รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์

เรื่อง

การพัฒนาผลิตภัณฑ์บะหมี่กึ่งสำเร็จรูปแบบไม่ทอดเพื่อสุขภาพ
เสริมสาหร่าย

Development of Healthy Non-fried Instant Noodle
Supplemented with Algae

ผู้วิจัย

กุลยา ลิ้มรุ่งเรืองรัตน์
สมถวิล จริตควร
อโนชา สุขสมบูรณ์
บงกช วรรธนะภูติ

โครงการวิจัยนี้ได้รับเงินอุดหนุนการวิจัยจากงบประมาณเงินรายได้
(เงินอุดหนุนจากรัฐบาล)
มหาวิทยาลัยบูรพา ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2557
สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ

กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยขอขอบคุณสำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติที่ให้ทุนสนับสนุนการวิจัยนี้ ขอขอบคุณฝ่ายส่งเสริมการวิจัย มหาวิทยาลัยบูรพา สำหรับการประสานงานอย่างดียิ่ง ขอขอบคุณภาควิชาวิทยาศาสตร์การอาหาร คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพาที่ให้การสนับสนุนเครื่องมือและอุปกรณ์ในการวิจัย ตลอดจนคณาจารย์และเจ้าหน้าที่ของภาควิชาที่ให้คำปรึกษาและช่วยอำนวยความสะดวกในการทำวิจัย สุดท้ายขอขอบคุณนางสาวพัณณิดา ผาลี นางสาวรัตน์ชฎาพร ลักษณะโยธิน นางสาวทักษพร เพ็ชรกุล นางสาววิมลวรรณ เพาะปลูก นางสาวอารีรัตน์ ทองสุทธิ และนางสาวพรอนงค์ ตันติวรัตนถิกุล ตลอดจนนิสิตปริญญาโท และนิสิตปริญญาตรีภาควิชาวิทยาศาสตร์การอาหารที่มีส่วนช่วยในการทำวิจัยและให้ความร่วมมือในการทำวิจัยมาโดยตลอดจนงานวิจัยนี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

คณะผู้วิจัย
สิงหาคม 2559

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาผลิตภัณฑ์บะหมี่กึ่งสำเร็จรูปแบบไม่ทอดเพื่อสุขภาพเสริมสาหร่ายสองชนิด คือ สาหร่ายผักกาดทะเล (*Ulva rigida*) และ สาหร่ายเกลียวทอง (*Spirulina* sp.) ในการพัฒนาสูตรผลิตภัณฑ์บะหมี่กึ่งสำเร็จรูปเสริมสาหร่ายผักกาดทะเลผงได้ศึกษาผลของปริมาณสาหร่ายผักกาดทะเลผง (ร้อยละ 0, 2, 4, 6, 8, 10 โดยน้ำหนักแป้ง) ปริมาณความชื้นของส่วนผสม (ร้อยละ 37, 40) ชนิดของเกลือฟอสเฟต (โมโนโซเดียมฟอสเฟตและไดโซเดียมฟอสเฟต) ปริมาณของเกลือฟอสเฟต (ร้อยละ 0, 0.15, 0.30, 0.45 โดยน้ำหนักแป้ง) และปริมาณเอนไซม์ทรานส์กลูตามิเนส (ร้อยละ 0, 0.1, 0.3, 0.5 โดยน้ำหนักแป้ง) ต่อคุณภาพของบะหมี่ในด้านคุณภาพหลังการต้ม ค่าสี ลักษณะเนื้อสัมผัส ลักษณะทางประสาทสัมผัส และโครงสร้างระดับจุลภาค พบว่า เมื่อปริมาณสาหร่ายผักกาดทะเลผงและปริมาณความชื้นเพิ่มขึ้นทำให้ค่าความต้านทานต่อการดึงขาดและค่าการยึดเกาะที่ผิวหน้าเพิ่มขึ้น ในขณะที่เวลาที่เหมาะสมในการต้มสุกลดลง ค่าความสว่าง (L*) ของบะหมี่ที่ไม่ผ่านและผ่านการต้มสุกมีค่าลดลง แต่ค่ามุมของเฉดสี (h°) มีค่าเพิ่มขึ้น บะหมี่ที่เตรียมจากส่วนผสมที่มีความชื้นร้อยละ 37 และเติมสาหร่ายผักกาดทะเลผงร้อยละ 4 ได้คะแนนความชอบโดยรวมสูงที่สุด จึงเลือกไปศึกษาผลของชนิดและปริมาณของกลือฟอสเฟต พบว่าเมื่อเติมโมโนโซเดียมฟอสเฟตและไดโซเดียมฟอสเฟตเพิ่มขึ้นทำให้ปริมาณของแข็งที่สูญเสียระหว่างการต้ม เวลาที่เหมาะสมในการต้มสุก และค่าความแน่นเนื้อลดลง บะหมี่ที่เติมไดโซเดียมฟอสเฟตร้อยละ 0.30 ได้คะแนนความชอบโดยรวมสูงที่สุด จากนั้นศึกษาผลของปริมาณเอนไซม์ทรานส์กลูตามิเนส (ร้อยละ 0, 0.1, 0.3, 0.5 โดยน้ำหนักแป้ง) พบว่า เมื่อเติมปริมาณเอนไซม์ทรานส์กลูตามิเนสเพิ่มขึ้น หมู่อะมิโนอิสระของโดบะหมี่ ปริมาณของแข็งที่สูญเสียระหว่างการต้ม และค่าการยึดเกาะที่ผิวหน้าของเส้นบะหมี่ลดลง ในขณะที่ค่าความแน่นเนื้อและความต้านทานต่อการดึงขาดเพิ่มขึ้น จากภาพโครงสร้างระดับจุลภาคของผลิตภัณฑ์แสดงให้เห็นว่าโครงสร้างของบะหมี่มีความต่อเนื่องและจับกันแน่นมากขึ้น โดยบะหมี่ที่เติมเอนไซม์ทรานส์กลูตามิเนสร้อยละ 0.3 ได้คะแนนความชอบโดยรวมสูงสุด ในการพัฒนาสูตรผลิตภัณฑ์บะหมี่กึ่งสำเร็จรูปแบบไม่ทอดเสริมสาหร่ายเกลียวทองผงได้ศึกษาผลของปริมาณสาหร่ายเกลียวทองผง (ร้อยละ 0, 0.5, 1.0, 1.5, 2.0 โดยน้ำหนักแป้ง) ชนิดของเกลือฟอสเฟต (โมโนโซเดียมฟอสเฟตและไดโซเดียมฟอสเฟต) ปริมาณของเกลือฟอสเฟต (ร้อยละ 0, 0.15, 0.30, 0.45 โดยน้ำหนักแป้ง และปริมาณเอนไซม์ทรานส์กลูตามิเนส (ร้อยละ 0, 0.1, 0.3, 0.5 โดยน้ำหนักแป้ง) ต่อคุณภาพของบะหมี่ พบว่า เมื่อปริมาณสาหร่ายเกลียวทองผงเพิ่มขึ้น ทำให้ค่าความต้านทานต่อการดึงขาดและค่าความแน่นเนื้อเพิ่มขึ้น ($p < 0.05$) ในขณะที่ค่ายึดเกาะที่ผิวหน้าลดลง บะหมี่ที่เติมสาหร่ายเกลียวทองผงร้อยละ 1.5 ได้คะแนนความชอบโดยรวมสูงสุด จึงเลือกไปศึกษาผลของชนิดและปริมาณเกลือฟอสเฟต พบว่า เมื่อปริมาณโมโนโซเดียมฟอสเฟตและไดโซเดียมฟอสเฟตเพิ่มขึ้นทำให้ปริมาณของแข็งที่สูญเสียระหว่างการต้ม เวลาที่เหมาะสมในการต้มสุก และค่าความแน่นเนื้อลดลง บะหมี่ที่เติมโมโนโซเดียมฟอสเฟตร้อยละ 0.30 ได้คะแนนความชอบโดยรวมสูงสุด ดังนั้นจึงเลือกไปศึกษาขั้นตอนต่อไป พบว่า เมื่อเติมปริมาณเอนไซม์ทรานส์กลูตามิเนสเพิ่มขึ้น หมู่อะมิโนอิสระของโดบะหมี่ ปริมาณของแข็งที่สูญเสียระหว่างการต้ม และค่าการยึดเกาะที่ผิวหน้าของเส้นบะหมี่ลดลง แต่ค่าความแน่นเนื้อและความต้านทานต่อการดึงขาดเพิ่มขึ้น โดยบะหมี่ที่เติมเอนไซม์ทรานส์กลูตามิเนส

