทางกายภาพ ได้แก่ ค่าลักษณะเนื้อสัมผัส (ค่าความแน่นเนื้อ และค่าความต้านทานแรงดึงขาด) ปริมาณของแข็งที่สูญเสียระหว่างการต้มประกอบด้วย

2.2 ศึกษาปริมาณความชื้นของส่วนผสมที่เหมาะสมในการผลิตพาสต้า

จากการศึกษาเบื้องต้นได้ศึกษาปริมาณความชื้นของส่วนผสมในช่วงร้อยละ 25-35 พบว่าพาสต้าที่เตรียมให้มีความชื้นส่วนผสมร้อยละ 25 เครื่องเอกซ์ทรูเดอร์ไม่สามารถอัดส่วนผสมให้ออกมายังหน้าแปลน (die) ได้ เนื่องจากปริมาณน้ำในส่วนผสมน้อย เมื่ออุณหภูมิภายในบาเรลของเครื่องเอกซ์ทรูเดอร์สูงขึ้น ทำให้แป้งที่เป็นส่วนผสมหลักไหม้ติดกับสกรู จึงไม่สามารถอัดส่วนผสมให้ออกมายังหน้าแปลนได้ เช่นเดียวกับพาสต้าที่เตรียมให้มีความชื้นส่วนผสมร้อยละ 35 ที่ไม่สามารถอัดส่วนผสมให้ออกมายังหน้าแปลนได้ เนื่องจากส่วนผสมมีความหนืดมาก ส่งผลให้มอเตอร์ไม่มีแรงขับเคลื่อนให้สกรูหมุนต่อไปได้ ดังนั้นจึงแปรปริมาณความชื้นของส่วนผสมแป้งเป็นร้อยละ 27, 30 และ 33 โดยเตรียมพาสต้าโดยใช้วิธีการและสภาวะของเครื่องมือเช่นเดียวกับการทดลองข้อ 2.1 (โดยกำหนดอุณหภูมิของ Heater 1 เป็น 80 ^{o}C และ Heater 2 เป็น 70 ^{o}C และความเร็วรอบของสกรู 80 รอบต่อนาที) นำเส้นพาสต้าที่เตรียมได้มาวิเคราะห์คุณภาพทางกายภาพและการทดสอบทางประสาทสัมผัส ดังนี้

2.2.1 การวิเคราะห์คุณภาพของพาสต้าหลังการต้ม เช่นเดียวกับข้อ 2.1.1

2.2.2 วัดค่าสี เช่นเดียวกับข้อ 2.1.2

2.2.3 วิเคราะห์ลักษณะเนื้อสัมผัส เช่นเดียวกับข้อ 2.1.3

2.2.4 วิเคราะห์โครงสร้างภายใน (Microstructure) โดยใช้ Scanning Electron Microscope

2.2.5 ประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัส เช่นเดียวกับข้อ 2.1.5

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

พิจารณาเลือกปริมาณความชื้นของส่วนผสมที่เหมาะสมในการผลิตพาสต้าข้าวเจ้าเสริมสาหร่ายผักกาดทะเลผงจากคะแนนความชอบโดยรวมสูงที่สุดไปใช้ในการทดลองขั้นต่อไป โดยพิจารณาคุณภาพทางกายภาพประกอบ

3. พัฒนากระบวนการผลิตพาสต้าโดยศึกษาอุณหภูมิของเครื่องเอกซ์ทรูเดอร์ที่เหมาะสมในการผลิตพาสต้า

ศึกษาอุณหภูมิของเครื่องเอกซ์ทรูเดอร์ที่เหมาะสมในการผลิตพาสต้าโดยใช้สูตรพาสต้าที่เลือกได้จากข้อ 2 แปรอุณหภูมิ Heater 1 ของเครื่องเอกซ์ทรูเดอร์ 4 ระดับ คือ 70, 80, 90 และ 100 องศาเซลเซียส โดยใช้อุณหภูมิ Heater 2 คงที่ที่ 70 °C เนื่องจากเป็นอุณหภูมิที่อยู่ในช่วงของการเกิดเจลาติไนซ์ของแป้งข้าวเจ้า 60-77 °C) นำมาเตรียมพาสต้าเช่นเดียวกับวิธีการทดลองข้อ 2 นำเส้นพาสต้าที่เตรียมได้มาวิเคราะห์คุณภาพทางกายภาพและการทดสอบทางประสาทสัมผัส ดังนี้

3.1 การวิเคราะห์คุณภาพของพาสต้าหลังการต้ม เช่นเดียวกับข้อ 2.1.1

3.2 วัดค่าสี เช่นเดียวกับข้อ 2.1.2

3.3 วิเคราะห์ลักษณะเนื้อสัมผัส เช่นเดียวกับข้อ 2.1.3

3.4 ประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัส เช่นเดียวกับข้อ 2.1.5

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

พิจารณาเลือกอุณหภูมิของเครื่องเอกซ์ทรูเดอร์ที่เหมาะสมในการผลิตภัณฑ์พาสต้าข้าวเจ้าเสริมสาหร่ายผักกาดทะเลผงจากคะแนนความชอบโดยรวมสูงที่สุดไปใช้ในการทดลองขั้นต่อไป โดยพิจารณาคุณภาพทางกายภาพประกอบด้วย

4. เปรียบเทียบคุณภาพทางเคมี กายภาพ และลักษณะทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์พาสต้าจากข้าวเจ้าเสริมสาหร่ายผักกาดทะเลผงกับผลิตภัณฑ์พาสต้าทางการค้า

โดยนำผลิตภัณฑ์พาสต้าเสริมสาหร่ายทะเลผงที่ได้รับการยอมรับสูงสุดจากการทดลองข้อที่ 3 มาวิเคราะห์คุณค่าทางโภชนาการและคุณภาพของผลิตภัณฑ์พาสต้าเปรียบเทียบกับพาสต้าข้าวเจ้าที่ไม่เติมสาหร่าย และพาสต้าข้าวสาลีทางการค้าดังนี้

4.1 การวิเคราะห์คุณภาพของพาสต้าหลังการต้ม เช่นเดียวกับข้อ 2.1.1

4.2 วิเคราะห์ลักษณะเนื้อสัมผัส เช่นเดียวกับข้อ 2.1.3

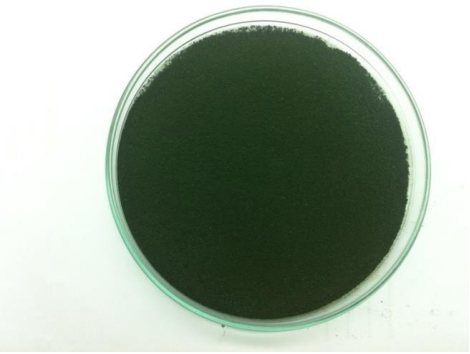
4.3 ประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัส เช่นเดียวกับข้อ 2.1.5

4.4 วิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี เช่นเดียวกับการทดลองข้อที่ 1.2

<u>ตอนที่ 2</u> การพัฒนาผลิตภัณฑ์พาสต้าข้าวเจ้าเสริมสาหร่ายเกลียวทองผง

1. ศึกษาองค์ประกอบทางเคมีและปริมาณสารสำคัญบางชนิดของสาหร่ายเกลียวทองผง

นำสาหร่ายเกลียวทองผงทางการค้าดังแสดงในภาพที่ 3-4 มาวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี (proximate composition) ได้แก่ ปริมาณความชื้น โปรตีน ไขมัน และเส้นใย (Crude fiber) ใยอาหาร (Dietary fiber) กรดไขมัน กรดอะมิโน สารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด ความสามารถในการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระ แคลเซียม ไอโอดีน เบต้า-แคโรทีน และแคโรทีนอยด์ เช่นเดียวกับการทดลองตอนที่ 1 ข้อ 1.2



ภาพที่ 3-4 สาหร่ายเกลียวทองผงทางการค้า

2. พัฒนาสูตรพาสต้าจากข้าวเจ้าเสริมสาหร่ายสาหร่ายเกลียวทองผง

2.1 ศึกษาปริมาณสาหร่ายเกลียวทองผงที่เหมาะสมที่ใช้เติมในพาสต้าข้าวเจ้า

โดยแปรปริมาณสาหร่ายเกลียวทองผงที่ใช้เติมลงในพาสต้าจากแป้งข้าวเจ้าร้อยละ 0.05 1.0 1.5 และ 2.0 (โดยน้ำหนักแป้ง) ผสมแป้งข้าวเจ้า สาหร่ายผง และน้ำโดยปรับให้ส่วนผสมมีความชื้นประมาณร้อยละ 30 (การคำนวณปริมาณน้ำแสดงในภาคผนวก ข) เตรียมพาสต้าโดยใช้เครื่องเอกซ์ทรูเดอร์ระดับห้องปฏิบัติการโดยใช้วิธีทำและสภาวะของเครื่องเอกซ์ทรูเดอร์เช่นเดียวกับการทดลองตอนที่ 1 ข้อ 2.1 นำผลิตภัณฑ์ที่ได้มาวิเคราะห์คุณภาพดังนี้

2.1.1 การวิเคราะห์คุณภาพของพาสต้าหลังการต้ม

นำพาสต้าที่เตรียมได้มาศึกษาคุณภาพหลังการต้ม (Cooking Quality) ได้แก่ เวลาที่เหมาะสมในการต้มบะหมี่ให้สุก (Cooking Time) ปริมาณของแข็งที่สูญเสียระหว่างการต้ม (Cooking Loss) และน้ำหนักที่ได้หลังการต้ม (Cooking Yield) ตามวิธีของ 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) วัดค่าความต้านทานต่อการดึงขาดของบะหมี่ (Tensile strength) โดยใช้หัววัด spaghetti Tensile Grips (A/SPR) วัดค่าความแน่นเนื้อ (Firmness) ของบะหมี่โดยใช้หัววัด A/ LKB

และค่าการยึดเกาะที่ผิวหน้า (Adhesiveness) ของบะหมี่โดยใช้หัววัด P/35 (รายละเอียดวิธีการวิเคราะห์แสดงในภาคผนวก ค)

2.1.4 วิเคราะห์สมบัติการไหล (Rheological properties) ของเจลจากแป้งข้าวเจ้าและสาหร่ายโดยใช้เครื่อง Kinexus Rheometer (Malvern Instrument, UK) บันทึกผลการเกิดโครงสร้างของเจล (gel formation) และคุณสมบัติของเจล (storage modulus, G′ และ loss modulus, G″) เป็นเวลาอย่างน้อย 4 ชม.

2.1.5 ประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัส

นำตัวอย่างพาสต้ามาทดสอบคุณภาพทางประสาทสัมผัสด้วยวิธี 9-Point Hedonic Scale ในด้านสี กลิ่น รสชาติ เนื้อสัมผัส และความชอบโดยรวม ใช้ผู้ทดสอบ 30 คน ให้คะแนนตัวอย่างพาสต้าต้มสุกตามความชอบ (แบบประเมินการทดสอบคุณภาพทางประสาทสัมผัสแสดงในภาคผนวก ง)

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

พิจารณาเลือกปริมาณสาหร่ายเกลียวทองผงที่เหมาะสมที่ใช้เติมในผลิตภัณฑ์พาสต้าจากคะแนนความชอบโดยรวมสูงที่สุดไปใช้ในการทดลองขั้นต่อไป โดยพิจารณาคุณภาพทางกายภาพ ได้แก่ ค่าลักษณะเนื้อสัมผัส (ค่าความแน่นเนื้อ และค่าความต้านทานแรงดึงขาด) ปริมาณของแข็งที่สูญเสียระหว่างการต้มประกอบด้วย

2.2 ศึกษาปริมาณความชื้นของส่วนผสมที่เหมาะสมในการผลิตพาสต้า

โดยแปรปริมาณความชื้นของส่วนผสมแป้งเป็นร้อยละ 27, 30 และ 33 โดยเตรียมพาสต้าโดยใช้วิธีการและสภาวะของเครื่องมือเช่นเดียวกับการทดลองข้อ 2.1 (โดยกำหนดอุณหภูมิของ Heater 1 ที่ 80 °C Heater 2 ที่ 70 °C และความเร็วรอบของสกรู 80 รอบต่อนาที) นำเส้นพาสต้าที่เตรียมได้มาวิเคราะห์คุณภาพทางกายภาพและการทดสอบทางประสาทสัมผัส ดังนี้

2.2.1 การวิเคราะห์คุณภาพของพาสต้าหลังการต้ม 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 2.1.5

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

พิจารณาเลือกปริมาณความชื้นของส่วนผสมที่เหมาะสมในการผลิตพาสต้าข้าวเจ้าเสริมสาหร่ายเกลียวทองผงจากคะแนนความชอบโดยรวมสูงที่สุดไปใช้ในการทดลองขั้นต่อไป โดยพิจารณาคุณภาพทางกายภาพประกอบ

3. พัฒนากระบวนการผลิตพาสต้าโดยศึกษาอุณหภูมิของเครื่องเอกซ์ทรูเดอร์ที่เหมาะสมในการผลิตพาสต้า

ศึกษาอุณหภูมิของเครื่องเอกซ์ทรูเดอร์ที่เหมาะสมในการผลิตพาสต้าโดยใช้สูตรพาสต้าที่เลือกได้จากข้อ 2 มาแปรอุณหภูมิ Heater 1 ของเครื่อง 4 ระดับ คือ 70, 80, 90 และ 100 ^{o}C (โดย Heater 2 คงที่ที่อุณหภูมิ 70 ^{o}C) นำมาเตรียมพาสต้าเช่นเดียวกับวิธีการทดลองข้อ 2 นำเส้นพาสต้าที่เตรียมได้มาวิเคราะห์คุณภาพทางกายภาพและการทดสอบทางประสาทสัมผัส ดังนี้

3.1 การวิเคราะห์คุณภาพของพาสต้าหลังการต้ม เช่นเดียวกับข้อ 2.1.1

3.2 วัดค่าสี เช่นเดียวกับข้อ 2.1.2

3.3 วิเคราะห์ลักษณะเนื้อสัมผัส เช่นเดียวกับข้อ 2.1.3

3.4 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

พิจารณาเลือกอุณหภูมิของเครื่องเอกซ์ทรูเดอร์ที่เหมาะสมในการผลิตพาสต้าข้าวเจ้าเสริมสาหร่ายเกลียวทองผงจากคะแนนความชอบโดยรวมสูงที่สุดไปใช้ในการทดลองขั้นต่อไป โดยพิจารณาคุณภาพทางกายภาพประกอบด้วย

4. เปรียบเทียบคุณภาพทางเคมี กายภาพ และลักษณะทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์พาสต้าจากข้าวเจ้าเสริมสาหร่ายผักกาดทะเลผงกับผลิตภัณฑ์พาสต้าทางการค้า

โดยนำผลิตภัณฑ์พาสต้าเสริมสาหร่ายทะเลผงที่ได้รับการยอมรับสูงสุดจากการทดลองข้อที่ 3 มาวิเคราะห์คุณค่าทางโภชนาการและคุณภาพของผลิตภัณฑ์พาสต้าเปรียบเทียบกับพาสต้าข้าวเจ้าที่ไม่เติมสาหร่าย และพาสต้าข้าวสาลีทางการค้าดังนี้

4.1 การวิเคราะห์คุณภาพของพาสต้าหลังการต้ม เช่นเดียวกับข้อ 2.1.1

4.2 วิเคราะห์ลักษณะเนื้อสัมผัส เช่นเดียวกับข้อ 2.1.3

4.3 ประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัส เช่นเดียวกับข้อ 2.1.4

4.4 วิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี เช่นเดียวกับการทดลองข้อที่ 1.2

บทที่ 4
ผลการทดลองและวิจารณ์

<u>ตอนที่ 1</u> การพัฒนาผลิตภัณฑ์พาสต้าข้าวเจ้าเสริมสาหร่ายผักกาดทะเลผง

1. ผลการศึกษาองค์ประกอบทางเคมีและปริมาณสารสำคัญบางชนิดของสาหร่ายผักกาดทะเลผง

สาหร่ายที่นำมาใช้ในการทดลองตอนนี้ ได้แก่ สาหร่ายผักกาดทะเลซึ่งเป็นสาหร่ายขนาดใหญ่ โดยการเตรียมสาหร่ายสดให้เป็นผงแห้งก่อนนำมาวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีและปริมาณสารสำคัญบางชนิด

1.1 ผลการเตรียมสาหร่ายผักกาดทะเลผง

จากการเตรียมสาหร่ายผักกาดทะเลในรูปผงแห้ง พบว่าได้สาหร่ายผักกาดทะเลผงที่มีลักษณะเป็นผงละเอียดสีเขียวอ่อน ดังภาพที่ 4.1 เมื่อนำไปวัดค่าสีพบว่าสาหร่ายผักกาดทะเลผงมีค่าความสว่าง (L*) 48.21 ค่าความเป็นสีเขียว (-a*) -8.71 และค่าความเป็นสีเหลือง (b*) 25.77 โดยได้ผลผลิตของสาหร่ายผักกาดทะเลผงร้อยละ 11.01 ± 0.99

ภาพที่ 4-1 ลักษณะของสาหร่ายผักกาดทะเลผง

1.2 ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีและปริมาณสารสำคัญบางชนิดในสาหร่ายผักกาดทะเลผง

ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของสาหร่ายผักกาดทะเลผงที่เตรียมได้แสดงดังตารางที่ 4-1 และผลการวิเคราะห์ชนิดและปริมาณของกรดไขมันแสดงดังตารางที่ 4-2 โดยสาหร่ายมีปริมาณโปรตีน ไขมัน คาร์โบไฮเดรต และใยอาหารร้อยละ 22.07, 0.48, 56.49 และ 23.14 ตามลำดับ ซึ่งมีปริมาณอยู่ในช่วงเดียวกับองค์ประกอบทางเคมีของสาหร่าย *Ulva lactuca* และ *Ulva fasciata* ที่ประกอบด้วยโปรตีนร้อยละ 13 – 18 ไขมันร้อยละ 0.3 – 1.9 คาร์โบไฮเดรตร้อยละ 53 – 58 และใยอาหารร้อยละ 9 – 12 โดยน้ำหนักแห้ง (Padua et al.,

2004) เมื่อพิจารณาองค์ประกอบทางเคมีของสาหร่ายผักกาดทะเลผงเปรียบเทียบกับองค์ประกอบทางเคมีของแป้งข้าวเจ้า และแป้งสาลีชนิดดูรัมเซโมลินาที่นิยมใช้ในการทำเส้นสปาเกตตี้ทางการค้า พบว่าในสาหร่ายผักกาดทะเลผงมีปริมาณโปรตีน เถ้า และเส้นใย สูงกว่าที่พบในแป้งข้าวเจ้าที่มีปริมาณโปรตีนและเถ้าร้อยละ 6.56 และ 0.30 ตามลำดับ (ปราโมทย์ คูวิจิตรจารุ และทศพล สุธาสิริทรัพย์, 2553) และแป้งสาลีชนิดดูรัมเซโมลินาซึ่งมีปริมาณโปรตีน เถ้า และเส้นใยร้อยละ 14.15, 0.16 และ 0.30 ตามลำดับ (ปิยนุช วังศิลาบัตร และคณะ, 2548) โดยสาหร่ายผักกาดทะเลผงมีปริมาณโปรตีนสูงกว่าแป้งข้าวเจ้าและแป้งสาลีชนิดดูรัมเซโมลินาคิดเป็นร้อยละ 70.27 และ 34.25 ตามลำดับ สำหรับปริมาณไขมันพบว่าสาหร่ายผักกาดทะเลผงมีปริมาณไขมัน (ร้อยละ 0.48) ใกล้เคียงกับปริมาณไขมันในแป้งข้าวเจ้า (ร้อยละ 0.46) แต่มีปริมาณน้อยกว่าแป้งสาลีชนิดดูรัมเซโมลิน่า (ร้อยละ 1.14) นอกจากนี้ สาหร่ายผักกาดทะเลยังมีปริมาณคาร์โบไฮเดรต (ร้อยละ 44.89) น้อยกว่าที่พบในแป้งข้าวเจ้า (ร้อยละ 79.52) และแป้งสาลีดูรัม (ร้อยละ 83.89)

สำหรับการวิเคราะห์ปริมาณแคลเซียม ไอโอดีน และโซเดียมคลอไรด์ในสาหร่ายผักกาดทะเลผง พบว่ามีปริมาณแคลเซียม 48.88 มิลลิกรัม/100 กรัม ไอโอดีน 351.07 มิลลิกรัม/1000 กรัม และโซเดียมคลอไรด์ 0.095 กรัม/100 กรัม ตามลำดับ อย่างไรก็ตามปริมาณแคลเซียม ไอโอดีน และโซเดียมคลอไรด์ที่วิเคราะห์ได้มีค่าที่แตกต่างจากการรายงานของ สุวรรณา วรสิงห์ (2552) ที่รายงานว่าสาหร่ายผักกาดทะเลประกอบด้วยแคลเซียม 388.8 มิลลิกรัม/100 กรัม ไอโอดีน 227.7 มิลลิกรัม/1,000 กรัม และโซเดียม 1,051.8 มิลลิกรัม/100 กรัม เนื่องจากใช้วิธีการวิเคราะห์ที่แตกต่างกันรวมถึงผลจากกระบวนเตรียมตัวอย่าง (การล้างสาหร่าย) ที่อาจสูญเสียเกลือโซเดียมคลอไรด์ที่ละลายได้ดีในน้ำไปบางส่วน สำหรับผลการวิเคราะห์ปริมาณเบต้า-แคโรทีนและแคโรทีนอยด์ในสาหร่ายผักกาดทะเลผงพบว่ามีปริมาณเบต้า-แคโรทีน 286.15 มิลลิกรัม/100 กรัม และแคโรทีนอยด์ 355.13 มิลลิกรัม/100 กรัม ซึ่งมีปริมาณแคโรทีนอยด์ต่ำกว่าที่รายงานในงานวิจัยของ Satpati and Pal (2011) ที่พบว่าสาหร่ายผักกาดทะเล (*Ulva rigida*) มีปริมาณแคโรทีนอยด์ร้อยละ 4.50 โดยน้ำหนักแห้ง ซึ่งอาจเป็นผลจากความแตกต่างของแหล่งที่มาของสาหร่าย และวิธีการเตรียมสาหร่ายแห้งที่มีการใช้ความร้อนทำให้ปริมาณแคโรทีนอยด์ลดลง จากการศึกษาคุณสมบัติของสารต้านอนุมูลอิสระในสาหร่ายสีเขียว 2 ชนิด ที่ได้จากชายฝั่งทางตอนเหนือของอ่าวเปอร์เซีย ของ Farasat et al. (2013) พบว่าในสาหร่ายสีเขียวทั้ง 2 ชนิด คือ *Ulva clathrata และ Ulva prolifera* มีสารประกอบฟีนอลิกรวม 4.468 มิลลิกรัม/กรัม และ 1.371 - 1.465 มิลลิกรัม/กรัม ตามลำดับ ซึ่งต่ำกว่าปริมาณสารประกอบฟีนอลิกในสาหร่ายผักกาดทะเล (*Ulva rigida*) ที่วิเคราะห์ได้ในงานวิจัยนี้ (8.50 มิลลิกรัม/กรัม) อีกทั้งยังมีการศึกษาองค์ประกอบของสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพ (bioactive) ในสาหร่ายผักกาดทะเลของ Yildiz et al. (2012) สาหร่ายผักกาดทะเลมีสารประกอบฟีนอลิกรวม วิตามิน E และแคโรทีนอยด์รวมอยู่ในปริมาณมาก ซึ่งจะเห็นได้ว่าสาหร่ายผักกาดทะเลมีคุณค่าทางอาหารหลายชนิดที่มีประโยชน์แก่ร่างกาย มีไขมันต่ำ นอกจากนี้ยังช่วยป้องกันโรคมะเร็งลำไส้ใหญ่ เนื่องจากสาหร่ายผักกาดทะเลมีกากใยอาหารสูง

ตารางที่ 4-1 องค์ประกอบทางเคมีของสาหร่ายผักกาดทะเลผง

องค์ประกอบทางเคมี	ค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน
	ปริมาณ
ความชื้น (%)	12.93 ± 0.07
โปรตีน (%db)	22.07 ± 0.45
เถ้า (%db)	20.96 ± 1.08
ไขมัน (%db)	0.48 ± 0.08
เส้นใย (%db)	11.60 ± 0.62
คาร์โบไฮเดรต (%db)	56.49 ± 0.94
ใยอาหารรวม (%db)	23.14 ± 2.28
ใยอาหารที่ละลายน้ำ (%db)	21.15 ± 1.56
ใยอาหารที่ไม่ละลายน้ำ (%db)	1.99 ± 0.04
สารประกอบฟีนอลิก (mg/100 g sample)	8.50 ± 0.25
ความสามารถในการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระ(%)	4.20 ± 0.27
แคลเซียม (mg/100 g)	48.88 ± 12.56
ไอโอดีน (mg/ 1000 g)	351.07 ± 36.33
โซเดียมคลอไรด์ (g/ 100 g)	0.095 ± 0.003
เบต้า-แคโรทีน (mg/100 g)	286.15 ± 3.90
แคโรทีนอยด์ (mg/ 100 g)	355.13 ± 26.45

%db ร้อยละโดยน้ำหนักแห้ง

ตารางที่ 4-2 ชนิดและปริมาณของกรดไขมันในสาหร่ายผักกาดทะเลผง

ชนิดของกรดไขมัน	ปริมาณกรดไขมัน			
	มิลลิกรัม/กรัม	SE*	ร้อยละ	SE*
C10:0	0.18	0.028	0.37	0.025
C11:0	0.06	0.007	0.12	0.004
C12:0	0.22	0.041	0.49	0.120
C13:0	2.06	0.578	4.18	0.812
C14:0	0.45	0.041	0.94	0.029
C14:1	0.13	0.013	0.27	0.043
C15:0	0.24	0.013	0.51	0.076
C16:0	5.89	0.234	12.51	0.869
C16:1	1.07	0.072	2.26	0.064
C17:0	0.15	0.020	0.31	0.014
C17:1	0.15	0.010	0.32	0.013
C18:0	1.90	0.094	4.02	0.267
C18:1 n-9	0.17	0.014	0.35	0.016
C18:2 n-6	1.97	0.066	4.19	0.360
C18:3 n-6	0.09	0.006	0.20	0.028
C18:3 n-3	1.33	0.044	2.83	0.255
C20:0	2.41	0.083	5.13	0.450
C20:2	0.08	0.057	0.15	0.101
C20:3 n-6	0.03	0.000	0.06	0.006
C20:4 n-6	0.27	0.044	0.56	0.050
C22:1	0.13	0.055	0.26	0.088
C22:0	4.88	1.153	9.98	1.483
อื่นๆ	23.82	2.178	50.00	0.001
รวม	47.64	4.355	100.00	0.002

* Standard error

จากผลการวิเคราะห์ชนิดและปริมาณกรดไขมันในสาหร่ายผักกาดทะเลผง (ตารางที่ 4-2) พบว่า สาหร่ายผักกาดทะเลผงประกอบด้วยกรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัว (Unsaturated fatty acid) ในปริมาณร้อยละ 11.44 ของกรดไขมันทั้งหมด (5.40 มิลลิกรัม/กรัม) โดยกรดไขมันไม่อิ่มตัวในสาหร่ายนี้ประกอบด้วยกรดไขมันประเภท Polyunsaturated fatty acid (PUFA) ในปริมาณร้อยละ 7.99 (3.76 มิลลิกรัม/กรัม) ซึ่งสูงกว่ากรดไขมันประเภท Monounsaturated fatty acid (MUFA) ที่มีปริมาณกรดไขมันร้อยละ 3.45 (1.64 มิลลิกรัม/กรัม) และเมื่อพิจารณาชนิดของกรดไขมันไม่อิ่มตัว

เมื่อพิจารณาชนิดของกรดไขมันไม่อิ่มตัว พบว่า สาหร่ายผักกาดทะเลผงประกอบด้วยกรดไขมันไม่อิ่มตัว Omega-3 ร้อยละ 2.83 (1.33 มิลลิกรัม/กรัม) และ Omega-6 ร้อยละ 5.01 (2.36 มิลลิกรัม/กรัม) ซึ่งกรดไขมันไม่อิ่มตัวทั้งสองชนิดเป็นกรดไขมันที่จำเป็นต่อร่างกาย และมีประโยชน์ต่อร่างกาย โดยช่วยป้องกันโรคต่างๆ ได้แก่ โรคมะเร็ง โรคหลอดเลือดหัวใจ เป็นต้น

จากผลการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของสาหร่ายผักกาดทะเลผงข้างต้น จึงอาจกล่าวได้ว่าการเติมสาหร่ายผักกาดทะเลผงในผลิตภัณฑ์พาสต้า จะช่วยเพิ่มคุณค่าทางโภชนาการในผลิตภัณฑ์พาสต้าจากข้าวเจ้าที่ใช้กระบวนการเอกซ์ทรูชันได้

2. ผลการพัฒนาสูตรพาสต้าจากข้าวเจ้าเสริมสาหร่าย

2.1 ผลการศึกษาปริมาณสาหร่ายผักกาดทะเลผงที่เหมาะสมที่ใช้เติมในพาสต้าข้าวเจ้า

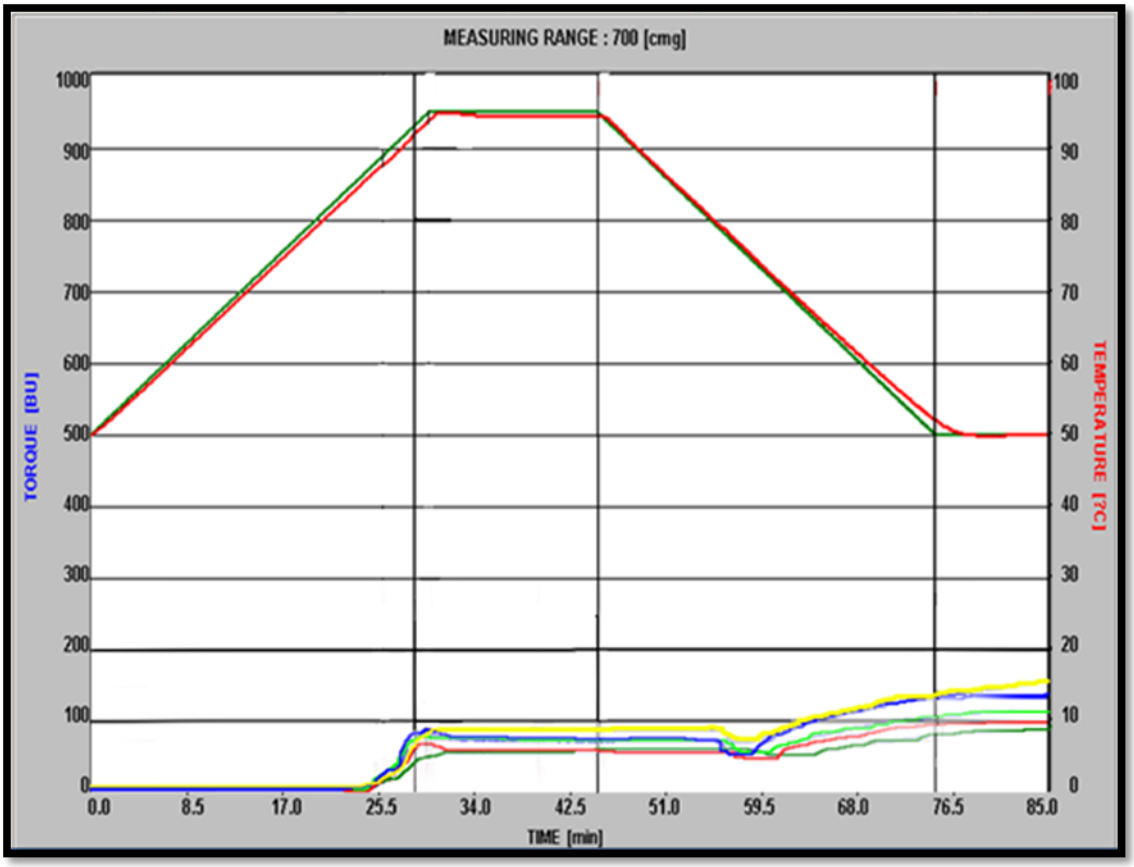
จากการวิเคราะห์คุณภาพของพาสต้าที่เติมสาหร่ายผักกาดทะเลผงร้อยละ 0, 2, 4, 6 และ 8 ได้ผลการวิเคราะห์ดังนี้

2.1.1 ผลการวิเคราะห์คุณภาพของพาสต้าหลังการต้ม

จากการวิเคราะห์คุณภาพหลังต้มของพาสต้าข้าวเจ้าที่เติมสาหร่ายผักกาดทะเลผงในปริมาณต่างๆ ได้ผลดังตารางที่ 4-3 จากการทดลอง พบว่าเมื่อเติมปริมาณสาหร่ายผักกาดทะเลผงเพิ่มขึ้นมีผลทำให้ระยะเวลาในการต้มสุกลดลง โดยเมื่อไม่มีการเติมสาหร่ายผักกาดทะเลผง (ร้อยละ 0) พาสต้าจะใช้ระยะเวลาในการต้มสุก 22.0 นาที แต่เมื่อเติมสาหร่ายผักกาดทะเลผงปริมาณจากร้อยละ 2 - 8 ทำให้ใช้ระยะเวลาในการต้มสุกลดลงจาก 16.5 นาทีเป็น 13.5 นาที อาจเนื่องจากสาหร่ายผักกาดทะเลเป็นสาหร่ายสีเขียวที่มีโครงสร้างของผนังเซลล์ชั้นในเป็นเซลลูโลสและผนังเซลล์ชั้นนอกเป็นเพกตินซึ่งมีสมบัติเป็นไฮโดรคอลลอยด์ (Lee, 1995) การใช้สารไฮโดรคอลลอยด์หรือกัมปริมาณเล็กน้อยในพาสต้า ทำให้เส้นพาสต้าเกิดเจล เส้นมีความแข็งแรงสูงที่อุณหภูมิห้อง และช่วยปรับปรุงความแน่นเนื้อ เนื่องจากกัมมีความสามารถในการจับกับน้ำและช่วยให้พาสต้ามีอัตราการคืนตัวเพิ่มขึ้น (Sozer, 2009) ดังนั้นเมื่อเพิ่มปริมาณสาหร่ายผักกาดทะเลผงในปริมาณที่มากขึ้น สาหร่ายจะช่วยดูดน้ำเข้าสู่เส้นพาสต้าได้ดียิ่งขึ้นทำให้ระยะเวลาที่ใช้ในการต้มสุกลดลง สอดคล้องกับผลการวิเคราะห์ความหนืดของตัวอย่างเส้นพาสต้า (ผ่านการบดเป็นผง) ด้วยเครื่องบราเบนเดอร์วิสโคอะไมโลกราฟดังภาพที่ 4-2 จากกราฟ Pasting properties พบว่าค่าความหนืดเริ่มต้นที่อุณหภูมิ 95 $^{\circ}$ C (จุดที่ชี้ให้เห็นถึงความยากง่ายในการหุ้งต้ม) มีแนวโน้มลดลงเมื่อปริมาณสาหร่ายเพิ่มขึ้น แสดงให้เห็นว่าเส้นพาสต้าจะใช้เวลาในการต้มสุกลดลงเมื่อปริมาณสาหร่ายเพิ่มขึ้น