ร้อยละ 0.3 ได้คะแนนความชอบโดยรวมสูงสุด จากนั้นจึงนำบะหมี่กึ่งสำเร็จรูปแบบไม่ทอดเสริมสาหร่ายผักกาดทะเลผงและสาหร่ายเกลียวทองผงมาเปรียบเทียบกับผลิตภัณฑ์บะหมี่กึ่งสำเร็จรูปแบบไม่ทอดทางการค้า พบว่า บะหมี่เสริมสาหร่ายทั้งสองชนิดมีค่าความต้านทานต่อการดึงขาดและคะแนนความชอบโดยรวมสูงกว่าบะหมี่ทางการค้า รวมทั้งมีปริมาณโปรตีนและเถ้าสูงกว่าผลิตภัณฑ์ทางการค้า นอกจากนี้ บะหมี่กึ่งสำเร็จรูปที่เติมสาหร่ายทั้งสองชนิดยังประกอบด้วยแร่ธาตุ กรดไขมันไม่อิ่มตัวที่จำเป็นต่อร่างกาย และสารต้านอนุมูลอิสระ ดังนั้น บะหมี่กึ่งสำเร็จรูปเสริมสาหร่ายจึงเป็นอีกทางเลือกหนึ่งของอาหารเพื่อสุขภาพสำหรับผู้บริโภค

ABSTRACT

This research aim was to develop non-fried instant noodle supplemented with two types of algae including sea lettuce (*Ulva rigida*) and spirulina (*Spirulina plantensis*). Formulation development of non-fried instant noodle supplemented with sea lettuce powder was studied. The effect of the levels of sea lettuce powder (0, 2, 4, 6, 8, 10% by flour weight), moisture content of flour blend (37, 40%), types of phosphate salt (monosodium phosphate and disodium phosphate), amounts of phosphate salt (0, 0.15, 0.30, 0.45% by flour weight) and transglutaminase levels (0, 0.1, 0.3, 0.5% by flour weight) on cooking quality, color, texture, sensory attributes and microstructure of noodles were investigated. The increase of sea lettuce powder and moisture levels caused tensile strength and adhesiveness of cooked noodles increased while cooking time decreased. Lightness (L*) of uncooked and cooked noodles were significantly decreased ($p<0.05$), but hue angle (h°) increased. The noodle prepared from flour blend with 37% moisture content and 4% sea lettuce powder received the highest overall acceptance score. The obtained noodle formulation was selected for investigation on the effect of types and amounts of phosphate salts. The increased of monosodium phosphate (MSP) and disodium phosphate (DSP) levels resulted in the decrease of cooking loss, cooking time and firmness. The noodle with 0.3% DSP received the highest overall acceptance score. Then, the effect of transglutaminase (TGase) levels on noodle qualities were carried out. As the levels of TGase increased, free amino groups of noodle dough, cooking loss and adhesive decreased whereas firmness and tensile strength increased ($p<0.05$). The noodle micrograph revealed more continuous and compact structure of uncooked noodle. The noodle with 0.3% TGase received the highest overall acceptance score. Formulation development of non-fried instant noodle supplemented with spirulina powder was investigated. The effect of the levels of spirulina powder (0, 0.5, 1.0, 1.5, 2.0% by flour weight), types of phosphate salt (MSP and DSP), amounts of phosphate salt (0, 0.15, 0.30, 0.45% by flour weight) and transglutaminase levels (0, 0.1, 0.3, 0.5% by flour weight) on noodle qualities were carried out. As the levels of spirulina powder increase, tensile strength, firmness and hue angle increase while adhesiveness decreased. The noodle with 1.5% spirulina powder received the highest overall acceptance score and was selected for further investigation on phosphates salts. The increase of MSP and DSP caused the decrease of cooking time, cooking loss, and firmness. The noodle with 0.3% MSP received the highest overall acceptance score. Next, the effect of transglutaminase (TGase) levels

on noodle qualities were carried out. As the levels of TGase increased, free amino groups of noodle dough, cooking loss and adhesive decreased whereas firmness and tensile strength increased. The noodle with 0.3% TGase received the highest overall acceptance score. Compared to the commercial non-fried instant noodle, the tensile strength and overall acceptability of the obtained noodles supplemented with sea lettuce and spirulina powder were higher than those of commercial noodles. Both types of algae noodle also had the higher contents of protein and ash than commercial products. In addition, noodle supplemented with both types of algae contained minerals, essential polyunsaturated fatty acids and antioxidants. Therefore, non-fried instant noodle supplemented with algae could be an alternative healthy food for consumer.

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ค
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	จ
สารบัญ	ช
สารบัญตาราง	ซ
สารบัญภาพ	ฏ
บทที่	
1. บทนำ	1
2. การตรวจเอกสาร	3
บะหมี่	3
สาหร่าย	10
ฟอสเฟต	16
เอนไซม์ทรานส์กลูตามิเนส	20
3. วิธีดำเนินการทดลอง	23
4. ผลการทดลองและวิจารณ์	31
5. สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ	94
รายการอ้างอิง	97
ภาคผนวก	103
ภาคผนวก ก วิธีวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี	104
ภาคผนวก ข การคำนวณปริมาณน้ำที่ต้องเติมในส่วนผสม	117
ภาคผนวก ค การวัดลักษณะเนื้อสัมผัสของเส้นพาสต้า	118
ภาคผนวก ง แบบประเมินผลที่ใช้ในการทดสอบคุณภาพทางประสาทสัมผัส	122

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
2-1	ชนิดและปริมาณของกรดอะมิโนที่จำเป็น (essential amino acid) และกรดอะมิโนที่ไม่จำเป็น (non-essential amino acid) ที่มีในสาหร่าย *Spirulina platensis*........	14
2-2	ปริมาณวิตามินและแร่ธาตุของสาหร่าย *Spirulina platensis*........	15
2-3	ชนิดและปริมาณของรงควัตถุที่พบในสาหร่าย *Spirulina platensis*........	15
2-4	องค์ประกอบของโมโนโซเดียมและไดโซเดียมฟอสเฟต........	19
4-1	องค์ประกอบทางเคมีของสาหร่ายผักกาดทะเลผง........	32
4-2	ชนิดและปริมาณของกรดอะมิโนในสาหร่ายผักกาดทะเลผง........	33
4-3	ชนิดและปริมาณของกรดไขมันในสาหร่ายผักกาดทะเลผง........	34
4-4	ค่า F และ p ของคุณภาพของบะหมี่กึ่งสำเร็จรูปแบบไม่ทอดที่แปรปริมาณสาหร่ายผักกาดทะเลผงและปริมาณความชื้นของส่วนผสมระดับต่างๆ........	35
4-5	คุณภาพหลังการต้มของบะหมี่กึ่งสำเร็จรูปแบบไม่ทอดที่แปรปริมาณสาหร่ายผักกาดทะเลผงและปริมาณความชื้นของส่วนผสมระดับต่างๆ........	36
4-6	ค่า F และ p ของค่าสีของบะหมี่กึ่งสำเร็จรูปแบบไม่ทอดที่แปรปริมาณสาหร่ายผักกาดทะเลผงและปริมาณความชื้นของส่วนผสมระดับต่างๆ หลังอบแห้ง........	37
4-7	ค่า F และ p ของค่าสีของบะหมี่กึ่งสำเร็จรูปแบบไม่ทอดที่แปรปริมาณสาหร่ายผักกาดทะเลผงและปริมาณความชื้นของส่วนผสมระดับต่างๆ หลังต้มสุก........	37
4-8	ค่าสีของบะหมี่กึ่งสำเร็จรูปแบบไม่ทอดที่แปรปริมาณสาหร่ายผักกาดทะเลผงและปริมาณความชื้นของส่วนผสมระดับต่างๆ หลังอบแห้ง........	40
4-9	ค่าสีของบะหมี่กึ่งสำเร็จรูปแบบไม่ทอดที่แปรปริมาณสาหร่ายผักกาดทะเลผงและปริมาณความชื้นของส่วนผสมระดับต่างๆ หลังต้มสุก........	41
4-10	ค่า F และ p ของค่าความแน่นเนื้อ ความต้านทานต่อการดึงขาด ค่าการยึดเกาะที่ผิวหน้าของบะหมี่กึ่งสำเร็จรูปแบบไม่ทอดที่แปรปริมาณสาหร่ายผักกาดทะเลผงและปริมาณความชื้นของส่วนผสมระดับต่างๆ........	42
4-11	ลักษณะเนื้อสัมผัสของบะหมี่กึ่งสำเร็จรูปแบบไม่ทอดต้มสุกที่แปรปริมาณสาหร่ายผักกาดทะเลผงและปริมาณความชื้นของส่วนผสมระดับต่างๆ........	44
4-12	ค่าความแน่นเนื้อของบะหมี่กึ่งสำเร็จรูปแบบไม่ทอดต้มสุกที่แปรปริมาณความชื้นของ ส่วนผสมเป็นร้อยละ 37 และ 40........	44
4-13	ค่าความแน่นเนื้อของบะหมี่กึ่งสำเร็จรูปแบบไม่ทอดต้มสุกที่แปรปริมาณสาหร่ายผักกาดทะเลผงระดับต่างๆ........	45