การสูญเสียระหว่างการต้ม (Cooking loss) เป็นลักษณะที่ไม่พึงประสงค์ของผลิตภัณฑ์พาสต้าและสปาเกตตี การสูญเสียระหว่างการต้มสามารถสังเกตได้จากลักษณะการขุ่นขาวของน้ำที่ใช้ในการต้ม โดยสิ่งที่ละลายลงสู่น้ำที่ใช้ต้มจะเป็นแป้งหรืออะไมโลสที่หลุดออกมาจากเส้นสปาเกตตี้ (Smewing, 1997) จากผลการวิเคราะห์ปริมาณของแข็งที่สูญเสียระหว่างการต้มพบว่าพาสต้าที่เติมสาหร่ายผักกาดทะเลผงเพิ่มขึ้น (ร้อยละ 0 – 8) มีปริมาณของแข็งที่สูญเสียในระหว่างการต้มเพิ่มขึ้นจากร้อยละ 4.23 เป็นร้อยละ 8.14 ทั้งนี้อาจเนื่องจากสาหร่ายผักกาดทะเลผงประกอบด้วยองค์ประกอบที่เป็นเส้นใยสูง (ร้อยละ 11.60) ซึ่งอาจขัดขวางการเชื่อมโครงสร้างของสตาร์ชและโปรตีนในเส้นพาสต้า ทำให้โครงสร้างของพาสต้าไม่แข็งแรง และมีผลทำให้มีปริมาณของแข็งที่สูญเสีย

ในระหว่างการต้มเพิ่มขึ้น สอดคล้องกับรายงานของ Tudorica et al. (2002) พบว่าพาสต้าที่เติมผักโขม มีปริมาณของแข็งที่สูญเสียระหว่างการต้มเพิ่มขึ้น เนื่องจากองค์ประกอบที่เป็นเส้นใยในผักโขมไปขัดขวางการเกิดโครงสร้างของสตาร์ชและโปรตีน โดยทำให้โครงร่างของเส้นพาสต้าไม่แข็งแรง และจากงานวิจัยของ Marti, Seetharaman and Pagani (2010) พบว่าพาสต้าจากข้าวกล้อง ที่มีปริมาณใยอาหารสูงจะมีผลทำให้โครงสร้างร่างแหของสตาร์ชไม่แข็งแรง ทำให้พาสต้าจากข้าวกล้องมีค่าปริมาณของแข็งที่สูญเสียเพิ่มขึ้น น้ำหนักหลังต้มของพาสต้า (Cooking yield) คือความสามารถในการดูดซับ ดูดซึม และเก็บกักน้ำของเม็ดแป้งระหว่างการต้มให้สุกในน้ำเดือด โดยลักษณะผลิตภัณฑ์ที่ต้องการคือน้ำหนักหลังต้มสูง แต่ในขณะเดียวกันผลิตภัณฑ์ที่ผ่านการต้มแล้วต้องไม่เปื่อยยุ่ย (Smewing, 1997) เมื่อปริมาณสาหร่ายผักกาดทะเลผงเพิ่มขึ้น (ร้อยละ 0 - 8) น้ำหนักที่ได้หลังการต้มมีค่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \geq 0.05$) โดยมีน้ำหนักที่ได้หลังการต้มของพาสต้าอยู่ในช่วงร้อยละ 247.88 – 258.76



ภาพที่ 4-2 Pasting profile ของพาสต้าที่เติมสาหร่ายผักกาดทะเลผง
ร้อยละ 0 ( ), 2 ( ), 4 ( ), 6 ( ) และ 8 ( )

ตารางที่ 4-3 คุณภาพหลังการต้มของพาสต้าข้าวเจ้าเมื่อเติมสาหร่ายผักกาดทะเลผงในปริมาณต่างๆ

ปริมาณสาหร่ายผักกาดทะเลผง (ร้อยละโดยน้ำหนักแป้ง)	เวลาที่เหมาะสมในการต้มพาสต้าให้สุก (นาที)	ปริมาณของแข็งที่สูญเสียระหว่างการต้ม (ร้อยละ)	น้ำหนักที่ได้หลังการต้ม[ns] (ร้อยละ)
0	22.0	4.23[e] ± 1.00	254.77 ± 6.10
2	16.5	6.12[c] ± 1.14	250.73 ± 13.82
4	15.0	5.92[d] ± 1.53	252.24 ± 7.72
6	14.0	7.17[b] ± 1.38	258.76 ± 15.88
8	13.5	8.14[a] ± 1.75	247.88 ± 10.86

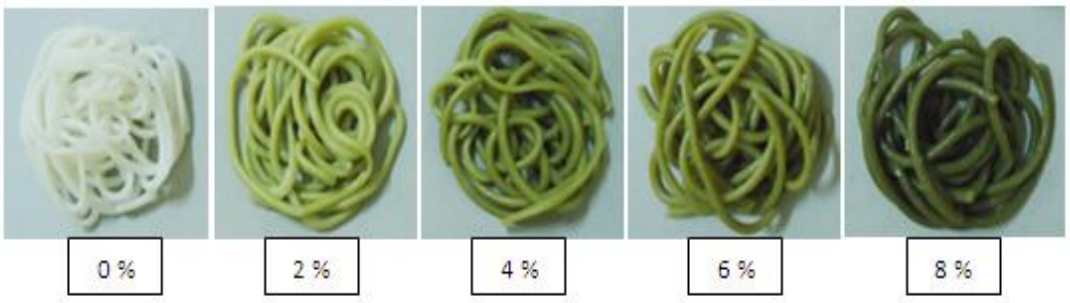
[a,b,c,...] หมายถึงตัวเลขที่มีอักษรกำกับแตกต่างกันตามแนวตั้งมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

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

2.1.2 ผลการวัดค่าสี

เมื่อนำพาสต้าข้าวเจ้าที่เติมสาหร่ายผักกาดทะเลผงในปริมาณต่างๆที่ผ่านการอบแห้งและผ่านการต้มสุกซึ่งมีลักษณะดังภาพ 4-3 และ 4-4 ได้ผลดังตารางที่ 4-3 และ 4-4

ภาพที่ 4-3 พาสต้าอบแห้งที่เติมสาหร่ายผักกาดทะเลผงร้อยละ 0, 2, 4, 6 และ 8



ภาพที่ 4-4 พาสต้าต้มสุกที่เติมสาหร่ายผักกาดทะเลผงร้อยละ 0, 2, 4, 6 และ 8

ตารางที่ 4-4 ค่าสีของพาสต้าอบแห้งที่เติมสาหร่ายผักกาดทะเลผงในปริมาณต่างๆ

ปริมาณสาหร่ายผักกาดทะเลผง (ร้อยละโดยน้ำหนักแป้ง)	ค่าสี			
	L*	a*	b*	h°
0	70.29^{a} ± 0.07	-0.21^{e} ± 0.01	16.08^{e} ± 0.03	90.84^{c} ± 0.15
2	49.50^{b} ± 0.26	-2.30^{a} ± 0.04	29.13^{a} ± 0.33	93.94^{a} ± 0.67
4	37.81^{c} ± 0.19	-0.71^{b} ± 0.05	21.07^{b} ± 0.07	91.23^{c} ± 0.91
6	32.03^{d} ± 0.36	-0.43^{d} ± 0.02	15.25^{c} ± 0.06	91.32^{c} ± 0.47
8	30.37^{e} ± 0.22	-0.63^{c} ± 0.05	15.67^{d} ± 0.31	91.65^{b} ± 0.30

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

ตารางที่ 4-5 ค่าสีของพาสต้าต้มสุกที่เติมสาหร่ายผักกาดทะเลผงในปริมาณต่างๆ

ปริมาณสาหร่ายผักกาดทะเลผง (ร้อยละโดยน้ำหนักแป้ง)	ค่าสี			
	L*	a*	b*	h°
0	70.55^{a} ± 0.12	-1.54^{a} ± 0.05	1.56^{e} ± 0.04	135.13^{a} ± 2.52
2	53.92^{b} ± 0.04	-3.34^{b} ± 0.06	23.44^{a} ± 0.07	98.74^{b} ± 0.98
4	44.02^{c} ± 0.07	-3.19^{b} ± 0.15	21.64^{b} ± 0.58	98.41^{b} ± 0.35
6	38.84^{d} ± 0.04	-2.93^{b} ± 0.19	19.63^{c} ± 0.21	98.39^{b} ± 0.37
8	34.56^{e} ± 0.59	-3.15^{b} ± 0.51	16.21^{d} ± 0.95	100.47^{b} ± 0.57

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

จากผลการทดลองดังตารางที่ 4-4 และ 4-5 พบว่าทั้งพาสต้าอบแห้งและพาสต้าที่ผ่านการต้มสุก เมื่อเติมสาหร่ายผักกาดทะเลผงในปริมาณที่แตกต่างกันมีผลทำให้ค่าความสว่างแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) กล่าวคือ เมื่อปริมาณสาหร่ายผักกาดทะเลผงเพิ่มขึ้น ค่าความสว่าง (L*) ลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ทั้งนี้อาจเนื่องจากสาหร่ายผักกาดทะเลผงมีค่าความสว่างต่ำกว่า (48.21) เมื่อเปรียบเทียบกับแป้งข้าวเจ้า (97.60) ที่ใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตพาสต้า ดังนั้นเมื่อเพิ่มปริมาณสาหร่ายผักกาดทะเลผงมากขึ้นจะทำให้ค่าความสว่างลดลง

สำหรับค่าความเป็นสีแดง-เขียว (a*) ของพาสต้าอบแห้งและพาสต้าต้มสุกพบว่า พาสต้าอบแห้งและพาสต้าต้มสุกมีค่า a* เป็นลบ แสดงถึงค่าความเป็นสีเขียวพาสต้า โดยพาสต้าต้มสุกจะมีค่าความเป็นสีเขียวมากกว่า (-1.54 ถึง -3.34) เมื่อเปรียบเทียบกับพาสต้าอบแห้ง (-0.21 ถึง -2.30) พบว่าเมื่อปริมาณสาหร่ายผักกาดทะเลเพิ่มขึ้น (ร้อยละ 2 -8) ค่าความเป็นสีเขียวของเส้นพาสต้า

อบแห้งมีแนวโน้มลดลง สำหรับพาสต้าต้มสุกที่เติมสาหร่ายผักกาดทะเลผงทุกตัวอย่าง (ร้อยละ 2 -8) มีค่าความเป็นสีเขียว-แดง (a*) ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \geq 0.05$)

ค่าความเป็นสีเหลือง-น้ำเงิน (b*) ของพาสต้าอบแห้งและพาสต้าต้มสุกมีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) โดยพาสต้ามีค่า b* เป็นบวก แสดงถึงค่าความเป็นสีเหลืองของพาสต้า โดยพาสต้าต้มสุกจะมีค่าความเป็นสีเหลืองน้อยกว่า (21.64 - 23.44) เมื่อเปรียบเทียบกับพาสต้าอบแห้ง (21.07 - 29.13) และเมื่อปริมาณสาหร่ายผักกาดทะเลเพิ่มขึ้น ค่าความเป็นสีเขียวและสีเหลืองของเส้นพาสต้ามีแนวโน้มลดลงทั้งในพาสต้าอบแห้งและพาสต้าต้มสุก ทั้งนี้อาจเนื่องจากความร้อนในกระบวนการเอกซ์ทรูชัน (70-80 $^{\circ}$ C) อาจทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของรงควัตถุที่ให้สีเขียวในสาหร่ายผักกาดทะเล ซึ่งจากรายงานของ Satpati and Pal (2011) พบว่าสาหร่ายผักกาดทะเลมีคลอโรฟิลล์เอร้อยละ 13 และคลอโรฟิลล์บีร้อยละ 7.5 การใช้ความร้อนอาจมีผลทำให้คลอโรฟิลล์ในสาหร่ายเกิดการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างเป็นฟีโอไฟติน (Pheophytin) เป็นฟีโอไฟตินซึ่งให้สีน้ำตาล (Olive brown) นอกจากนี้การใช้อุณหภูมิในช่วง 60-82 $^{\circ}$C เอนไซม์คลอโรฟิลเลสจะเปลี่ยนคลอโรฟิลล์ให้เป็นคลอโรฟิลไลด์ (Chlorophylides) ทำให้เกิดการสูญเสียหมู่ไฟทอล เมื่อแมกนีเซียมในคลอโรฟิลไลด์ถูกแทนที่ด้วยไฮโดรเจนจะได้ฟีโอฟอร์ไบด์ (Pheophorbides) ที่มีสีน้ำตาล (Von Elbe & Schwartz, 1996) จึงทำให้ค่าความเป็นสีเขียวลดลง

สำหรับค่า hue angle (h°) เปนคาแสดงถึงเฉดสีซึ่งมีคาอยูระหวาง 0-360 องศา พบว่าค่า h° ของพาสต้าอบแห้งและพาสต้าต้มสุก มีค่าอยู่ระหว่าง 90.84 – 93.94 องศา และ 98.39 – 135.13 องศา แสดงว่าพาสต้าอบแห้งและพาสต้าต้มสุกมีสีเหลืองถึงเหลืองเขียวซึ่งอยู่ในช่วง 90-135 องศา สอดคล้องกับสีของผลิตภัณฑ์ดังแสดงในภาพที่ 4-3 และ 4-4

2.1.3 ผลการวิเคราะห์ลักษณะเนื้อสัมผัส

จากการวิเคราะห์ลักษณะเนื้อสัมผัสของพาสต้าที่เติมสาหร่ายผักกาดทะเลผงปริมาณต่างๆได้ผลดังตารางที่ 4-6

ตารางที่ 4-6 ลักษณะเนื้อสัมผัสของพาสต้าข้าวเจ้าเติมสาหร่ายผักกาดทะเลผงในปริมาณต่างๆ

ปริมาณสาหร่ายผักกาดทะเลผง (ร้อยละโดยน้ำหนักแป้ง)	ลักษณะเนื้อสัมผัส		
	ค่าความต้านทานต่อการดึงขาด^{ns} (g force)	ค่าความแน่นเนื้อ (g force)	ค่าการยึดเกาะที่ผิวหน้า (g force. s)
0	33.38 ± 3.68	1603.04^{a} ± 111.85	5.21^{b} ± 0.59
2	35.91 ± 1.58	1028.31^{b} ± 99.88	3.66^{c} ± 0.74
4	36.17 ± 1.48	879.33^{c} ± 63.63	4.72^{bc} ± 0.62
6	47.12 ± 5.92	590.15^{d} ± 33.74	4.58^{bc} ± 0.20
8	49.12 ± 4.85	472.04^{d} ± 24.86	6.64^{a} ± 0.77

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

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

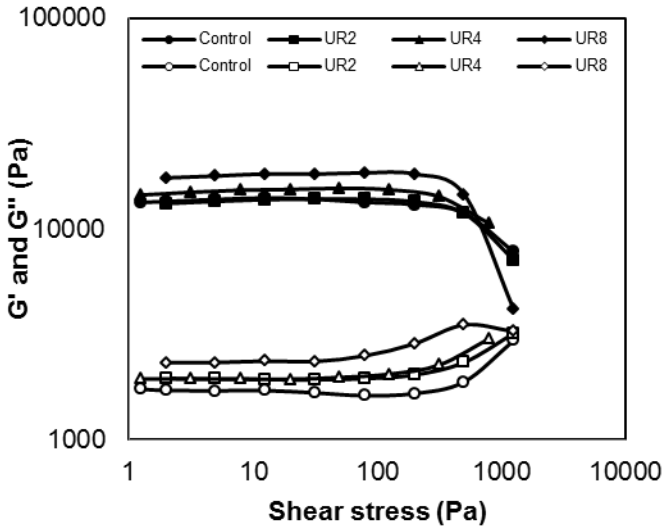
จากการวิเคราะห์ลักษณะเนื้อสัมผัส พบว่าเมื่อปริมาณสาหร่ายผักกาดทะเลเพิ่มขึ้น ค่าความต้านทานต่อการดึงขาดมีค่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \geq 0.05$) โดยค่าความต้านทานต่อการดึงขาดแสดงถึงความเหนียว ความยืดหยุ่น ความสามารถในการเกาะรวมตัวกันของเส้นพาสต้าที่สุกแล้ว และยังชี้ถึงความคงทนของเส้นพาสต้าด้วย (วิภา สุโรจนะเมธากุล, 2545) โดยพาสต้าที่เติมสาหร่ายผักกาดทะเลผงร้อยละ 0-8 มีค่าความต้านทานต่อการดึงขาด 33.38- 49.12 g force ตามลำดับ

ค่าความแน่นเนื้อเป็นค่าแรงสูงสุดที่ใช้ในการตัดให้เส้นพาสต้าขาดออกจากกัน ถ้าใช้แรงในการตัดมากแสดงว่าเส้นพาสต้ามีความแน่นเนื้อมาก นอกจากนี้ยังสามารถใช้ประเมินความคงทนของเส้นพาสต้าต่อการหุงต้มไว้ (วิภา สุโรจนะเมธากุล, 2545) จากการวิเคราะห์พบว่าพาสต้าที่เติมสาหร่ายผักกาดทะเลผงปริมาณเพิ่มขึ้นมีค่าความแน่นเนื้อลดลง โดยพาสต้าที่เติมสาหร่ายผักกาดทะเลผงร้อยละ 0-8 มีค่าความแน่นเนื้อลดลงจาก 1603.04 เป็น 472.04 g force ซึ่งสอดคล้องกับผลการวิเคราะห์ความหนืดของตัวอย่างเส้นพาสต้า (ผ่านการบดเป็นผง) ด้วยเครื่องบราเบนเดอร์วิสโคอะไมโลกราฟ (ภาพที่ 4-2) พบว่าเมื่อปริมาณสาหร่ายเพิ่มขึ้น การคืนตัว (Set back) ซึ่งแสดงถึงความสามารถในการเกิดรีโทรเกรเดชันของเส้นพาสต้าในช่วงการลดอุณหภูมิ (Cooling) มีค่าลดลง ทั้งนี้อาจเป็นผลจากใยอาหารในสาหร่ายผักกาดทะเลผงไปขัดขวางการเชื่อมโครงสร้างของโปรตีนกับสตาร์ชในเส้นพาสต้าทำให้โครงสร้างของเส้นพาสต้าไม่แข็งแรง เส้นพาสต้าจึงมีความแน่นเนื้อลดลง อีกทั้งยังสอดคล้องกับรายงานของ Jin et al. (1994) ที่รายงานว่าค่า Set back บ่งบอกถึงแนวโน้มของการเกิดรีโทรเกรเดชัน (retrogradation) ของอะไมโลสระหว่างการทำให้เย็น โดยถ้าค่าดังกล่าวสูงการเกิดรีโทรเกรเดชันก็จะสูงตามไปด้วยส่งผลให้เจลที่ได้มีความต้านทานต่อแรงเฉือน (shear) ได้ดี โดยทั่วไปข้าวที่ใช้ในการทำผลิตภัณฑ์ชนิดเส้นต้องเป็นข้าวพันธุ์ที่มีค่า setback สูง เพื่อให้ได้เจลที่แข็งแรงทนต่อสภาวะการผลิตได้ดี (Bhattacharya et al., 1999)

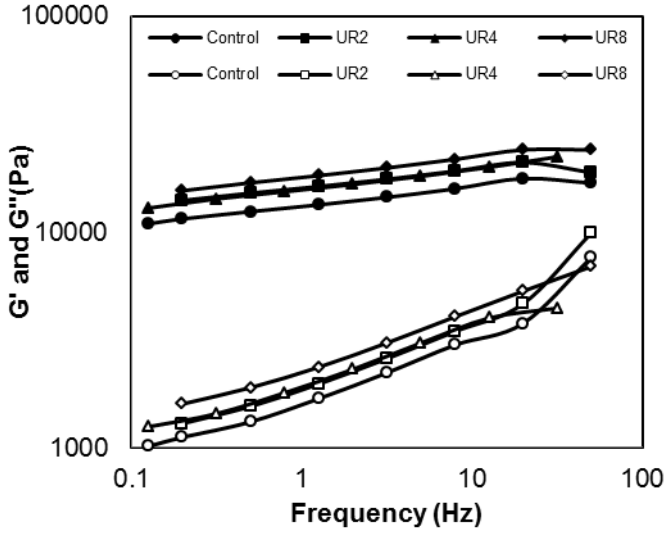
ค่าการยึดเกาะที่ผิวหน้าหมายถึงแรงที่ใช้แยกผลิตภัณฑ์ออกมาเมื่อผิวของผลิตภัณฑ์เกาะกับผิวอื่น คือถ้ามีแรงเกาะที่ผิวหน้าสูงแสดงว่าใช้แรงในการแยกผลิตภัณฑ์ออกจากกันมาก (วิภา สุโรจนะเมธากุล, 2545) จากผลการวิเคราะห์พบว่าเมื่อปริมาณสาหร่ายผักกาดทะเลเพิ่มขึ้น ค่าการยึดเกาะที่ผิวหน้ามีค่าเพิ่มขึ้น โดยพาสต้าที่เติมสาหร่ายผักกาดทะเลผงร้อยละ 2 4 และ 6 มีค่าการยึดเกาะที่ผิวหน้าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \geq 0.05$) แต่พาสต้าที่เติมสาหร่ายผักกาดทะเลผงร้อยละ 8 มีค่าการยึดเกาะที่ผิวหน้ามากที่สุด ซึ่งค่าการยึดเกาะที่ผิวหน้าสูงแสดงว่ามีสตาร์ชหลุดออกมาที่บริเวณผิวหน้าของเส้นพาสต้าสูงทำให้เส้นเกาะติดกันซึ่งเป็นลักษณะที่ไม่ต้องการในผลิตภัณฑ์พาสต้า สอดคล้องกับผลการวิเคราะห์ปริมาณของแข็งที่สูญเสียในระหว่างการต้มที่พบว่าพาสต้าที่เติมสาหร่ายผักกาดทะเลผงร้อยละ 8 มีปริมาณของแข็งที่สูญเสียในระหว่างการต้มมากที่สุด

2.1.4 ผลการวิเคราะห์สมบัติการไหลของเจลจากแป้งข้าวเจ้าและสาหร่าย

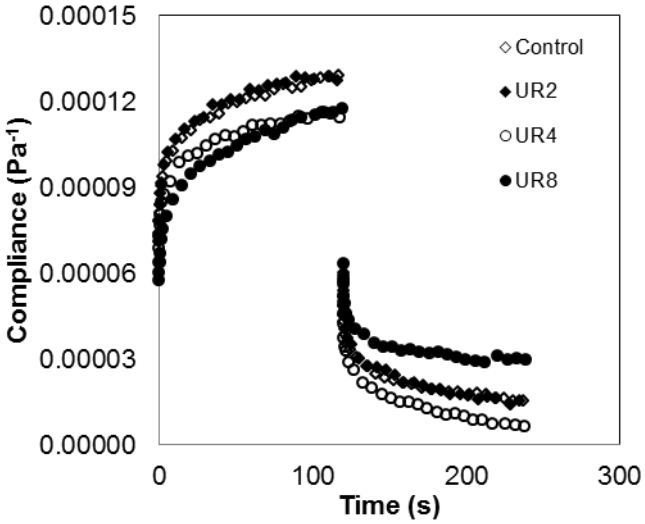
จากผลการวิเคราะห์สมบัติการไหลของเจลจากแป้งข้าวเจ้าและสาหร่ายผักกาดทะเลผงระดับต่างๆ (ร้อยละ 0-8) ได้ผลแสดงดังภาพที่ 4-5 – 4-7



ภาพที่ 4-5 ค่า Storage modulus (G’) และค่า Loss modulus (G’’) ของเจลแป้งข้าวเจ้าที่เติมสาหร่ายผักกาดทะเลผงร้อยละ 0 (control) ร้อยละ 2 (UR2) ร้อยละ 4 (UR4) และร้อยละ 8 (UR8) เมื่อใช้การทดสอบแบบ Amplitude sweep โดยสัญลักษณ์ทึบแสดงค่า G’ และสัญลักษณ์โปร่งแสดงค่า G’’



ภาพที่ 4-6 ค่า Storage modulus (G’) และค่า Loss modulus (G’’) ของเจลแป้งข้าวเจ้าที่เติมสาหร่ายผักกาดทะเลผงร้อยละ 0 (control) ร้อยละ 2 (UR2) ร้อยละ 4 (UR4) และร้อยละ 8 (UR8) เมื่อใช้การทดสอบแบบ Frequency sweep โดยสัญลักษณ์ทึบแสดงค่า G’ และสัญลักษณ์โปร่งแสดงค่า G’’



ภาพที่ 4-7 Creep and recovery profile ของเจลแป้งข้าวเจ้าที่เติมสาหร่ายผักกาดทะเลผงร้อยละ 0 (control) ร้อยละ 2 (UR2) ร้อยละ 4 (UR4) และร้อยละ 8 (UR8)

จากผลการวิเคราะห์สมบัติการไหลของเจลแป้งข้าวเจ้าที่เติมสาหร่ายผักกาดทะเลผงในปริมาณต่างๆ โดยการเตรียมให้เป็นโด (dough) และนำมาทดสอบแบบ Amplitude sweep (ภาพที่ 4-5) พบว่า โดข้าวเจ้าที่เติมสาหร่ายผักกาดทะเลผงทุกตัวอย่างมีค่า Storage modulus (Elastic modulus, G') สูงกว่า Loss modulus (Viscous modulus, G'') โดยลักษณะกราฟของค่า G' บ่งชี้ถึงการมีโครงสร้างที่แข็งแรง และผลการทดสอบแบบ frequency sweep (ภาพที่ 4-6) พบว่า โดข้าวเจ้าที่เติมสาหร่ายผักกาดทะเลผงทุกตัวอย่างมีค่า Storage modulus (Elastic modulus, G') สูงกว่า Loss modulus (Viscous modulus, G'') ในทุกช่วงความถี่ที่ทดสอบ ซึ่งแสดงถึงพฤติกรรมของของแข็งที่มีความยืดหยุ่น โดยตัวอย่างที่มีการเติมสาหร่ายผักกาดทะเลผงร้อยละ 2 มีค่า G' ไม่แตกต่างจากตัวอย่างที่ไม่การเติมสาหร่าย (Control) แต่การเพิ่มปริมาณสาหร่ายผักกาดทะเลผงมีผลทำให้ค่า G' เพิ่มขึ้น ส่วนผลการวิเคราะห์ค่า G'' พบว่าการเพิ่มปริมาณสาหร่ายผักกาดทะเลผงมีผลให้ค่า G'' เพิ่มขึ้นซึ่งแสดงถึง Viscous component ของโดเพิ่มขึ้น โครงสร้างของพาสต้าข้าวสาลีได้จากโปรตีนกลูเตน ส่วนโครงสร้างของพาสต้าข้าวเจ้าเกิดจากแป้งที่เกิดเจลเกิดโครงสร้างที่ทำหน้าที่คล้ายกับโปรตีนกลูเตน และการเพิ่มขึ้นของค่า G' และ G'' เมื่อเติมสาหร่ายผักกาดทะเลผงเพิ่มขึ้นแสดงให้เห็นว่าองค์ประกอบในสาหร่ายผักกาดทะเล ได้แก่ โปรตีน และไฮโดรคอลลอยด์ ช่วยเสริมโครงสร้างร่างแหของสตาร์ชในโดได้ โดยมีรายงานว่าการเติมสาหร่ายวากาเมะผง (Wakame powder) ในปริมาณสูงถึงร้อยละ 20 ช่วยให้ร่างแหกลูเตนแข็งแรงขึ้นซึ่งอาจเป็นผลจากอัลจิเนตที่เป็นองค์ประกอบในสาหร่ายสามารถเกิดสารประกอบเชิงซ้อนกับสตาร์ชและช่วยลดการแตกของเม็ดสตาร์ชทำให้มีการสูญเสียเม็ดสตาร์ชในระหว่างการต้มลดลง (Chawan et al., 1995) อย่างไรก็ตามในงานวิจัยนี้พบว่าผลการวิเคราะห์สมบัติการไหลไม่สัมพันธ์กับปริมาณของแข็งที่สูญเสียในระหว่างการต้ม เมื่อเติมสาหร่ายในปริมาณเพิ่มขึ้นทำให้ปริมาณของแข็งที่สูญเสียในระหว่างการต้มมีค่าเพิ่มขึ้น ซึ่งอาจเป็นผลมาจากปริมาณความชื้นของโดและวิธีการเตรียมโดในการวิเคราะห์สมบัติการไหลและการทำผลิตภัณฑ์พาสต้าแตกต่างกัน โดยมีข้อจำกัดในการเตรียมโดเพื่อวิเคราะห์จึงทำให้ต้อง

ใช้ปริมาณความชื้นสูงถึงร้อยละ 50 และเตรียมโดโดยการให้ความร้อนในอ่างน้ำควบคุมอุณหภูมิ ในขณะที่การทำพาสต้าใช้ความชื้นของโดเพียงร้อยละ 30 และใช้กระบวนการเอ็กซ์ทรูชันในการทำผลิตภัณฑ์

จากผลการทดสอบ Creep and recovery profile ของเจลแป้งข้าวเจ้าที่เติมสาหร่ายผักกาดทะเลผง (ภาพที่ 4-7) พบว่า การเติมสาหร่ายผักกาดทะเลผงร้อยละ 2 ไม่มีผลต่อค่า Creep compliance แต่การเติมสาหร่ายผักกาดทะเลผงร้อยละ 4 และ 8 มีผลให้ค่า Creep compliance ลดลง แสดงว่าโดข้าวเจ้ามีความต้านทานต่อแรงเค้นมากขึ้น ซึ่งผลที่ได้นี้สอดคล้องกับผลการทดสอบสมบัติการไหลของเจลที่พบว่าตัวอย่างควบคุมมีค่า G' ต่ำที่สุด และตัวอย่างที่เติมสาหร่ายผักกาดทะเลผงร้อยละ 8 มีค่า G' สูงที่สุด

2.1.5 ผลการประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัส

จากการวิเคราะห์การทดสอบทางด้านประสาทสัมผัสของพาสต้าที่เติมสาหร่ายผักกาดทะเลผงปริมาณต่างๆ โดยใช้วิธี 9-point hedonic scale ได้ผลดังตารางที่ 4-7

ตารางที่ 4-7 คะแนนการทดสอบทางประสาทสัมผัสของพาสต้าข้าวเจ้าที่เติมสาหร่ายผักกาดทะเลผงในปริมาณต่างๆ

ปริมาณสาหร่าย (ร้อยละโดยน้ำหนักแป้ง)	คะแนนการทดสอบทางประสาทสัมผัส				
	สี	กลิ่น	รสชาติ	เนื้อสัมผัส	ความชอบโดยรวม
0	$3.73^{c} \pm 2.56$	$4.43^{b} \pm 2.28$	$4.63^{b} \pm 2.12$	$6.00^{a} \pm 1.70$	$5.53^{bc} \pm 2.08$
2	$5.90^{ab} \pm 1.84$	$5.57^{a} \pm 1.76$	$5.60^{a} \pm 1.52$	$5.70^{b} \pm 1.49$	$6.17^{ab} \pm 1.23$
4	$6.57^{a} \pm 1.43$	$5.93^{a} \pm 1.76$	$5.53^{a} \pm 1.46$	$5.96^{a} \pm 1.56$	$6.30^{a} \pm 1.29$
6	$5.87^{ab} \pm 1.61$	$5.57^{a} \pm 1.63$	$5.53^{a} \pm 1.45$	$5.27^{b} \pm 1.6$	$5.83^{abc} \pm 1.37$
8	$5.30^{b} \pm 1.80$	$4.97^{ab} \pm 1.96$	$5.03^{ab} \pm 1.73$	$5.87^{b} \pm 1.28$	$5.40^{c} \pm 1.40$

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

จากผลการทดสอบทางด้านประสาทสัมผัสพบว่า ปริมาณสาหร่ายที่เติมในพาสต้าข้าวเจ้ามีผลต่อคะแนนความชอบในด้านสี กลิ่น รสชาติ เนื้อสัมผัส และความชอบโดยรวมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

เมื่อพิจารณาผลการทดสอบทางประสาทสัมผัสด้านสี พบว่าพาสต้าที่เติมสาหร่ายผักกาดทะเลผงร้อยละ 4 ได้คะแนนความชอบด้านสีสูงสุด (6.57 คะแนน) ซึ่งอยู่ในระดับชอบเล็กน้อย สำหรับพาสต้าที่เติมสาหร่ายผักกาดทะเลผงร้อยละ 2 6 และ 8 ได้คะแนนความชอบด้านสีไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \geq 0.05$) โดยได้คะแนนในช่วง 5.30 - 5.90 คะแนน ซึ่งแสดงถึงผู้

ทดสอบรู้สึกเฉยๆ กับผลิตภัณฑ์ เนื่องจากการเพิ่มปริมาณสาหร่ายผักกาดทะเลผง ทำให้เส้นพาสต้ามีสีเขียวเข้มขึ้น โดยเส้นพาสต้าที่เติมสาหร่ายผักกาดทะเลผงร้อยละ 4 มีความเข้มสีเขียวในระดับกลาง กล่าวคือมีสีเขียวที่ไม่เข้ม/อ่อนจนเกินไป จึงทำให้ได้รับคะแนนความชอบด้านสีสูงที่สุด

ผลการทดสอบทางประสาทสัมผัสด้านกลิ่นและรสชาติพบว่าพาสต้าที่เติมสาหร่ายผักกาดทะเลผงทุกตัวอย่างได้คะแนนความชอบด้านกลิ่นไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \geq 0.05$) โดยได้คะแนนอยู่ในช่วง 4.97 - 5.93 คะแนน และ 5.03 - 5.60 คะแนน ตามลำดับ แสดงถึงผู้ทดสอบรู้สึกเฉยๆ กับกลิ่นและรสชาติของพาสต้าที่เติมสาหร่ายผักกาดทะเล แต่อย่างไรก็ตามเมื่อปริมาณสาหร่ายผักกาดทะเลผงเพิ่มขึ้น คะแนนความชอบด้านกลิ่นมีแนวโน้มลดลง ที่เป็นเช่นนี้เนื่องจากผู้ทดสอบให้ความคิดเห็นว่าผลิตภัณฑ์มีกลิ่นคาวของสาหร่าย เมื่อปริมาณสาหร่ายผักกาดทะเลผงที่เพิ่มขึ้น ทำให้ผลิตภัณฑ์พาสต้ามีกลิ่นคาวจากสาหร่ายเพิ่มขึ้น ส่งผลให้คะแนนความชอบด้านกลิ่นลดลง

ผลการทดสอบทางประสาทสัมผัสด้านเนื้อสัมผัสพบว่าพาสต้าที่เติมสาหร่ายผักกาดทะเลผงร้อยละ 4 ได้คะแนนความชอบสูงสุด ในขณะที่พาสต้าที่เติมสาหร่ายผักกาดทะเลผงร้อยละ 2 6 และ 8 มีคะแนนความชอบด้านเนื้อสัมผัสไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \geq 0.05$) แต่พาสต้าที่เติมสาหร่ายผักกาดทะเลผงทุกตัวอย่างได้คะแนนด้านเนื้อสัมผัสน้อยกว่าพาสต้าข้าวเจ้าล้วน อาจเนื่องจากปริมาณสาหร่ายที่เพิ่มขึ้นทำให้ความแน่นเนื้อของเส้นพาสต้าลดลง เส้นขาดง่ายไม่เหนียว โดยคุณสมบัติที่สำคัญของพาสต้าและผลิตภัณฑ์หลังจากผ่านการต้มสุกที่ดีต้องมีความเหนียวนุ่มและไม่เปื่อยยุ่ยง่ายหลังจากผ่านการต้ม

ผลการทดสอบทางประสาทสัมผัสด้านความชอบโดยรวมพบว่าพาสต้าที่เติมสาหร่ายผักกาดทะเลผงร้อยละ 2 และ 4 ได้คะแนนความชอบโดยรวมสูงสุดและไม่แตกต่างกัน ($p \geq 0.05$) โดยได้คะแนนในระดับความชอบเล็กน้อยซึ่งสูงกว่าตัวอย่างอื่นๆ ที่ได้คะแนนในระดับเฉยๆ แต่หากพิจารณาคุณค่าทางโภชนาการจะสามารถเติมสาหร่ายในพาสต้าได้ถึงร้อยละ 4

เมื่อพิจารณาผลการทดสอบทางประสาทสัมผัสและคุณภาพหลังการต้ม พบว่าพาสต้าที่เติมสาหร่ายผักกาดทะเลผงร้อยละ 4 ได้คะแนนด้านเนื้อสัมผัสและความชอบโดยรวมสูงสุด และมีปริมาณของแข็งที่สูญเสียต่ำสุด (ร้อยละ 5.92) เมื่อเปรียบเทียบกับพาสต้าที่เติมสาหร่ายผักกาดทะเลผงตัวอย่างอื่นซึ่งเป็นคุณลักษณะที่ต้องการของพาสต้า ดังนั้นจึงเลือกตัวอย่างนี้ไปศึกษาในขั้นตอนต่อไป

2.2 ผลการศึกษาปริมาณความชื้นของส่วนผสมที่เหมาะสมในการผลิตพาสต้า

จากการวิเคราะห์คุณภาพของพาสต้าเติมสาหร่ายผักกาดทะเลผงร้อยละ 4 ที่ใช้ปริมาณความชื้นของส่วนผสมร้อยละ 27 30 และ 33 ได้ผลการวิเคราะห์คุณภาพหลังการต้ม ค่าสี ลักษณะเนื้อสัมผัส การทดสอบทางประสาทสัมผัส และโครงสร้างภายในดังนี้

2.2.1 ผลการวิเคราะห์คุณภาพของพาสต้าหลังการต้ม

จากการวิเคราะห์คุณภาพหลังการต้มของพาสต้าเติมสาหร่ายผักกาดทะเลผงร้อยละ 4 ที่ใช้ปริมาณความชื้นของส่วนผสมระดับต่างๆ ได้ผลดังตารางที่ 4-8

ตารางที่ 4-8 คุณภาพหลังการต้มของพาสต้าข้าวเจ้าเสริมสาหร่ายผักกาดทะเลผงที่ใช้ปริมาณความชื้นของส่วนผสมระดับต่างๆ

ปริมาณความชื้นของส่วนผสม (ร้อยละโดยน้ำหนักแป้ง)	คุณภาพหลังการต้ม		
	เวลาที่เหมาะสมในการต้มพาสต้าให้สุก (นาที)	ปริมาณของแข็งที่สูญเสียระหว่างการต้ม (ร้อยละ)	น้ำหนักที่ได้หลังการต้ม (ร้อยละ)
27	17.00	$6.41^{c} \pm 0.41$	$269.02^{a} \pm 5.24$
30	14.50	$9.67^{b} \pm 0.57$	$236.25^{b} \pm 1.69$
33	14.00	$11.77^{a} \pm 1.79$	$242.78^{b} \pm 5.17$

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

จากผลการทดลองพบว่าเมื่อปริมาณความชื้นของส่วนผสมเพิ่มขึ้น ทำให้เวลาที่เหมาะสมในการต้มสุก (Cooking time) ลดลง แต่ปริมาณของแข็งที่สูญเสียในระหว่างการต้มเพิ่มขึ้น โดยปริมาณน้ำที่ใช้ในส่วนผสมอาจมีผลต่อการผสม ความหนืดและเวลาที่ส่วนผสมอยู่ในเครื่องเอกซ์ทรูชัน อีกทั้งยังสัมพันธ์กับการเกิดเจลของสตาร์ช โดยพบว่าเส้นพาสต้าที่ผ่านกระบวนการเอกซ์ทรูชันที่ใช้ความชื้นของส่วนผสมร้อยละ 27 และ 30 มีลักษณะสีเขียวใสตลอดทั้งเส้นซึ่งแสดงถึงการเกิดเจลของสตาร์ชทำให้พาสต้ามีโครงสร้างที่แข็งแรงจากร่างแหสตาร์ช เมื่อนำพาสต้าไปต้มโมเลกุลของน้ำจึงแทรกเข้าไปบริเวณตรงกลางของเส้นพาสต้าได้ยาก เวลาที่เหมาะสมในการต้มจึงมากกว่าตัวอย่างเส้นพาสต้าที่ใช้ความชื้นของส่วนผสมร้อยละ 33 ที่มีลักษณะของเส้นพาสต้าเขียวขุ่น ผิวของผลิตภัณฑ์ไม่เรียบ เส้นแตกหักง่าย ซึ่งแสดงถึงการเกิดเจลที่น้อยกว่า ทั้งนี้อาจเป็นผลมาจากการใช้ปริมาณความชื้นที่สูงขึ้นทำให้ความหนืดของส่วนผสมลดลง ส่วนผสมจึงใช้เวลาในเครื่องเอกซ์ทรูเดอร์ลดลงและถูกอัดออกมาที่รูหน้าแปลนได้ง่ายขึ้น ทำให้เกิดแรงเฉือนจากกระบวนการเอกซ์ทรูชันที่ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของส่วนผสมและการเกิดเจลของสตาร์ชลดลง โครงสร้างของเส้นพาสต้าจึงไม่แข็งแรง มีผลให้ปริมาณของแข็งที่สูญเสียในระหว่างการต้มเพิ่มขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับรายงานของ Resmini and Pagani (1983) พบว่าพาสต้าข้าวเจ้าเกิดการสูญเสียของแข็งในระหว่างการต้มสุกเนื่องจากการละลายของสตาร์ชที่เกาะกันอย่างหลวมๆ ที่ผิวของผลิตภัณฑ์ ปรากฏการณ์นี้ขึ้นอยู่กับระดับการเกิดเจลาทิไนซ์ของแป้งและความแข็งแรงของสตาร์ชเมื่อเกิดรีโทรเกรเดชัน สำหรับการวิเคราะห์น้ำหนักที่ได้หลังการต้มพบว่า น้ำหนักที่ได้หลังการต้มของเส้นพาสต้าที่มีความชื้นส่วนผสมร้อยละ 27 มีค่าสูงสุด แต่น้ำหนักที่ได้หลังการต้มของเส้นพาสต้าที่มีความชื้นส่วนผสมร้อยละ 30 และ 33 ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \geq 0.05$)

2.2.2 ผลการวัดค่าสี

เมื่อนำพาสต้าข้าวเจ้าเติมสาหร่ายผักกาดทะเลผงร้อยละ 4 ที่ใช้ปริมาณความชื้นของส่วนผสมระดับต่างๆ ที่ผ่านการอบแห้งและผ่านการต้มสุกซึ่งมีลักษณะดังภาพ 4-8 และ 4-9 ได้ผลดังตารางที่ 4-9 และ 4-10

ภาพที่ 4-8 พาสต้าข้าวเจ้าเสริมสาหร่ายผักกาดทะเลผงที่ใช้ปริมาณความชื้นของส่วนผสมระดับต่างๆ ที่ผ่านการอบแห้ง

ภาพที่ 4-9 พาสต้าข้าวเจ้าเสริมสาหร่ายผักกาดทะเลผงที่ใช้ปริมาณความชื้นของส่วนผสมระดับต่างๆ ที่ผ่านการต้มสุก

ตารางที่ 4-9 ค่าสีของพาสต้าข้าวเจ้าเสริมสาหร่ายผักกาดทะเลผงที่ใช้ปริมาณความชื้นของส่วนผสมระดับต่างๆ ที่ผ่านการอบแห้ง

ปริมาณความชื้นของส่วนผสม (ร้อยละโดยน้ำหนักแป้ง)	ค่าสี			
	L*	a*	b*	h°
27	$32.50^{b} \pm 6.46$	$-0.41^{b} \pm 0.85$	$13.74^{b} \pm 5.67$	$91.72^{b} \pm 1.95$
30	$41.10^{ab} \pm 4.65$	$-1.40^{ab} \pm 0.56$	$19.61^{ab} \pm 3.40$	$93.99^{ab} \pm 0.85$
33	$46.88^{a} \pm 8.90$	$-2.30^{a} \pm 1.03$	$24.22^{a} \pm 5.02$	$95.21^{a} \pm 1.56$

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

ตารางที่ 4-10 ค่าสีของพาสต้าข้าวเจ้าเสริมสาหร่ายผักกาดทะเลผงที่ใช้ปริมาณความชื้นของส่วนผสมระดับต่างๆ ที่ผ่านการต้มสุก

ปริมาณความชื้นของส่วนผสม (ร้อยละโดยน้ำหนักแป้ง)	ค่าสี			
	L* ^{ns}	a* ^{ns}	b* ^{ns}	h^{o}
27	44.05 ± 5.65	-2.72 ± 0.28	13.98 ± 1.19	101.04^{a} ± 0.78
30	45.45 ± 3.91	-2.30 ± 0.17	18.57 ± 9.96	97.32^{b} ± 1.84
33	46.15 ± 2.11	-2.57 ± 0.18	18.04 ± 2.04	98.19^{b} ± 1.31

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

จากผลการวัดค่าสีของพาสต้าอบแห้ง พบว่าปริมาณความชื้นของส่วนผสมเพิ่มขึ้นมีผลทำให้ค่าความสว่าง (L*) ค่าความเป็นสีแดง-เขียว (-a*) และค่าความเป็นสีเหลือง-น้ำเงิน (b*) ของเส้นพาสต้าอบแห้งเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) โดยเมื่อปริมาณความชื้นเพิ่มขึ้นอาจมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างและอัตราการเกิดเจลของสตาร์ชลดลงดังที่ได้อธิบายมาแล้ว ลักษณะของเส้นพาสต้าที่ได้จึงมีลักษณะขาวขุ่น จึงมีผลต่อค่าสีของผลิตภัณฑ์

ค่า hue angle (h^{o}) เปนคาแสดงถึงเฉดสีซึ่งมีคาอยูระหวาง 0-360 องศา พบว่าค่า h^{o} ของพาสต้าอบแห้งและพาสต้าต้มสุก มีค่าอยู่ระหว่าง 91.72 – 95.21 องศา และ 91.32 – 101.04 องศา ซึ่งอยู่ในช่วง 90-135 องศา แสดงว่าพาสต้าอบแห้งและพาสต้าต้มสุกมีสีเหลืองถึงเหลืองเขียว ดังภาพที่ 4-8 และ 4-9

จากผลการวัดค่าสีของพาสต้าต้มสุก พบว่าปริมาณความชื้นของส่วนผสมไม่มีผลต่อค่าความสว่าง (L*) ค่าความเป็นสีแดง-เขียว (-a*) และความเป็นสีเหลือง-น้ำเงิน (b*) ของเส้นพาสต้าที่เติมสาหร่ายผักกาดทะเลผงหลังการต้มสุก

2.2.3 ผลการวิเคราะห์ลักษณะเนื้อสัมผัส

จากการวิเคราะห์ลักษณะเนื้อสัมผัสของพาสต้าที่เติมสาหร่ายผักกาดทะเลผงร้อยละ 4 ที่ใช้ปริมาณความชื้นของส่วนผสมระดับต่างๆ ได้ผลดังตารางที่ 4-11 พบว่าเมื่อความชื้นของส่วนผสมเพิ่มขึ้น ค่าความต้านทานต่อการดึงขาดและค่าความแน่นเนื้อมีค่าลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) แต่มีค่าการยึดเกาะที่ผิวหน้าเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) เนื่องจากปริมาณความชื้นของส่วนผสมที่เพิ่มขึ้น มีผลทำให้การเปลี่ยนแปลงโครงสร้างและการเกิดเจลของสตาร์ชลดลง โครงสร้างของเส้นพาสต้าจึงไม่แข็งแรง เมื่อนำเส้นพาสต้าไปต้มจึงทำให้สตาร์ชที่ผิวของผลิตภัณฑ์หลุดออกมา ทำให้ค่าการยึดเกาะที่ผิวหน้ามีค่ามากกว่าเส้นพาสต้าที่มีความชื้นของส่วนผสมต่ำกว่า ซึ่งผลที่ได้สอดคล้องกับค่าปริมาณของแข็งที่สูญเสียที่เพิ่มขึ้นด้วย

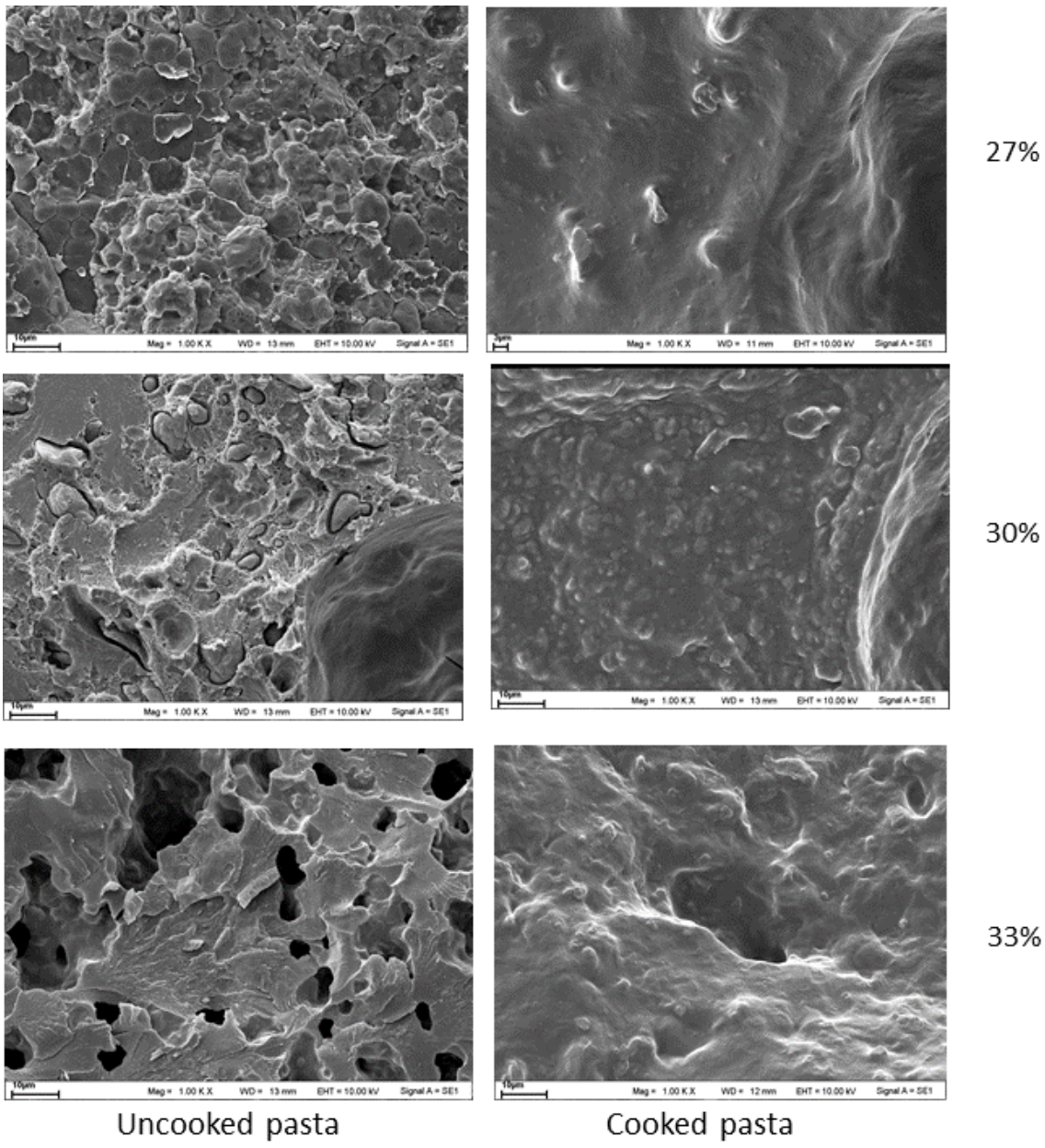
ตารางที่ 4-11 ลักษณะเนื้อสัมผัสของพาสต้าข้าวเจ้าเสริมสาหร่ายผักกาดทะเลผงที่ใช้ปริมาณความชื้นของส่วนผสมระดับต่างๆ

ปริมาณความชื้นของส่วนผสม (ร้อยละโดยน้ำหนักแป้ง)	ลักษณะเนื้อสัมผัส		
	ค่าความต้านทานต่อการดึงขาด (g force)	ค่าความแน่นเนื้อ (g force)	ค่าการยึดเกาะที่ผิวหน้า (g force. s)
27	$30.00^{a} \pm 1.13$	$630.37^{a} \pm 31.96$	$0.699^{c} \pm 0.12$
30	$27.40^{b} \pm 1.32$	$443.70^{b} \pm 13.59$	$9.13^{b} \pm 1.16$
33	$14.33^{c} \pm 2.97$	$293.40^{c} \pm 16.07$	$27.13^{a} \pm 0.70$

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

2.2.4 ผลการวิเคราะห์โครงสร้างภายใน

จากการวิเคราะห์โครงสร้างระดับจุลภาคของเส้นพาสต้าที่เติมสาหร่ายผักกาดทะเลผงร้อยละ 4 ที่ใช้ปริมาณความชื้นของส่วนผสมระดับต่างๆ ได้ผลแสดงดังภาพที่ 4-10 พบว่าเมื่อปริมาณความชื้นเพิ่มขึ้น พาสต้าอบแห้งที่ยังไม่ผ่านการต้มมีโครงสร้างที่ต่อเนื่องและจับกันแน่นขึ้น ทั้งนี้อาจเนื่องจากปริมาณความชื้นที่เพิ่มขึ้นมีผลต่อระดับการเกิดเจลของสตาร์ชและเกิดเป็นโครงสร้างที่ต่อเนื่องและแน่นขึ้น แต่ที่ระดับความชื้นร้อยละ 33 พบว่าโครงสร้างของเส้นพาสต้าไม่จับกันแน่นและมีโพรงอากาศกระจายอยู่ในเส้นพาสต้า ซึ่งสอดคล้องกับผลการวิเคราะห์เวลาในการต้มสุกที่พบว่าพาสต้าตัวอย่างนี้ใช้เวลาในการต้มสุกน้อยที่สุด ในขณะที่พาสต้มต้มสุกทุกตัวอย่างมีลักษณะผิวหน้าที่ไม่เรียบ โดยเฉพาะตัวอย่างที่ใช้ความชื้นร้อยละ 33 มีลักษณะผิวหน้าที่ขรุขระกว่าตัวอย่างอื่นๆ



ภาพที่ 4-10 โครงสร้างระดับจุลภาคของเส้นพาสต้าที่เติมสาหร่ายผักกาดทะเลผงร้อยละ 4 ที่ใช้ปริมาณความชื้นของส่วนผสมระดับต่างๆ

2.2.4 ผลการประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัส

จากการทดสอบทางประสาทสัมผัสของพาสต้าข้าวเจ้าเสริมสาหร่ายผักกาดทะเลผงร้อยละ 4 ที่ใช้ปริมาณความชื้นของส่วนผสมระดับต่างๆ ที่ผ่านการต้มสุก โดยใช้วิธี 9-point hedonic scale ได้ผลดังตารางที่ 4-12

ตารางที่ 4-12 คะแนนการทดสอบทางประสาทสัมผัสของพาสต้าข้าวเจ้าเสริมสาหร่ายผักกาดทะเลผงที่ใช้ปริมาณความชื้นของส่วนผสมระดับต่างๆ

ปริมาณความชื้นของส่วนผสม (ร้อยละโดยน้ำหนักแป้ง)	คุณภาพทางประสาทสัมผัส				
	สี	กลิ่น[ns]	รสชาติ	เนื้อสัมผัส	ความชอบโดยรวม
27	7.27[a] ± 0.78	6.20 ± 1.32	6.20[b] ± 1.24	5.33[c] ± 1.47	5.93[c] ± 1.05
30	6.30[b] ± 1.26	6.50 ± 1.61	6.80[a] ± 1.54	7.10[a] ± 1.47	7.27[a] ± 1.51
33	6.53[b] ± 0.78	6.50 ± 1.70	6.87[a] ± 1.20	6.13[b] ± 1.53	6.67[b] ± 1.55

[a,b,c,...] หมายถึงตัวเลขที่มีอักษรกำกับแตกต่างกันตามแนวตั้งมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

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

ผลการทดสอบทางด้านประสาทสัมผัส พบว่าเส้นพาสต้าที่เตรียมโดยใช้ความชื้นของส่วนผสมร้อยละ 27 ได้คะแนนความชอบด้านสีสูงที่สุด โดยได้คะแนนในระดับความชอบปานกลาง สำหรับพาสต้าที่เตรียมโดยใช้ปริมาณความชื้นของส่วนผสมร้อยละ 30 และ 33 ได้คะแนนความชอบด้านสีไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \geq 0.05$) ซึ่งมีคะแนนอยู่ในช่วง 6.30 – 6.53 คะแนน แสดงถึงผู้ทดสอบรู้สึกชอบผลิตภัณฑ์เล็กน้อย ส่วนคะแนนในด้านกลิ่นพบว่าพาสต้าทุกตัวอย่างได้คะแนนความชอบด้านกลิ่นไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \geq 0.05$) โดยได้คะแนนอยู่ในระดับชอบเล็กน้อย

ผลการทดสอบทางประสาทสัมผัสด้านรสชาติ พบว่าพาสต้าที่เตรียมจากความชื้นของส่วนผสมร้อยละ 30 และ 33 ได้คะแนนความชอบด้านรสชาติไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \geq 0.05$) ซึ่งมีคะแนนอยู่ในช่วง 6.80 - 6.87 คะแนน ซึ่งสูงกว่าตัวอย่างที่ใช้ความชื้นของส่วนผสมร้อยละ 27 อย่างไรก็ตาม คะแนนความชอบของพาสต้าทุกตัวอย่างอยู่ในระดับชอบเล็กน้อย ส่วนผลการทดสอบในด้านเนื้อสัมผัส พบว่าพาสต้าที่เตรียมโดยใช้ความชื้นส่วนผสมร้อยละ 30 ได้คะแนนความชอบด้านเนื้อสัมผัสสูงสุด (7.10 คะแนน) ซึ่งแสดงถึงระดับความชอบปานกลาง รองลงมา คือ พาสต้าที่เตรียมโดยใช้ความชื้นส่วนผสมร้อยละ 33 ซึ่งได้คะแนนในระดับชอบเล็กน้อย และพาสต้าที่เตรียมโดยใช้ความชื้นส่วนผสมร้อยละ 27 ได้คะแนนความชอบต่ำสุด (5.33 คะแนน) แสดงถึงผู้ทดสอบรู้สึกเฉยๆ

ผลการทดสอบด้านความชอบโดยรวม พบว่าพาสต้าที่เตรียมโดยใช้ความชื้นส่วนผสมร้อยละ 30 ได้คะแนนสูงที่สุด (7.27 คะแนน) ซึ่งอยู่ในระดับความชอบปานกลาง

เมื่อพิจารณาผลการทดสอบทางประสาทสัมผัสและคุณภาพหลังการต้ม พบว่าพาสต้าข้าวเจ้าเสริมสาหร่ายผักกาดทะเลผงร้อยละ 4 และใช้ปริมาณความชื้นของส่วนผสมร้อยละ 30 ได้คะแนนความชอบด้านเนื้อสัมผัสและความชอบโดยรวมสูงสุด ดังนั้นจึงเลือกตัวอย่างนี้ไปศึกษาในขั้นตอนต่อไป

3. ผลการศึกษาอุณหภูมิของเครื่องเอกซ์ทรูเดอร์ที่เหมาะสมในการผลิตพาสต้า

จากการวิเคราะห์คุณภาพของพาสต้าเติมสาหร่ายผักกาดทะเลผงร้อยละ 4 ที่ใช้ปริมาณความชื้นส่วนผสมร้อยละ 30 ที่แปรอุณหภูมิของเครื่องเอกซ์ทรูเดอร์ (Heater 1) เป็น 70 80 90 และ 100 °C ได้ผลการวิเคราะห์คุณภาพหลังการต้ม ค่าสี ลักษณะเนื้อสัมผัส และการทดสอบทางประสาทสัมผัส ดังนี้

3.1 ผลการวิเคราะห์คุณภาพของพาสต้าหลังการต้ม

จากการวิเคราะห์คุณภาพหลังต้มของพาสต้าข้าวเจ้าเสริมสาหร่ายผักกาดทะเลผงที่เตรียมโดยใช้อุณหภูมิของเครื่องเอกซ์ทรูเดอร์ระดับต่างๆ ได้ผลดังตารางที่ 4-13

ตารางที่ 4-13 คุณภาพหลังการต้มของพาสต้าข้าวเจ้าเสริมสาหร่ายผักกาดทะเลผงที่เตรียมโดยใช้อุณหภูมิของเครื่องเอกซ์ทรูเดอร์ระดับต่างๆ

อุณหภูมิของเครื่องเอกซ์ทรูเดอร์ (°C)	คุณภาพหลังการต้ม		
	เวลาที่เหมาะสมในการต้มพาสต้าให้สุก (นาที)	ปริมาณของแข็งที่สูญเสียระหว่างการต้ม (ร้อยละ)	น้ำหนักที่ได้หลังการต้ม (ร้อยละ)
70	16.0	$6.56^{c} \pm 0.38$	$265.53^{b} \pm 10.52$
80	15.5	$7.18^{c} \pm 0.21$	$266.27^{b} \pm 7.68$
90	13.0	$9.54^{b} \pm 0.75$	$297.21^{b} \pm 21.92$
100	10.0	$14.17^{a} \pm 1.72$	$492.14^{a} \pm 81.76$

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

จากการทดลองพบว่าเมื่ออุณหภูมิของเครื่องเอกซ์ทรูเดอร์ (Heater 1) เพิ่มขึ้นทำให้เวลาที่เหมาะสมในการต้มสุก (Cooking time) ลดลง โดยเส้นพาสต้าที่ใช้อุณหภูมิ 70 °C ใช้เวลาที่เหมาะสมในการต้มสุกนานที่สุด และพาสต้าที่ผ่านการเอกซ์ทรูเดอร์ที่อุณหภูมิ 100 °C ใช้เวลาที่เหมาะสมน้อยที่สุด อาจเนื่องจากเมื่อใช้อุณหภูมิสูงขึ้น เส้นพาสต้าที่ได้มีลักษณะพองตัวเพิ่มขึ้น ทำให้เส้นพาสต้าสามารถดูดซึมน้ำได้เร็วขึ้น ระยะเวลาที่เหมาะสมในการต้มสุกจึงมีค่าลดลง ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ ปิยมาศ มหาบุญญานนท์ (2546) ที่รายงานว่า ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อระยะเวลาในการต้มของสปาเกตตีจากข้าวเหลืองประทิว 123 ประกอบด้วย ปัจจัยหลัก ได้แก่ ความเร็วรอบของสกรู อุณหภูมิของบาเรล และความชื้น ซึ่งพบว่า เมื่ออุณหภูมิของบาเรลเพิ่มขึ้นส่งผลให้ใช้เวลาในการต้ม

ลดลง โดยการเพิ่มอุณหภูมิของบาเรลมีผลต่อการเพิ่มขึ้นของความดันไอของโดและความสามารถในการระเหยของไอน้ำ เมื่อโดออกมาที่หน้าแปลนและเข้าสู่สภาวะความดันปกติจึงเกิดการพองตัวขึ้น

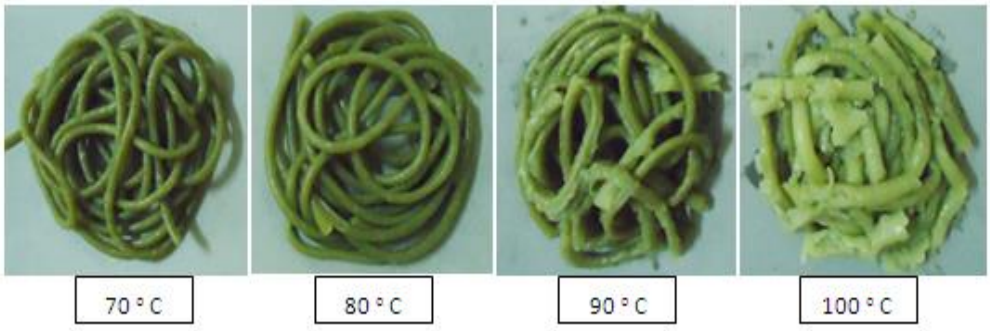
การสูญเสียระหว่างการต้ม (Cooking loss) เป็นลักษณะที่ไม่พึงประสงค์ของพาสต้าและผลิตภัณฑ์รวมถึงสปาเกตตีด้วย การสูญเสียระหว่างการต้มสังเกตเบื้องต้นได้จากลักษณะการขุ่นขาวของน้ำที่ใช้ในการต้ม สิ่งที่ละลายลงสู่น้ำที่ใช้ต้มส่วนใหญ่จะเป็นแป้งหรืออะไมโลสที่หลุดออกมาเส้นพาสต้า (Smewing, 1997) จากการวิเคราะห์พบว่าเมื่ออุณหภูมิ Heater 1 เพิ่มขึ้นส่งผลทำให้ปริมาณของแข็งที่สูญเสียระหว่างการต้มเพิ่มขึ้น เนื่องจากอุณหภูมิที่เพิ่มสูงขึ้นทำให้โมเลกุลของสตาร์ชถูกทำลาย เส้นพาสต้าที่ได้เกิดการพองตัว เมื่อนำเส้นพาสต้าไปต้ม มีผลทำให้อะไมโลสและสาหร่ายผงหลุดออกมาในระหว่างการต้ม โดยผลิตภัณฑ์อาหารเส้นที่ผลิตจากข้าวเจ้า เช่น เส้นก๋วยเตี๋ยว เส้นหมี่ และ เส้นขนมจีน อาศัยร่างแหอะไมโลสที่ใช้พันธะไฮโดรเจนเป็นโครงสร้างหลัก เมื่อต้มแป้งทำให้พันธะไฮโดรเจนถูกทำลาย มีผลให้อะไมโลสหลุดออกมาจากโครงสร้างร่างแห และโดยสตาร์ชที่ผ่านการทำให้สุกจะมีความสามารถในการละลายน้ำได้สูงจึงทำให้การสูญเสียระหว่างการต้มสูงตามไปด้วย (Mestres et.al, 1988; Bhattacharya et. al, 1999; Lai, 2001)

น้ำหนักหลังต้มของพาสต้า (Cooking yield) คือความสามารถในการดูดซับ ดูดซึม และเก็บกักน้ำของเม็ดแป้งระหว่างการต้มให้สุกในน้ำเดือด โดยลักษณะผลิตภัณฑ์ที่ต้องการคือน้ำหนักหลังต้มสูง แต่ในขณะเดียวกันผลิตภัณฑ์ที่ผ่านการต้มแล้วต้องไม่เปื่อยยุ่ย (Smewing, 1997) จากผลการทดลองพบว่าเส้นพาสต้าที่ใช้อุณหภูมิในการเอกซ์ทรูชัน 100 °C มีน้ำหนักที่ได้หลังต้มสูงสุด (ร้อยละ 492.14) ทั้งนี้เนื่องจากลักษณะของเส้นพาสต้าที่มีการพองตัวมาก ทำให้สามารถดูดซับน้ำในระหว่างการต้มสุกได้มากขึ้น ทำให้น้ำหนักหลังต้มของพาสต้าสูง สำหรับเส้นพาสต้าที่ผลิตโดยใช้อุณหภูมิ 70, 80 และ 90 °C มีน้ำหนักที่ได้หลังการต้มร้อยละ 265.53, 266.27 และ 297.21 ตามลำดับ ซึ่งค่าที่ได้ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \geq 0.05$)

3.2 ผลการวัดค่าสี

จากการวัดค่าสีของพาสต้าข้าวเจ้าเสริมสาหร่ายผักกาดทะเลผงที่เตรียมโดยใช้อุณหภูมิของเครื่องเอกซ์ทรูเดอร์ (Heater 1) ระดับต่างๆ ที่ผ่านการอบแห้งและผ่านการต้มสุกได้ผลดังตารางที่ 4-14 และ 4-15 และผลิตภัณฑ์ที่ได้มีลักษณะดังภาพ 4-11 และ 4-12

ภาพที่ 4-11 พาสต้าข้าวเจ้าเสริมสาหร่ายผักกาดทะเลผงที่เตรียมโดยใช้อุณหภูมิเครื่องเอกซ์ทรูเดอร์ระดับต่าง ๆ ที่ผ่านการอบแห้ง



ภาพที่ 4-12 พาสต้าข้าวเจ้าเสริมสาหร่ายผักกาดทะเลผงที่เตรียมโดยใช้อุณหภูมิเครื่องเอกซ์ทรูเดอร์ระดับต่าง ๆ ที่ผ่านการต้มสุก

ตารางที่ 4-14 ค่าสีของพาสต้าข้าวเจ้าเสริมสาหร่ายผักกาดทะเลผงที่เตรียมโดยใช้อุณหภูมิเครื่องเอกซ์ทรูเดอร์ระดับต่าง ๆ ที่ผ่านการอบแห้ง

อุณหภูมิของเครื่องเอกซ์ทรูเดอร์ (^{o} C)	ค่าสี			
	L*	a*	b*	h^{o}
70	34.75^{d} ± 0.28	-0.76^{a} ± 0.39	17.49^{b} ± 0.27	93.15^{b} ± 0.22
80	36.35^{c} ± 0.07	-1.22^{b} ± 0.07	18.03^{b} ± 0.14	93.87^{ab} ± 0.20
90	44.57^{b} ± 0.13	-1.78^{c} ± 0.08	19.92^{b} ± 5.76	95.43^{a} ± 1.72
100	48.60^{a} ± 0.26	-2.70^{d} ± 0.18	29.59^{a} ± 0.61	95.20^{a} ± 0.24

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

ตารางที่ 4-15 ค่าสีของพาสต้าข้าวเจ้าเสริมสาหร่ายผักกาดทะเลผงที่เตรียมโดยใช้อุณหภูมิเครื่องเอกซ์ทรูเดอร์ระดับต่าง ๆ ที่ผ่านการต้มสุก

อุณหภูมิของเครื่องเอกซ์ทรูเดอร์ (^{o} C)	ค่าสี			
	L*	a*	b*	h^{o}
70	50.41^{d} ± 0.10	-2.56^{a} ± 0.18	13.01^{a} ± 0.33	101.16^{ab} ± 1.03
80	51.78^{c} ± 0.16	-2.43^{a} ± 0.10	13.88^{ab} ± 0.33	99.92^{b} ± 0.51
90	52.35^{b} ± 0.04	-2.74^{a} ± 0.20	11.90^{b} ± 0.88	103.00^{a} ± 1.27
100	52.75^{a} ± 0.24	-2.04^{b} ± 0.20	12.39^{b} ± 1.04	99.43^{b} ± 1.69

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

จากผลการวัดค่าสี พบว่าเมื่ออุณหภูมิของเครื่องเอกซ์ทรูเดอร์ (Heater 1) เพิ่มขึ้นมีผลทำให้ค่าความสว่าง (L*) ค่าความเป็นสีแดง-เขียว (-a*) และค่าความเป็นสีเหลือง-น้ำเงิน (b*) ของเส้นพาสต้าอบแห้งเส้นพาสต้าต้มสุกเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) อาจเนื่องจากเส้นพาสต้าที่ได้มีการพองตัวเพิ่มขึ้น จากการขยายตัวของเส้นพาสต้าตามแนวเส้นผ่านศูนย์กลาง จึงอาจส่งผลต่อการสะท้อนแสง ทำให้ค่าความสว่างมีค่าเพิ่มขึ้น อย่างไรก็ตาม ทั้งพาสต้าอบแห้งและพาสต้าต้มสุกมีค่า h^{o} อยู่ระหว่าง 93.15–95.43 องศา และ 99.43 – 103.00 องศา ซึ่งอยู่ในช่วง 90-135 องศา แสดงว่าพาสต้าอบแห้งและพาสต้าต้มสุกมีสีเหลืองถึงเหลืองเขียว

3.3 ผลการวิเคราะห์ลักษณะเนื้อสัมผัส

จากการวิเคราะห์ลักษณะเนื้อสัมผัสของพาสต้าที่เติมสาหร่ายผักกาดทะเลผงร้อยละ 4 ปริมาณความชื้นของส่วนผสมร้อยละ 30 โดยแปรอุณหภูมิของเครื่องเอกซ์ทรูเดอร์ (Heater 1) ระดับต่างๆ ได้ผลดังตารางที่ 4-16