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่		หน้า
4-14	คะแนนการทดสอบทางประสาทสัมผัสของบะหมี่กึ่งสำเร็จรูปแบบไม่ทอดต้มสุกที่แปรปริมาณสาหร่ายผักกาดทะเลผงและปริมาณความชื้นของส่วนผสมระดับต่างๆ โดยใช้วิธี Scoring test............	47
4-15	คะแนนทดสอบทางประสาทสัมผัสของบะหมี่กึ่งสำเร็จรูปแบบไม่ทอดต้มสุกที่แปรปริมาณสาหร่ายผักกาดทะเลผงและปริมาณความชื้นของส่วนผสมระดับต่างๆ โดยใช้วิธี 9-Point hedonic scale	48
4-16	คุณภาพหลังการต้มของบะหมี่กึ่งสำเร็จรูปแบบไม่ทอดเสริมสาหร่ายผักกาดทะเลผงที่เติมโมโนโซเดียมฟอสเฟต (MSP) และไดโซเดียมฟอสเฟต (DSP) ในปริมาณต่างๆ............	50
4-17	ค่าสีของบะหมี่กึ่งสำเร็จรูปแบบไม่ทอดเสริมสาหร่ายผักกาดทะเลผงที่เติมโมโนโซเดียมฟอสเฟต (MSP) และไดโซเดียมฟอสเฟต (DSP) ที่ผ่านการอบแห้ง........	51
4-18	ค่าสีของบะหมี่กึ่งสำเร็จรูปแบบไม่ทอดเสริมสาหร่ายผักกาดทะเลผงที่เติมโมโนโซเดียมฟอสเฟต (MSP) และไดโซเดียมฟอสเฟต (DSP) ที่ผ่านการต้มสุก.........	51
4-19	ลักษณะเนื้อสัมผัสของบะหมี่กึ่งสำเร็จรูปแบบไม่ทอดเสริมสาหร่ายผักกาดทะเลผงที่เติมโมโนโซเดียมฟอสเฟต (MSP) และไดโซเดียมฟอสเฟต (DSP) ปริมาณต่างๆ............	52
4-20	คะแนนการทดสอบทางประสาทสัมผัสของบะหมี่กึ่งสำเร็จรูปแบบไม่ทอดเสริมสาหร่ายผักกาดทะเลผงที่เติมโมโนโซเดียมฟอสเฟต (MSP) และไดโซเดียมฟอสเฟต (DSP) โดยวิธี scoring test............	53
4-21	คะแนนการทดสอบทางประสาทสัมผัสของบะหมี่กึ่งสำเร็จรูปแบบไม่ทอดเสริมสาหร่ายผักกาดทะเลผงที่เติมโมโนโซเดียมฟอสเฟต (MSP) และไดโซเดียมฟอสเฟต (DSP) ปริมาณต่างๆ โดยวิธี 9-Point hedonic scale......................	54
4-22	คุณภาพหลังการต้มของบะหมี่กึ่งสำเร็จรูปแบบไม่ทอดที่เสริมสาหร่ายผักกาดทะเลผงที่เติมเอนไซม์ทรานส์กลูตามิเนสปริมาณต่าง ๆ............	56
4-23	ลักษณะเนื้อสัมผัสของบะหมี่กึ่งสำเร็จรูปแบบไม่ทอดที่เสริมสาหร่ายผักกาดทะเลผงที่เติมเอนไซม์ทรานส์กลูตามิเนสปริมาณต่าง ๆ............	57
4-24	คะแนนการทดสอบทางประสาทสัมผัสของบะหมี่เสริมสาหร่ายผักกาดทะเลผงที่เติมเอนไซม์ทรานส์กลูตามิเนสในปริมาณต่าง ๆ โดยใช้วิธี scoring test......	60
4-25	คะแนนการทดสอบทางประสาทสัมผัสของบะหมี่เสริมสาหร่ายผักกาดทะเลผงที่เติมเอนไซม์ทรานส์กลูตามิเนสในปริมาณต่าง ๆ ที่ผ่านการต้มสุก โดยใช้วิธี 9-point hedonic scale............	61
4-26	องค์ประกอบทางเคมีของสาหร่ายเกลียวทองผง............	63
4-27	ชนิดและปริมาณของกรดอะมิโนในสาหร่ายเกลียวทองผง............	64

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่ **หน้า**

4-28 ชนิดและปริมาณของกรดไขมันในสาหร่ายเกลียวทองผง.................................. 65
4-29 คุณภาพหลังการต้มของบะหมี่กึ่งสำเร็จรูปแบบไม่ทอดที่เติมสาหร่ายเกลียวทองผงในปริมาณต่างๆ..................... 66
4-30 ค่าสีของบะหมี่กึ่งสำเร็จรูปแบบไม่ทอดอบแห้งที่เติมสาหร่ายเกลียวทองผงในปริมาณต่างๆ..................... 67
4-31 ค่าสีของบะหมี่กึ่งสำเร็จรูปแบบไม่ทอดต้มสุกที่เติมสาหร่ายเกลียวทองผงในปริมาณต่างๆ..................... 68
4-32 ลักษณะเนื้อสัมผัสของบะหมี่กึ่งสำเร็จรูปแบบไม่ทอดที่เติมสาหร่ายเกลียวทองผงในปริมาณต่างๆ..................... 68
4-33 คะแนนการทดสอบทางประสาทสัมผัสของบะหมี่ที่เติมสาหร่ายเกลียวทองผงในปริมาณต่างๆ ที่ผ่านการต้มสุกโดยใช้วิธี scoring test................................ 69
4-34 คะแนนการทดสอบทางประสาทสัมผัสของบะหมี่ที่เติมสาหร่ายเกลียวทองผงในปริมาณต่างๆ ที่ผ่านการต้มสุกโดยใช้วิธี 9-point hedonic scale.............. 70
4-41 ค่าสีของพาสต้าข้าวเจ้าเสริมสาหร่ายเกลียวทองผงที่เตรียมโดยใช้อุณหภูมิของเครื่องเอกซ์ทรูเดอร์ระดับต่างๆ ที่ผ่านการต้มสุก.. 78
4-39 ลักษณะเนื้อสัมผัสของพาสต้าข้าวเจ้าเสริมสาหร่ายเกลียวทองผงที่เตรียมโดยใช้อุณหภูมิของเครื่องเอกซ์ทรูเดอร์ระดับต่างๆ... 71
4-40 คะแนนการทดสอบทางประสาทสัมผัสของพาสต้าข้าวเจ้าเสริมสาหร่ายเกลียวทองผงที่เตรียมโดยใช้อุณหภูมิของเครื่องเอกซ์ทรูเดอร์ระดับต่างๆ.......... 72
4-41 คุณภาพหลังการต้มของบะหมี่เสริมสาหร่ายเกลียวทองผงที่เติมเอนไซม์ทรานส์กลูตามิเนสในปริมาณต่าง ๆ 78
4-42 ลักษณะเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์บะหมี่เสริมสาหร่ายเกลียวทองผงที่เติมเอนไซม์ทรานส์กลูตามิเนสในปริมาณต่าง ๆ 79
4-43 คะแนนการทดสอบทางประสาทสัมผัสของบะหมี่เสริมสาหร่ายเกลียวทองผงที่เติมเอนไซม์ทรานส์กลูตามิเนสในปริมาณต่าง ๆ โดยใช้วิธี scoring test.......... 83
4-44 คะแนนการทดสอบทางประสาทสัมผัสของบะหมี่เสริมสาหร่ายเกลียวทองผงที่เติมเอนไซม์ทรานส์กลูตามิเนสในปริมาณต่าง ๆ โดยใช้วิธี 9-point hedonic scale... 83
4-45 คุณภาพหลังการต้มของบะหมี่เสริมสาหร่ายและบะหมี่ทางการค้า.................. 85
4-46 ลักษณะเนื้อสัมผัสของบะหมี่เสริมสาหร่ายและบะหมี่ทางการค้า.................... 86
4-47 คะแนนการทดสอบทางประสาทสัมผัสของบะหมี่เสริมสาหร่ายและบะหมี่ทางการค้า โดยใช้วิธี scoring test.. 88