ตารางที่ 4-16 ลักษณะเนื้อสัมผัสของพาสต้าข้าวเจ้าเสริมสาหร่ายผักกาดทะเลผงที่เตรียมโดยใช้อุณหภูมิเครื่องเอกซ์ทรูเดอร์ระดับต่าง ๆ

อุณหภูมิของเครื่องเอกซ์ทรูเดอร์ (^{o} C)	ลักษณะเนื้อสัมผัส		
	ค่าความต้านทานต่อการดึงขาด (g force)	ค่าความแน่นเนื้อ (g force)	ค่าการยึดเกาะที่ผิวหน้า (g force. s)
70	$57.43^{a} \pm 1.71$	$730.80^{b} \pm 19.88$	$2.67^{c} \pm 0.78$
80	$33.03^{b} \pm 5.35$	$829.40^{a} \pm 14.93$	$4.69^{c} \pm 0.21$
90	$13.07^{c} \pm 1.39$	$451.23^{c} \pm 28.59$	$10.02^{b} \pm 1.10$
100	-	$178.16^{d} \pm 42.38$	$29.94^{a} \pm 3.87$

$^{a,b,c,...}$ หมายถึง ตัวเลขที่มีอักษรกำกับแตกต่างกันตามแนวตั้งมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ($p < 0.05$)
- หมายถึง ไม่ได้ทำการวิเคราะห์ เพราะหลังจากการต้มเส้นพาสต้าที่ได้มีความยาวไม่ถึง 30 เซนติเมตร จึงไม่สามารถวัดค่าความต้านทานต่อการดึงขาดได้

คุณสมบัติที่สำคัญของผลิตภัณฑ์พาสต้าหลังจากผ่านการต้มสุก คือ ความแน่นเนื้อ ซึ่งเป็นลักษณะที่ผู้บริโภคต้องการ โดยความแน่นเนื้อเป็นค่าที่แสดงถึงความทนทาน ต่อการต้มของพาสต้า ผลิตภัณฑ์ที่ดีต้องมีความเหนียวนุ่มและไม่เปื่อยยุ่ยง่ายหลังจากผ่านการต้ม จากผลการวิเคราะห์ลักษณะเนื้อสัมผัส พบว่าเมื่ออุณหภูมิของเครื่องเอกซ์ทรูเดอร์ (Heater 1) เพิ่มขึ้น ค่าความต้านทานต่อการดึงขาดและค่าความแน่นเนื้อมีค่าลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) เนื่องจากเส้นพาสต้าที่เตรียมโดยใช้อุณหภูมิของเครื่องเอกซ์ทรูเดอร์เพิ่มขึ้นมีลักษณะของเส้นพาสต้าที่พองตัวมาก ผิวนอกเปื่อยยุ่ยและขาดง่ายหลังการต้ม ทำให้ค่าความต้านทานต่อการดึงขาดและความแน่นเนื้อลดลง แต่มีค่าการยึดเกาะที่ผิวหน้ามีค่าเพิ่มขึ้น

3.4 ผลการประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัส

จากการวิเคราะห์การทดสอบทางด้านประสาทสัมผัสของพาสต้าที่เติมสาหร่ายผักกาดทะเลผงร้อยละ 4 ปริมาณความชื้นของส่วนผสมร้อยละ 30 โดยแปรอุณหภูมิของเครื่องเอกซ์ทรูเดอร์ (Heater 1) ระดับต่างๆ โดยใช้วิธี 9-point hedonic scale ได้ผลดังตารางที่ 4-17

ตารางที่ 4-17 คะแนนการทดสอบทางประสาทของพาสต้าข้าวเจ้าเสริมสาหร่ายผักกาดทะเลผงที่เตรียมโดยใช้อุณหภูมิเครื่องเอกซ์ทรูเดอร์ระดับต่าง ๆ

อุณหภูมิของเครื่องเอกซ์ทรูเดอร์ ($^{\circ}$C)	คุณภาพทางประสาทสัมผัส				
	สี	กลิ่น	รสชาติ	เนื้อสัมผัส	ความชอบโดยรวม
70	$8.00^{a} \pm 0.74$	$6.90^{a} \pm 1.06$	$6.73^{a} \pm 1.05$	$7.00^{a} \pm 1.34$	$6.93^{a} \pm 1.14$
80	$8.13^{a} \pm 0.68$	$6.37^{a} \pm 1.33$	$6.50^{a} \pm 1.11$	$6.90^{a} \pm 0.66$	$7.30^{a} \pm 0.70$
90	$6.37^{b} \pm 0.89$	$6.40^{a} \pm 1.01$	$6.17^{a} \pm 0.87$	$6.40^{a} \pm 1.22$	$6.37^{b} \pm 0.96$
100	$5.40^{c} \pm 0.97$	$5.67^{b} \pm 1.45$	$5.00^{b} \pm 1.55$	$3.50^{b} \pm 1.72$	$4.27^{c} \pm 1.48$

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

จากผลการทดสอบทางด้านประสาทสัมผัส พบว่าพาสต้าที่เตรียมโดยใช้อุณหภูมิของเครื่องเอกซ์ทรูเดอร์ 70 และ 80 $^{\circ}$C ได้คะแนนความชอบในทุกด้านไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยได้คะแนนด้านในระดับชอบมาก ส่วนด้านกลิ่น รสชาติ และเนื้อสัมผัสได้คะแนนในระดับชอบเล็กน้อยถึงชอบปานกลาง แต่พาสต้าที่เตรียมโดยใช้อุณหภูมิของเครื่องเอกซ์ทรูเดอร์ 80 $^{\circ}$C ได้คะแนนความชอบโดยรวมในระดับชอบเล็กน้อย นอกจากนี้พาสต้าทั้งสองตัวอย่างยังได้คะแนนความชอบทุกด้านสูงกว่าพาสต้าที่เตรียมโดยใช้อุณหภูมิของเครื่องเอกซ์ทรูเดอร์ 90 และ 100 $^{\circ}$C ซึ่งพาสต้าที่ใช้อุณหภูมิของเครื่องเอกซ์ทรูเดอร์ 100 $^{\circ}$C ได้คะแนนในทุกด้านต่ำที่สุด อาจเป็นผลมาจากลักษณะของเส้นพาสต้าหลังการต้ม มีลักษณะเปื่อยยุ่ยและขาดง่าย (ดังภาพที่ 4-12) ซึ่งเป็นลักษณะผลิตภัณฑ์ที่ผู้ทดสอบไม่ยอมรับ

เมื่อพิจารณาผลการทดสอบทางประสาทสัมผัสและคุณภาพหลังการต้ม พบว่าพาสต้าเสริมสาหร่ายผักกาดทะเลผงที่เตรียมโดยใช้อุณหภูมิของเครื่องเอกซ์ทรูเดอร์ 80 $^{\circ}$C ได้คะแนนด้านความชอบโดยรวมสูงสุด และมีความแน่นเนื้อสูงสุดซึ่งเป็นคุณลักษณะที่ต้องการของพาสต้า ดังนั้นจึงเลือกตัวอย่างพาสต้าข้าวเจ้าเสริมสาหร่ายผักกาดทะเลผงนี้ไปวิเคราะห์คุณภาพเปรียบเทียบกับคุณภาพของพาสต้าข้าวเจ้าและพาสต้าข้าวสาลีในการทดลองขั้นตอนต่อไป

4. ผลการเปรียบเทียบคุณภาพทางเคมี กายภาพ และลักษณะทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์พาสต้าจากข้าวเจ้าเสริมสาหร่ายผักกาดทะเลผงกับผลิตภัณฑ์พาสต้าทางการค้า

จากการศึกษาเปรียบเทียบคุณภาพของพาสต้าข้าวเจ้าเสริมสาหร่ายผักกาดทะเลผงร้อยละ 4 มีความชื้นของส่วนผสมร้อยละ 30 โดยใช้อุณหภูมิของเครื่องเอกซ์ทรูเดอร์ (Heater 1) 80 $^{\circ}$C เปรียบเทียบกับพาสต้าข้าวเจ้าและพาสต้าข้าวสาลี ได้ผลการวิเคราะห์คุณภาพของผลิตภัณฑ์ ดังนี้

4.1 ผลการวิเคราะห์คุณภาพของพาสต้าหลังการต้ม

จากการวิเคราะห์คุณภาพหลังต้มของพาสต้าข้าวเจ้าเสริมสาหร่ายผักกาดทะเลผง เปรียบเทียบกับพาสต้าข้าวเจ้าและพาสต้าข้าวสาลีทางการค้า ได้ผลดังตารางที่ 4-18

ตารางที่ 4-18 คุณภาพหลังการต้มของพาสต้าข้าวเจ้าเสริมสาหร่ายผักกาดทะเลผง พาสต้าข้าวเจ้า และพาสต้าข้าวสาลีทางการค้า

ตัวอย่างพาสต้า	คุณภาพหลังการต้ม		
	เวลาที่ใช้ในการต้ม (นาที)	ปริมาณของแข็งที่สูญเสียระหว่างการต้ม (ร้อยละ)	น้ำหนักที่เพิ่มขึ้นหลังการต้ม (ร้อยละ)
พาสต้าข้าวเจ้าเสริมสาหร่ายผักกาดทะเลผง	15.5	$7.18^{b} \pm 0.21$	$266.27^{a} \pm 7.68$
พาสต้าข้าวเจ้า	19.0	$10.57^{a} \pm 1.41$	$254.77^{c} \pm 6.10$
พาสต้าข้าวสาลีทางการค้า	11.5	$5.92^{c} \pm 0.10$	$259.34^{b} \pm 12.51$

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

จากผลการวิเคราะห์คุณภาพหลังการต้ม พบว่าพาสต้าแต่ละตัวอย่างใช้เวลาในการต้มสุกและปริมาณของแข็งที่สูญเสียในระหว่างการต้มแตกต่างกัน โดยพาสต้าข้าวสาลีทางการค้าใช้เวลาในการต้มสุกน้อยกว่า และมีปริมาณของแข็งที่สูญเสียในระหว่างการต้มต่ำกว่าพาสต้าข้าวเจ้าเสริมสาหร่ายผักกาดทะเลผง และพาสต้าข้าวเจ้า ทั้งนี้เนื่องจากข้าวสาลี และข้าวเจ้ามีองค์ประกอบทางเคมีที่แตกต่างกัน โดยข้าวสาลีประกอบด้วยกลูเตนซึ่งเป็นโปรตีนที่ทำให้เกิดโครงสร้างที่แข็งแรงของโปรตีนที่ห่อหุ้มเม็ดสตาร์ช จึงสามารถผลิตได้โดยไม่ต้องกระบวนการให้ความร้อน ในขณะที่ข้าวเจ้าไม่มีกลูเตนจึงต้องใช้กระบวนผลิตโดยใช้ความร้อนเพื่อให้สตาร์ชเกิดเจลและเกิดเป็นโครงสร้างร่างแห ซึ่งสตาร์ชที่เกิดเจลมีสมบัติในการละลายน้ำได้ดีขึ้นจึงสามารถหลุดออกมาสู่น้ำต้มได้มากขึ้น และเมื่อเวลาในการต้มเพิ่มขึ้นมีผลให้ปริมาณของแข็งที่สูญเสียระหว่างการต้มสุกสูงขึ้น เนื่องจากกระบวนการที่เกิดขึ้นระหว่างต้มเริ่มจากด้านนอกหรือที่ผิวของเส้นพาสต้าก่อน จากนั้นจึงแพร่เข้าสู่แกนกลาง ซึ่งแกนกลางอาจยังไม่สุกในขณะที่ผิวภายนอกเกิดการสุกอย่างสมบูรณ์ จึงเป็นเหตุให้แป้งหลุดลุ่ยลงสู่น้ำที่ใช้ต้มได้ ดังนั้นหากใช้ระยะเวลาในการต้มนาน การสูญเสียระหว่างต้มจะสูงขึ้นตามไปด้วย (Wang et al., 1999; Kojima et al., 2001) นอกจากนี้อุณหภูมิในการเกิดเจลาทิไนซ์ของแป้งทั้งสองชนิดยังแตกต่างกัน ซึ่งแป้งข้าวเจ้ามีอุณหภูมิในการเกิดเจลาทิไนซ์อยู่ในช่วง 68 – 78 $^{\circ}$C ซึ่งสูงกว่าแป้งสาลีที่มีอุณหภูมิในช่วง 58 – 64 $^{\circ}$C (กล้าณรงค์ ศรีรอต และเกื้อกูล ปิยจอมขวัญ, 2546) รวมทั้งพาสต้าข้าวสาลีทางการค้ามีเส้นผ่านศูนย์กลางของเส้นพาสต้าน้อยกว่า (2 mm) พาสต้าข้าวเจ้าเสริมสาหร่าย

ผักกาดทะเลผง และพาสต้าข้าวเจ้า จึงทำให้ใช้เวลาในการต้มสุกสั้นกว่า ส่วนน้ำหนักที่ได้หลังการต้มของพาสต้าทุกตัวอย่างมีค่าอยู่ในช่วงร้อยละ 254.77- 266.27

4.2 ผลการวิเคราะห์ลักษณะเนื้อสัมผัส

จากการศึกษาลักษณะเนื้อสัมผัสของพาสต้าข้าวเจ้าเสริมสาหร่ายผักกาดทะเลผง เปรียบเทียบกับพาสต้าข้าวเจ้าและพาสต้าข้าวสาลีทางการค้า ได้ผลการวิเคราะห์ดังตารางที่ 4-19

ตารางที่ 4-19 ลักษณะเนื้อสัมผัสของพาสต้าข้าวเจ้าเสริมสาหร่ายผักกาดทะเลผง พาสต้าข้าวเจ้าและพาสต้าข้าวสาลีทางการค้า

ตัวอย่างพาสต้า	ลักษณะเนื้อสัมผัส		
	ค่าความต้านทานต่อการดึงขาด (g force)	ค่าความแน่นเนื้อ (g force)	ค่าการยึดเกาะที่ผิวหน้า (g force. s)
พาสต้าข้าวเจ้าเสริมสาหร่ายผักกาดทะเลผง	$33.03^{b} \pm 5.35$	$829.40^{b} \pm 14.93$	$4.69^{b} \pm 0.21$
พาสต้าข้าวเจ้า	$33.38^{b} \pm 3.68$	$1603.04^{a} \pm 111.85$	$5.21^{a} \pm 0.59$
พาสต้าข้าวสาลีทางการค้า	$35.95^{a} \pm 1.52$	$650.92^{c} \pm 15.78$	$0.24^{c} \pm 0.01$

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

จากผลการวิเคราะห์ลักษณะเนื้อสัมผัส พบว่า พาสต้าข้าวสาลีทางการค้ามีค่าความต้านทานต่อการดึงขาดสูงที่สุด ส่วนพาสต้าข้าวเจ้าเสริมสาหร่ายผักกาดทะเลผง และพาสต้าข้าวเจ้ามีค่าความต้านทานต่อการดึงขาดไม่แตกต่างกัน ($p \geq 0.05$) เนื่องจากข้าวสาลีมีประกอบด้วยโปรตีนกลูเตนซึ่งเมื่อผสมกับน้ำทำให้เกิดโดที่มีความเหนียวและยืดหยุ่นและให้ลักษณะของเส้นพาสต้าที่มีความเหนียวและยืดหยุ่น ดังนั้นค่าแรงที่ใช้ในการดึงเส้นให้ขาดจึงมีค่าสูง ค่าความแน่นเนื้อของพาสต้าข้าวเจ้าและพาสต้าข้าวเจ้าเสริมสาหร่ายผักกาดทะเลผงมีค่าสูงกว่าพาสต้าข้าวสาลีทางการค้า แสดงว่าพาสต้าที่ทำจากข้าวเจ้ามีความแข็งมากกว่า แต่พาสต้าเสริมสาหร่ายผักกาดทะเลผงมีค่าความแน่นเนื้อต่ำกว่าพาสต้าข้าวเจ้า อาจเนื่องจากองค์ประกอบในสาหร่าย เช่น เส้นใย ขัดขวางการเกิดโครงสร้าง ทำให้โครงสร้างของเส้นขาดความเป็นเนื้อเดียวกัน มีผลทำให้สตาร์ชหรือองค์ประกอบภายในเส้นกระจายตัวออกมาในน้ำที่ใช้ในการต้ม (Tudorica และคณะ, 2002) ทำให้ค่าความแน่นเนื้อลดลง ส่วนค่าการยึดเกาะที่ผิวหน้าของพาสต้าข้าวสาลีทางการค้ามีค่าต่ำกว่าพาสต้าข้าวเจ้าเสริมสาหร่ายผักกาดทะเลผงและพาสต้าข้าวเจ้า แสดงว่ามีสตาร์ชที่ผิวหน้าน้อยกว่า สอดคล้องกับผลการวิเคราะห์ปริมาณของแข็งที่สูญเสียในระหว่างการต้มที่ต่ำกว่า

4.3 ผลการประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัส

จากการวิเคราะห์การทดสอบทางประสาทสัมผัสของพาสต้าข้าวเจ้าเสริมสาหร่ายผักกาดทะเลผง พาสต้าข้าวเจ้า และพาสต้าข้าวสาลีทางการค้าได้ผลดังตารางที่ 4-20

ตารางที่ 4-20 คะแนนการทดสอบทางประสาทสัมผัสของพาสต้าข้าวเจ้าเสริมสาหร่ายผักกาดทะเลผง พาสต้าข้าวเจ้าและพาสต้าข้าวสาลีทางการค้า

ตัวอย่างพาสต้า	คุณภาพทางประสาทสัมผัส				
	สี	กลิ่น	รสชาติ	เนื้อสัมผัส	ความชอบโดยรวม
พาสต้าข้าวเจ้าเสริมสาหร่ายผักกาดทะเลผง	$8.13^{a} \pm 0.68$	$6.37^{a} \pm 1.33$	$6.50^{a} \pm 1.11$	$6.90^{b} \pm 0.66$	$7.30^{a} \pm 0.70$
พาสต้าข้าวเจ้า	$3.73^{c} \pm 2.56$	$4.43^{b} \pm 2.28$	$4.63^{b} \pm 2.12$	$6.00^{b} \pm 1.70$	$5.53^{b} \pm 2.08$
พาสต้าข้าวสาลีทางการค้า	$7.73^{b} \pm 0.74$	$5.50^{a} \pm 0.68$	$5.27^{a} \pm 0.52$	$7.67^{a} \pm 0.48$	$7.60^{a} \pm 0.56$

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

จากผลการทดสอบทางด้านประสาทสัมผัส พบว่าพาสต้าข้าวเจ้าเสริมสาหร่ายผักกาดทะเลผงได้คะแนนความชอบด้านสีสูงสุด ซึ่งอยู่ในระดับชอบมากและได้คะแนนสูงกว่าพาสต้าข้าวสาลีทางการค้า โดยพาสต้าทั้งสองตัวอย่างได้คะแนนในด้านกลิ่น รสชาติ เนื้อสัมผัส และความชอบโดยรวมสูงสุด และไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยคะแนนความชอบโดยรวมอยู่ในระดับชอบปานกลาง ส่วนพาสต้าข้าวเจ้าได้คะแนนในทุกด้านต่ำที่สุด

4.4 ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี

เมื่อพิจารณาองค์ประกอบทางเคมีของพาสต้าข้าวเจ้าเสริมสาหร่ายผักกาดทะเลผงเปรียบเทียบกับพาสต้าข้าวเจ้าและพาสต้าจากข้าวสาลีทางการค้าดังแสดงในตารางที่ 4-21 พบว่าพาสต้าข้าวเจ้าเสริมสาหร่ายผักกาดทะเลผงมีปริมาณความชื้น โปรตีน เถ้า ไขมัน ใยอาหารรวม คาร์โบไฮเดรต ร้อยละโดยน้ำหนักแห้ง 12.04, 6.98, 0.88, 0.46, 12.22 และ 91.68 ตามลำดับ ซึ่งมีปริมาณโปรตีน เถ้า และใยอาหารรวมสูงกว่าพาสต้าข้าวเจ้า (ร้อยละ 6.48, 0.30 และ 0 ตามลำดับ) แต่มีโปรตีนน้อยกว่าพาสต้าข้าวสาลีทางการค้า นอกจากนี้พาสต้าข้าวเจ้าเสริมสาหร่ายผักกาดทะเลผงยังมีปริมาณไขมันต่ำกว่าพาสต้าข้าวเจ้า (ร้อยละ 0.96) แต่สูงกว่าพาสต้าข้าวสาลีทางการค้า (ร้อยละ 0.29) นอกจากนี้ยังมีสารประกอบฟีนอลิกและความสามารถของสารต้านอนุมูลอิสระ 3.77 mg/100

g และ 0.47% ตามลำดับ และยังมีแคลเซียมและโซเดียมคลอไรด์ 4.67 mg/100 g และ 0.0033 g/100 g ตามลำดับ อีกทั้งยังมีปริมาณเบต้าแคโรทีน 8.28 mg/100 g

จากผลการวิเคราะห์ชนิดและปริมาณกรดไขมันในพาสต้าข้าวเจ้าและพาสต้าข้าวเจ้าที่เสริมสาหร่ายผักกาดทะเลผง (ตารางที่ 4-22) พบว่า พาสต้าข้าวเจ้าที่เสริมสาหร่ายผักกาดทะเลผงประกอบด้วยกรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัวร้อยละ 8.82 ของกรดไขมันทั้งหมด ซึ่งมีปริมาณสูงกว่าพาสต้าข้าวเจ้า (ร้อยละ 7.51) โดยพาสต้าข้าวเจ้าประกอบด้วยกรดไขมันไม่อิ่มตัวประเภท Monounsaturated fatty acid (MUFA) ร้อยละ 4.68 (5.52 มิลลิกรัม/กรัม) และกรดไขมันไม่อิ่มตัวประเภท Polyunsaturated fatty acid (PUFA) ร้อยละ 2.83 (3.30 มิลลิกรัม/กรัม) กรดไขมันไม่อิ่มตัว Omega-3 ร้อยละ 1.30 (2.11 มิลลิกรัม/กรัม) และ Omega-6 ร้อยละ 1.28 (0.99 มิลลิกรัม/กรัม) ส่วนพาสต้าข้าวเจ้าที่เสริมสาหร่ายผักกาดทะเลผงประกอบด้วยกรดไขมันประเภท Monounsaturated fatty acid (MUFA) และ Polyunsaturated fatty acid (PUFA) ร้อยละ 5.53 (0.26 มิลลิกรัม/กรัม) และ 3.29 (0.15 มิลลิกรัม/กรัม) ตามลำดับ เมื่อพิจารณาชนิดของกรดไขมันไม่อิ่มตัว พบว่า พาสต้าที่เสริมสาหร่ายผักกาดทะเลผงประกอบด้วยกรดไขมันไม่อิ่มตัว Omega-3 ร้อยละ 2.11 (0.10 มิลลิกรัม/กรัม) และ Omega-6 ร้อยละ 0.99 (0.05 มิลลิกรัม/กรัม)

จากผลการวิเคราะห์ชนิดและปริมาณของกรดอะมิโนในสาหร่ายผักกาดทะเลผงและพาสต้าข้าวเจ้าเสริมสาหร่ายผักกาดทะเลผง (ตารางที่ 4-23) พบว่า สาหร่ายผักกาดทะเลผงและพาสต้าข้าวเจ้าเสริมสาหร่ายผักกาดทะเลผงประกอบด้วยกรดอะมิโนทั้งชนิดที่จำเป็นและชนิดที่ไม่จำเป็น โดยพาสต้าข้าวเจ้าเสริมสาหร่ายผักกาดทะเลผงประกอบด้วยกรดกลูตามิกในปริมาณสูงที่สุด (22.26 มิลลิกรัม/กรัม) รองลงมาคือ กรดแอสปาติก (12.36 มิลลิกรัม/กรัม) และลิวซีน (9.88 มิลลิกรัม/กรัม) ซึ่งสอดคล้องกับผลการวิเคราะห์ปริมาณของกรดอะมิโนในสาหร่ายผักกาดทะเลผงที่พบว่าสาหร่ายผักกาดทะเลผงมีปริมาณกรดแอสปาติกสูงที่สุด (31.29 มิลลิกรัม/กรัม) กรดอะมิโนที่มีปริมาณสูงรองลงมาคือ กรดกลูตามิก (27.03 มิลลิกรัม/กรัม) อะลานีน (20.23 มิลลิกรัม/กรัม) และลิวซีน (14.13 มิลลิกรัม/กรัม)

ดังนั้นการเติมสาหร่ายผักกาดทะเลผงที่อุดมไปด้วยสารอาหารหลายชนิดในพาสต้าข้าวเจ้าจึงช่วยเพิ่มคุณค่าทางโภชนาการของผลิตภัณฑ์พาสต้า

ตารางที่ 4-21 องค์ประกอบทางเคมีของพาสต้าข้าวเจ้าเสริมสาหร่ายผักกาดทะเลผง พาสต้าข้าวเจ้า และพาสต้าข้าวสาลีทางการค้า

องค์ประกอบทางเคมี	ค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน		
	พาสต้าข้าวเจ้าเสริมสาหร่ายผักกาดทะเลผง	พาสต้าข้าวเจ้า	พาสต้าข้าวสาลีทางการค้า
ความชื้น (%)	12.04 ± 0.08	11.81 ± 0.15	5.33 ± 0.23
โปรตีน (% db)	6.98 ± 0.18	6.48 ± 0.01	11.06 ± 0.15
เถ้า (% db)	0.88 ± 0.01	0.30 ± 0.04	0.86 ± 0.07
ไขมัน (% db)	0.46 ± 0.04	0.96 ± 0.64	0.04 ± 0.01
ใยอาหารรวม (% db)	12.22 ± 0.55	7.72 ± 0.61	10.74 ± 2.14
คาร์โบไฮเดรต (% db)	91.68 ± 0.03	92.26 ± 0.05	88.04 ± 0.15
สารประกอบฟีนอลิก (mg/100 g)	3.77 ± 0.49	-	-
ความสามารถในการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระ (%)	0.47 ± 0.14	-	-
แคลเซียม (mg/100 g)	4.67 ± 0.15	-	-
โซเดียมคลอไรด์ (g/100 g)	0.0033 ± 0.0003	-	-
เบต้า-แคโรทีน (mg/100 g)	8.28 ± 0.29	-	-

% db หมายถึง ร้อยละโดยน้ำหนักแห้ง

- หมายถึง ไม่ได้วิเคราะห์

ตารางที่ 4-22 ชนิดและปริมาณของกรดไขมันในพาสต้าจากแป้งข้าวและพาสต้าข้าวเจ้าเสริมสาหร่ายผักกาดทะเลผงร้อยละ 4

ชนิดของกรดไขมัน	พาสต้าจากแป้งข้าว				พาสต้าข้าวเจ้าเสริมสาหร่ายผักกาดทะเลผงร้อยละ 4			
	ปริมาณกรดไขมัน (มิลลิกรัม/กรัม)	SE*	ปริมาณกรดไขมัน (ร้อยละ)	SE*	ปริมาณกรดไขมัน (มิลลิกรัม/กรัม)	SE*	ปริมาณกรดไขมัน (ร้อยละ)	SE*
C10:0	0.002	0.001	0.04	0.021	0.011	0.001	0.23	0.012
C11:0	0.012	0.000	0.25	0.012	0.006	0.001	0.13	0.010
C12:0	0.006	0.001	0.12	0.020	0.006	0.002	0.12	0.029
C13:0	0.814	0.025	17.24	0.915	0.682	0.240	13.80	3.881
C14:0	0.138	0.005	2.93	0.195	0.126	0.025	2.64	0.270
C14:1	0.011	0.006	0.22	0.114	0.008	0.001	0.18	0.040
C15:0	0.012	0.004	0.26	0.068	0.008	0.002	0.19	0.072
C16:0	2.039	0.074	43.19	2.502	1.981	0.188	42.59	0.668
C16:1	0.017	0.002	0.36	0.045	0.032	0.006	0.69	0.087
C17:0	0.006	0.001	0.13	0.017	0.005	0.001	0.10	0.026
C17:1	0.162	0.011	3.41	0.080	0.163	0.007	3.58	0.479
C18:0	0.939	0.014	19.88	0.814	0.954	0.027	21.10	3.126
C18:1 n-9	0.024	0.009	0.50	0.158	0.053	0.021	1.05	0.377
C18:2 n-6	0.004	0.000	0.08	0.002	0.005	0.002	0.11	0.041
C18:3 n-6	0.040	0.022	0.82	0.421	0.031	0.021	0.63	0.411
C18:3 n-3	0.062	0.002	1.30	0.067	0.098	0.008	2.11	0.098
C20:0	0.009	0.002	0.19	0.031	0.096	0.055	2.02	1.001
C20:2	0.013	0.013	0.25	0.249	0.009	0.002	0.19	0.040
C20:3 n-6	0.013	0.008	0.26	0.140	0.006	0.005	0.12	0.093
C20:4 n-6	0.006	0.001	0.13	0.018	0.005	0.003	0.13	0.065
C22:1	0.010	0.005	0.19	0.086	0.001	0.001	0.02	0.017
C22:0	0.012	0.001	0.25	0.005	0.003	0.003	0.09	0.087
อื่นๆ	0.389	0.149	7.98	2.701	0.380	0.060	8.21	1.126
รวม	4.739	0.214	99.98	0.009	4.668	0.502	100.04	0.023

ตารางที่ 4-23 ชนิดและปริมาณของกรดอะมิโนในสาหร่ายผักกาดทะเลผงและพาสต้าข้าวเจ้าเสริมสาหร่ายผักกาดทะเลผง

ชนิดกรดอะมิโน	สาหร่ายผักกาดทะเลผง	พาสต้าข้าวเจ้าเสริมสาหร่ายผักกาดทะเลผง
	ปริมาณ (mg/g)	ปริมาณ (mg/g)
Isoleucine	8.60 ± 1.05	4.84 ± 0.15
Leucine	14.13 ± 0.09	9.88 ± 0.34
Lysine	11.95 ± 0.41	6.11 ± 0.11
Methionine	3.93 ± 0.51	2.84 ± 0.08
Phenylalanine	10.68 ± 0.13	5.51 ± 0.39
Threonine	9.90 ± 0.28	4.60 ± 0.22
Valine	12.00 ± 0.55	6.94 ± 0.60
Alanine	20.23 ± 0.71	8.22 ± 0.20
Arginine	13.45 ± 0.29	8.39 ± 0.47
Aspartic acid	31.29 ± 1.54	12.36 ± 0.18
Cystine	1.78 ± 0.22	1.87 ± 0.30
Glutamic acid	27.03 ± 0.70	22.26 ± 0.20
Glycine	13.64 ± 0.25	5.53 ± 0.27
Histidine	3.83 ± 0.79	2.64 ± 0.15
Proline	3.35 ± 0.10	3.89 ± 0.05
Serine	12.34 ± 0.21	6.83 ± 0.22
Tyrosine	6.69 ± 0.39	3.11 ± 0.25

<u>ตอนที่ 2</u> ผลการพัฒนาผลิตภัณฑ์พาสต้าข้าวเจ้าเสริมสาหร่ายเกลียวทองผง

สาหร่ายที่นำมาใช้ในการทดลองตอนนี้ ได้แก่ สาหร่ายเกลียวทองซึ่งเป็นสาหร่ายขนาดเล็ก โดยในงานวิจัยนี้ได้ใช้สาหร่ายเกลียวทองผงทางการค้า

1. ผลการศึกษาองค์ประกอบทางเคมีและปริมาณสารสำคัญบางชนิดของสาหร่ายเกลียวทองผง

ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของสาหร่ายเกลียวทองผงแสดงดังตารางที่ 4-24 และผลการวิเคราะห์ชนิดและปริมาณของกรดไขมันของสาหร่ายเกลียวทองผงแสดงดังตารางที่ 4-25 เมื่อพิจารณาองค์ประกอบทางเคมีของสาหร่ายเกลียวทองผง พบว่าในสาหร่ายเกลียวทองผงมีปริมาณโปรตีน เถ้า และใยอาหารรวม คิดเป็นร้อยละ 50.52, 4.49 และ 20.11 โดยน้ำหนักแห้ง ซึ่งสูงกว่าปริมาณโปรตีนและเถ้าที่พบในแป้งข้าวเจ้าร้อยละ 6.56 และ 0.30 ตามลำดับ (ปราโมทย์ คูวิจิตรจารุ และทศพล สุธาสิริทรัพย์, 2553) และปริมาณโปรตีน เถ้าและเส้นใยในแป้งสาลีชนิดดูรัมเซโมลินาซึ่งมีปริมาณร้อยละ 14.51 และ 0.16 และ 0.30 ตามลำดับ (ปิยนุช วังศิลาบัตร และคณะ, 2548) และสาหร่ายเกลียวทองผงยังมีปริมาณไขมัน และคาร์โบไฮเดรต ร้อยละ 0.65 และ 44.34 ซึ่งมีปริมาณน้อยกว่าปริมาณไขมันที่พบในแป้งข้าวเจ้า (ร้อยละ 0.80) และปริมาณไขมันและคาร์โบไฮเดรตในแป้งสาลีชนิดดูรัมเซโมลินา (ร้อยละ 1.14 และ 84.19 ตามลำดับ) ปริมาณโปรตีน ไขมัน คาร์โบไฮเดรต และใยอาหารรวม ที่วิเคราะห์ได้มีค่าที่สอดคล้องกับรายงานของ สมศักดิ์ วรคามิน (2551) ที่รายงานองค์ประกอบทางเคมีของสาหร่าย *Spirulina platensis* ว่าประกอบด้วยโปรตีนร้อยละ 55–70 ไขมันร้อยละ 0.6–0.8 คาร์โบไฮเดรตร้อยละ 40–55 และใยอาหารร้อยละ 19-25 โดยน้ำหนักแห้ง ผลการวิเคราะห์ปริมาณไฟโคไซยานินในสาหร่ายเกลียวทองผง พบว่ามีปริมาณไฟโคไซยานิน 0.08 กรัม/ลิตร อย่างไรก็ตามปริมาณไฟโคไซยานินที่วิเคราะห์ได้มีค่าที่น้อยกว่าที่ ราเชนทร์ ดวงศรี (2552) รายงานว่าสาหร่ายเกลียวทองประกอบด้วยไฟโคไซยานิน 1.76 มิลลิกรัม/มิลลิลิตร ซึ่งอาจเป็นผลจากวิธีการเพาะเลี้ยงสาหร่าย และวิธีการเลี้ยงสาหร่ายที่แตกต่างกัน โดยในการทดลองได้ใช้ตัวอย่างสาหร่ายเกลียวทองแบบผงทางการค้า ซึ่งมีการเก็บเกี่ยวสาหร่ายโดยการกรองน้ำออก นำไปทำแห้งที่อุณหภูมิ 70 °C และนำไปบดเป็นผง ซึ่งในกระบวนการผลิตเหล่านี้ อาจมีผลต่อปริมาณของไฟโคไซยานิน จากองค์ประกอบทางเคมีทั้งหมดแสดงให้เห็นว่าสาหร่ายเกลียวทองผงมีคุณค่าโปรตีนสูง ไขมันต่ำ อีกทั้งยังประกอบด้วยไฟโคไซยานินและเบต้า-แคโรทีนที่มีคุณสมบัติต้านอนุมูลอิสระ โดยไฟโคไซยานินมีคุณสมบัติต้านอนุมูลอิสระ (Antioxidant) และป้องกันการอักเสบ (Anti – Inflammation) ที่มีประสิทธิภาพ เป็นสารสำคัญที่ทำหน้าที่กระตุ้นให้เซลล์ตั้งต้น (Stem cell) ในไขกระดูก ผลิตเม็ดเลือดแดงและเม็ดเลือดขาวที่มีประสิทธิภาพ ในสภาวะที่ไขกระดูกถูกสารพิษหรือรังสี (Radiation) ทำลายหรือเสื่อมสภาพลง ไฟโคไซยานินจะช่วยป้องกันและกระตุ้นเซลล์ตั้งต้นเพื่อให้กลับคืนสภาพเดิม เพื่อสร้างเม็ดเลือดแดงและเม็ดเลือดขาวได้ใหม่ต่อไป (สมศักดิ์ วรคามิน, 2551)

จากผลการวิเคราะห์ชนิดและปริมาณกรดไขมันในสาหร่ายเกลียวทองผง (ตารางที่ 4-25) พบว่า สาหร่ายเกลียวทองผงประกอบด้วยกรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัว (Unsaturated fatty acid) ในปริมาณร้อยละ 13.23 ของกรดไขมันทั้งหมด (4.48 มิลลิกรัม/กรัม) โดยกรดไขมันไม่อิ่มตัวในสาหร่ายนี้ประกอบด้วยกรดไขมันประเภท Polyunsaturated fatty acid (PUFA) ในปริมาณร้อยละ 10.38 (3.52 มิลลิกรัม/กรัม) ซึ่งสูงกว่ากรดไขมันประเภท Monounsaturated fatty acid (MUFA) ที่มี

ปริมาณกรดไขมันร้อยละ 2.85 (0.96 มิลลิกรัม/กรัม) โดยประกอบด้วยกรดไขมันไม่อิ่มตัว Omega-3 ร้อยละ 0.70 (0.025 มิลลิกรัม/กรัม) และ Omega-6 ร้อยละ 10.06 (3.42 มิลลิกรัม/กรัม)

ตารางที่ 4-24 องค์ประกอบทางเคมีของสาหร่ายเกลียวทองผง

องค์ประกอบทางเคมี	ค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน
	สาหร่ายเกลียวทองผง
ความชื้น (%)	6.02 ± 1.27
โปรตีน (% db)	50.52 ± 1.97
เถ้า (% db)	4.49 ± 0.58
ไขมัน (% db)	0.65 ± 0.41
คาร์โบไฮเดรต (% db)	44.34 ± 1.21
ใยอาหารรวม (% db)	6.91 ± 0.03
ใยอาหารที่ละลายน้ำ (% db)	4.77 ± 0.04
ใยอาหารที่ไม่ละลายน้ำ (% db)	2.14 ± 0.08
สารประกอบฟีนอลิก (มิลลิกรัม/100 กรัมตัวอย่าง)	5.90 ± 0.87
ความสามารถในการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระ (%)	39.37 ± 0.03
แคลเซียม (มิลลิกรัม/100 กรัม)	66.80 ± 6.12
ไอโอดีน (มิลลิกรัม/ 1000 กรัม)	16.71 ± 2.36
เบต้า-แคโรทีน	2863.45 ± 92.04
ไฟโคไซยานิน (กรัม/ลิตร)	0.08 ± 0.01

% db ร้อยละโดยน้ำหนักแห้ง

ตารางที่ 4-25 ชนิดและปริมาณของกรดไขมันในสาหร่ายเกลียวทองผง

ชนิดของกรดไขมัน	ปริมาณกรดไขมัน			
	มิลลิกรัม/กรัม	SE*	ร้อยละ	SE*
C10:0	0.94	0.123	2.76	0.299
C11:0	0.04	0.015	0.11	0.043
C12:0	0.09	0.018	0.25	0.048
C13:0	0.95	0.117	2.78	0.244
C14:0	0.16	0.010	0.47	0.012
C14:1	0.06	0.006	0.17	0.014
C15:0	0.12	0.011	0.34	0.020
C16:0	7.97	0.233	23.43	0.289
C16:1	0.34	0.091	1.03	0.321
C17:0	0.04	0.001	0.11	0.002
C17:1	0.03	0.018	0.08	0.057
C18:0	0.18	0.007	0.54	0.007
C18:1 n-9	0.54	0.006	1.58	0.058
C18:2 n-6	0.04	0.024	0.13	0.078
C18:3 n-6	3.31	0.074	9.73	0.369
C18:3 n-3	0.03	0.013	0.07	0.035
C20:0	0.08	0.009	0.24	0.022
C20:2	0.08	0.035	0.24	0.116
C20:3 n-6	0.03	0.005	0.08	0.013
C20:4 n-6	0.04	0.002	0.13	0.010
C22:0	1.98	0.372	5.76	0.903
อื่นๆ	17.03	0.695	50.00	0.002
รวม	34.07	1.390	100.00	0.003

* Standard error

2. ผลการพัฒนาสูตรพาสต้าจากข้าวเจ้าเสริมสาหร่ายเกลียวทองผง

2.1 ผลการศึกษาปริมาณสาหร่ายเกลียวทองผงที่เหมาะสมที่ใช้เติมในพาสต้าข้าวเจ้า

จากการวิเคราะห์คุณภาพของพาสต้าข้าวเจ้าที่เติมสาหร่ายเกลียวทองผงร้อยละ 0, 0.5, 1.0, 1.5 และ 2.0 ได้ผลการวิเคราะห์ดังนี้

2.1.1 ผลการวิเคราะห์คุณภาพของพาสต้าหลังการต้ม

จากการวิเคราะห์คุณภาพหลังการต้มของพาสต้าข้าวเจ้าที่เติมสาหร่ายเกลียวทองผงปริมาณต่างๆ ได้ผลดังตารางที่ 4-26 พบว่าเมื่อเติมปริมาณสาหร่ายเกลียวทองผงเพิ่มขึ้นมีผลทำให้ระยะเวลาในการต้มสุกลดลง ปริมาณของแข็งที่สูญเสียในระหว่างการต้มและน้ำหนักที่ได้หลังการต้มเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) โดยพาสต้าที่ไม่มีการเติมสาหร่ายเกลียวทองผงใช้ระยะเวลาในการต้มสุก 19.0 นาที แต่เมื่อเติมสาหร่ายเกลียวทองผงปริมาณร้อยละ 0.5, 1.0, 1.5 และ 2.0 ทำให้มีระยะเวลาการต้มสุกลดลงเป็น 18.0, 17.0, 16.0 และ 15.5 นาที ตามลำดับ และเมื่อเติมสาหร่ายเกลียวทองผงเพิ่มขึ้นจากร้อยละ 0.5 เป็นร้อยละ 2.0 พบว่าปริมาณของแข็งที่สูญเสียในระหว่างการต้มเพิ่มขึ้นจากร้อยละ 16.62 เป็นร้อยละ 26.77 และน้ำหนักที่ได้หลังการต้มมีค่าเพิ่มขึ้นจากร้อยละ 149.38 เป็นร้อยละ 164.43 ทั้งนี้อาจเนื่องจากสาหร่ายเกลียวทองประกอบด้วยโปรตีนและใยอาหารในปริมาณสูง (ร้อยละ 50.52 และ 6.91 ตามลำดับ) ซึ่งองค์ประกอบเหล่านี้มีคุณสมบัติในการดูดซับน้ำได้ดี ดังนั้นเมื่อเพิ่มปริมาณสาหร่ายเกลียวทองผงในปริมาณที่มากขึ้น สาหร่ายจะช่วยดูดน้ำเข้าสู่เส้นพาสต้าได้ดียิ่งขึ้นทำให้ระยะเวลาที่ใช้ในการต้มสุกลดลง และน้ำหนักหลังการต้มเพิ่มขึ้น อย่างไรก็ตามโปรตีนอาจมีผลต่อการเกิดโครงสร้างของพาสต้าข้าวเจ้าในกระบวนการเอ็กซ์ทรูชัน โดยโปรตีนมีคุณสมบัติในการดูดซับน้ำและจับกับน้ำได้ดีจึงอาจทำให้ปริมาณน้ำที่ใช้ในการเกิดเจลาติไนซ์ของสตาร์ชในแป้งข้าวเหลือน้อยลงและสตาร์ชเกิดเจลาติไนซ์ไม่สมบูรณ์ ทำให้โครงสร้างของเส้นขาดความเป็นเนื้อเดียวกัน และมีผลให้สตาร์ชหรือองค์ประกอบภายในเส้นกระจายตัวออกมาในน้ำที่ใช้ในการต้ม (กมลวรรณ อิศราคาร, 2548) ปริมาณของแข็งที่สูญเสียในระหว่างการต้มจึงเพิ่มขึ้น

ตารางที่ 4-26 คุณภาพหลังการต้มของพาสต้าข้าวเจ้าที่เติมสาหร่ายเกลียวทองผงในปริมาณต่างๆ

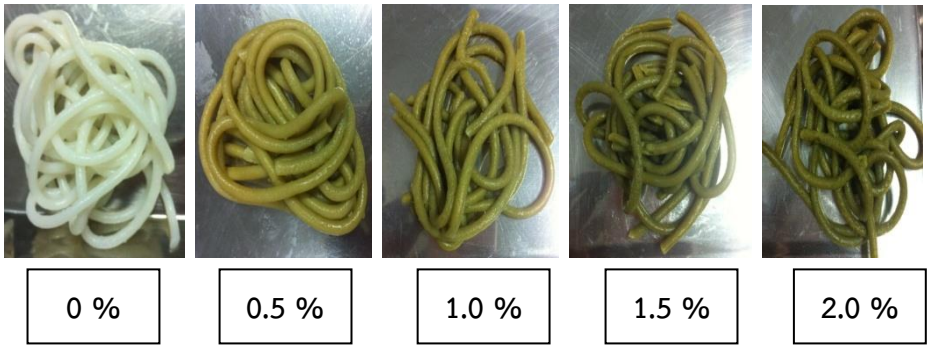
ปริมาณสาหร่ายเกลียวทองผง (ร้อยละโดยน้ำหนักแป้ง)	เวลาที่เหมาะสมในการต้มพาสต้าให้สุก (นาที)	ปริมาณของแข็งที่สูญเสียระหว่างการต้ม (ร้อยละ)	น้ำหนักที่ได้หลังการต้ม (ร้อยละ)
0	19.0	$16.62^{d} \pm 0.15$	$149.38^{de} \pm 0.15$
0.5	18.0	$16.67^{d} \pm 0.14$	$147.98^{d} \pm 2.56$
1.0	17.0	$18.58^{c} \pm 0.10$	$151.22^{cd} \pm 0.11$
1.5	16.0	$23.28^{b} \pm 0.41$	$161.98^{b} \pm 0.51$
2.0	15.5	$26.77^{a} \pm 0.87$	$164.43^{a} \pm 0.23$

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

2.1.2 ผลการวัดค่าสี

จากการวัดค่าสีของพาสต้าข้าวเจ้าที่เติมสาหร่ายเกลียวทองผงในปริมาณต่างๆ ได้ผลดังตารางที่ 4-27 และ 4-28 และลักษณะของพาสต้าข้าวเจ้าที่เติมสาหร่ายเกลียวทองผงในปริมาณต่างๆ ที่ผ่านการอบแห้งและผ่านการต้มสุกแสดงดังภาพที่ 4-13 และ 4-14

ภาพที่ 4-13 พาสต้าอบแห้งที่เติมสาหร่ายเกลียวทองผงร้อยละ 0, 0.5, 1.0, 1.5 และ 2.0



ภาพที่ 4-14 พาสต้าต้มสุกที่เติมสาหร่ายผมเกลียวทองผงร้อยละ 0, 0.5, 1.0, 1.5 และ 2.0

ตารางที่ 4-27 ค่าสีของพาสต้าอบแห้งที่ทำจากข้าวเจ้าที่เติมสาหร่ายเกลียวทองผงในปริมาณต่างๆ

ปริมาณสาหร่ายเกลียวทองผง (ร้อยละโดยน้ำหนักแป้ง)	ค่าสี		
	L*	a*	b*
0	$70.22^{a} \pm 6.75$	$0.59^{d} \pm 0.14$	$19.99^{b} \pm 1.51$
0.5	$37.21^{b} \pm 9.67$	$5.42^{a} \pm 0.94$	$18.31^{a} \pm 6.41$
1.0	$31.54^{bc} \pm 7.45$	$4.89^{b} \pm 1.46$	$16.76^{b} \pm 7.71$
1.5	$26.15^{cd} \pm 3.63$	$3.77^{b} \pm 1.89$	$15.49^{bc} \pm 7.14$
2.0	$24.50^{cd} \pm 3.88$	$2.22^{c} \pm 1.09$	$15.43^{bc} \pm 4.01$

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

ตารางที่ 4-28 ค่าสีของพาสต้าต้มสุกที่ทำจากข้าวเจ้าที่เติมสาหร่ายเกลียวทองผงในปริมาณต่างๆ

ปริมาณสาหร่ายเกลียวทองผง (ร้อยละโดยน้ำหนักแป้ง)	ค่าสี		
	L*	a*	b*
0	71.81 ^{a} ± 1.49	-1.56 ^{d} ± 0.29	9.45 ^{ab} ± 5.70
0.5	52.08 ^{b} ± 1.71	3.32 ^{ab} ± 0.68	16.94 ^{a} ± 5.71
1.0	36.32 ^{c} ± 2.68	3.99 ^{a} ± 0.61	17.06 ^{a} ± 3.75
1.5	34.54 ^{c} ± 1.31	3.72 ^{a} ± 1.14	15.86 ^{a} ± 3.49
2.0	29.63 ^{d} ± 3.27	2.94 ^{b} ± 0.55	13.35 ^{ab} ± 1.68

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

จากผลการวิเคราะห์ค่าสี พบว่า เมื่อเติมสาหร่ายเกลียวทองผงในปริมาณที่แตกต่างกันมีผลทำให้ค่าสีของพาสต้าอบแห้งและพาสต้าที่ผ่านการต้มสุกแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ กล่าวคือ เมื่อปริมาณสาหร่ายเกลียวทองผงเพิ่มขึ้น ค่าความสว่าง (L*) ค่าความเป็นสีแดง-เขียว (a*) และค่าความเป็นสีเหลือง-น้ำเงิน (b*) ลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ทั้งนี้อาจเนื่องจากสาหร่ายเกลียวทองผงมีค่าความสว่าง (27.53) ซึ่งต่ำกว่าค่าความสว่างของแป้งข้าว (97.60) ที่ใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตพาสต้า ดังนั้นเมื่อปริมาณสาหร่ายเกลียวทองผงเพิ่มมากขึ้นจึงทำให้ค่าความสว่างลดลง ส่วนค่าความเป็นสีแดง-เขียว (a*) และค่าความเป็นสีเหลือง-น้ำเงิน (b*) ของพาสต้าอบแห้งและพาสต้าต้มสุกมีแนวโน้มลดลง โดยพาสต้าอบแห้งและพาสต้าต้มสุกที่เติมสาหร่ายร้อยละ 0.5-2.0 มีค่า a* ลดลงจาก 5.42 ถึง 2.22 และ 3.32 ถึง 2.94 ตามลำดับ และมีค่า b* ลดลงจาก 18.31 ถึง 15.43 และ 16.94 ถึง 13.35 ตามลำดับ ทั้งนี้การให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 70-80 $^{\circ}$C ในเครื่องเอ็กซ์ทรูเดอร์อาจทำให้เกิดเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของคลอโรฟิลล์ซึ่งเป็นรงควัตถุที่ให้สีเขียวในสาหร่ายเกลียวทองเป็นฟีโอไฟติน (Pheophytin) และฟีโอฟอร์ไบด์ (Pheophorbides) ที่มีสีน้ำตาล จึงทำให้ค่าความเป็นสีเขียวลดลง (นิธิยา รัตนาปนนท์, 2549)

2.1.3 ผลการวิเคราะห์ลักษณะเนื้อสัมผัส

จากการวิเคราะห์ลักษณะเนื้อสัมผัสของพาสต้าที่เติมสาหร่ายเกลียวทองผงปริมาณต่างๆ ได้ผลดังตารางที่ 4-29 พบว่าเมื่อเติมสาหร่ายเกลียวทองที่ปริมาณเพิ่มขึ้น (ร้อยละ 0.5-2.0) มีผลทำให้ค่าความต้านทานต่อการดึงขาดเพิ่มขึ้น ส่วนค่าความแน่นเนื้อและค่าการยึดเกาะที่ผิวหน้าไม่แตกต่างกัน ($p \geq 0.05$) โดยพาสต้าที่เติมสาหร่ายเกลียวทองผงร้อยละ 2.0 มีค่าความต้านทานต่อการดึงขาดและค่าความแน่นเนื้อสูงที่สุด อย่างไรก็ตามพาสต้าที่เติมสาหร่ายเกลียวทองผงทุกตัวอย่างมีค่าความต้านทานต่อการดึงขาดและค่าความแน่นเนื้อต่ำกว่าพาสต้าข้าวเจ้าที่ไม่เติมสาหร่ายเกลียวทองผง (ร้อยละ 0) ซึ่งอาจเป็นผลจากองค์ประกอบในสาหร่ายไปขัดขวางการเกิดโครงสร้างที่ต่อเนื่องของร่างแหสตาร์ช (Starch network)

ตารางที่ 4-29 ลักษณะเนื้อสัมผัสของพาสต้าข้าวเจ้าที่เติมสาหร่ายเกลียวทองผงในปริมาณต่างๆ

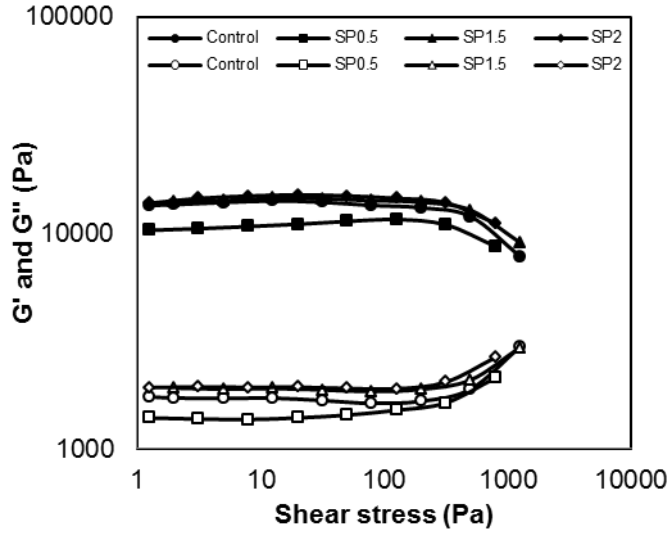
ปริมาณสาหร่ายเกลียวทองผง (ร้อยละโดยน้ำหนักแป้ง)	ลักษณะเนื้อสัมผัส		
	ค่าความต้านทานต่อการดึงขาด (g force)	ค่าความแน่นเนื้อ (g force)	ค่าการยึดเกาะที่ผิวหน้า [ns] (g force. s)
0	33.37 [a] ± 0.22	1603.04 [a] ± 111.85	5.21 ± 0.59
0.5	13.42 [b] ± 0.22	927.26 [b] ± 7.10	4.80 ± 0.70
1.0	14.62 [b] ± 0.34	955.50 [b] ± 5.30	4.43 ± 0.65
1.5	21.35 [c] ± 0.92	973.60 [b] ± 11.69	4.11 ± 0.34
2.0	26.21 [d] ± 4.37	1044.51 [b] ± 12.31	4.03 ± 0.91

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

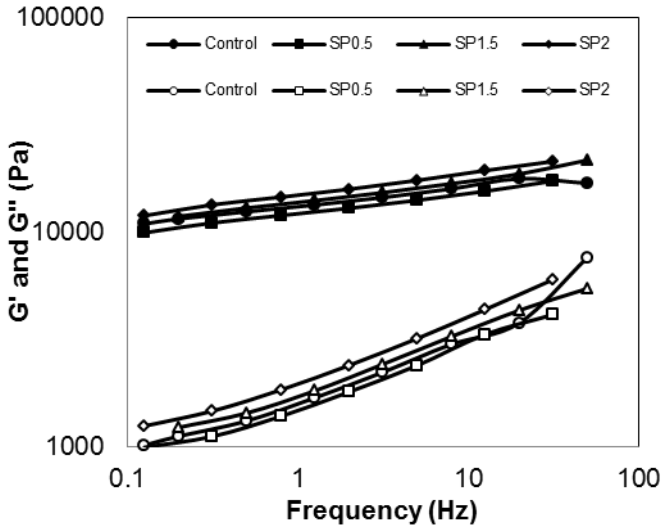
[ns] หมายถึง ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \geq 0.05$)

2.1.5 ผลการวิเคราะห์สมบัติการไหลของเจลจากแป้งข้าวเจ้าและสาหร่าย

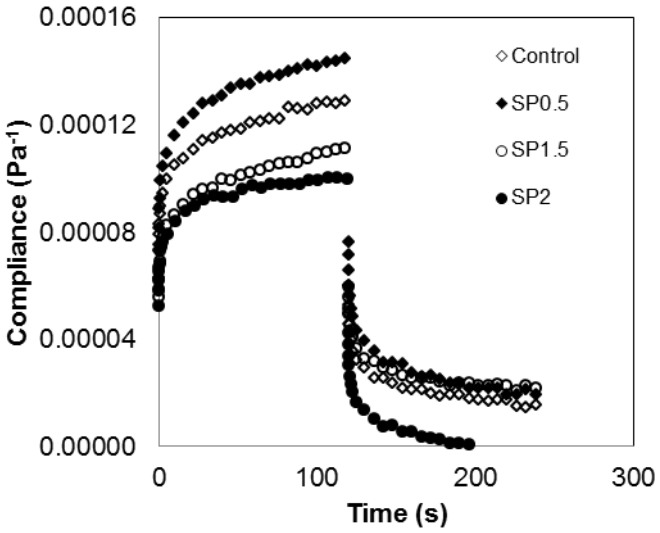
จากผลการวิเคราะห์สมบัติการไหลของเจลจากแป้งข้าวเจ้าและสาหร่ายเกลียวทองผงร้อยละ 0-2 ได้ผลแสดงดังภาพที่ 4-15, 4-16 และ 4-17



ภาพที่ 4-15 ค่า Storage modulus (G') และค่า Loss modulus (G'') ของเจลแป้งข้าวเจ้าที่เติมสาหร่ายเกลียวทองผงร้อยละ 0 (control) ร้อยละ 0.5 (SP0.5) ร้อยละ 1.5 (SP1.5) และร้อยละ 2 (SP2) เมื่อใช้การทดสอบแบบ Amplitude sweep โดยสัญลักษณ์ทึบแสดงค่า G' และสัญลักษณ์โปร่งแสดงค่า G''



ภาพ 4-16 ค่า Storage modulus (G') และค่า Loss modulus (G'') ของเจลแป้งข้าวเจ้าที่เติมสาหร่ายเกลียวทองผงร้อยละ 0 (control) ร้อยละ 0.5 (SP0.5) ร้อยละ 1.5 (SP1.5) และร้อยละ 2 (SP2) เมื่อใช้การทดสอบแบบ Frequency sweep โดยสัญลักษณ์ทึบแสดงค่า G' และสัญลักษณ์โปร่งแสดงค่า G''



ภาพ 4-17 Creep and recovery profile ของเจลแป้งข้าวเจ้าที่เติมสาหร่ายเกลียวทองผงร้อยละ 0 (control) ร้อยละ 0.5 (SP0.5) ร้อยละ 1.5 (SP1.5) และร้อยละ 2 (SP2)

จากผลการวิเคราะห์สมบัติการไหลของเจลแป้งข้าวเจ้าที่เติมสาหร่ายเกลียวทองผงในปริมาณต่างๆ โดยการเตรียมให้เป็นโด (dough) และนำมาทดสอบแบบ Amplitude sweep (ภาพที่ 4-15) พบว่า โดข้าวเจ้าที่เติมสาหร่ายเกลียวทองผงให้ผลที่แตกต่างจากโดข้าวเจ้าที่เติมสาหร่ายผักกาดทะเลผง การเติมสาหร่ายเกลียวทองผงร้อยละ 0.5 ทำให้ค่า Storage modulus (Elastic modulus, G')

และ Loss modulus (Viscous modulus, G'') มีค่าต่ำลง แต่เมื่อเพิ่มปริมาณสาหร่ายเกลียวทองผงเป็นร้อยละ 1.5 และ 2.0 ทำให้ค่า G' เพิ่มขึ้นเล็กน้อยเมื่อเทียบกับตัวอย่างควบคุม แต่ทั้งสองตัวอย่างมีค่า G'' สูงกว่าตัวอย่างควบคุม และผลการทดสอบแบบ frequency sweep (ภาพที่ 4-16) พบว่า โดข้าวเจ้าที่เติมสาหร่ายเกลียวทองผงร้อยละ 0.5 มีค่า Storage modulus (Elastic modulus, G') และ Loss modulus (Viscous modulus, G'') ลดลง ในขณะที่การเพิ่มปริมาณสาหร่ายเกลียวทองผงมีผลทำให้ค่า G' และ G'' เพิ่มขึ้น ซึ่งอาจบ่งชี้ว่าการเติมสาหร่ายเหลียวทองผงที่ระดับต่ำ (ร้อยละ 0.5) ในโดทำให้โครงสร้างร่างแหเกิดการแตกออกมีผลให้ค่า G' และ G'' ลดลง แต่เมื่อเติมสาหร่ายในปริมาณเพิ่มขึ้นอาจช่วยเสริมโครงสร้างของสตาร์ช ทำให้ค่า G' และ G'' เพิ่มขึ้น อย่างไรก็ตามการเพิ่มปริมาณสาหร่ายไม่มีผลต่อ slope ของกราฟ ซึ่งผลการทดสอบแบบ frequency sweep สอดคล้องกับผลการทดสอบแบบ Amplitude sweep

จากผลการทดสอบ Creep and recovery profile ของเจลแป้งข้าวเจ้าที่เติมสาหร่ายเกลียวทองผง (ภาพที่ 4-17) พบว่า เมื่อเติมสาหร่ายเกลียวทองผงร้อยละ 0.5 ค่า Creep compliance มีค่าสูงกว่าตัวอย่างควบคุมแสดงว่าความต้านทานต่อการไหลลดลง แต่เมื่อเติมสาหร่ายเกลียวทองผงร้อยละ 1.5 และ 2.0 มีผลให้ค่า Creep compliance ลดลง แสดงว่าโดข้าวเจ้ามีความต้านทานต่อแรงเค้นมากขึ้น Recovery ของโดที่เติมสาหร่ายร้อยละ 0.5 และ 1.5 มีค่าใกล้เคียงกับตัวอย่างควบคุม แต่ตัวอย่างที่เติมสาหร่ายเกลียวทองผงร้อยละ 2.0 มีค่า G' ต่ำที่สุด

2.1.4 ผลการประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัส

จากการทดสอบทางประสาทสัมผัสของพาสต้าที่เติมสาหร่ายเกลียวทองผงปริมาณต่างๆ โดยใช้ 9-point hedonic scale ได้ผลดังตารางที่ 4-30

ตารางที่ 4-30 คะแนนการทดสอบทางประสาทสัมผัสของพาสต้าข้าวเจ้าที่เติมสาหร่ายเกลียวทองผงในปริมาณต่างๆ

ปริมาณสาหร่าย (ร้อยละโดยน้ำหนักแป้ง)	คะแนนการทดสอบทางประสาทสัมผัส				
	สี	กลิ่น	รสชาติ	เนื้อสัมผัส^{ns}	ความชอบโดยรวม
0	5.96 ^{a} ±1.73	5.20 ^{b} ±1.37	5.90 ^{a} ±1.06	6.33±1.12	6.20 ^{a} ±1.27
0.5	6.13 ^{a} ±1.22	6.23 ^{a} ±1.13	5.90 ^{a} ±0.88	6.20±1.18	6.43 ^{a} ±1.25
1.0	6.63 ^{a} ±1.65	6.33 ^{a} ±1.24	6.00 ^{a} ±0.94	6.40±1.24	6.63 ^{a} ±1.12
1.5	6.00 ^{a} ±0.74	4.86 ^{b} ±1.00	4.43 ^{b} ±1.35	5.93±1.22	5.00 ^{b} ±1.36
2.0	4.86 ^{b} ±1.26	4.70 ^{b} ±1.31	4.70 ^{b} ±1.34	5.98±1.45	3.73 ^{c} ±1.46

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

จากผลการทดสอบทางประสาทสัมผัส พบว่าพาสต้าที่เติมสาหร่ายเกลียวทองผงในปริมาณต่างๆ ได้คะแนนความชอบด้านสีแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) โดยพบว่าพาสต้าที่

เติมสาหร่ายเกลียวทองผงร้อยละ 0-1.5 ได้คะแนนด้านสีอยู่ในช่วง 5.96 - 6.00 คะแนน แสดงถึงความชอบในระดับชอบเล็กน้อย และพาสต้าที่เติมสาหร่ายเกลียวทองผลร้อยละ 2 ได้คะแนนความชอบด้านสีน้อยที่สุด (4.86 คะแนน) แสดงถึงผู้ทดสอบไม่ชอบเล็กน้อย โดยผู้ทดสอบให้ความเห็นว่าเส้นพาสต้ามีสีเขียวคล้ำมากเกินไป ไม่น่ารับประทาน

ผลการทดสอบด้านกลิ่น พบว่าพาสต้าที่เติมสาหร่ายเกลียวทองผงร้อยละ 0.5 และ 1 ได้คะแนนความชอบสูงที่สุด โดยมีคะแนนอยู่ในช่วง 6.23 – 6.33 คะแนน ซึ่งแสดงถึงระดับความชอบเล็กน้อย พาสต้าที่เติมสาหร่ายเกลียวทองผงร้อยละ 0, 1.5 และ 2 ได้คะแนนความชอบด้านกลิ่นไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) ซึ่งคะแนนอยู่ในช่วง 4.70 – 5.20 คะแนน ซึ่งแสดงถึงระดับความชอบในช่วงไม่ชอบเล็กน้อยถึงเฉยๆ โดยคะแนนความชอบด้านกลิ่นของพาสต้าที่เติมสาหร่ายในปริมาณเพิ่มขึ้นมีแนวโน้มลดลง โดยผู้ทดสอบให้ความคิดเห็นว่าผลิตภัณฑ์มีกลิ่นสาหร่ายมาก เมื่อใช้ปริมาณสาหร่ายเกลียวทองผงเพิ่มขึ้น ทำให้ผลิตภัณฑ์พาสต้ามีกลิ่นสาหร่ายเพิ่มขึ้น จึงทำให้คะแนนความชอบด้านกลิ่นลดลง

ผลการทดสอบด้านรสชาติ พบว่าพาสต้าที่เติมสาหร่ายเกลียวทองผงร้อยละ 0, 0.5 และ 1 ได้คะแนนด้านรสชาติไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) ซึ่งคะแนนอยู่ในช่วง 5.90 – 6.00 คะแนน แสดงถึงระดับความชอบเล็กน้อย โดยพาสต้าที่เติมสาหร่ายเกลียวทองผงในปริมาณเพิ่มขึ้น (ร้อยละ 1.5 และ 2) ได้คะแนนต่ำกว่าตัวอย่างอื่นๆ โดยอยู่ในระดับไม่ชอบเล็กน้อย

ผลการทดสอบด้านเนื้อสัมผัส พบว่าพาสต้าที่เติมสาหร่ายเกลียวทองผงทุกตัวอย่างได้คะแนนด้านเนื้อสัมผัสไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) ซึ่งคะแนนอยู่ในช่วง 5.93 – 6.40 คะแนน แสดงถึงระดับความชอบในช่วงเฉยๆถึงชอบเล็กน้อย

ผลการทดสอบด้านความชอบโดยรวม พบว่าเมื่อเติมสาหร่ายเกลียวทองผงในปริมาณเพิ่มขึ้นมีผลให้คะแนนความชอบโดยรวมลดลง โดยพาสต้าที่เติมสาหร่ายเกลียวทองผงร้อยละ 1 ได้คะแนนมากที่สุด (6.63 คะแนน) ซึ่งอยู่ในระดับชอบเล็กน้อย และพาสต้าที่เติมสาหร่ายร้อยละ 0, 0.5 และ 1 ได้คะแนนความชอบโดยรวมไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$)

เมื่อพิจารณาจากผลการทดลองทางประสาทสัมผัส คะแนนความชอบโดยรวม และผลการวัดลักษณะเนื้อสัมผัส พบว่าพาสต้าที่เติมสาหร่ายเกลียวทองผงปริมาณร้อยละ 1 ได้คะแนนการทดสอบความชอบโดยรวมสูงสุด ดังนั้นจึงเลือกตัวอย่างนี้ไปศึกษาในขั้นตอนต่อไป

2.2 ผลการศึกษาปริมาณความชื้นของส่วนผสมที่เหมาะสมในการผลิตพาสต้า

จากการวิเคราะห์คุณภาพของพาสต้าที่เติมสาหร่ายเกลียวทองผงร้อยละ 1 ที่ใช้ปริมาณความชื้นของส่วนผสมร้อยละ 27 30 และ 33 ได้ผลดังนี้

2.2.1 ผลการวิเคราะห์คุณภาพของพาสต้าหลังการต้ม

จากการวิเคราะห์คุณภาพหลังการต้มของพาสต้าเติมสาหร่ายเกลียวทองผงร้อยละ 1 ที่ใช้ปริมาณความชื้นของส่วนผสมระดับต่างๆ ได้ผลดังตารางที่ 4-31

ตารางที่ 4-31 คุณภาพหลังการต้มของพาสต้าข้าวเจ้าเสริมสาหร่ายเกลียวทองผง ที่ใช้ปริมาณความชื้นของส่วนผสมระดับต่างๆ

ปริมาณความชื้นของส่วนผสม (ร้อยละโดยน้ำหนักแป้ง)	คุณภาพหลังการต้ม		
	เวลาที่เหมาะสมในการต้มพาสต้าให้สุก (นาที)	ปริมาณของแข็งที่สูญเสียระหว่างการต้ม (ร้อยละ)	น้ำหนักที่ได้หลังการต้ม (ร้อยละ) [ns]
27	26.5	19.03[b] ± 2.01	201.15 ± 26.74
30	16.5	20.87[b] ± 0.46	207.44 ± 16.35
33	13.5	24.65[a] ± 0.37	212.98 ± 7.57

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

จากผลการทดลองพบว่าเมื่อปริมาณความชื้นของส่วนผสมเพิ่มขึ้น ทำให้เวลาที่เหมาะสมในการต้มสุก (Cooking time) ลดลง แต่ปริมาณของแข็งที่สูญเสียในระหว่างการต้มเพิ่มขึ้น ทั้งนี้อาจเป็นผลมาจากการใช้ปริมาณความชื้นที่สูงขึ้นทำให้ความหนืดของส่วนผสมลดลง ส่วนผสมจึงใช้เวลาในเครื่องเอกซ์ทรูเดอร์ลดลง และถูกอัดออกมาที่รูหน้าแปลนได้ง่ายขึ้น ทำให้เกิดแรงเฉือนจากกระบวนการเอกซ์ทรูชันที่ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของส่วนผสมและการเกิดเจลของสตาร์ชลดลง โครงสร้างของเส้นพาสต้าจึงไม่แข็งแรง มีผลให้ปริมาณของแข็งที่สูญเสียในระหว่างการต้มเพิ่มขึ้น ส่วนน้ำหนักที่ได้หลังการต้มของพาสต้าทุกตัวอย่างไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$)