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่ **หน้า**

4-48	คะแนนการทดสอบทางประสาทสัมผัสของบะหมี่เสริมสาหร่ายและบะหมี่ทางการค้า โดยใช้วิธี 9-point hedonic scale...	89
4-49	องค์ประกอบทางเคมีของบะหมี่กึ่งสำเร็จรูปแบบไม่ทอดเสริมสาหร่ายและบะหมี่ทางการค้า..	91
4-50	ชนิดและปริมาณของกรดอะมิโนในบะหมี่กึ่งสำเร็จรูปแบบไม่ทอดเสริมสาหร่าย	92
4-51	ชนิดและปริมาณของกรดไขมันในบะหมี่กึ่งสำเร็จรูปแบบไม่ทอดเสริมสาหร่าย..	93

สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
2-1	กรรมวิธีการผลิตและชนิดของบะหมี่...	7
2-2	โครงสร้างทางเคมีของโมโนโซเดียมฟอสเฟตและไดโซเดียมฟอสเฟต..............	18
2-3	การเร่งปฏิกิริยาโดยเอนไซม์ทรานส์กลูตามิเนส..	20
4-1	บะหมี่กึ่งสำเร็จรูปแบบไม่ทอดอบแห้งที่เติมสาหร่ายผักกาดทะเลผงร้อยละ 0, 2, 4, 6, 8 และ 10 เมื่อใช้ความชื้นของส่วนผสมร้อยละ 37 และ 40.........	39
4-2	บะหมี่กึ่งสำเร็จรูปแบบไม่ทอดต้มสุกที่เติมสาหร่ายผักกาดทะเลผงร้อยละ 0, 2, 4, 6, 8 และ 10 เมื่อใช้ความชื้นของส่วนผสมร้อยละ 37 และ 40.........	39
4-3	ค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 340 nm ของโดบะหมี่เสริมสาหร่ายผักกาดทะเลผงเมื่อเติมเอนไซม์ทรานส์กลูตามิเนสปริมาณต่างๆ	55
4-4	ลักษณะและรูปร่างของสาหร่ายผักกาดทะเลผงที่กำลังขยาย 1000 และ 3000 เท่า..	58
4-5	โครงสร้างพื้นผิวระดับจุลภาคของบะหมี่เสริมสาหร่ายผักกาดทะเลผงที่เติมเอนไซม์ทรานส์กลูตามิเนสปริมาณต่างๆ	58
4-6	โครงสร้างระดับจุลภาคแบบตัดขวางของบะหมี่เสริมสาหร่ายผักกาดทะเลผงที่เติมเอนไซม์ทรานส์กลูตามิเนสปริมาณต่างๆ	59
4-7	บะหมี่อบแห้งที่เติมสาหร่ายเกลียวทองผงปริมาณต่างๆ	67
4-8	บะหมี่ต้มสุกที่เติมสาหร่ายเกลียวทองผงปริมาณต่างๆ	67
4-9	ค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 340 nm ของโดบะหมี่เสริมสาหร่ายเกลียวทองผงเมื่อเติมเอนไซม์ทรานส์กลูตามิเนสปริมาณต่างๆ	77
4-10	ลักษณะและรูปร่างของสาหร่ายเกลียวทองผงที่กำลังขยาย 1000 และ 3000 เท่า..	80
4-11	โครงสร้างพื้นผิวระดับจุลภาคของบะหมี่เสริมสาหร่ายเกลียวทองผงที่เติมเอนไซม์ทรานส์กลูตามิเนสปริมาณต่างๆ	80
4-12	โครงสร้างระดับจุลภาคแบบตัดขวางของบะหมี่เสริมสาหร่ายเกลียวทองผงที่เติมเอนไซม์ทรานส์กลูตามิเนสปริมาณต่างๆ	82

บทที่ 1

บทนำ

ความสำคัญและที่มาของปัญหาที่ทำการวิจัย

อาหารเพื่อสุขภาพหรือฟังก์ชันนัลฟูดส์ (Functional foods) ได้รับความนิยมจากผู้บริโภคทั่วโลกเพิ่มขึ้น เนื่องจากการบริโภคอาหารมีความสัมพันธ์โดยตรงกับสุขภาพของมนุษย์ ประกอบกับวิถีชีวิตที่เปลี่ยนแปลงไปทำให้อาหารที่บริโภคเป็นสาเหตุให้เกิดโรคร้ายแรงต่างๆ เช่น หลอดเลือดหัวใจ เบาหวาน มะเร็ง เป็นต้น 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)

บะหมี่กึ่งสำเร็จรูปเป็นผลิตภัณฑ์ที่นิยมบริโภคกันอย่างแพร่หลายทั่วโลก โดยเฉพาะประเทศในแถบเอเชีย ส่วนในประเทศไทยมีการบริโภคบะหมี่กึ่งสำเร็จรูปปริมาณสูงเป็นอันดับที่ 8 ของโลก รองจากประเทศจีน อินโดนีเซีย ญี่ปุ่น เวียดนาม อินเดีย สหรัฐอเมริกา และสาธารณรัฐเกาหลี (World Instant Noodle Association, 2015) แม้ว่าบะหมี่กึ่งสำเร็จรูปมีคุณค่าทางโภชนาการต่ำ เนื่องจากประกอบด้วยคาร์โบไฮเดรตประเภทสตาร์ชเป็นองค์ประกอบหลัก แต่ยังได้รับความนิยมในการบริโภคสูง เนื่องจากเป็นผลิตภัณฑ์อาหารที่บริโภคง่ายและสะดวกในการเตรียม ดังนั้นบะหมี่กึ่งสำเร็จรูปจึงเป็นผลิตภัณฑ์ที่น่าสนใจนำมาปรับปรุงคุณค่าทางโภชนาการ และพัฒนาให้เป็นผลิตภัณฑ์อาหารเพื่อสุขภาพ สาหร่ายเป็นหนึ่งในผลิตภัณฑ์อาหารจากทะเลที่มีศักยภาพในการนำมาใช้เป็น Functional ingredients ในผลิตภัณฑ์บะหมี่ เนื่องจากสาหร่าย (Seaweed) เป็นแหล่งของโพลีแซคคาร์ไรด์ที่ละลายน้ำได้ (Soluble polysaccharide) ซึ่งจัดเป็นเส้นใยอาหารประเภทหนึ่ง นอกจากนี้ยังเป็นแหล่งของ ไฟโทเคมีคอล และ Bioactive compounds ที่มีสมบัติเป็นสารต้านออกซิเดชัน ต้านแบคทีเรีย และต้านไวรัส สาหร่ายประเภทนี้มักเป็นสาหร่ายขนาดใหญ่ (Macroalgae) เช่น สาหร่ายสีน้ำตาล สาหร่ายสีแดง เป็นต้น ส่วนสาหร่ายขนาดเล็ก (Microalgae) เช่น สไปรูไลน่า (*Spirulina*) สามารถนำมาใช้ในการเพิ่มคุณค่าทางโภชนาการให้กับผลิตภัณฑ์อาหาร และเป็นแหล่งของไฟโทเคมิคอล เช่น คลอโรฟิลล์ แคโรทีนอยด์ เป็นต้น (Kadam and Prabhasankar, 2010) บะหมี่กึ่งสำเร็จรูปจำแนกได้เป็น 2 ประเภท คือ บะหมี่ที่ทำแห้งโดยการทอดในน้ำมัน และบะหมี่ที่ทำแห้งโดยวิธีอื่น (สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม, 2548) บะหมี่กึ่งสำเร็จรูปแบบทอดในน้ำมันมีกลิ่นรสและลักษณะเนื้อสัมผัสที่เฉพาะ เนื่องจากผ่านกระบวนการทอดในน้ำมันแบบท่วม (deep-frying process) แต่พบว่ามีปริมาณน้ำมันอยู่สูงถึง 15-22% (Wang, et al., 2011a) บะหมี่กึ่งสำเร็จรูปทั้ง 2 ประเภทมีกรรมวิธีการผลิตคล้ายกัน ยกเว้นวิธีการทำแห้งซึ่งบะหมี่กึ่งสำเร็จรูปแบบไม่ทอดนิยมนำมาทำแห้งโดยวิธีการอบด้วยลมร้อน บะหมี่ประเภทนี้จึงน่าจะเหมาะแก่การพัฒนาเป็น