2.2.2 ผลการวัดค่าสี

เมื่อนำพาสต้าแป้งข้าวเจ้าเติมสาหร่ายเกลียวทองผงร้อยละ 1 ที่ใช้ปริมาณความชื้นของส่วนผสมระดับต่างๆ ที่ผ่านการอบแห้งและผ่านการต้มสุกซึ่งมีลักษณะดังภาพ 4-18 และ 4-19 มาวัดค่าสีได้ผลดังตารางที่ 4-32 และ 4-33 พบว่าปริมาณความชื้นของส่วนผสมไม่มีผลต่อค่าความสว่าง (L*) ค่าความเป็นสีแดง-เขียว (a*) และความเป็นสีเหลือง-น้ำเงิน (b*) ของพาสต้าข้าวเจ้าที่เติมสาหร่ายเกลียวทองผงแบบอบแห้ง (ตารางที่ 4-32) แต่มีผลทำให้ค่าสี (L*, a*, b*) ของพาสต้าต้มสุกลดลงเมื่อปริมาณความชื้นเพิ่มขึ้น (ตารางที่ 4-33) แต่พาสต้าต้มสุกมีค่าความสว่าง (L*) ค่าความเป็นสีเหลือง-น้ำเงิน (b*) สูงกว่าพาสต้าอบแห้ง อาจเกิดจากการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของเส้นพาสต้าที่ผ่านการต้มสุก จากการที่สตาร์ชดูดซึมน้ำเข้าสู่โครงสร้างของเส้น ทำให้แสงจากเครื่องวัดค่าสีที่ตกกระทบกับวัตถุเปลี่ยนแปลงไป ค่าสีที่วัดได้จึงแตกต่างกัน

27 %

30 %

33 %

ภาพที่ 4-18 พาสต้าข้าวเจ้าเสริมสาหร่ายเกลียวทองผงที่ใช้ปริมาณความชื้นของส่วนผสมระดับต่างๆ ที่ผ่านการอบแห้ง

27 %

30 %

33 %

ภาพที่ 4-19 พาสต้าข้าวเจ้าเสริมสาหร่ายเกลียวทองผงที่ใช้ปริมาณความชื้นของส่วนผสมระดับต่างๆ ที่ผ่านการต้มสุก

ตารางที่ 4-32 ค่าสีของพาสต้าข้าวเจ้าเสริมสาหร่ายเกลียวทองผงที่ใช้ปริมาณความชื้นของส่วนผสมระดับต่างๆ ที่ผ่านการอบแห้ง

ปริมาณความชื้นของส่วนผสม (ร้อยละโดยน้ำหนักแป้ง)	ค่าสี		
	L* [ns]	a* [ns]	b* [ns]
27	28.33 ± 2.96	1.79 ± 1.32	5.11 ± 4.84
30	28.02 ± 2.48	2.41 ± 0.61	4.73 ± 1.91
33	28.05 ± 1.97	2.47 ± 0.40	6.19 ± 1.72

[ns] หมายถึง ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$)

ตารางที่ 4-33 ค่าสีของพาสต้าข้าวเจ้าเสริมสาหร่ายเกลียวทองผงที่ใช้ปริมาณความชื้นของส่วนผสมระดับต่างๆ ที่ผ่านการต้มสุก

ปริมาณความชื้นของส่วนผสม (ร้อยละโดยน้ำหนักแป้ง)	ค่าสี		
	L*	a*	b*
27	39.09 [a] ± 1.70	2.12 [a] ± 0.44	14.28 [a] ± 2.68
30	39.79 [a] ± 0.51	1.20 [b] ± 0.20	8.99 [b] ± 1.21
33	35.19 [b] ± 3.71	1.69 [c] ± 0.13	9.85 [c] ± 2.31

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

2.2.3 ผลการวิเคราะห์ลักษณะเนื้อสัมผัส

เมื่อนำพาสต้าแป้งข้าวเจ้าเสริมสาหร่ายเกลียวทองผงที่ใช้ปริมาณความชื้นของส่วนผสมระดับต่างๆ ที่ผ่านการต้มสุกมาวัดลักษณะเนื้อสัมผัส ได้ผลดังตารางที่ 4-34 พบว่าพาสต้ามีค่าความต้านทานต่อการดึงขาดและค่าความแน่นเนื้อลดลงเมื่อความชื้นของส่วนผสมเพิ่มขึ้น แต่มีค่าการยึดเกาะที่ผิวหน้าเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) อาจเนื่องจากปริมาณความชื้นของส่วนผสมที่เพิ่มขึ้น มีผลทำให้การเปลี่ยนแปลงโครงสร้างและการเกิดเจลของสตาร์ชลดลง โครงสร้างของเส้นพาสต้าจึงไม่แข็งแรง เมื่อนำเส้นพาสต้าไปต้มจึงทำให้สตาร์ชที่ผิวของผลิตภัณฑ์หลุดออกมาทำให้ค่าการยึดเกาะที่ผิวหน้ามีค่ามากกว่าเส้นพาสต้าที่มีความชื้นของส่วนผสมต่ำกว่า ซึ่งผลที่ได้สอดคล้องกับค่าปริมาณของแข็งที่สูญเสียที่เพิ่มขึ้นด้วย

ตารางที่ 4-34 ลักษณะเนื้อสัมผัสของพาสต้าข้าวเจ้าเสริมสาหร่ายเกลียวทองผงที่ใช้ปริมาณความชื้นของส่วนผสมระดับต่างๆ

ปริมาณความชื้นของส่วนผสม (ร้อยละโดยน้ำหนักแป้ง)	ลักษณะเนื้อสัมผัส		
	ค่าความต้านทานต่อการดึงขาด (g force)	ค่าความแน่นเนื้อ (g force)	ค่าการยึดเกาะที่ผิวหน้า (g force. s)
27	24.42 [a] ± 3.59	970.11 [a] ± 23.75	3.34 [b] ± 0.37
30	22.31 [a] ± 9.56	986.33 [a] ± 43.12	4.76 [a] ± 1.31
33	13.11 [a] ± 8.41	467.86 [b] ± 89.05	5.41 [a] ± 2.90

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

2.2.4 ผลการประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัส

เมื่อของพาสต้าข้าวเจ้าเสริมสาหร่ายเกลียวทองผงที่ใช้ปริมาณความชื้นของส่วนผสมระดับต่างๆ ที่ผ่านการต้มสุกมาทดสอบทางประสาทสัมผัส ได้ผลดังตารางที่ 4-35

ตารางที่ 4-35 คะแนนการทดสอบทางประสาทสัมผัสของพาสต้าข้าวเจ้าเสริมสาหร่ายเกลียวทองผงที่ใช้ปริมาณความชื้นของส่วนผสมระดับต่างๆ

ปริมาณความชื้นของส่วนผสม (ร้อยละโดยน้ำหนักแป้ง)	คะแนนการทดสอบทางประสาทสัมผัส				
	สี	กลิ่น [ns]	รสชาติ	เนื้อสัมผัส	ความชอบโดยรวม
27	5.46 [b] ±1.07	5.70 ± 1.31	5.40 [b] ± 1.00	5.30 [b] ± 1.26	5.40 [c] ± 1.19
30	6.83 [a] ±1.17	6.13 ± 1.12	6.20 [a] ± 0.99	6.70 [a] ± 1.36	7.36 [a] ± 0.71
33	7.00 [a] ±1.38	6.20 ± 1.07	6.63 [a] ± 1.24	6.06 [a] ± 1.48	6.16 [b] ± 1.23

[a,b,c,...] หมายถึง ตัวเลขที่มีอักษรกำกับแตกต่างกันตามแนวตั้งมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$)

[ns] หมายถึง ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$)

จากผลการทดสอบทางประสาทสัมผัส พบว่าเส้นพาสต้าที่เตรียมโดยใช้ความชื้นของส่วนผสมร้อยละ 30 และ 33 ได้คะแนนความชอบในด้านสี กลิ่น รสชาติ และเนื้อสัมผัสไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ และได้คะแนนสูงกว่าพาสต้าที่เตรียมโดยใช้ปริมาณความชื้นของส่วนผสมร้อยละ 27 โดยพาสต้าที่เตรียมโดยใช้ความชื้นของส่วนผสมร้อยละ 30 ได้คะแนนความชอบโดยรวมสูงที่สุดในระดับชอบปานกลาง ดังนั้นจึงเลือกตัวอย่างนี้ไปศึกษาในขั้นตอนต่อไป

3. ผลการพัฒนากระบวนการผลิตพาสต้าโดยศึกษาอุณหภูมิของเครื่องเอกซ์ทรูเดอร์ที่เหมาะสม

จากการวิเคราะห์คุณภาพหลังการต้มของพาสต้าข้าวเจ้าที่เติมสาหร่ายเกลียวทองผงร้อยละ 1 โดยใช้ปริมาณความชื้นของส่วนผสมร้อยละ 30 และใช้อุณหภูมิของเครื่องเอกซ์ทรูเดอร์ที่ระดับต่างๆ (70 80 90 และ 100 $^{\circ}$ C) ได้ผลการวิเคราะห์คุณภาพหลังการต้ม ค่าสี ลักษณะเนื้อสัมผัส และการทดสอบทางประสาทสัมผัส ดังนี้

3.1 ผลการวิเคราะห์คุณภาพของพาสต้าหลังการต้ม

จากการวิเคราะห์คุณภาพหลังการต้มของพาสต้าข้าวเจ้าเสริมสาหร่ายเกลียวทองผงที่เตรียมโดยใช้อุณหภูมิของเครื่องเอกซ์ทรูเดอร์ระดับต่างๆ ได้ผลดังตารางที่ 4-36

ตารางที่ 4-36 คุณภาพหลังการต้มของพาสต้าข้าวเจ้าเสริมสาหร่ายเกลียวทองผงที่เตรียมโดยใช้อุณหภูมิของเครื่องเอกซ์ทรูเดอร์ระดับต่างๆ

อุณหภูมิของเครื่องเอกซ์ทรูเดอร์ ($^{\circ}$ C)	เวลาที่เหมาะสมในการต้มพาสต้าให้สุก (นาที)	ปริมาณของแข็งที่สูญเสียระหว่างการต้ม (ร้อยละ)	น้ำหนักที่ได้หลังการต้ม (ร้อยละ)
70	16.0	$18.72^{a} \pm 6.29$	$146.02^{b} \pm 23.12$
80	16.0	$18.17^{a} \pm 7.19$	$148.72^{b} \pm 22.11$
90	13.5	$20.43^{b} \pm 5.28$	$236.16^{a} \pm 12.71$
100	9.0	$24.22^{b} \pm 7.81$	$239.61^{a} \pm 12.03$

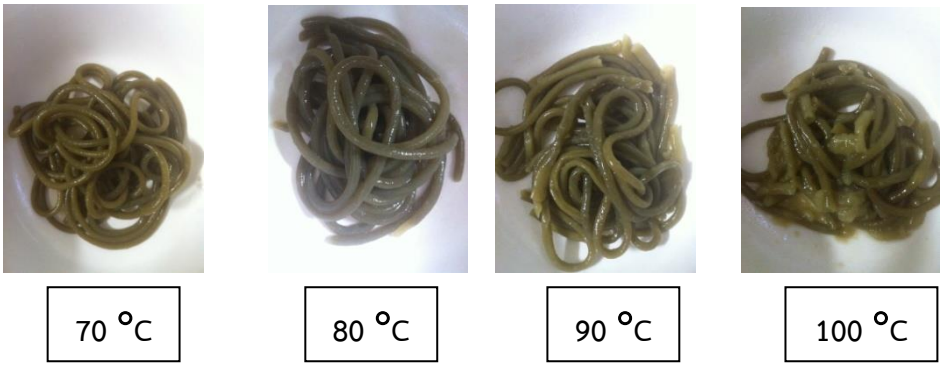
$^{a,b,c,...}$ หมายถึง ตัวเลขที่มีอักษรกำกับแตกต่างกันตามแนวตั้งมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)
^{ns} หมายถึง ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \geq 0.05$)

จากการทดลองพบว่าเมื่ออุณหภูมิของเครื่องเอกซ์ทรูดเดอร์ (Heater 1) เพิ่มขึ้นทำให้เวลาที่เหมาะสมในการต้มสุกลดลง แต่ปริมาณของแข็งที่สูญเสียระหว่างการต้ม และน้ำหนักที่ได้หลังการต้มเพิ่มขึ้น โดยพาสต้าที่เตรียมโดยใช้อุณหภูมิ 70 และ 80 $^{\circ}$ C มีปริมาณของแข็งที่สูญเสียระหว่างการต้มและน้ำหนักที่ได้หลังการต้มไม่แตกต่างกัน และใช้เวลาที่เหมาะสมในการต้มสุกนานกว่าพาสต้าที่เตรียมโดยใช้อุณหภูมิ 90 และ 100 $^{\circ}$ C อาจเนื่องจากเมื่อใช้อุณหภูมิเพิ่มขึ้นมีผลทำให้ลักษณะเส้นพาสต้าที่ได้มีการพองตัวเพิ่มขึ้น ทำให้เส้นพาสต้าสามารถดูดซึมน้ำได้เร็วขึ้น ระยะเวลาที่เหมาะสมในการต้มสุกจึงมีค่าลดลง ซึ่งสอดคล้องผลการเตรียมพาสต้าข้าวเจ้าเสริมสาหร่ายผักกาดทะเลผงดังที่ได้อธิบายมาแล้ว

3.2 ผลการวัดค่าสี

เมื่อนำพาสต้าแป้งข้าวเจ้าเสริมสาหร่ายเกลียวทองผงที่ใช้อุณหภูมิของเครื่องเอกซ์ทรูดเดอร์ (Heater 1) ระดับต่างๆ ที่ผ่านการอบแห้งและผ่านการต้มสุกซึ่งมีลักษณะดังภาพ 4-20 และ 4-21 มาวัดค่าสีได้ผลดังตารางที่ 4-37 และ 4-38

ภาพที่ 4-20 พาสต้าข้าวเจ้าเสริมสาหร่ายเกลียวทองผงที่เตรียมโดยใช้อุณหภูมิของเครื่องเอกซ์ทรูเดอร์ระดับต่างๆ ที่ผ่านการอบแห้ง



ภาพที่ 4-21 พาสต้าข้าวเจ้าเสริมสาหร่ายเกลียวทองผงที่เตรียมโดยใช้อุณหภูมิของเครื่องเอกซ์ทรูเดอร์ระดับต่างๆ ที่ผ่านการต้มสุก

ตารางที่ 4-37 ค่าสีของพาสต้าข้าวเจ้าเสริมสาหร่ายเกลียวทองผงที่เตรียมโดยใช้อุณหภูมิของเครื่องเอกซ์ทรูเดอร์ระดับต่างๆ ที่ผ่านการอบแห้ง

อุณหภูมิของเครื่องเอกซทรูเดอร์ (^{O} C)	ค่าสี		
	L*	a*	b*
70	32.75 ^{b} ± 1.67	2.75 ^{b} ± 0.84	12.26 ^{a} ± 4.51
80	39.89 ^{a} ± 1.17	3.09 ^{b} ± 1.29	8.54 ^{b} ± 5.14
90	40.36 ^{a} ± 3.33	3.65 ^{b} ± 0.70	7.41 ^{b} ± 3.83
100	41.68 ^{a} ± 2.44	4.68 ^{a} ± 0.37	6.84 ^{b} ± 2.35

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

ตารางที่ 4-38 ค่าสีของพาสต้าข้าวเจ้าเสริมสาหร่ายเกลียวทองผงที่เตรียมโดยใช้อุณหภูมิของเครื่องเอกซ์ทรูเดอร์ระดับต่างๆ ที่ผ่านการต้มสุก

อุณหภูมิของเครื่องเอกซทรูเดอร์ (^{O} C)	ค่าสี		
	L*	a*	b*
70	38.71 ^{bc} ± 4.85	2.70 ^{a} ± 0.37	11.69 ^{a} ± 1.62
80	41.34 ^{b} ± 4.77	2.11 ^{b} ± 0.20	8.54 ^{b} ± 1.43
90	42.56 ^{b} ± 1.77	1.78 ^{c} ± 0.27	8.47 ^{b} ± 0.41
100	45.26 ^{a} ± 2.82	1.80 ^{c} ± 0.21	7.84 ^{b} ± 3.38

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

จากผลการวัดค่าสี พบว่าเมื่ออุณหภูมิของเครื่องเอกซทรูเดอร์ (Heater 1) เพิ่มขึ้นมีผลทำให้ค่าความสว่าง (L*) ค่าความเป็นสีแดง-เขียว (a*) ของพาสต้าอบแห้งเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) แต่ค่าความเป็นสีเหลือง-น้ำเงิน (b*) ลดลง ซึ่งอาจเป็นผลมาจากการเพิ่มระดับของอุณหภูมิ ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของคลอโรฟิลล์เป็นฟีโอไฟติน (Pheophytin) ที่มีสีน้ำตาล (Olive brown) (นิธิยา รัตนาปนนท์, 2549) ในขณะที่พาสต้าต้มสุกมีค่า a* และ b* ลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

3.3 ผลการวิเคราะห์ลักษณะเนื้อสัมผัส

เมื่อนำพาสต้าข้าวเจ้าเสริมสาหร่ายเกลียวทองผงที่เตรียมโดยใช้อุณหภูมิของเครื่องเอกซ์ทรูเดอร์ระดับต่างๆที่ผ่านการต้มสุกมาวิเคราะห์ลักษณะเนื้อสัมผัสได้ผลดังตารางที่ 4-39

ตารางที่ 4-39 ลักษณะเนื้อสัมผัสของพาสต้าข้าวเจ้าเสริมสาหร่ายเกลียวทองผงที่เตรียมโดยใช้อุณหภูมิของเครื่องเอกซ์ทรูเดอร์ระดับต่างๆ

อุณหภูมิของเครื่องเอกซ์ทรูเดอร์ ($^{\circ}$C)	ลักษณะเนื้อสัมผัส		
	ค่าความต้านทานต่อการดึงขาด (g force)	ค่าความแน่นเนื้อ (g force)	ค่าการยึดเกาะที่ผิวหน้า (g force. s)
70	25.00 ^{a} ± 10.23	1116.60 ^{a} ± 94.03	11.24 ^{a} ± 2.70
80	24.26 ^{a} ± 3.77	936.32 ^{b} ± 20.28	7.84 ^{b} ± 0.67
90	13.32 ^{b} ± 1.72	750.22 ^{c} ± 52.18	7.43 ^{b} ± 0.93
100	-	472.18 ^{d} ± 34.19	10.91 ^{b} ± 0.73

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

จากผลการวิเคราะห์ลักษณะเนื้อสัมผัส พบว่าเมื่ออุณหภูมิของเครื่องเอกซ์ทรูเดอร์ (Heater 1) เพิ่มขึ้น ค่าความต้านทานต่อการดึงขาดและค่าความแน่นเนื้อมีค่าลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) เนื่องจากเส้นพาสต้าที่เตรียมโดยใช้อุณหภูมิของเครื่องเอกซ์ทรูเดอร์เพิ่มขึ้นมีลักษณะของเส้นพาสต้าที่พองตัวมากผิวนอกเปื่อยยุ่ยและขาดง่ายหลังการต้ม ทำให้ค่าความต้านทานต่อการดึงขาดและความแน่นเนื้อลดลง แต่มีค่าการยึดเกาะที่ผิวหน้ามีค่าเพิ่มขึ้น

3.4 ผลการประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัส

จากการทดสอบทางด้านประสาทสัมผัสของพาสต้าข้าวเจ้าเสริมสาหร่ายเกลียวทองผงที่เตรียมโดยใช้อุณหภูมิของเครื่องเอกซ์ทรูเดอร์ระดับต่างๆ โดยใช้ 9-point hedonic scale ได้ผลดังตารางที่ 4-40 พบว่าพาสต้าที่เตรียมโดยใช้อุณหภูมิของเครื่องเอกซ์ทรูเดอร์ 70 และ 80 $^{\circ}$C ได้คะแนนความชอบในด้านสี กลิ่น รสชาติ และลักษณะเนื้อสัมผัสไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แต่พาสต้าที่เตรียมโดยใช้อุณหภูมิของเครื่องเอกซ์ทรูเดอร์ 70 $^{\circ}$C ได้คะแนนความชอบโดยรวมสูงที่สุดในระดับชอบปานกลาง นอกจากนี้พาสต้าทั้งสองตัวอย่างยังได้คะแนนความชอบทุกด้านสูงกว่าพาสต้าที่เตรียมโดยใช้อุณหภูมิของเครื่องเอกซ์ทรูเดอร์ 90 และ 100 $^{\circ}$C ซึ่งพาสต้าที่ใช้อุณหภูมิของเครื่องเอกซ์ทรูเดอร์ 100 $^{\circ}$C ได้คะแนนในทุกด้านต่ำที่สุด อาจเป็นผลมาจากลักษณะของเส้นพาสต้าหลังการต้ม มีลักษณะเปื่อยยุ่ยและขาดง่าย ซึ่งเป็นลักษณะผลิตภัณฑ์ที่ผู้ทดสอบไม่ยอมรับ ดังนั้น จึงเลือกตัวอย่างนี้ไปศึกษาในขั้นตอนต่อไป

ตารางที่ 4-40 คะแนนการทดสอบทางประสาทสัมผัสของพาสต้าข้าวเจ้าเสริมสาหร่ายเกลียวทองผงที่เตรียมโดยใช้อุณหภูมิของเครื่องเอกซ์ทรูเดอร์ระดับต่างๆ

อุณหภูมิของเครื่องเอกซ์ทรูเดอร์ (^{O} C)	คะแนนการทดสอบทางประสาทสัมผัส				
	สี	กลิ่น	รสชาติ	เนื้อสัมผัส	ความชอบโดยรวม
70	6.96 ^{a} ±0.85	6.53 ^{a} ±1.27	7.30 ^{a} ±0.75	7.50 ^{a} ±0.88	7.73 ^{a} ±0.90
80	7.50 ^{a} ±0.68	6.66 ^{a} ±1.24	6.90 ^{a} ±0.98	6.95 ^{a} ±1.35	6.93 ^{b} ±0.78
90	6.56 ^{b} ±1.19	6.86 ^{a} ±1.47	5.86 ^{b} ±0.93	5.50 ^{b} ±1.25	5.86 ^{c} ±0.97
100	5.30 ^{c} ±1.41	6.26 ^{a} ±1.20	4.86 ^{c} ±1.47	4.23 ^{c} ±1.54	4.23 ^{d} ±1.16

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

4. ผลการเปรียบเทียบคุณภาพทางเคมี กายภาพ และลักษณะทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์พาสต้าข้าวเจ้าเสริมสาหร่ายเกลียวทองผงกับผลิตภัณฑ์พาสต้าทางการค้า

จากการศึกษาคุณภาพของพาสต้าข้าวเจ้าเสริมสาหร่ายเกลียวทองผง เปรียบเทียบกับพาสต้าจากข้าวเจ้าและพาสต้าจากข้าวสาลีทางการค้าได้ผลดังนี้

4.1 ผลการวิเคราะห์คุณภาพของพาสต้าหลังการต้ม

จากการวิเคราะห์คุณภาพหลังต้มของพาสต้าข้าวเจ้าเสริมสาหร่ายเกลียวทองผงเปรียบเทียบกับพาสต้าข้าวเจ้าและพาสต้าข้าวสาลีทางการค้า ได้ผลดังตารางที่ 4-41 พบว่าพาสต้าแต่ละตัวอย่างใช้เวลาในการต้มสุก ปริมาณของแข็งที่สูญเสียระหว่างการต้ม และน้ำหนักที่ได้หลังการต้มแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยพาสต้าข้าวสาลีทางการค้าใช้เวลาในการต้มเร็วกว่า และมีปริมาณของแข็งที่สูญเสียในระหว่างการต้มน้อยกว่าพาสต้าข้าวเจ้าเสริมสาหร่ายเกลียวทองผงและพาสต้าข้าวเจ้า ทั้งนี้อาจเนื่องจากองค์ประกอบทางเคมีและสมบัติทางเคมีกายภาพของวัตถุดิบ กระบวนการผลิตตลอดจนขนาดของเส้นที่แตกต่างกัน ซึ่งสอดคล้องกับผลการศึกษาการพัฒนาผลิตภัณฑ์พาสต้าข้าวเจ้าเสริมสาหร่ายผักกาดทะเลผง

ตารางที่ 4-41 คุณภาพหลังการต้มของพาสต้าข้าวเจ้าเสริมสาหร่ายเกลียวทองผง พาสต้าข้าวเจ้าและพาสต้าข้าวสาลีทางการค้า

ตัวอย่างพาสต้า	คุณภาพหลังการต้ม		
	เวลาที่ใช้ในการต้ม (นาที)	ปริมาณของแข็งที่สูญเสียระหว่างการต้ม (ร้อยละ)	น้ำหนักหลังการต้ม (ร้อยละ)
พาสต้าข้าวเจ้าเสริมสาหร่ายเกลียวทองผง	16.0	$18.72^{a} \pm 6.29$	$146.02^{c} \pm 23.12$
พาสต้าข้าวเจ้า	19.0	$10.57^{b} \pm 1.41$	$254.77^{b} \pm 6.10$
พาสต้าข้าวสาลีทางการค้า	11.5	$5.92^{c} \pm 0.10$	$259.34^{a} \pm 12.51$

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

4.2 ผลการวิเคราะห์ลักษณะเนื้อสัมผัส

จากการศึกษาลักษณะเนื้อสัมผัสของพาสต้าข้าวเจ้าเสริมสาหร่ายเกลียวผง เปรียบเทียบกับพาสต้าจากข้าวเจ้าและพาสต้าจากข้าวสาลีทางการค้า ได้ผลการวิเคราะห์ดังตารางที่ 4-42 พบว่าพาสต้าข้าวสาลีทางการค้ามีค่าความต้านทานต่อการดึงขาดสูงกว่าพาสต้าข้าวเจ้าเสริมสาหร่ายเกลียวทองผง และพาสต้าข้าวเจ้า เนื่องจากข้าวสาลีมีประกอบด้วยโปรตีนกลูเตนซึ่งเมื่อผสมกับน้ำทำให้เกิดโดที่มีความเหนียวและยืดหยุ่นและให้ลักษณะของเส้นพาสต้าที่มีความเหนียวและยืดหยุ่น ทำให้มีค่าแรงต้านทานในการดึงขาดสูงกว่าตัวอย่างอื่นๆ พาสต้าข้าวเจ้า และพาสต้าข้าวเจ้าเสริมสาหร่ายผักกาดทะเลผงมีค่าความแน่นเนื้อสูงกว่าพาสต้าข้าวสาลีทางการค้า ส่วนค่าการยึดเกาะที่ผิวหน้าของพาสต้าข้าวสาลีทางการค้ามีค่าต่ำกว่าพาสต้าข้าวเจ้าเสริมสาหร่ายผักกาดทะเลผงและพาสต้าข้าวเจ้าแสดงว่ามีสตาร์ชที่ผิวหน้าน้อยกว่า สอดคล้องกับผลการวิเคราะห์ปริมาณของแข็งที่สูญเสียในระหว่างการต้มที่ต่ำกว่า

ตารางที่ 4-42 ลักษณะเนื้อสัมผัสของพาสต้าข้าวเจ้าเสริมสาหร่ายเกลียวผง พาสต้าข้าวเจ้าและพาสต้าข้าวสาลีทางการค้า

ตัวอย่างพาสต้า	ลักษณะเนื้อสัมผัส		
	ค่าความต้านทานต่อการดึงขาด (g force)	ค่าความแน่นเนื้อ (g force)	ค่าการยึดเกาะที่ผิวหน้า (g force. s)
พาสต้าข้าวเจ้าเสริมสาหร่ายเกลียวทองผง	25.00^{c} ± 10.23	1116.60^{b} ± 94.03	11.24^{a} ± 2.70
พาสต้าข้าวเจ้า	33.38^{b} ± 3.68	1603.04^{a} ± 111.85	5.21^{b} ± 0.59
พาสต้าข้าวสาลีทางการค้า	35.95^{a} ± 1.52	650.92^{c} ± 15.78	0.24^{c} ± 0.01

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

4.3 ผลการประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัส

จากการทดสอบทางประสาทสัมผัสของพาสต้าเสริมสาหร่ายเกลียวทองผง พาสต้าข้าวเจ้าและพาสต้าข้าวสาลีทางการค้า โดยใช้ 9-point hedonic scale ได้ผลดังตารางที่ 4-43

ตารางที่ 4-43 คะแนนการทดสอบทางประสาทสัมผัสของพาสต้าข้าวเจ้าเสริมสาหร่ายเกลียวทองผง พาสต้าข้าวเจ้า และพาสต้าข้าวสาลีทางการค้า

ตัวอย่างพาสต้า	คุณภาพทางประสาทสัมผัส				
	สี	กลิ่น	รสชาติ	เนื้อสัมผัส	ความชอบโดยรวม
พาสต้าข้าวเจ้าเสริมสาหร่ายเกลียวทองผง	6.02^{b} ± 0.76	6.32^{a} ± 1.42	6.08^{a} ± 1.05	6.50^{b} ± 1.05	6.12^{b} ± 0.62
พาสต้าข้าวเจ้า	3.73^{c} ± 2.56	4.43^{b} ± 2.28	4.63^{b} ± 2.12	7.10^{a} ± 1.70	5.53^{b} ± 2.08
พาสต้าข้าวสาลีทางการค้า	7.73^{a} ± 0.74	5.50^{a} ± 0.68	5.27^{a} ± 0.52	7.67^{a} ± 0.48	7.60^{a} ± 0.56

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

จากผลการทดสอบทางประสาทสัมผัสพบว่าพาสต้าข้าวเจ้าเสริมสาหร่ายเกลียวทองผง ได้คะแนนความชอบด้านกลิ่นและรสชาติไม่แตกต่างจากพาสต้าข้าวสาลีทางการค้าอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แต่ได้คะแนนด้านเนื้อสัมผัสและความชอบโดยรวมรองจากพาสต้าข้าวสาลีทางการค้า โดยอยู่ในระดับชอบเล็กน้อย ส่วนพาสต้าข้าวเจ้าได้คะแนนความชอบโดยรวมน้อยที่สุด

4.4 ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี

จากการศึกษาองค์ประกอบทางเคมีของพาสต้าข้าวเจ้าเสริมสาหร่ายเกลียวทองผง เปรียบเทียบกับพาสต้าจากข้าวเจ้าและพาสต้าจากข้าวสาลีทางการค้า ได้ผลดังตารางที่ 4-44

ตารางที่ 4-44 องค์ประกอบทางเคมีของพาสต้าข้าวเจ้าเสริมสาหร่ายเกลียวทองผง พาสต้าข้าวเจ้า และพาสต้าข้าวสาลีทางการค้า

องค์ประกอบทางเคมี	ค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน		
	พาสต้าข้าวเจ้าเสริมสาหร่ายเกลียวทองผง	พาสต้าข้าวเจ้า	พาสต้าข้าวสาลีทางการค้า
ความชื้น (%)	4.39 ± 0.26	11.81 ± 0.15	5.33 ± 0.23
โปรตีน (% db)	7.42 ± 0.02	6.48 ± 0.01	11.06 ± 0.14
เถ้า (% db)	6.48 ± 0.67	0.30 ± 0.04	0.86 ± 0.07
ไขมัน (% db)	0.06 ± 0.01	0.96 ± 0.64	0.04 ± 0.01
ใยอาหารรวม (% db)	12.73 ± 0.56	7.72 ± 0.61	10.74 ± 2.14
คาร์โบไฮเดรต (% db)	74.09 ± 0.03	92.26 ± 0.05	88.04 ± 0.10
สารประกอบฟีนอลิก (mg/100 g)	1.76 ± 0.02	-	-
ความสามารถในการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระ (%)	19.84 ± 0.34	-	-
แคลเซียม (mg/100 g)	3.28 ± 0.10	-	-
ไอโอดีน (mg / 1000 g)	8.28 ± 0.67	-	-
เบต้า-แคโรทีน (mg/100 g)	161.53 ± 2.69	-	-
ไฟโคไซยานิน (g/l)	0.03 ± 0.01	-	-

%db ร้อยละโดยน้ำหนักแห้ง

- หมายถึง ไม่ได้วิเคราะห์

เมื่อพิจารณาองค์ประกอบทางเคมีของพาสต้าข้าวเจ้าเสริมสาหร่ายเกลียวทองผง เปรียบเทียบกับพาสต้าข้าวเจ้าและพาสต้าข้าวสาลีทางการค้า (ตารางที่ 4-44) พบว่าพาสต้าข้าวเจ้าเสริมสาหร่ายเกลียวทองผงมีปริมาณความชื้น โปรตีน เถ้า ไขมัน และคาร์โบไฮเดรตสูงกว่าพาสต้าข้าวเจ้า และ

พาสต้าข้าวสาลีทางการค้า แต่มีปริมาณไขมันต่ำกว่าพาสต้าข้าวเจ้าและพาสต้าข้าวสาลีทางการค้า นอกจากนี้พาสต้าข้าวเจ้าเสริมสาหร่ายเกลียวทองผงยังมีไฟโคไซยานินเท่ากับ 0.03 กรัม/ลิตรอีกด้วย

จากผลการวิเคราะห์ชนิดและปริมาณกรดไขมันในพาสต้าข้าวเจ้าและพาสต้าข้าวเจ้าที่เสริมสาหร่ายเกลียวทองผง (ตารางที่ 4-45) พบว่า พาสต้าทั้งสองตัวอย่างมีปริมาณกรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัวใกล้เคียงกัน ทั้งนี้อาจเนื่องจากสาหร่ายเกลียวทองผงมีปริมาณไขมันต่ำ (ร้อยละ 0.65) ประกอบปริมาณสาหร่ายที่ใช้เติมในสูตรพาสต้าใช้ในปริมาณน้อยเพียงร้อยละ 1 จึงไม่มีผลกระทบต่อปริมาณกรดไขมันในผลิตภัณฑ์ โดยพาสต้าข้าวเจ้าประกอบด้วยกรดไขมันไม่อิ่มตัวประเภท Monounsaturated fatty acid (MUFA) ร้อยละ 4.68 (5.52 มิลลิกรัม/กรัม) ในปริมาณสูงกว่ากรดไขมันไม่อิ่มตัวประเภท Polyunsaturated fatty acid (PUFA) ที่มีปริมาณร้อยละ 2.83 (3.30 มิลลิกรัม/กรัม) เมื่อพิจารณาชนิดของกรดไขมันไม่อิ่มตัวพบว่าประกอบด้วยกรดไขมันไม่อิ่มตัว Omega-3 ร้อยละ 1.30 (2.11 มิลลิกรัม/กรัม) และ Omega-6 ร้อยละ 1.28 (0.99 มิลลิกรัม/กรัม) ส่วนพาสต้าข้าวเจ้าที่เสริมสาหร่ายเกลียวทองผงร้อยละ 1 มีปริมาณกรดไขมันไม่อิ่มตัวประเภท Monounsaturated fatty acid (MUFA) และ Polyunsaturated fatty acid (PUFA) ร้อยละ 4.45 (0.25 มิลลิกรัม/กรัม) และ 3.29 (0.18 มิลลิกรัม/กรัม) ตามลำดับ โดยประกอบด้วยกรดไขมันไม่อิ่มตัว Omega-3 ร้อยละ 1.16 (0.06 มิลลิกรัม/กรัม) และ Omega-6 ร้อยละ 1.91 (0.10 มิลลิกรัม/กรัม)

จากผลการวิเคราะห์ชนิดและปริมาณของกรดอะมิโนในสาหร่ายเกลียวทองผงและพาสต้าข้าวเจ้าเสริมสาหร่ายเกลียวทองผงร้อยละ 4 (ตารางที่ 4-46) พบว่า สาหร่ายเกลียวทองผงและพาสต้าข้าวเจ้าเสริมสาหร่ายเกลียวทองผงประกอบด้วยกรดอะมิโนทั้งชนิดที่จำเป็นและชนิดที่ไม่จำเป็น โดยพาสต้าข้าวเจ้าเสริมสาหร่ายเกลียวทองผงประกอบด้วยกรดกลูตามิกในปริมาณสูงที่สุด (17.36 มิลลิกรัม/กรัม) รองลงมาคือ กรดแอสปาติก (9.33 มิลลิกรัม/กรัม) และลิวซีน (7.76 มิลลิกรัม/กรัม) ซึ่งสอดคล้องกับผลการวิเคราะห์ปริมาณของกรดอะมิโนในสาหร่ายเกลียวทองผงที่พบว่าสาหร่ายเกลียวทองผงมีปริมาณกรดกรดกลูตามิกสูงที่สุด (84.71 มิลลิกรัม/กรัม) กรดอะมิโนที่มีปริมาณสูงรองลงมาคือ กรดแอสปาติก (63.28 มิลลิกรัม/กรัม) และลิวซีน (61.65 มิลลิกรัม/กรัม)

จากผลการทดลองพบว่าสาหร่ายเกลียวทองผงอุดมไปด้วยสารอาหารหลากหลายชนิด ดังนั้นการเติมสาหร่ายเกลียวทองผงลงในพาสต้าข้าวเจ้าจึงช่วยเพิ่มคุณค่าทางโภชนาการของผลิตภัณฑ์พาสต้าจากแป้งข้าวเจ้า

ตารางที่ 4-45 ชนิดและปริมาณของกรดไขมันในพาสต้าจากแป้งข้าวและพาสต้าข้าวเจ้าเสริมสาหร่ายเกลียวทองผงร้อยละ 1

ชนิดของกรดไขมัน	พาสต้าจากแป้งข้าว				พาสต้าข้าวเจ้าเสริมสาหร่ายเกลียวทองผงร้อยละ 1			
	ปริมาณกรดไขมัน (มิลลิกรัม/กรัม)	SE*	ปริมาณกรดไขมัน (ร้อยละ)	SE*	ปริมาณกรดไขมัน (มิลลิกรัม/กรัม)	SE*	ปริมาณกรดไขมัน (ร้อยละ)	SE*
C10:0	0.002	0.001	0.04	0.021	0.020	0.008	0.34	0.101
C11:0	0.012	0.000	0.25	0.012	0.008	0.001	0.15	0.011
C12:0	0.006	0.001	0.12	0.020	0.008	0.003	0.13	0.033
C13:0	0.814	0.025	17.24	0.915	1.036	0.263	18.15	2.471
C14:0	0.138	0.005	2.93	0.195	0.171	0.020	3.09	0.077
C14:1	0.011	0.006	0.22	0.114	0.010	0.003	0.17	0.038
C15:0	0.012	0.004	0.26	0.068	0.023	0.005	0.40	0.050
C16:0	2.039	0.074	43.19	2.502	2.322	0.194	42.15	1.073
C16:1	0.017	0.002	0.36	0.045	0.036	0.007	0.65	0.045
C17:0	0.006	0.001	0.13	0.017	0.009	0.002	0.15	0.021
C17:1	0.162	0.011	3.41	0.080	0.168	0.007	3.07	0.194
C18:0	0.939	0.014	19.88	0.814	1.000	0.017	18.39	1.583
C18:1 n-9	0.024	0.009	0.50	0.158	0.023	0.008	0.40	0.095
C18:2 n-6	0.004	0.000	0.08	0.002	0.007	0.000	0.13	0.012
C18:3 n-6	0.040	0.022	0.82	0.421	0.088	0.001	1.62	0.147
C18:3 n-3	0.062	0.002	1.30	0.067	0.063	0.002	1.16	0.149
C20:0	0.009	0.002	0.19	0.031	0.011	0.000	0.21	0.019
C20:2	0.013	0.013	0.25	0.249	0.012	0.003	0.21	0.043
C20:3 n-6	0.013	0.008	0.26	0.140	0.004	0.002	0.07	0.036
C20:4 n-6	0.006	0.001	0.13	0.018	0.005	0.000	0.09	0.005
C22:1	0.010	0.005	0.19	0.086	0.010	0.006	0.17	0.075
C22:0	0.012	0.001	0.25	0.005	0.499	0.001	0.18	0.003
อื่นๆ	0.389	0.149	7.98	2.701	5.544	0.068	8.97	0.225
รวม	4.739	0.214	99.98	0.009	4.668	0.616	100.06	0.009

ตารางที่ 4-46 ชนิดและปริมาณของกรดอะมิโนในสาหร่ายเกลียวทองผงและพาสต้าข้าวเจ้าเสริมสาหร่ายเกลียวทองผง

ชนิดกรดอะมิโน	สาหร่ายเกลียวทองผง	พาสต้าข้าวเจ้าเสริมสาหร่ายเกลียวทองผง
	ปริมาณ (mg/g)	ปริมาณ (mg/g)
Isoleucine	38.15 ± 1.40	3.73 ± 0.08
Leucine	61.65 ± 2.41	7.76 ± 0.20
Lysine	27.81 ± 1.31	4.86 ± 0.03
Methionine	11.60 ± 0.75	2.24 ± 0.17
Phenylalanine	35.80 ± 1.84	4.63 ± 0.14
Threonine	37.18 ± 2.05	3.60 ± 0.22
Valine	42.78 ± 1.51	5.47 ± 0.11
Alanine	51.68 ± 0.74	5.96 ± 0.04
Arginine	51.69 ± 2.43	6.66 ± 0.35
Aspartic acid	63.28 ± 5.39	9.33 ± 0.18
Cystine	3.05 ± 0.12	1.68 ± 0.16
Glutamic acid	84.71 ± 5.16	17.36 ± 0.52
Glycine	37.70 ± 1.69	4.23 ± 0.11
Histidine	13.94 ± 1.05	2.09 ± 0.13
Proline	20.22 ± 1.44	4.09 ± 0.30
Serine	38.95 ± 1.95	5.12 ± 0.30
Tyrosine	31.43 ± 1.88	3.04 ± 0.15

บทที่ 5
สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

สรุปผลการทดลอง ตอนที่ 1

1. ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีและสารสำคัญบางชนิดของสาหร่ายผักกาดทะเลผง พบว่าสาหร่ายผักกาดทะเลผงมีปริมาณโปรตีนร้อยละ 22.07 เถ้าร้อยละ 20.96 ไขมันร้อยละ 0.48 เส้นใยร้อยละ 11.60 ใยอาหารรวมร้อยละ 23.14 คาร์โบไฮเดรตร้อยละ 56.49 โดยน้ำหนักแห้ง และมีปริมาณฟีนอลิก 8.50 กรัม/100 กรัม เบต้า-แคโรทีน 286.15 มิลลิกรัม/100 กรัม แคโรทีนอยด์ 355.13 มิลลิกรัม/100 กรัม และความสามารถในการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระร้อยละ 4.20 นอกจากนี้ยังประกอบด้วยแร่ธาตุที่สำคัญบางชนิด ได้แก่ แคลเซียม 48.88 มิลลิกรัม/100 กรัม ไอโอดีน 351.07 มิลลิกรัม/1000 กรัม และโซเดียมคลอไรด์ 0.095 กรัม/100 กรัม รวมทั้งประกอบด้วยกรดไขมันไม่อิ่มตัวที่จำเป็นต่อร่างกาย Omega-3 ร้อยละ 2.83 และ Omega-6 ร้อยละ 5.01 ของปริมาณกรดไขมันทั้งหมด และมีกรดอะมิโนทั้งชนิดที่จำเป็นและไม่จำเป็นต่อร่างกาย โดยเฉพาะเป็นแหล่งของกรดแอสปาติก (31.29 มิลลิกรัม/กรัม) กรดกลูตามิก (27.03 มิลลิกรัม/กรัม) อะลานีน (20.23 มิลลิกรัม/กรัม) และลิวซีน (14.13 มิลลิกรัม/กรัม)

2. ผลการพัฒนาสูตรพาสต้าจากข้าวเจ้าเสริมสาหร่ายผักกาดทะเลผง พบว่า ปริมาณสาหร่ายผักกาดทะเลผงที่เหมาะสมที่ใช้เติมในผลิตภัณฑ์พาสต้าที่ทำจากข้าวเจ้าคือร้อยละ 4 และใช้ปริมาณความชื้นส่วนผสมร้อยละ 30 ได้คะแนนความชอบโดยรวมสูงที่สุด โดยผลิตภัณฑ์ที่ได้มีปริมาณของแข็งที่สูญเสียระหว่างการต้มร้อยละ 9.67 ค่าความแน่นเนื้อ 443.70 g force และค่าความต้านทานต่อการดึงขาด 27.40 g force

3. ผลการพัฒนากระบวนการผลิตโดยศึกษาอุณหภูมิของเครื่องเอกซ์ทรูเดอร์ที่เหมาะสมในการผลิตพาสต้า พบว่า พาสต้าข้าวเจ้าเสริมสาหร่ายผักกาดทะเลผงที่เตรียมโดยใช้อุณหภูมิ 80 °C ได้คะแนนความชอบโดยรวมสูงที่สุด โดยผลิตภัณฑ์ที่ได้มีปริมาณของแข็งที่สูญเสียระหว่างการต้มร้อยละ 7.18 ค่าความแน่นเนื้อ 829.40 g force และค่าความต้านทานต่อการดึงขาด 33.03 g force

4. ผลการเปรียบเทียบคุณภาพทางเคมี กายภาพ และลักษณะทางประสาทสัมผัสของพาสต้าข้าวเจ้าเสริมสาหร่ายผักกาดทะเลผง พาสต้าข้าวเจ้า (ไม่เติมสาหร่าย) และพาสต้าข้าวสาลีทางการค้า พบว่า พาสต้าข้าวเจ้าเสริมสาหร่ายผักกาดทะเลผงได้คะแนนความชอบโดยรวมไม่แตกต่างจากพาสต้าข้าวสาลีทางการค้าในระดับชอบปานกลาง แม้ว่าพาสต้าข้าวเจ้าเสริมสาหร่ายผักกาดทะเลผงมีค่าความแน่นเนื้อและค่าความต้านทานต่อการดึงขาดต่ำกว่าพาสต้าข้าวสาลีทางการค้า ส่วนพาสต้าข้าวเจ้าได้คะแนนความชอบโดยรวมต่ำที่สุด โดยพาสต้าข้าวเจ้าเสริมสาหร่ายผักกาดทะเลผงมีปริมาณโปรตีน เถ้า และใยอาหารรวมสูงกว่าพาสต้าข้าวเจ้า แต่มีโปรตีนน้อยกว่าพาสต้าข้าวสาลีทางการค้า อย่างไรก็ตาม พาสต้าข้าวเจ้าเสริมสาหร่ายผักกาดทะเลผงยังประกอบด้วยแร่ธาตุ สารต้านอนุมูลอิสระ กรดอะมิโนทั้งชนิดที่จำเป็นและไม่จำเป็นต่อร่างกาย และกรดไขมันไม่อิ่มตัวที่จำเป็นต่อร่างกาย จึงอาจเป็นทางเลือกใหม่ในการบริโภคอาหารเพื่อสุขภาพ

สรุปผลการทดลอง ตอนที่ 2

1. ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีและสาระสำคัญบางชนิดของสาหร่ายเกลียวทองผง พบว่า สาหร่ายเกลียวทองผงมีปริมาณโปรตีนร้อยละ 50.52 เถ้าร้อยละ 4.49 ไขมันร้อยละ 0.65 คาร์โบไฮเดรตร้อยละ 44.34 ใยอาหารรวมร้อยละ 6.91 โดยน้ำหนักแห้ง และมีปริมาณฟีนอลิก 5.90 กรัม/100 กรัม เบต้า-แคโรทีน 2863.45 มิลลิกรัม/100 กรัม ไฟโคไซยานิน 0.08 กรัม/ลิตร และความสามารถในการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระร้อยละ 39.37 นอกจากนี้ยังประกอบด้วยแร่ธาตุที่สำคัญบางชนิด ได้แก่ แคลเซียม 66.80 มิลลิกรัม/100 กรัม และไอโอดีน 16.71 มิลลิกรัม/1000 กรัม รวมทั้งประกอบด้วยกรดไขมันไม่อิ่มตัวที่จำเป็นต่อร่างกาย Omega-3 ร้อยละ 0.70 และ Omega-6 ร้อยละ 10.06 ของปริมาณกรดไขมันทั้งหมด และมีกรดอะมิโนทั้งชนิดที่จำเป็นและไม่จำเป็นต่อร่างกาย โดยเฉพาะเป็นแหล่งของกรดกลูตามิก (84.71 มิลลิกรัม/กรัม) กรดแอสปาติก (63.28 มิลลิกรัม/กรัม) และลิวซีน (61.65 มิลลิกรัม/กรัม)

2. ผลการพัฒนาสูตรพาสต้าจากข้าวเจ้าเสริมสาหร่ายเกลียวทองผง พบว่า ปริมาณสาหร่ายเกลียวทองผงที่เหมาะสมที่ใช้เติมในผลิตภัณฑ์พาสต้าที่ทำจากข้าวเจ้าคือร้อยละ 1 และใช้ปริมาณความชื้นส่วนผสมร้อยละ 30 ได้คะแนนความชอบโดยรวมสูงที่สุด โดยผลิตภัณฑ์ที่ได้มีปริมาณของแข็งที่สูญเสียระหว่างการต้มร้อยละ 20.87 ค่าความแน่นเนื้อ 986.33 g force และค่าความต้านทานต่อการดึงขาด 22.31 g force

3. ผลการพัฒนากระบวนการผลิตโดยศึกษาอุณหภูมิของเครื่องเอกซ์ทรูเดอร์ที่เหมาะสมในการผลิตพาสต้า พบว่า พาสต้าข้าวเจ้าเสริมสาหร่ายเกลียวทองผงที่เตรียมโดยใช้อุณหภูมิ 70 °C ได้คะแนนความชอบโดยรวมสูงที่สุด โดยผลิตภัณฑ์ที่ได้มีปริมาณของแข็งที่สูญเสียระหว่างการต้มร้อยละ 18.72 ค่าความแน่นเนื้อ 1116.60 g force และค่าความต้านทานต่อการดึงขาด 25.00 g force

4. ผลการเปรียบเทียบคุณภาพทางเคมี กายภาพ และลักษณะทางประสาทสัมผัสของพาสต้าข้าวเจ้าเสริมเกลียวทองทะเลผง พาสต้าข้าวเจ้า (ไม่เติมสาหร่าย) และพาสต้าข้าวสาลีทางการค้า พบว่า พาสต้าข้าวเจ้าเสริมสาหร่ายเกลียวทองผงได้คะแนนความชอบโดยรวมรองจากพาสต้าข้าวสาลีทางการค้า โดยได้คะแนนความชอบในระดับชอบเล็กน้อย และมีค่าความแน่นเนื้อและค่าความต้านทานต่อการดึงขาดต่ำกว่าพาสต้าข้าวสาลีทางการค้า ส่วนพาสต้าข้าวเจ้าได้คะแนนความชอบโดยรวมต่ำที่สุด โดยพาสต้าข้าวเจ้าเสริมสาหร่ายเกลียวทองผงมีปริมาณโปรตีน เถ้า และใยอาหารรวมสูงกว่าพาสต้าข้าวเจ้า แต่มีโปรตีนน้อยกว่าพาสต้าข้าวสาลีทางการค้า อย่างไรก็ตาม พาสต้าข้าวเจ้าเสริมสาหร่ายเกลียวทองผงยังประกอบด้วยแร่ธาตุ สารต้านอนุมูลอิสระ กรดอะมิโนทั้งชนิดที่จำเป็นและไม่จำเป็นต่อร่างกาย และกรดไขมันไม่อิ่มตัวที่จำเป็นต่อร่างกาย จึงอาจเป็นทางเลือกใหม่ในการบริโภคอาหารเพื่อสุขภาพ

ข้อเสนอแนะ

1. ควรศึกษาการนำสาหร่ายผักกาดทะเลผงและสาหร่ายเกลียวทองผงไปประยุกต์ใช้ผลิตภัณฑ์อาหารอื่นๆ ที่มีลักษณะใกล้เคียงกันเพื่อเพิ่มคุณค่าทางอาหาร และเพิ่มความหลากหลายให้กับผู้บริโภค

2. ควรศึกษาการพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหารจากสาหร่ายชนิดอื่นๆ ที่มีการผลิตในเชิงพาณิชย์

รายการอ้างอิง

กมลวรรณ อิศราคาร. (2548). *ผลของการเติมสตาร์ชดัดแปรและไฮโดรคอลลอยด์ต่อคุณภาพก๋วยเตี๋ยวแช่เยือกแข็ง.* วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต, สาขาวิชาวิทยาศาสตร์การอาหาร, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

กล้าณรงค์ ศรีรอต และเกื้อกูล ปิยะจอมขวัญ. (2546). *เทคโนโลยีของแป้ง* (พิมพ์ครั้งที่ 3). กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

กาญจนภาชน์ ลิ่วมโนมนต์. (2527). *สาหร่าย*. กรุงเทพฯ: คณะประมง มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

กาญจนภาชน์ ลิ่วมโนมนต์. (2548). บริโภคสาหร่ายได้ประโยชน์อะไร. *จุลสารชมรมคณะปฏิบัติงานวิทยาการ อพ.สธ.*. วันที่ค้นข้อมูล 25 กันยายน 2554. เข้าถึงได้จาก http://www.rspg.or.th/rspg_club/newslet02-6-1.htm

จงกล พรมยะ. (2552). *การเพาะเลี้ยงสาหร่าย.* วันที่ค้นข้อมูล 25 กันยายน 2554. เข้าถึงได้จาก http://www.fishtech.mju.ac.th/e-learning/FA422/PDF/chapter1.pdf

นวรัตน์ เหล่าชวลิตกุล. (2544). *สาหร่ายที่รับประทานได้.* สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย, ปทุมธานี. วันที่ค้นข้อมูล 20 กันยายน 2556. เข้าถึงได้จาก http://www.tistr.or.th

นิธิยา รัตนาปนนท์. (2549). *เคมีอาหาร* (พิมพ์ครั้งที่ 2). กรุงเทพฯ : โอเดียนสโตร์.

ปราโมทย์ คูวิจิตรจารุ และ ทศพล สุธาสิริทรัพย์. (2553). คุณสมบัติของเบรดเดอร์ที่เตรียมจากแป้งข้าว.*วารสารวิจัย มข. 15*(10), 965-972.

ปิ่นมณี ขวัญเมือง. (2548). ฟังชันนัลฟูดส์ : อาหารเพื่อสุขภาพ. *วารสารครุศาสตร์อุตสาหกรรม, 4*(2), 43-50.

ปิยมาศ มหาบุญญานนท์. (2546). *คุณลักษณะทางกายภาพและโครงสร้างภายในของพาสตาข้าวเจ้าที่ได้จากการอัดพองโดยใช้ข้าวพันธุ์ต่างๆ.* วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต, สาขาวิชาเทคโนโลยีอาหาร, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี.

ปิยะนุช วังศิลาบัตร, วิชัย หฤทัยธนาสันติ์, เพ็ญขวัญ ชมปรีดา และสุมนรัตน์ ชื่นพุฒิ. (2548). การพัฒนาเส้นสปาเกตตีอบแห้งจากแป้งข้าวหอมมะลิ. ใน *เอกสารการประชุมทางวิชาการของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 43*. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ กรุงเทพฯ, 1-4 กุมภาพันธ์ 2548.

พิมพ์ชนก บัวเพชร, สรวิศ เผ่าทองศุข และอัญชนา ประเทพ. (2550). การศึกษาเบื้องต้นเกี่ยวกับการเพิ่มปริมาณอย่างมากของสาหร่ายสีเขียว *Ulva reticulata* Forsskal (Chlorophyta), บริเวณชายฝั่งของจังหวัดภูเก็ต ประเทศไทย. ใน *การประชุมวิชาการสาหร่ายและแพลงก์ตอนแห่งชาติ ครั้งที่ 3* (หน้า 45). กรุงเทพมหานคร: อาคารมหามกุฎ คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

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

ยุวดี พีรพรพิศาล. (2535). *คุณค่าทางโภชนาการของสาหร่ายเกลียวทอง Spirulina platensis ที่เลี้ยงในน้ำกากส่าเหล้า*. โครงงานวิจัยวิทยาศาสตรบัณฑิต, ภาควิชาชีววิทยา, คณะวิทยาศาสตร์, มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.

ยุวดี พีรพรพิศาล. (2549). *สาหร่ายวิทยา.* (พิมพ์ครั้งที่ 2). เชียงใหม่: โรงพิมพ์โชตนาพรินท์.

วิภา สุโรจนะเมธากุล. (2545). การวิเคราะห์ลักษณะเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์อาหารเส้นเพื่อการควบคุมคุณภาพ. อาหาร, 32(2), 86-91.

สมศักดิ์ วรคามิน. (2547). *สาหร่ายอาหารของอนาคต.* กรุงเทพฯ: สามเจริญพาณิชย์.

สมศักดิ์ วรคามิน. (2551). *สาหร่ายอาหารของอนาคต.* (พิมพ์ครั้งที่ 2). กรุงเทพฯ : ศูนย์หนังสือจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

สุวรรณา วรสิงห์, ธวัช ศรีวีระชัย, อรุณ ศรีอนันต์ และภาคภูมิ วงศ์แข็ง. (2552). *สัญฐานวิทยาการเลี้ยงและการนำมาใช้ประโยชน์ของสาหร่ายผักกาดทะเล*. สำนักวิจัยและพัฒนาประมงชายฝั่งกรมประมง.

American Association of Cereal Chemists [AACC]. (2000). *Approved methods of the American association of cereal chemistry.* 10th ed.. American Association of Cereal Chemists, Minnesota, USA.

Association of Official Analytical Chemist [AOAC]. (2000). *Official Methods of Analysis*. (17th ed), Washington, D.C., Association of Official Analytical Chemist, USA.

Bhattacharya, M., Zee, S. Y., & Corke, H. (1999). Physical properties related to quality of rice noodle. Cereal Chemistry**,** 76, 861-867.

Chawan, D. B., Merritt, C. G., & Matuszak, E. A. (1995). Use of propylene glycol alginate to improve the texture of cooked pasta and pasta-like foods. United States Patent 575907.

Dewanto, V., Wu, X., & Liu, R. H. (2002). Processed sweet corn has higher antioxidant activity. *Journal of Agricultural and Food Chemistry, 50*, 4959-4964.

Dhargalkar, V. K. (2004). *Seaweeds – A Field Manual*. National Institute of Oceanography, India.

Diaz, J., Lliberia, J.L, Comellas, L., & Broto-Puig, F. (1996). Amino acid and amino sugar determination by derivatization with 6-aminoquinolyl-N-hydroxysuccinimidyl carbamate followed by high-performance liquid chromatography and fluorescence detection. *Journal of Chromatography A*, *719*, 171–179**.**

Fradique, M., Batista, A. P., Nunes, M. C., Gouveia, L., Bandarra, Narcisa, M. A., & Raymundo, A. (2010). Incorporation of *Chlorella vulgaris* and *Spirulina maxima* biomass in pasta products. Part 1: Preparation and evaluation**.** *Journal of the Science of Food and Agriculture*, *90*(10), 1656–1664.

Giese, J. 1992. Pasta: New twists on an old product. *Food Technology*, *46,* 118-126.

Hiranvarachat, B., Devahastin, S., & Chiewchan, N. (2011). Effects of acid pretreatments on some physicochemical properties of carrot undergoing hot air drying. *Food and Bioproducts Processing*, *89*, 116-127.

Jin, M., Wu, J., & Wu, X. (1994). A study on the properties of starches used for starch-noodle making. In: Xie, G., & Ma, Z., (eds). Proceedings of the International Symposium and Exhibition on Approaches in the Production of Food Stuffs and Intermediate Products from Cereals and Oil Seeds, CCOA/ICC/AACC Meeting. Beijing, China, November 16-19, 1994. Pp. 488-496.

Kadam, S. U., & Prabhasankar, P. 2010. Marine foods as functional ingredients in bakery and pasta products. *Food Research International*, *43*, 1975-1980.

Kakodkar, A. P., Kavlekar, D. P., & Achuthankutty, C. T. (2005). Conservation of genetic diversity of edible seaweed *Ulva lactuca* through automated spatial distribution modeling. Bioinformatics Centre, National Institute of Oceanography, India.

Kaur, S., & Das, M. (2011). Functional foods: An overview. *Food Science and Biotechnology, 20* (4), 861-875.

Kirby, A. (2001). *Marine Botany*. Retrieved May 26, 2013, from http://www.mbari.org/staff/conn/botany/greens/anna/default.htm

KMUTT. (2001). Laboratory instruction: A workshop on mass cultivation of *Spirulina*, 8 – 11 January, 2001. King Monkut's University of Technology, Thonburi, Bangkok, Thailand. pp 14 – 15.

Lai, H. M. (2001). Effect of rice properties and emulsifiers on the quality of rice pasta. *Journal* of the *Science* of *Food* and *Agriculture*, 82, 203-216.

Lee, R. E. (1995). *Phycology*. Cambridge University Press, USA.

Marti, A., Seetharaman, K., & Pagani, M. A. (2010). Rice-based pasta: a comparison between conventional pasta-making and extrusion-cooking. *Journal of Cereal Science, 52*, 404-409.

Mestres, C., Colonna, P., & Buleon, A. (1988). Characteristics of starch network within rice flour noodle and mungbean starch vermicelli. *Journal of Food Science*, 53, 1809-1812.

Moxon, R.E., & Dixon, E.J. (1980). Semi - automatic Method for Determination of Total Iodine in Food. *Analyst, 105* (1249), 344-352.

Padua M. A., Fontoura, P. S. G., & Mathias, A. L. (2004). Chemical composition of *Ulvaria oxysperma* (Kutzing) bliding, *Ulva lactuca* (Linnaeus) and *Ulva fascita* (Delile). *Brazilian Archives of Biology and Technology*, *47*(1), 49-55.

Pagani, M.A. (1986). Product from non-conventional raw materials. In: Mercier C, & Cantarelli C, (eds.). *Pasta and extrusion cooked foods: some technological and nutritional aspects.* Elsevier Applied Sciences Publisher, New York *, pp. 52–68*.

Prabhasankar, P., Ganesan, P., Bhaskar, N., Hirose, A., Stephen, N., Gowda, L.R., Hosakawa, M., & Miyashita, K. (2009a). Edible Japanese seaweed, Wakamee(*Undariapinnatifida*) as an ingredient in pasta: Chemical, functional and structural evaluation. *Food Chemisty*, *115*, 501-508.

Prabhasankar, P., Ganesan, P., & Baskar, N. (2009b). Influence of Indian brown seaweed (*Sargassum marginatum*) as an Ingredient on quality, biofunctional, and microstructure characteristics of pasta. *Food Science & Technology International*, *15*(5)*. 471-479*.

Resmini, P., & Pagani, M. A. (1983). Ultrastructure studies of pasta: a review. *Journal of Food Structure, 2*, 1-12.

Reungmaneepaitoon, S. (2009). Development of instant fried noodles made from composite flour of wheat and sweet potato flours. *Kasetsart Jounal: Natural Science, 43* (4), 768-779.

Satpati, G. G. & Pal, R. (2011). Biochemical composition and lipid characterization of marine green alga Ulva rigida- a nutritional approach. *Journal of Algal Biomass Utilization, 2*(4)*, 10-13*.

Smewing, J. (1997). Analyzing the texture of pasta for quality control. *Cereal Food World***,** *42*, 8-11.

Sozer, N., (2009). Rheological properties of rice pasta dough supplemented with proteins and gums. *Food Hydrocolloids*, *23*, 849-855.

Tudorica, C.M., Kuri, V., Brennan, C.S. (2002). Nutritional and physicochemical characteristics of dietary fiber enriched pasta. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, *50* (2), 347-356.

Von Elbe, J. H., & Schwartz, S. J. (1996). Colorants. In O. R. Fennema (Ed.), Food Chemistry (pp. 651–722). New York: Marcel Dekker.

Yildiz, G., Celikler, S., Vatan, O., & Dere, S. (2012). Determination of the Anti-Oxidative Capacity and Bioactive Compounds in Green Seaweed *Ulva rigida* C. Agardh. *International Journal of Food Properties*, *15*(6), 1182-1189.

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 $^{\circ}$ C เป็นเวลา 3 ชั่วโมง และนำออกจากตู้อบ ทิ้งให้เย็นจนอุณหภูมิห้องของภาชนะลดลงเท่ากับอุณหภูมิห้องในโถดูดความชื้น แล้วชั่งน้ำหนัก (ทศนิยม 4 ตำแหน่ง)

2. นำภาชนะอะลูมิเนียมไปอบซ้ำ ชั่งน้ำหนักที่แน่นอน (แตกต่างกันไม่เกิน 0.05 กรัม) น้ำหนักของตัวอย่างที่ชั่งได้ ใส่ตัวอย่างลงในภาชนะอะลูมิเนียมหาความชื้นที่ทราบน้ำหนักคงที่แล้วนำไปอบที่ตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 105 $^{\circ}$ 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. ตู้อบลบร้อน (Hot air oven) Memment รุ่น ULE 500 ประเทศเยอรมัน
2. เตาเผา Carbolite รุ่น RWF 12/23 ประเทศอังกฤษ
3. เตาไฟฟ้า (Hot plate)
4. ถ้วยครูซิเบิ้ล (Crucible)
5. โถดูดความชื้น (Desiccator)
6. เครื่องชั่งไฟฟ้าชนิดละเอียด Sartorius รุ่น AC 2115-00MS ประเทศเยอรมนี

วิธีการ

1. นำตัวอย่างที่อบแห้งที่อุณหภูมิ 105 $^{\circ}$ C เป็นเวลา 3 ชั่วโมง ทิ้งไว้ให้เย็นในโถดูดความชื้น

2. เผาด้วยคูซิเบิ้ลในเตาเผาที่อุณหภูมิ 550 $^{\circ}$ C เป็นเวลา 3 ชั่วโมง รอประมาณ 30-45 นาที

เพื่อให้อุณหภูมิในเตาเผาลดลงก่อน แล้วนำออกจากเตาเผาใส่ลงในโถดูดความชื้น ปล่อยให้เย็นถึงอุณหภูมิห้องแล้วชั่งน้ำหนัก

3. เผาซ้ำอีกครั้ง ครั้งละประมาณ 30 นาที แล้วนำออกจากเตาเผาใส่ลงในโถดูดความชื้น ปล่อยให้เย็นถึงอุณหภูมิห้องแล้วชั่งน้ำหนักจนได้ผลต่างของน้ำหนักทั้งสองครั้งติดต่อกันไม่เกิน 0.05 กรัม

4. ชั่งตัวอย่างให้ได้น้ำหนักที่แน่นอน นำไปเผาบนเตาไฟฟ้าจนกระทั่งควันดำหมด แล้วนำเข้าเตาเผาที่อุณหภูมิ 550 $^{\circ}$C จนกระทั่งได้เถ้าสีขาว ทิ้งให้เย็นในโถดูดความชื้น แล้วชั่งน้ำหนักเถ้า คำนวณหาเปอร์เซ็นต์ของเถ้าทั้งหมดในตัวอย่างอาหาร คำนวณหาร้อยละของเถ้าทั้งหมด ดังนี้

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

ก-3 การหาปริมาณโปรตีน

สารเคมี

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

วิธีวิเคราะห์

1. การย่อยสลาย (Digestion)

ชั่งตัวอย่างประมาณ 0.7-2.2 กรัม ใส่ในขวดกลั่น เติมคะตะลิสต์ผสมปริมาณ 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

นำตัวอย่างที่กลั่นมาเติมเชียร์อินดิเคเตอร์ 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

ปริมาณโปรตีน (ร้อยละ) = ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด(ร้อยละ) x 5.70

ก-4 การหาปริมาณไขมัน

<u>สารเคมี</u>

ปิโตรเลียมอีเทอร์ จุดเดือด 40-60 ° C

<u>วิธีวิเคราะห์</u>

1. นำตัวอย่างไปอบแห้งที่อุณหภูมิ 110 ° C นาน 1 ชั่วโมง ปล่อยให้เย็นในเดซิเคเตอร์

2. ชั่งตัวอย่างที่ผ่านการอบแห้งประมาณ 5 กรัมให้รู้น้ำหนักที่แน่นอน ใส่ในกระดาษกรอง

3. อบขวดสกัด (extraction flask) ที่อุณหภูมิ 110 ° C นาน 1 ชั่วโมงปล่อยให้เย็นในเดซิเคเตอร์ นำมาชั่งน้ำหนัก

4. ห่อกระดาษกรองที่มีตัวอย่างใส่ในทิมเบิล (paper extraction thimble) และใส่ลงในsoxhlet ที่มีปิโตรเลียมอีเทอร์ 140 มิลลิลิตร ประกอบชุดเครื่องกลั่น

5. ให้ความร้อน 200 ° C เพื่อให้ปิโตรเลียมอีเทอร์ระเหยขึ้นไป

6. ระเหยปิโตรเลียมอีเทอร์ออกจนเหลือประมาณ 5 มิลลิลิตร นำขวดสกัดไปอบแห้งในตู้อบลมร้อน (hot air oven) ที่อุณหภูมิ 100 ° C นาน 1 ชั่วโมง

7. 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 การวิเคราะห์ปริมาณใยอาหาร

<u>อุปกรณ์</u>

1. ครูซิเบิล (ให้ความร้อนที่ 130 ° C เพื่อให้ได้น้ำหนักคงที่ ทิ้งให้เย็นในเดซิเคเตอร์ก่อนใช้)
2. Vaccum Pump
3. Vaccum Oven

4. เดซิเคเตอร์
5. อ่างน้ำร้อน
6. บีกเกอร์ขนาด 600 มิลลิลิตร
7. พีเอชมิเตอร์
8. ขวดรูปชมพู่ ขนาด 250 มิลลิลิตร
9. เครื่องชั่งละเอียด 4 ตำแหน่ง

<u>สารเคมี</u>

1. แอลกอฮอล์ ความเข้มข้นร้อยละ 87 และ 95
2. อะซิโตน
3. ฟอสเฟตบัฟเฟอร์ (0.08 โมลาร์)
   (วิธีเตรียมฟอสเฟตบัฟเฟอร์ นำ Na_2HPO4 1.400 กรัม และ NaH_2PO4 1.400 กรัม ละลายในน้ำ 700 มิลลิลิตร แล้วปรับปริมาตรให้เป็น 1,000 มิลลิลิตร)
4. เทอร์มามิล (Heat-stable alpha-amylase)
5. เอนไซม์โปรตีเอส
6. เอนไซม์อะไมโลกลูโคซิเดส
7. สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 0.275 นอร์มัล
8. สารละลายไฮโดรคลอลิกเข้มข้น 0.325 นอร์มัล
9. ซีไลต์

<u>วิธีวิเคราะห์</u>

1. เตรียมตัวอย่างโดยอบแห้งที่อุณหภูมิ 105 °C เป็นเวลา 16 ชั่งโมง (อบค้างคืน) บดให้ละเอียดทิ้งไว้ให้เย็นในเดซิเคเตอร์ ถ้าตัวอย่างมีไขมันมากกว่าร้อยละ 10 ต้องสกัดไขมันออกโดยใช้ปิโตรเลียมอีเทอร์ ในอัตราส่วน 25 มิลลิลิตรต่อน้ำหนักแห้ง 1 กรัม โดยสกัด 3 ครั้งก่อนบด
2. ชั่งตัวอย่าง 1 กรัม ให้รู้น้ำหนักแน่นอน (ชั่งละเอียดถึง 0.1 มิลลิกรัม) โดยน้ำหนักของตัวอย่าง 3 ซ้ำ ไม่ต่างกันเกิน 20 มิลลิกรัม และทำแบลงค์ควบคู่ไปด้วย (แบลงค์ไม่ใส่ตัวอย่าง)
3. ใส่ตัวอย่างในบีกเกอร์ทรงสูง ขนาด 400 มิลลิลิตร เติมฟอสเฟตบัฟเฟอร์ 50 มิลลิลิตร และปรับความเป็นกรด-ด่าง เป็น 6.0 ± 0.2
4. เติมเทอร์มามิล 0.1 มิลลิลิตร ผิดบีกเกอร์ด้วยอะลูมิเนียมฟลอยด์ แล้วต้มในอ่างน้ำร้อนอุณหภูมิ 95 ถึง 100 °C เป็นเวลา 30 นาที เขย่าบีกเกอร์ทุก 5 นาที
5. ทิ้งให้เย็นที่อุณหภูมิห้องปรับความเป็นกรดด่างเป็น 7.5 ± 0.2 ด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 0.275 นอร์มัล 10 มิลลิลิตร แล้วเติมโปรติเอส 0.1 มิลลิลิตร ปิดปากบีกเกอร์ด้วยอะลูมิเนียมฟอยด์ แช่ในอ่างน้ำร้อนอุณหภูมิ 60 °C เป็นเวลา 30 นาที เขย่าบีกเกอร์ทุก 5 นาที
6. ทิ้งให้เย็นที่อุณหภูมิห้องและปรับค่าความเป็นกรด-ด่างเป็น 4.0-4.6 ด้วยสารละลายไฮโดรคลอริกเข้มข้น 0.325 โมลาร์ ปริมาตร 10 มิลลิลิตร
7. เติมแอลกฮอล์ความเข้มข้นร้อยละ 95 ปริมาตร 280 มิลลิลิตร ที่อุณหภูมิ 60 °C ลงในบีกเกอร์ตัวอย่างที่ย่อยเอนไซม์แล้ว ทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้องนาน 60 นาที