ผลิตภัณฑ์อาหารเพื่อสุขภาพเนื่องจากมีไขมันต่ำกว่า โดยปกติการผลิตบะหมี่กึ่งสำเร็จรูปทางการค้ามักใช้แป้งดัดแปรทางเคมีในปริมาณสูงถึง 15% (โดยน้ำหนักแป้ง) เพื่อปรับปรุงคุณภาพด้านลักษณะเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์บะหมี่ แต่มีรายงานว่าการใช้เกลือฟอสเฟต (ได้แก่ ไดโซเดียมฟอสเฟต และไดโปแตสเซียมฟอสเฟต) ในปริมาณ 0.3% ทดแทนปริมาณสตาร์ชมันฝรั่งดัดแปรทางเคมีบางส่วนสามารถปรับปรุงคุณภาพของผลิตภัณฑ์ได้ (Wang, et al., 2011a) เนื่องจากงานวิจัยนี้ต้องการพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหารเพื่อสุขภาพ จึงสนใจศึกษาการใช้สารปรับปรุงคุณภาพชนิดอื่นแทนแป้งดัดแปรทางเคมีในสูตรบะหมี่ จากผลการศึกษาวิจัยที่ผ่านมาพบว่าการใช้เอนไซม์ทรานซ์กลูตามิเนสในปริมาณ 0.3% (โดยน้ำหนักแป้ง) สามารถปรับปรุงคุณภาพหลังการปรุงสุกและลักษณะเนื้อสัมผัสของบะหมี่เสริมใบมะรุมผงได้ (กุลยา ลิ้มรุ่งเรืองรัตน์และคณะ, 2554) ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงสนใจพัฒนาสูตรผลิตภัณฑ์บะหมี่กึ่งสำเร็จรูปแบบไม่ทอดในน้ำมันเสริมสาหร่ายชนิดต่างๆ และปรับปรุงคุณภาพของผลิตภัณฑ์โดยใช้เกลือฟอสเฟตและเอนไซม์ทรานส์กลูตามิเนส เพื่อเป็นทางเลือกใหม่ในการบริโภคอาหารเพื่อสุขภาพ ตลอดจนช่วยเพิ่มมูลค่าของผลิตภัณฑ์ทางการเกษตรให้มีศักยภาพในการส่งออกได้

วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาองค์ประกอบทางเคมีและปริมาณสารสำคัญบางชนิดของสาหร่าย
2. เพื่อพัฒนาสูตรบะหมี่กึ่งสำเร็จรูปแบบไม่ทอดเสริมสาหร่าย
3. เพื่อเปรียบเทียบคุณภาพทางเคมี กายภาพ และลักษณะทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์บะหมี่กึ่งสำเร็จรูปแบบไม่ทอดเสริมสาหร่ายกับผลิตภัณฑ์บะหมี่กึ่งสำเร็จรูปทางการค้า

ขอบเขตของโครงการวิจัย

โครงการวิจัยนี้ศึกษาการพัฒนาผลิตภัณฑ์บะหมี่กึ่งสำเร็จรูปเพื่อสุขภาพ และพัฒนาให้เป็นอาหารเพื่อสุขภาพโดยการเติมสาหร่ายที่สามารถผลิตได้ภายในประเทศ 2 ชนิด คือ (1) สาหร่ายเล็ก (Microalgae) ได้แก่ *Spirulina* sp. และ (2) สาหร่ายทะเลขนาดใหญ่ (Macroalgae) ได้แก่ *Ulva rigida* ในขั้นตอนการวิจัยประกอบด้วยการพัฒนาสูตรบะหมี่กึ่งสำเร็จรูปและการปรับปรุงคุณภาพของผลิตภัณฑ์ โดยศึกษาหาปริมาณสาหร่ายที่เหมาะสม ชนิดและปริมาณเกลือฟอสเฟตที่เหมาะสม รวมทั้งปริมาณเอนไซม์ทรานส์กลูตามิเนสที่เหมาะสมสำหรับเติมในผลิตภัณฑ์ นำผลิตภัณฑ์บะหมี่กึ่งสำเร็จรูปที่ได้มาวิเคราะห์คุณภาพในด้านลักษณะทางกายภาพ คุณค่าทางโภชนาการ และการยอมรับทางประสาทสัมผัสเปรียบเทียบกับผลิตภัณฑ์บะหมี่กึ่งสำเร็จรูปทางการค้า

บทที่ 2
การตรวจเอกสาร

บะหมี่

บะหมี่ หมายถึง ผลิตภัณฑ์ที่เป็นเส้นทำจากแป้งสาลีอย่างเดียวหรืออาจผสมกับแป้งชนิดอื่น โดยอาจผ่านกระบวนการในการทำให้แห้งและสุกที่อุณหภูมิและความดันที่เหมาะสม เพื่อให้เก็บได้นานและสามารถรักษาคุณภาพ กลิ่น และรสชาติ ของผลิตภัณฑ์ไว้ได้ (อรอนงค์ นัยวิกุล, 2540)

ประวัติการพัฒนาบะหมี่ โดยบะหมี่เริ่มทำขึ้นครั้งแรกในประเทศจีนเมื่อประมาณ 1,200 ปีที่ผ่านมา จากนั้นก็แพร่หลายไปทั่วแถบภูมิภาคเอเชีย ทำให้บะหมี่เกิดขึ้นมากมายหลายรูปแบบ เช่น ในประเทศญี่ปุ่นได้ดัดแปลงบะหมี่จากจีนกลายเป็นบะหมี่ญี่ปุ่น หรือที่เรียกกันว่า อุด้ง (Udon) บะหมี่มีการพัฒนาอย่างต่อเนื่อง ใช้เทคโนโลยีการแช่แข็งและบรรจุภัณฑ์ เพื่อพัฒนาและตอบสนองความต้องการของผู้บริโภคไม่หยุดยั้ง บะหมี่จึงเข้ามามีบทบาทและเป็นอาหารที่ได้รับความนิยมบริโภคทั่วโลก (กมลรัตน์ รักกิจศิริ, 2549)

ชนิดของบะหมี่

เกณฑ์ที่ใช้จำแนกชนิดบะหมี่มีหลากหลาย เช่น ส่วนประกอบที่เติม กระบวนการผลิต รูปร่าง ความหนาของเส้น ปริมาณความชื้น เป็นต้น บะหมี่อาจแบ่งได้เป็น 2 ชนิด คือ

1. จำแนกตามส่วนประกอบ

1.1. บะหมี่จีน (Chinese noodle) ทำจากแป้งสาลี เกลือ น้ำ และสารละลายของด่าง หรือที่เรียกว่า คานซุย (kansui) แล้วนำมาผสมให้เกิดโด ขึ้นรูปเป็นแผ่น ตัดให้เป็นเส้น มีความหนาแตกต่างกันออกไป สามารถนำไปผ่านกระบวนการอื่นๆ เพื่อทำบะหมี่ที่มีความหลากหลายออกไป ลักษณะเด่นของบะหมี่จีน คือ มี pH ในช่วง 9-11 มีสีเหลือง และลักษณะเนื้อสัมผัสจะมีความแน่นเนื้อ (Firmness) ยืดหยุ่น (Elastic) และผิวสัมผัสเรียบ (Smooth surface)

1.2 บะหมี่แบบญี่ปุ่น ทำจากแป้งสาลีโปรตีนต่ำร้อยละ 9-10 ผสมกับน้ำประมาณร้อยละ 28-33 และเกลือร้อยละ 2 โดยไม่เติมด่างทำให้ได้บะหมี่ที่มีสีขาว เนื้อนุ่มและไม่เหนียว

2. จำแนกตามวิธีการผลิต

2.1 บะหมี่สด/บะหมี่ไข่ (Wonton noodle) บะหมี่ชนิดนี้ไม่ผ่านการทำให้สุก มีความชื้นร้อยละ 30-35 และปกติเก็บรักษาไว้ในอุณหภูมิต่ำ เฉลี่ยมีอายุการเก็บรักษา 3 วัน หากมากกว่านี้จะเกิดราและสีคล้ำขึ้น บะหมี่ไข่นี้จะต้องมีสีเหลืองในการทำบะหมี่ไข่โดยปกติจะพักโดก่อนการขึ้นแผ่น

2.2 บะหมี่เปียกหรือบะหมี่ฮอกเกี้ยน (Hokkien noodle) บะหมี่ชนิดนี้จะทำให้สุกก่อนบางส่วน (Precook) โดยการลวกหรือต้มในน้ำเดือด ซึ่งบะหมี่ชนิดนี้มีความชื้นสูงมากประมาณร้อยละ 50 เมื่อบะหมี่ผ่านการลวกจะถูกล้างเพื่อไม่ให้แป้งเหนียวติดกัน หรือบางครั้งอาจทำให้อุณหภูมิลดลงโดยการเป่าลมเย็น ซึ่งในขณะทำให้เย็นอาจมีการพ่นน้ำมัน บะหมี่ชนิดนี้มีอายุการเก็บรักษาสั้นและมีสีเหลืองจากสารละลายด่าง บะหมี่ชนิดนี้พบในประเทศมาเลเซีย

2.3 บะหมี่แห้ง (Dried noodle) การนำบะหมี่สดมาทำให้แห้งด้วยการตากแดดอย่างช้าๆ หรือการนำเข้าตู้อบควบคุมความร้อนให้ค่อยๆ สูงขึ้นอย่างเหมาะสม เพื่อให้เส้นบะหมี่ค่อยๆ แห้งลงจากความชื้นร้อยละ 35 ลดลงเหลือร้อยละ 8-10 เป็นการพัฒนากรรมวิธีให้บะหมี่สดสามารถเก็บไว้ได้นานขึ้น บะหมี่ชนิดนี้จะมีลักษณะขาวขุ่น

2.4 บะหมี่แห้งสำเร็จรูป (Steam and dry noodle) กรรมวิธีการทำบะหมี่แห้งสำเร็จรูปนี้ปรับปรุงจากการทำบะหมี่สดโดยนำมาผ่านไอน้ำให้สุกขั้นหนึ่งก่อนแล้วจึงนำมาจับรวมเป็นก้อนขนาดเหมาะสม ทำให้แห้งโดยวิธีการอบในตู้อบควบคุมอุณหภูมิ เมื่อแห้งดีแล้วจะมีความชื้นเหลืออยู่ 10-13 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งสามารถเก็บได้นานเป็นปี เมื่อต้องการบริโภคก็นำมาต้มให้สุก

2.5 บะหมี่ทอดสำเร็จรูป (Instant fried noodle) เป็นวิธีที่นิยมมากในปัจจุบัน เนื่องจากเก็บได้นานและนำมาบริโภคง่าย เพียงลวกน้ำร้อนเดือด 3-5 นาทีหรือต้มโดยใช้เวลาสั้นกว่าบะหมี่แห้งสำเร็จรูป ซึ่งเกิดจากการนำบะหมี่สดมาอบไอน้ำร้อน จับเส้นให้มีขนาดเหมาะสม นำไปทอดในน้ำมันให้สุก แล้วทิ้งไว้ให้เย็น ทำให้มีความชื้นเพียงร้อยละ 5-8 จึงเก็บได้นานทำให้นิยมแพร่หลายทั่วโลกโดยเฉพาะประเทศแถบเอเชีย

วัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตบะหมี่

แป้งสาลี

แป้งสาลีเป็นองค์ประกอบหลักในการทำบะหมี่ ซึ่งมีปริมาณถึงร้อยละ 90-95 ในสูตร ดังนั้นลักษณะของบะหมี่ทั้งทางกายภาพและเคมีจึงมีผลมาจากแป้งเป็นส่วนใหญ่ คุณภาพของบะหมี่ขึ้นอยู่กับองค์ประกอบหลักที่สำคัญของแป้ง ได้แก่ สตาร์ช โปรตีน รงควัตถุให้สี และเอนไซม์รวมถึงวิธีการโม่แป้ง ดังนี้

ก. โปรตีนมีความสำคัญต่อความยืดหยุ่นซึ่งมีผลจากปริมาณโปรตีนและคุณภาพกลูเตน โปรตีนและกลูเตนที่ดีทำให้เส้นบะหมี่คงตัว มีลักษณะในการกัดเคี้ยวที่ดี ความเหมาะสมของปริมาณโปรตีนของบะหมี่แต่ละชนิดมีความแตกต่างกันออกไป เช่น บะหมี่จีนต้องการโปรตีนร้อยละ 10-12 ส่วนบะหมี่ญี่ปุ่นหรืออุด้งต้องการโปรตีนร้อยละ 9-10 โดยหน้าที่สำคัญของโปรตีน คือ กลูเตนส่งผลต่อการความยืดหยุ่นในบะหมี่ ปริมาณโปรตีนของแป้งสาลีส่งผลต่อสีของบะหมี่และลักษณะเนื้อสัมผัสโดยเฉพาะความแข็ง (Hardness) นอกจากนี้ปริมาณโปรตีนของบะหมี่มีผลโดยตรงต่อการอุ้มน้ำของโดในบะหมี่ โดยการอุ้มน้ำของโดที่เหมาะสม จะทำให้โดเกิดความคงตัว บะหมี่ที่ได้จึงมีคุณภาพดี ซึ่งการอุ้มน้ำของโดยังขึ้นอยู่กับคุณภาพของแป้ง เช่น ความเสียหายในเม็ดแป้งและความละเอียดของเม็ดแป้งด้วย ถ้าแป้งมีเอนไซม์โปรตีเอสจะทำให้คุณภาพของบะหมี่ลดลงเนื่องจากการย่อยสลายโปรตีนทำให้คุณสมบัติของกลูเตนเสียไป ทั้งนี้เนื่องมาจากข้าวสาลีเกิดการงอกในขณะเก็บรักษา

ข. สตาร์ชของแป้งสาลีเป็นองค์ประกอบหลักที่มีในแป้งมากที่สุดประมาณร้อยละ 67 ดังนั้นสตาร์ชจึงเป็นโครงร่างของบะหมี่โดยมีความสัมพันธ์กับกลูเตนทำให้เกิดโด สตาร์ชมีผลต่อเส้นบะหมี่เมื่อสุกโดยสตาร์ชที่มีความหนืดสูงจะช่วยให้เส้นบะหมี่มีความยืดตัวดีและเหนียว ซึ่งปริมาณอะไมโลสของแป้งมีความสัมพันธ์กับความแข็ง (Hardness) และความยืดหยุ่น (Springiness) ลักษณะของสตาร์ชที่ดีขึ้นอยู่กับปริมาณเอนไซม์ในแป้ง คือ อัลฟา-อะไมเลส (Alpha-amylase) เกิดการย่อย

สตาร์ชทำให้คุณสมบัติของสตาร์ชเสื่อมเสียไป บะหมี่ที่ได้จึงมีคุณภาพไม่ดี โดยเอนไซม์ดังกล่าวจะพบมากในแป้งสาลีที่มีการเก็บรักษานานและเกิดการงอกขึ้น

ค. เอนไซม์ในแป้งจะเกิดขึ้นเองตามธรรมชาติ มีผลต่อลักษณะความคงตัวของบะหมี่และมีผลต่อสีของบะหมี่ด้วย โดยเอนไซม์โพลีฟีนอลออกซิเดส (Polyphenoloxidase) ที่มีในแป้งจะทำปฏิกิริยาออกซิเดชันกับไทโรซีนหรือสารฟีนอลอื่นๆในแป้งกลายเป็นสีน้ำตาล ซึ่งไม่เป็นที่ยอมรับของผู้บริโภคโดยเฉพาะบะหมี่ญี่ปุ่นซึ่งเส้นมีสีขาว

ง. รงควัตถุที่ให้สีของแป้ง คือ ฟลาโวน (Flavones) จะทำปฏิกิริยากับสารละลายเบสที่เติมลงในส่วนผสมจะให้บะหมี่ที่มีสีเหลือง เป็นลักษณะสำคัญของบะหมี่จีนที่ผู้บริโภคยอมรับ ถ้าแป้งมีสารให้สีมากเกินไป โดยเฉพาะแป้งที่มีส่วนของรำหรือคัพภะปนจะทำให้บะหมี่ที่ได้มีสีเหลืองเข้ม