8. ชั่งครูซิเบิลที่เคลือบด้วยซีไลต์ให้รู้น้ำหนักที่แน่นอน จากนั้นชะด้วยแอลกฮอล์ความเข้มข้นร้อยละ 78 ต่อครูซิเบิลกับปั๊ม (suction) แล้วถ่ายสารที่ย่อยได้จากข้อ 6 ลงกรองเป็นเวลา 30 นาที

9. ล้างส่วนที่เหลือ (residue) ด้วยแอลกฮอล์ความเข้มข้นร้อยละ 78 ปริมาตร 15 มิลลิลิตร 2 ครั้ง ใช้เวลาในการกรองประมาณครึ่งชั่วโมงต่อหนึ่งตัวอย่างหรือ 6 ชั่วโมง

10. อบส่วนที่เหลือที่อุณหภูมิ 130 $^{\circ}$C เป็นเวลามากกว่า 3 ชั่วโมง แล้วทิ้งไว้ให้เย็นที่เดซิเคเตอร์ ชั่งน้ำหนักที่แน่นอน หักลบน้ำหนักครูซิเบิลและซีไลต์ออก เพื่อคำนวณหาน้ำหนักส่วนที่เหลือ

11. นำส่วนที่เหลือมาเผาที่อุณหภูมิ 525 $^{\circ}$C นาน 5 ชั่วโมง แล้วทิ้งให้เย็นในเดซิเคเตอร์

<u>การคำนวณ</u>

B = แบลงค์ (มิลลิกรัม) = น้ำหนักส่วนที่เหลือ – P_B – A_B

ปริมาณใยอาหารรวม (TDF) (ร้อยละโดยน้ำหนักแห้ง)

$$\%TDF = \frac{(\text{น้ำหนักส่วนที่เหลือ} - P - A - B) \times 100}{\text{น้ำหนักตัวอย่าง (มิลลิกรัม)}}$$

B คือ ค่าเฉลี่ยของแบลงค์ (มิลลิกรัม)

น้ำหนักส่วนที่เหลือ = น้ำหนักกาก (มิลลิกรัม)

P = น้ำหนักโปรตีน (มิลลิกรัม)

A = น้ำหนักเถ้า (มิลลิกรัม)

ก-6 การหาปริมาณคาร์โบไฮเดรต

คาร์โบไฮเดรต (%โดยน้ำหนักแห้ง) = 100 - %(โปรตีน + ไขมัน + เถ้า)

ก-7 การวิเคราะห์ปริมาณแคลเซียม

<u>สารเคมี</u>

1. โบรโมครีซอลกรีน (Bromocresol green)
2. สารละลายโซเดียมอะซิเตดร้อยละ 20
3. สารละลายกรดออกซาลิกร้อยละ 3
4. แอมโมเนียมไฮดรอกไซด์
5. สารละลายโพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนต 0.05 นอร์มัล
6. สารละลายกรดไฮโดรคลอริกร้อยละ 37
7. กรดซัลฟูริกร้อยละ 96

<u>วิธีวิเคราะห์</u>

ก. การเทียบมาตรฐานของสารละลายโพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนต

1. เตรียมกรดซัลฟูริกต่อน้ำ 5:95 ปริมาตร 250 มิลลิลิตร นำไปต้ม 10-15 นาที ทิ้งให้

เย็น

2. เติมโซเดียมออกซาเลต 0.3 กรัม คนให้ละลาย จากนั้นค่อยๆ เติมสารละลายโพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนต 39-40 มิลลิลิตร คนจนสารละลายเป็นสีชมพู ตั้งทิ้งไว้ 4-5 วินาที และนำไปให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 55-60 $^{\circ}$C

3. นำไปไตเตรทกับสารละลายโพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนต จนสารละลายเป็นสีชมพู

4. ไตเตรท blank ทำตามขั้นตอนด้านบน แต่ไม่เติมโซเดียมออกซาเลต

5. คำนวณหาความเข้มข้นที่แน่นอนของโพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนตดังนี้

$$\text{ความเข้มข้น} = \frac{\text{g ของ } Na_2C_2O_4 \times 1000}{\text{Vol. ของ } KMnO_4 \times 66.999}$$

ข. การเตรียมตัวอย่าง

1. อบแห้งตัวอย่างด้วยตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 105 $^{\circ}$C เป็นเวลา 3 ชั่วโมง ทิ้งให้เย็นในเดซิเคเตอร์

2. ชั่งน้ำหนักที่แน่นอนของตัวอย่างประมาณ 10 กรัม ใส่ลงในครูซิเบิล เผาไหม้ตัวอย่างดังกล่าวโดยใช้เตาไฟฟ้าจนไม่มีควันดำ แล้วจึงนำไปเผาต่อในเตาเผาที่อุณหภูมิประมาณ 550 $^{\circ}$C จนกระทั่งได้เถ้าสีขาว นำไปทำให้เย็นในเดซิเคเตอร์

3. เทเถ้าลงในบีกเกอร์แล้วเติมกรดไฮโดรคลอริก 5 มิลลิลิตร นำไประเหยให้แห้งบน water bath แล้วละลายส่วนที่เหลือโดยเติมกรดไฮโดรคลอริกอีก 2 มิลลิลิตร นำไประเหยให้แห้งบน water bath นาน 5 นาที

4. เจือจางสารละลายที่ได้ให้เป็น 100 มิลลิลิตร ด้วยน้ำกลั่น จากนั้นกรองสารละลายด้วยกระดาษกรองชนิดปราศจากเถ้าลงในบีกเกอร์ขนาด 400 มิลลิลิตร โดยอาจทิ้งสารละลายที่กรองได้ในช่วงแรก 15-20 มิลลิลิตร

5. นำสารละลายที่กรองได้มา 50 มิลลิลิตร ลงในบีกเกอร์ขนาด 400 มิลลิลิตร แล้วเจือจางสารละลายที่ได้ให้เป็น 150 มิลลิลิตร

6. เติมโบรโมครีซอลกรีนอินดิเคเตอร์ 7-8 หยด และสารละลายโซเดียมอะซิเตดที่มีความเข้มข้นร้อยละ 20 เพื่อปรับพีเอชให้เป็น 4.8-5.0 สารละลายจะมีสีฟ้า จากนั้นปิดด้วยกระจกนาฬิกาและนำไปให้ความร้อนจนเดือด

7. เติมสารละลายกรดออกซาลิกร้อยละ 3 จำนวน 1 หยด ทุกๆ 3-5 วินาที ลงไปในสารละลายเพื่อตกตะกอนแคลเซียมจนกระทั่งพีเอชเปลี่ยนเป็น 4.4-4.6 ซึ่งเป็นพีเอชที่มีความเหมาะสมในการตกตะกอนแคลเซียมออกซาเลต โดยสารละลายจะมีสีเขียว

8. นำสารละลายไปต้มนาน 1-2 นาที แล้วทิ้งให้ตกตะกอนจนกระทั่งใส จากนั้นกรองส่วนใสผ่านกระดาษกรองเบอร์ 5

9. ล้างบีกเกอร์ที่มีตะกอนอยู่และตกตะกอนอีกครั้งด้วยสารละลายแอมโมเนียมไฮดรอกไซด์ (ในอัตราส่วนแอมโมเนียมไฮดรอกไซด์ 1 มิลลิลิตรต่อน้ำ 50 มิลลิลิตร) ประมาณ 50 มิลลิลิตรแล้วนำสารละลายไปกรอง

10. เจาะรูกระดาษกรองแล้วล้างกระดาษกรองเพื่อชะตะกอนทั้งหมดด้วยสารละลาย

ผสมของน้ำ 125 มิลลิลิตร และกรดซัลฟูริก 5 มิลลิลิตร ที่อุณหภูมิ 80-90 $^{\circ}$C

11. นำสารละลายที่ได้มาไตเตรทกับสารละลายโพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนต 0.05 นอร์มัล ที่อุณหภูมิ 70-90 $^{\circ}$C จนได้สารละลายเป็นสีชมพูอ่อน

การคำนวณ

ปริมาณแคลเซียม (mg/100g) = (a/b) × 100

เมื่อ a คือ ปริมาณแคลเซียม (มิลลิกรัม)

b คือ น้ำหนักตัวอย่าง (กรัม)

โดย 1 มิลลิกรัมของแคลเซียม = 1 มิลลิลิตรสารละลายโพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนตเข้มข้น 0.05 นอร์มัล

ก-8 การวิเคราะห์ปริมาณไอโอดีน

สารเคมี

1. สารละลายโปแตสเซียมคาร์บอเนตร้อยละ 30 (w/v) (30 % KCO_3)
2. สารละลายซิงค์ซัลเฟตร้อยละ 10 (w/v) (10 % $ZnSO_4$)
3. สารละลายโปแตสเซียมไทโอไซยาเนตร้อยละ 0.023 (w/v) (0.023 % KSCN)
4. สารละลายแอมโมเนียมไอออนซัลเฟต ($NH_4Fe(SO_4)_2.12\ H_2O$)
5. สารละลายโซเดียมไนไตรท์ร้อยละ 2.07 (w/v) (2.07 % $NaNO_2$)
6. โปแตสเซียมไอโอไดด์ (KI)

การเตรียมสารละลายสำหรับวิเคราะห์ไอโอดีน

1) สารละลายโปแตสเซียมคาร์บอเนต (30 % KCO_3)

ชั่งโปแตสเซียมคาร์บอเนต KCO_3 , AR grade 30 กรัม ละลายในน้ำกลั่น (Distilled water) แล้วปรับปริมาตรให้เป็น 100 มิลลิลิตร ในขวดปรับปริมาตร

2) สารละลายซิงค์ซัลเฟต (10 % $ZnSO_4$)

ชั่งซิงค์ซัลเฟต $ZnSO_4.7H_2O$, AR grade 10 กรัม ละลายในน้ำกลั่น (Distilled water) แล้วปรับปริมาตรให้เป็น 100 มิลลิลิตร ในขวดปรับปริมาตร

3) สารละลายโปแตสเซียมไทโอไซยาเนต (0.023 % KSCN)

ชั่งโปแตสเซียมไทโอไซยาเนต KSCN , AR grade 23 กรัม ละลายในน้ำกลั่น (Distilled water) แล้วปรับปริมาตรให้เป็น 1 ลิตร ในขวดปรับปริมาตร

4) สารละลายแอมโมเนียมไอออนซัลเฟต ($NH_4Fe(SO_4)_2.12\ H_2O$)

ชั่งแอมโมเนียมไอออนซัลเฟต AR grade 77 กรัม ละลายในน้ำกลั่นประมาณ 400 มิลลิลิตร เติมกรดไนตริกเข้มข้น 167 มิลลิลิตร แล้วปรับปริมาตรให้เป็น 1 ลิตร ด้วยน้ำกลั่นในขวดปรับปริมาตร

5) สารละลายโซเดียมไนไตรท์ (2.07 % $NaNO_2$)

ชั่งโซเดียมไนไตรท์ $NaNO_2$, AR grade 2.07 กรัม ละลายในน้ำกลั่น (Distilled water) แล้วปรับปริมาตรให้เป็น 100 มิลลิลิตร ในขวดวอลลูมเมตริก (เก็บไว้ได้ไม่เกิน 1 วัน)

6) สารละลายมาตรฐานไอโอดีน

6.1 สารละลายมาตรฐานไอโอดีน ความเข้มข้น 4 กรัมต่อลิตร

อบโปแตสเซียมไอโอไดด์ (KI, AR grade) ที่อุณหภูมิ 105 ° C นาน 3 ชั่วโมง ปล่อยให้เย็นในโถดูดความชื้น (Desiccator) แล้วชั่งให้ได้น้ำหนัก 0.5232 กรัม ใส่ในขวดวอลลูมเมตริก ขนาด 1000 มิลลิลิตร ละลายด้วยน้ำกลั่นแล้วปรับปริมาตรให้เป็น 100 มิลลิลิตร เก็บไว้ในขวดสีชาเพื่อป้องกันไม่ให้โดนแสง (สารละลายที่เตรียมแต่ละครั้งมีอายุใช้งานไม่เกิน 1เดือน)

6.2 สารละลายมาตรฐานไอโอดีน ความเข้มข้น 40 มิลลิกรัมต่อลิตร

ปิเปตสารละลายมาตรฐานไอโอดีนความเข้มข้น 4 กรัมต่อลิตร ที่เตรียมไว้ในข้อ 6.1 มา 10 มิลลิลิตร ใส่ในขวดปรับปริมาตรขนาด 1000 มิลลิลิตร ละลายด้วยน้ำกลั่นแล้วปรับปริมาตรให้เป็น 1000 มิลลิลิตร เก็บไว้ในขวดสีชาเพื่อป้องกันไม่ให้โดนแสง (สารละลายที่เตรียมแต่ละครั้งมีอายุใช้งานไม่เกิน 1 เดือน)

6.3 สารละลายมาตรฐานไอโอดีน ความเข้มข้น 200 นาโนกรัมต่อมิลลิลิตร

ปิเปตสารละลายไอโอดีนมาตรฐาน ความเข้มข้น 40 มิลลิกรัมต่อลิตร ที่เตรียมไว้ในข้อ 6.2 มา 5 มิลลิลิตร ใส่ในขวดปรับปริมาตรขนาด 1000 มิลลิลิตร ละลายด้วยน้ำกลั่นแล้วปรับปริมาตรให้เป็น 1000 มิลลิลิตร เก็บไว้ในขวดสีชาเพื่อป้องกันไม่ให้โดนแสง (สารละลายที่เตรียมแต่ละครั้งมีอายุใช้งานไม่เกิน 1 เดือน)

6.4 สารละลายไอโอดีนมาตรฐาน ความเข้มข้น 0, 4, 8, 12 และ 16 นาโนกรัมต่อมิลลิลิตร

ปิเปตสารละลายมาตรฐานไอโอดีนความเข้มข้น 200 นาโนกรัมต่อมิลลิลิตร ที่เตรียมไว้ในข้อ 6.3 มา 0, 2, 4, 6, 8 มิลลิลิตร ใส่ในขวดปรับปริมาตรขนาด 100 มิลลิลิตร เติมสารละลายโปแตสเซียมคาร์บอเนต (ความเข้มข้นร้อยละ 30) 1 มิลลิลิตร เติมน้ำกลั่นให้ได้ปริมาตร จะได้สารละลายมาตรฐานไอโอดีนที่มีความเข้มข้น 0, 4, 8, 12 และ 16 นาโนกรัมต่อมิลลิลิตร เตรียมใหม่ทุกครั้งที่ทำการวัด

<u>วิธีวิเคราะห์</u>

1. ชั่งตัวอย่างที่บดละเอียดแล้ว 0.50 กรัม ใส่ในถ้วยกระเบื้อง (Porcelain crucible) แล้วเติม 30% KCO_3 1 มิลลิลิตร และ 10 % $ZnSO_4$ 1 มิลลิลิตร คนให้เข้ากันนำไปอบที่อุณหภูมิ 95 ° C จนแห้ง

2. นำไปเผาที่อุณหภูมิ 550 องศาเซลเซียสในเตาเผา นาน 1 ชั่วโมง ปล่อยให้เย็นที่อุณหภูมิห้อง เติม 10 % $ZnSO_4$ 1 มิลลิลิตร แล้วนำไปอบให้แห้งและเผาซ้ำอีกจนได้เถ้าสีเทาอ่อนหรือขาว

3. นำเถ้าที่ได้มาเติมน้ำกลั่นที่ต้มจนร้อน 50 มิลลิลิตร คนให้เข้ากันถ่ายใส่หลอดเซนตริฟิวส์นำไปปั่นที่ความเร็ว 2500 รอบต่อนาที นาน 10 นาที

4. ปิเปตสารละลายส่วนใสที่ด้านบนของตัวอย่าง สารละลายมาตรฐานไอโอดีน และBlank มาอย่างละ 4 มิลลิลิตร ใส่ในหลอดทดลองอย่างละหลอด เติมน้ำกลั่น 1 มิลลิลิตร โปแตสเซียมไทโอไซยาเนต 1 มิลลิลิตร แอมโมเนียมไอออนซัลเฟต 2 มิลลิลิตร ผสมสารละลายในหลอดทดลองให้เข้ากันโดยใช้เครื่องผสมสาร

5. เติมสารละลายโซเดียมไนไตรท์ 1 มิลลิลิตร จับเวลาโดยเว้นระยะเวลาแต่ละหลอดให้ห่างกัน 30 วินาที ผสมให้เข้ากันอีกครั้ง ตั้งทิ้งไว้ 20 นาที

6. นำสารละลายที่ได้ไปวัดค่าโดยใช้เครื่อง UV/VIS Spectrophotometer ที่ความยาวคลื่น 450 นาโนเมตร เว้นระยะเวลาในการอ่านแต่ละหลอดห่างกัน 30 วินาที บันทึกค่าที่อ่านได้ และคำนวณปริมาณไอโอดีนเปรียบเทียบกับสารละลายมาตรฐานไอโอดีน (หน่วยเป็นไมโครกรัมต่อตัวอย่าง 1 กรัม)

ก-9 การวิเคราะห์ปริมาณโซเดียมคลอไรด์โดยวิธี Mohr method

สารเคมี

1. สารละลายโพแทสเซียมโครเมตความเข้มข้นร้อยละ 5
2. สารละลายซิลเวอร์ไนเตรท 0.1 โมลาร์

วิธีวิเคราะห์

1. นำตัวอย่างเส้นพาสต้าที่บดละเอียด 2 กรัม ใส่ลงในครูซิเบิล
2. นำไปเผาที่อุณหภูมิประมาณ 500 $^{\circ}$ C จนกระทั่งได้เถ้าสีขาว
3. นำออกจากเตาเผาแล้วปล่อยให้เย็นในเดซิเคเตอร์ จากนั้นละลายด้วยน้ำกลั่นปริมาตร 25 มิลลิลิตรแล้วเทลงในฟลาสก์
4. เติมสารละลายโพแทสเซียมโครเมตเข้มข้นร้อยละ 5 ปริมาตร 1 มิลลิลิตร
5. ไตเตรทกับสารละลายซิลเวอร์ไนเตรท 0.1 โมลาร์ จนสารละลายตัวอย่างเปลี่ยนเป็นสีส้มแดง (จุดยุติ)

การคำนวณ

$$\text{ปริมาณโซเดียมคลอไรด์ (กรัม/100กรัม)} = \frac{[(T)\times(N)\times(0.05845)\times(100)]}{V}$$

เมื่อ T = ปริมาตรซิลเวอร์ไนเตรท (มิลลิลิตร)
N = ความเข้มข้นของซิลเวอร์ไนเตรท (นอร์มัล)
V = น้ำหนักตัวอย่าง (กรัม)

การคำนวณหาความเข้มข้นที่แน่นอนของ 0.1 M ซิลเวอร์ไนเตรท

จากสูตร $N_1V_1\,(mL) = N_2V_2\,(mL)$

$N_{NaCl} \times V_{NaCl} = N_{AgNO3} \times V_{AgNO3}$

$(0.1\ M)(25\ mL) = N_{AgNO3}\,(24.967)$

$N_{AgNO3} = 0.1001$

ก-10 การวิเคราะห์หาปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด

อุปกรณ์และสารเคมี

1. เครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ (SPECTRONIC GENESYS ^{TM} 20, USA)
2. เครื่องผสมสาร (Vortex mixer) (Heidolph, REAX 2000, Germany)

3. ปิเปต ชนิด Measuring ขนาด และ 5 มิลลิลิตร
4. ขวดปรับปริมาตร ขนาด 100 มิลลิลิตร
5. หลอดทลอง
6. ฟอลิน ซิโอแคลทู รีเอเจนต์ (Folin-Ciocalteu reagent) (Garlo ERBA) (Sigma; USA)
7. กรดแกลลิก (Gallic acid: C7H6O5) 98% (Fluka, Switzerland)
8. เอทานอล (Ethanol: CH_3CH_2OH) บริษัท Labscan ประเทศไทย
9. โซเดียมคาร์บอเนต (Sodium carbonate anhydrous: Na_2CO_3)(Ajax Finechem, Australia)

<u>การเตรียมตัวอย่างสารสกัด</u>

ชั่งสาหร่ายผักกาดทะเลผง 100 กรัม ทำการสกัดด้วยเอทานอลเข้มข้นร้อยละ 95 ปริมาตร 250 มิลลิลิตร ผสมให้เป็นเนื้อเดียวกันโดยใช้แท่งแก้วคนเป็นเวลา 3 นาที และตั้งทิ้งไว้ในที่มืดเป็นเวลา 4 ชั่วโมงที่อุณหภูมิห้อง จากนั้นนำสารสกัดมากรองผ่านกระดาษกรอง (Whatman No.1) และล้างสารสกัดผ่านกระดาษกรองด้วยเอทานอลปริมาตร 50 มิลลิลิตร จากนั้นนำสารที่สกัดได้มาระเหยตัวทำละลายออกโดยใช้ water bath ที่อุณหภูมิ 80 $^{\circ}$C เป็นเวลา 12 ชั่วโมงหรือจนกระทั่งได้สารสกัดที่เป็นของแข็ง และเก็บสารสกัดที่ได้ในขวดแก้วสีชาและเก็บที่สภาวะแช่งแข็ง (อุณหภูมิประมาณ -20 $^{\circ}$C) จนกว่าจะนำมาวิเคราะห์สมบัติการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระ ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด

<u>การเตรียมสารเคมี</u>

1. เตรียมสารละลายโซเดียมคาร์บอเนตความเข้มข้น 7 เปอร์เซ็นต์ โดยชั่งโซเดียมคาร์บอเนต 7 กรัม ละลายในน้ำกลั่นและปรับปริมาตรให้ได้ 100 มิลลิลิตรด้วยน้ำกลั่น
2. การเตรียมสารละลายมาตรฐานกรดแกลลิก ชั่งกรดแกลลิก 0.01 กรัม นำมาละลายด้วยเอทานอลเล็กน้อยและปรับปริมาตรให้ได้ 100 มิลลิลิตรด้วยน้ำกลั่น

<u>การทำกราฟมาตรฐานกรดแกลลิก</u>

เตรียมสารละลายมาตรฐานกรดแกลลิกโดยผสมกรดแกลลิกและน้ำกลั่นให้มีความเข้มข้นแตกต่างกัน 5 ระดับ คือ 0, 20, 40, 60, 80 และ 100 µg/ml ดังนี้

1. ปิเปตสารละลายกรดแกลลิกแต่ละความเข้มข้นมา 0.125 มิลลิลิตร
2. เติมสารละลายโฟลิน ซิโอแคลทูหลอดละ 1.25 มิลลิลิตร ผสมให้เข้ากันด้วย vortex เป็นเวลา 3 วินาที และตั้งทิ้งไว้ 6 นาที
3. เติมสารละลายโซเดียมคาร์บอเนตความเข้มข้นร้อยละ 7 ปริมาตร 1.25 มิลลิลิตร โดยสารละลายจะเปลี่ยนจากสีเขียวเป็นสีน้ำเงิน และเติมน้ำกลั่น 1 มิลลิลิตร ผสมให้เข้ากันตั้งทิ้งไว้ 90 นาที
4. วัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 760 นาโนเมตร ด้วยเครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ ทำการทดลอง 3 ซ้ำ
5. พล็อตกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าการดูดกลืนแสง (แกน X) และค่าความเข้มข้นของกรดแกลลิก (แกน Y)

วิธีวิเคราะห์

1. ใช้สารสกัดตัวอย่างที่ได้จากภาคผนวก ก-1 โดยชั่งสารสกัดมา 0.1 กรัม จากนั้นนำมาละลายในเอทานอลเข้มข้นร้อยละ 95 แล้วปรับปริมาตรให้ได้ 100 มิลลิลิตรด้วยเอทานอล

2. ปิเปตสารละลายตัวอย่างมา 0.1 มิลลิลิตร ผสมกับเอทานอล 9.9 มิลลิลิตร ในหลอดทดลอง ให้เข้ากัน

3. จากนั้นปิเปตสารละลายในข้อที่ 2 มา 0.125 มิลลิลิตร และเติมน้ำกลั่นลงไป 0.5 มิลลิลิตร

4. จากนั้นทำเช่นเดียวกันกับข้อที่ 2 3 และ 4 คำนวณหาปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดได้จากสมการเส้นตรงที่ได้จากกราฟมาตรฐาน

ก-11 การวิเคราะห์ความสามารถของสารต้านอนุมูลอิสระโดยวิธี DPPH radical scavenging activity

วิเคราะห์ความสามารถของสารต้านอนุมูลอิสระด้วยหลักการฟอกสีของ 1,1-diphenyl-2 picrylhydrazyl (DPPH)

การเตรียมสารละลาย Blank

ใช้เอทานอลที่มีความเข้มข้นร้อยละ 95 ปริมาตร 0.15 มิลลิลิตร ผสมกับ DPPH เข้มข้น 0.1 มิลลิโมล 0.9 มิลลิลิตร

วิธีวิเคราะห์

1. ปิเปตสารสกัดตัวอย่างที่เตรียมได้จากวิธีการวิเคราะห์ปริมาณฟีนอลิกทั้งหมด 0.15 มิลลิลิตรในหลอดทดลอง

2. เติม DPPH 0.1 มิลลิโมล 0.85 มิลลิลิตร ผสมให้เข้ากันด้วยเครื่อง vortex ทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 20 นาที แล้วนำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ 517 นาโนเมตร

ความสามารถในการต้านสารอนุมูลอิสระคำนวณเป็น $\%RSA = \frac{(C-X) \times 100}{C}$

C คือ ค่าการดูดกลืนแสงของ Blank

X คือ ค่าการดูดกลืนแสงของสารสกัดตัวอย่าง

ก-12 การวิเคราะห์ปริมาณแคโรทีนอยด์

วิธีวิเคราะห์

1. ใส่สาหร่ายผักกาดทะเลผงปริมาณ 0.02 g ลงในบีกเกอร์ ขนาด 50 ml

2. เติม 90% ethanol ปริมาตร 10 ml เติม 60% KOH ปริมาตร 1 ml เพื่อตรึงเซลล์

สาหร่ายจากนั้นนำไปทำให้เซลล์แตกด้วยเครื่อง sonicator นาน 5 นาที

3. นำไปแช่ใน water bath อุณหภูมิ 50 $^{\circ}$ C เป็นเวลา 5 นาที เพื่อทำการสกัดเอารงควัตถุออกจากเซลล์ แล้วปล่อยให้เย็นที่อุณหภูมิห้อง ก่อนนำไปปั่นแยกเซลล์ด้วยเครื่อง centrifuge ที่ 3,000 rpm เป็นเวลา 10 นาที เก็บสารละลายสีเหลืองที่ได้ใส่ในหลอดทดลอง หุ้มด้วยกระดาษฟลอยด์ เพื่อป้องกันการถูกทำลายจากแสง

4. เทสารละลายสีเขียวที่ได้ลง Kjeldahl flask เติม Diethyl Ether ปริมาตร 15 ml และ 9% NaCl ปริมาตร 15 ml เขย่าแล้วตั้งทิ้งไว้จนแยกชั้นสีเหลืองและสีใส โดยที่สารละลายสีใสจะอยู่ชั้นล่าง

5. ใช้ปิเปตดูดเอาสารละลายสีใสทิ้งไป เหลือแต่ชั้นสีเหลืองของแคโรทีนอยด์ แล้วเติม 9% NaCl ปริมาตร 15 ml เขย่าแล้วตั้งทิ้งไว้จนแยกชั้นสีใสและสีเหลือง จากนั้นใช้ปิเปตดูดเอาสารละลายสีใสที่อยู่ชั้นล่างทิ้งไป

6. นำสารละลายสีเหลืองใส่ลงในบีกเกอร์ขนาด 50 ml แล้วปรับปริมาตรด้วย Diethyl Ether จนได้ปริมาตร 25 ml จากนั้นเติม Sodium sulphate anhydrous เพื่อเป็นการกำจัดน้ำที่เหลือแล้วเทลงหลอดทดลองที่หุ้มด้วยกระดาษฟลอยด์เพื่อป้องกันการถูกทำลายด้วยแสง

7. นำสารละลายสีเหลืองที่สกัดได้ ไปทำการวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 450 nm แล้วบันทึกผล

8. คำนวณปริมาณแคโรทีนอยด์จากสูตร

$$\text{ปริมาณแคโรทีนอยด์ (mg/g cell dry weight)} = \frac{A_{450} \times 25 \times 1000}{260 \times \text{mg cell dry wt}}$$

ก-13 การวิเคราะห์ปริมาณไฟโคไซยานิน

<u>อุปกรณ์</u>

1. ขวดรูปชมพู่ ขนาด 250 มิลลิลิตร
2. เครื่องชั่งละเอียด 4 ตำแหน่ง
3. เครื่อง Ultrasonic processer
4. เครื่องเขย่า
5. เครื่อง Zentrifugen
6. เครื่องวัดค่าการดูดกลืนแสง
7. น้ำแข็ง

<u>สารเคมี</u>

1. สารไดโซเดียมไฮโดรเจนฟอสเฟต (Na_2HPO_4)
2. โมโนโซเดียมไดไฮโดรเจนฟอสเฟต (NaH_2PO_4)

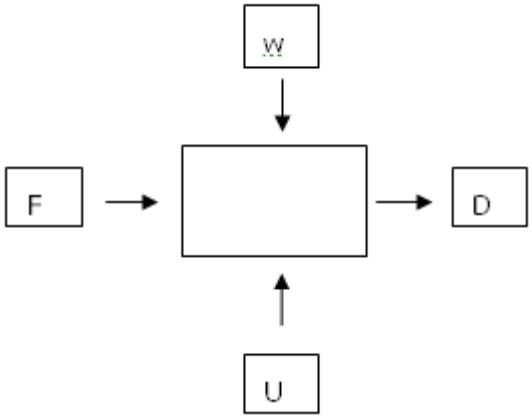
3. โซเดียมฟอสเฟสบัฟเฟอร์ (0.01 โมลาร์, pH 7.0) (เตรียมฟอสเฟตบัฟเฟอร์ โดยนำ Na_2HPO_4 15.60 กรัม และ NaH_2PO4 14.19 กรัมละลายในน้ำ 500 มิลลิลิตรแล้วปรับปริมาตรให้เป็น 1,000 มิลลิลิตร)

<u>วิธีวิเคราะห์</u>

โดยผสมตัวอย่างสาหร่าย 200 – 300 มิลลิกรัม ในสารละลายโซเดียมฟอสเฟตบัพเฟอร์ (pH 7.0) ความเข้มข้น 0.1 ปริมาณ 10 มิลลิลิตร นำไปสลายเซลล์ด้วยคลื่นอัลตราโซนิกนาน 1 นาที พร้อมกับหล่อน้ำแข็งตลอดเวลา แล้วนำไปเขย่าด้วยเครื่องเขย่าที่อุณหภูมิห้องนาน 4 ชั่วโมง ก่อนนำไปปั่นแยกเซลล์ และหาปริมาณไฟโคไซยานินด้วยเครื่อง Zentrifugen ที่ 13,500 RCF นาน 20 นาที และนำของเหลวที่ได้มาเจือจางด้วยสารละลายบัพเฟอร์ที่ใช้สกัดให้ได้ค่าการดูดกลืนแสงต่ำกว่า 1.0 นำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 620 และ 652 นาโนเมตร คำนวณหาปริมาณไฟโคไซยานินดังนี้

ไฟโคไซยานิน(mg/ml) = [A620 - 0.474 A652]/5.34

ภาคผนวก ข
การคำนวณปริมาณน้ำที่ต้องเติมในส่วนผสม



F = Flour (แป้งข้าวเจ้า)
W = Water (น้ำ)
U = *Ulva rigida* powder (สาหร่ายผักกาดทะเล)
D = ส่วนผสม

<u>ตัวอย่างการคำนวณ</u>

สมมติแป้งข้าวเจ้ามีความชื้นร้อยละ 12 สาหร่ายผักกาดทะเลมีความชื้นร้อยละ 4 และต้องการส่วนผสมที่มีความชื้นร้อยละ 30 ใช้แป้งข้าวเจ้า 100 กรัม และสาหร่ายผักกาดทะเลผง 2 กรัม

Mass balance : $F + U + W = D$

$100\ (0.12) + 2\ (0.04) + W = (100 + 2 + W)\ 0.30$

แก้สมการหาค่า W จะได้ $W = 26.457$

ดังนั้นจะต้องเติมน้ำ 26.457 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 นำเส้นพาสต้าใส่กล่องพลาสติกปิดฝา แล้วนำออกมาวัดค่าทีละเส้น 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 แล้วนำออกมาวัดค่าทีละเส้น ใช้กระดาษร้อยปอนด์รองที่ฐานโดยใช้กระดาษกาวสองหน้าติดตามแนวยาวกับฐาน 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 แล้วนำออกมาวัดค่าทีละเส้น 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 จะปรากฏหน้าต่างของ Project (ถ้าใช้เป็นครั้งแรก) หรือถ้าไม่ต้องการจะตั้ง Project → Restart จะปรากฏหน้าต่างของกราฟ

1.4) กรณีมีข้อมูลแล้วให้คลิกที่ Open Icon จะปรากฏหน้าต่างของ 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 (Calibtation)

2.1) ต้องทำการ Calibrate Force ทุกครั้งที่ทำการทดสอบ

โดยไปที่ T.A บน Menu Bar → Calibrate Force จะปรากฏหน้าต่างของ Force Calibration ตรวจดูให้แน่ใจว่าไม่มีหัววัด (Probe) ติดอยู่ที่ Calibrate Plateform จากนั้นให้คลิก ok

2.2) จากนั้นจะปรากฏหน้าต่างใหม่ของ Force Calibration ต่อไปให้วางตุ้มน้ำหนัก 5 กิโลกรัม บน Calibration Plateform แล้วคลิก ok

2.3) เมื่อปรากฏข้อความว่า “Calibration Successful” ให้ยกตุ้มน้ำหนักลงแล้วคลิก ok

3) การทำ T.A.Setting

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

<u>กรณีวัดค่า Tensile Strength</u>

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

<u>กรณีวัดค่า Adhesiveness</u>

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

<u>กรณีวัดค่า Firmness</u>

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 (จำเป็นในครั้งแรกเพราะจะเพิ่มขึ้นเองโดยอัตโนมัติหลังจากที่แต่ละไฟล์ถูกบันทึก)

Drive : ตำแหน่งที่จะบันทึกข้อมูลไว้

Tile : ตั้งชื่อกราฟแสดงผล

Note : บันทึกรายละเอียดสของตัวอย่างนำมาทดสอบ

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 Rum

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

แบบประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสโดยวิธี 9-point hedonic scale

<u>คำแนะนำ</u> กรุณาทดสอบพาสต้าข้าวเจ้าเสริมสาหร่ายจากซ้ายไปขวา และให้คะแนนความชอบตามคำอธิบายคะแนนความชอบข้างล่างนี้ และบ้วนปากระหว่างตัวอย่าง

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

.....

.....

.....