จ. วิธีการโม่แป้ง มีส่วนทำให้คุณลักษณะของบะหมี่แตกต่างกันออกไปส่งผลต่อการยอมรับของผู้บริโภค โดยการโม่แป้งที่เหมาะสมจะได้แป้งที่มีสตาร์ชเสียหายน้อย มีขนาดแป้งสม่ำเสมอ ช่วยให้การดูดซึมน้ำของแป้งดี โดมีความยืดหยุ่นพอเหมาะ ถ้าการโม่ไม่ดีทำให้สตาร์ชเสียหายมากและแป้งมีขนาดเล็กเกินไป จะมีผลทำให้แป้งดูดซึมน้ำมาก เอนไซม์เข้าทำลายสตาร์ชได้ง่าย โครงร่างของโดไม่แข็งแรง ความยืดหยุ่นไม่ดี ทำให้เส้นบะหมี่ที่ได้ไม่เหนียว

สามารถสรุปได้ว่าแป้งที่เหมาะสมในการทำบะหมี่ต้องเป็นแป้งที่โม่จากข้าวสาลีที่มีลักษณะทางเคมีและกายภาพดี ไม่เกิดการงอก เมื่อนำมาโม่เป็นแป้งเกิดการเสียหายของสตาร์ชน้อย ขนาดของแป้งเหมาะสมสม่ำเสมอ มีอัตราการสกัดต่ำ ไม่มีรำและคัพภะปน

น้ำ

น้ำเป็นส่วนประกอบสำคัญมากในการทำบะหมี่ กลูเตนในแป้งสาลีจำเป็นต้องใช้น้ำเพื่อให้เกิดการผสมขึ้นแผ่นเป็นโด และทำหน้าที่ละลายส่วนผสมต่างๆ ทำให้ส่วนผสมกระจายตัวได้ดี ปริมาณน้ำที่เติมจะบ่งบอกคุณภาพของโด คือ ความคงตัวและความยืดหยุ่น ถ้าปริมาณน้ำในส่วนผสมน้อยไป โครงร่างของบะหมี่จะไม่แข็งแรง มีลักษณะร่วนและโปร่ง ทำให้เส้นบะหมี่แข็งและขาดง่าย แต่ถ้าปริมาณน้ำมากเกินไป โดจะแฉะ เหนียวติดมือ รีดไม่ได้ เมื่อตัดเป็นเส้นจะติดกันง่าย ดังนั้นปริมาณน้ำต้องเหมาะสมด้วย นอกจากนี้คุณภาพของน้ำมีผลต่อความเป็นกรด-ด่างของบะหมี่ ซึ่งน้ำอ่อนเป็นน้ำที่มีแร่ธาตุน้อยเหมาะกับการทำบะหมี่ โดยน้ำที่มีแร่ธาตุของแคลเซียมและแมกนีเซียมปนอยู่จะมีผลต่อการดูดซึมน้ำของแป้งไม่สม่ำเสมอ โครงร่างโดไม่เนียน จึงได้เส้นบะหมี่ที่ไม่ดี ส่วนน้ำที่มีธาตุเหล็กปนอยู่ด้วยจะส่งผลต่อสีของบะหมี่ โดยมีลักษณะเป็นสีน้ำตาลหรือมีสีเขียวปน ซึ่งไม่เป็นที่ยอมรับของผู้บริโภค

เกลือ

เกลือในการผลิตบะหมี่มีปริมาณเกลือร้อยละ 0-8 ซึ่งเกลือจะช่วยในการป้องกันไม่ให้กลูเตนแฉะ ทำให้โดมีความคงตัวในการขึ้นรูป รวมถึงป้องกันเอนไซม์ที่จะมาย่อยโปรตีน และยับยั้งการเกิดราและยีสต์

สารละลายด่าง

สารละลายด่างที่ใส่ในบะหมี่ ได้แก่ $NaCO_3$, NaOH, KCO_3, CaOH, Na_2HSO_4 ซึ่งด่างเหล่านี้จะใช้ในปริมาณร้อยละ 0.5 – 2.0 โดยอยู่ในรูปของสารละลาย เรียกว่า คานซุย (Kansui) ซึ่งทำให้โดแข็งแรงและให้ความยืดหยุ่น ทำให้บะหมี่มีความแน่นให้คุณภาพที่ดีในการรับประทานนอกจากนี้ยังมี

ผลต่อลักษณะการต้มหรือลวกบะหมี่ โดยช่วยให้มีเนื้อสัมผัสดี ทนต่อการต้มได้นานโดยไม่เปื่อยง่าย เส้นบะหมี่มีความเหนียว ยืดหยุ่นดีกว่าเส้นบะหมี่ที่ไม่มีส่วนประกอบของด่างรวมถึงถ้ามีความเป็นด่างสูงจะเกิดปฏิกิริยากับเม็ดสีในแป้ง (Flavonoid) ทำให้เกิดสีเหลืองขึ้นในบะหมี่ และบะหมี่ที่มี Kansui ต่างชนิดกัน ไม่ส่งผลต่อความสว่างและสีเหลืองของบะหมี่ แต่ส่งผลต่อคุณสมบัติทางรีโอโลจี (Rheological properties) ของโดทำให้บะหมี่เกิดการสูญเสียจากการทำให้สุก (Cooking loss) สูง

ส่วนประกอบอื่น

ส่วนประกอบอื่นๆ ที่ใส่ลงไปเพื่อเพิ่มคุณภาพของบะหมี่ในกระบวนการผลิต เช่น อิมัลซิไฟเออร์ (Emulsifier) สารที่ช่วยในการคงตัว (Stabilizer) สารช่วยในการปรับปรุงสี (Color agent) แป้งถั่วเหลือง (Soy flour) และแป้งดัดแปร (Modified starch) เป็นต้น บางประเทศอาจมีการเติมสารช่วยในการเก็บรักษา (Preservative) เช่น โพแทสเซียมซอร์เบท โซเดียมคลอไรด์ โซเดียมคาร์บอเนต เป็นต้น โดยเฉพาะประเทศที่นิยมบริโภคบะหมี่สดหรือสุก

กรรมวิธีการผลิตบะหมี่

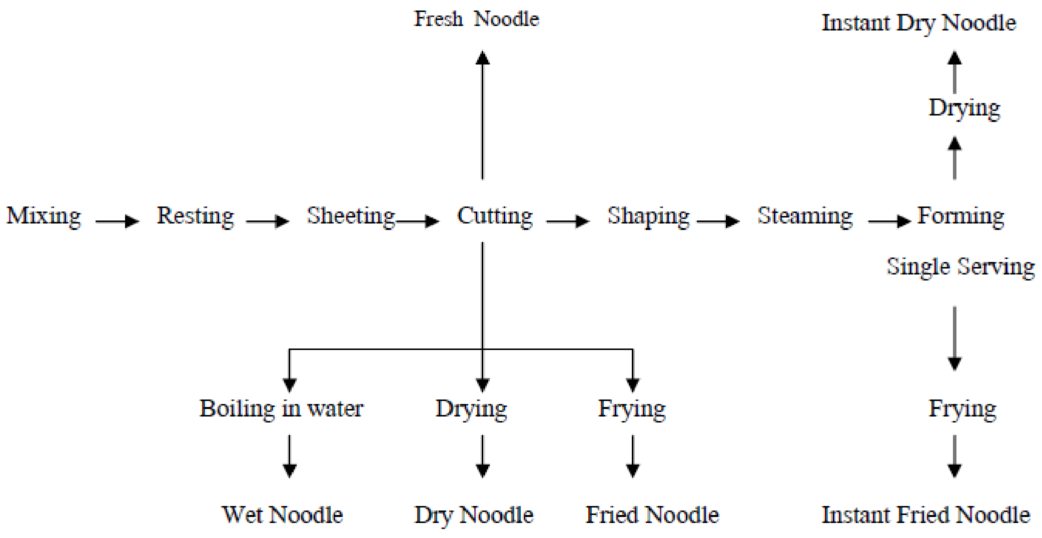
บะหมี่ที่ผลิตตามแบบเอเชีย จะมีขั้นตอนหลักที่สำคัญ 3 ขั้นตอน คือ

การผสม (Mixing) เป็นการนำเอาสารละลายด่างมาผสมเข้ากับแป้ง ปกติจะมีเวลาการผสม 5-10 นาที และอุณหภูมิหลังการผสมต้องเท่ากับอุณหภูมิห้อง วัตถุประสงค์ของการผสม คือ เป็นการกระจายน้ำและส่วนประกอบต่างๆ ให้เข้ากัน จนเกิดโด และพักโดอย่างน้อย 10-30 นาที เพื่อให้เกิดความสมดุลของน้ำในโด

การรีดให้เป็นแผ่นบาง (Sheeting) เป็นการขึ้นรูปก้อนโด เพื่อเป็นการปรับความหนา ความชื้น และให้เกิดโครงร่างกลูเตน (Gluten network) ซึ่งจะขึ้นกับ 2 ตัวแปรสำคัญ คือ อัตราเร็วในการไหลผ่านของแผ่นโดผ่านเครื่องรีด และร้อยละของการลดขนาดของแผ่นโด

การตัดเส้น (Cutting) การตัดแผ่นโดออกเป็นเส้น กลม หรือ แบน ทำให้ได้ชนิดของบะหมี่แตกต่างกันออกไปโดยบะหมี่ที่ได้เริ่มแรกนั้น จะเป็นบะหมี่สด (Fresh noodle) ต่อมาได้พัฒนาการผลิตเพิ่มขึ้น

โดยถ้านำบะหมี่สดมาลวกน้ำร้อนก่อนจำหน่ายให้ผู้บริโภค เรียกว่า บะหมี่เปียก (Wet noodle) หรือบะหมี่สุก ถ้านำบะหมี่สดมาตากแห้ง ก็จะได้บะหมี่แห้ง (Dry noodle) แต่ถ้านำบะหมี่สดมาทอด เรียกว่า บะหมี่ทอด (Fried noodle) เมื่อนำบะหมี่สดมาผ่านไอน้ำและทำให้แห้งจะได้บะหมี่แห้งสำเร็จรูป (Instant dry noodle) ถ้าผ่านไอน้ำแล้วนำมาทอดเรียกว่าบะหมี่ทอดสำเร็จรูป (Instant fried noodle) (อรอนงค์ นัยวิกุล, 2540) ดังแสดงในภาพที่ 2-1



ภาพที่ 2-1 กรรมวิธีการผลิตและชนิดของบะหมี่
ที่มา : Oh, Seib, Deyoe & Ward (1983)

การตรวจสอบคุณภาพของผลิตภัณฑ์บะหมี่

วิเคราะห์คุณภาพทางด้านสี (Color)

สีเป็นคุณลักษณะสำคัญอย่างหนึ่งของบะหมี่ ซึ่งเป็นลักษณะปรากฏแรกที่ผู้บริโภคตัดสินใจที่จะยอมรับผลิตภัณฑ์นั้นๆ คุณลักษณะด้านสีมีความสัมพันธ์กับคุณสมบัติอื่นๆ อีกมากมาย เช่น สีกับกลิ่นรสมีความสัมพันธ์กันโดยตรง ในผลิตภัณฑ์บะหมี่กึ่งสำเร็จรูปชนิดทอดสีที่ดูเข้มอาจจะทำให้ดูเหมือนกลิ่นรสชาติที่ไหม้ ส่วนสีที่อ่อนของผลิตภัณฑ์อาจดูเหมือนว่าผลิตภัณฑ์ไม่สุก โดยส่วนใหญ่มักทำการวัดค่าสีของบะหมี่สดในระบบ Hunter Lab หรือ CIE L*a*b* และทำการวัดค่าสีของบะหมี่ในลักษณะของแผ่นโด (Noodle sheet) ก่อนทำการตัดเป็นเส้น ซึ่งสะดวกและลดปัญหาความคลาดเคลื่อนจากการเตรียมตัวอย่างได้ดีกว่าการวัดค่าสีในลักษณะที่ตัดเป็นเส้นบะหมี่แล้ว สำหรับค่าสีที่มีความสำคัญต่อคุณภาพของบะหมี่ ได้แก่ ค่าความสว่าง (Lightness หรือ Brightness) โดยพิจารณาจากค่า L หรือ L* และค่าสีเหลือง (Yellowness) โดยพิจารณาจากค่า b หรือ b* นอกจากนี้ในการประเมินคุณภาพในด้านสีของบะหมี่ พบว่า วิธีการที่เหมาะสมและการเตรียมตัวอย่างในการวัดคุณภาพด้านสีมีความจำเป็น เพื่อให้ผลที่ได้บอกความแตกต่างของตัวอย่างได้ ซึ่งการศึกษาของ Morris, Jeffers & Engle (2000) รายงานว่า วิธีการที่เหมาะสมที่สุดในการวัดคุณภาพด้านสีของบะหมี่สด จะทำการวัดค่าในระบบ CIE L*a*b* และมีระยะเวลาที่พักบะหมี่ไว้ 24 ชั่วโมงหลังจากผลิตเสร็จจึงนำมาวัด นอกจากนี้วิธีการวัดควรใช้พื้นหลังเป็นแผ่นกระเบื้องสีขาวหรือสว่าง (White tile) และเตรียมตัวอย่างที่ใช้วัดในลักษณะของแผ่นโดที่ความหนาในช่วง 1.5-2.0 มิลลิเมตร ทำให้การวัดคุณภาพด้านสีของบะหมี่สดมีประสิทธิภาพ โดยสามารถแยกความแตกต่างของตัวอย่างได้ดีที่สุด

วิเคราะห์คุณภาพหลังการต้ม

1. เวลาที่เหมาะสมในการต้มบะหมี่ให้สุก (Cooking time)

ถ้าต้มบะหมี่ในเวลาที่เหมาะสมจะได้บะหมี่ที่มีเนื้อสัมผัสที่ดี แต่ถ้าต้มนานไปจะทำให้เส้นบะหมี่เละ

2. การสูญเสียเนื่องจากการทำให้สุก (Cooking loss)

การสูญเสียจากการทำให้สุก (Cooking loss) เป็นการวัดปริมาณของแข็งที่เกิดการสูญเสียลงในน้ำที่ใช้ในการทำให้สุก การหาปริมาณของแข็งดังกล่าวนี้สามารถนำน้ำที่ใช้ในการทำให้สุกไปทำการระเหยน้ำออก หรือ การทำแห้งโดยการแช่แข็ง (Freeze drying) แล้วคำนวณสัดส่วนของแข็งที่ได้ สัดส่วนการสูญเสียจากการทำให้สุกนี้เป็นดัชนีบ่งบอกคุณภาพอย่างหนึ่งของบะหมี่ บะหมี่ที่มีคุณภาพดีต้องมีการสูญเสียจากการทำให้สุกน้อย เนื่องจากมีความสัมพันธ์กับลักษณะเนื้อสัมผัส คือ ความเหนียวติดกัน (Stickiness) ซึ่งบ่งชี้ถึงผิวสัมผัสของเส้นบะหมี่ ถ้ามีการสูญเสียจากการทำให้สุกสูงจะทำให้ผิวสัมผัสของเส้นบะหมี่เหนียวติดกัน ไม่เป็นที่ยอมรับของผู้บริโภค โดยบะหมี่ที่มีคุณภาพเป็นที่ยอมรับควรมีสัดส่วนของการสูญเสียเนื่องจากการทำให้สุกต่ำกว่าร้อยละ 10 เป็นระดับที่ผู้บริโภคยอมรับ

3. น้ำหนักที่ได้หลังการต้ม (Cooking yield)

โดยนำบะหมี่ไปต้มตามเวลาที่เหมาะสมในการต้มบะหมี่ให้สุก ทิ้งให้สะเด็ดน้ำ แล้วชั่งน้ำหนักเพื่อหาอัตราการดูดน้ำเข้าไปในเส้นขณะต้ม

วิเคราะห์ลักษณะเนื้อสัมผัส (Texture)

การประเมินคุณภาพทางกายภาพที่สำคัญอีกอย่างหนึ่งของบะหมี่ คือ คุณลักษณะทางด้านเนื้อสัมผัส การวัดลักษณะเนื้อสัมผัสของบะหมี่ที่ทำให้สุก (Cooked noodle) เป็นการรับรู้โดยแรงต้านของบะหมี่ไปจนถึงพลังงานที่ใช้ในการเคี้ยว (Chewiness) มีการใช้เครื่องมือที่มีชื่อเรียกหลากหลายแตกต่างกันไปตามผู้ผลิตเครื่องนั้นๆ แต่ล้วนแล้วมีหลักการในการวัดเดียวกัน ซึ่งเกี่ยวข้องกับแรง (Force) ได้แก่ แรงกด (Compression) แรงเฉือน (Shear) แรงดึง (Tension) ที่ทำให้ตัวอย่างเกิดการเปลี่ยนแปลงรูปร่างหรือเกิดการแตกหัก (Deformation) ซึ่งวิธีการวัดลักษณะเนื้อสัมผัสของเส้นบะหมี่โดยส่วนใหญ่จะใช้วิธีการทดสอบ 4 วิธีหลักๆ คือ

1. การทดสอบด้วยวิธีการกด (Compression test) พารามิเตอร์ที่ได้จากการวัดเนื้อสัมผัสด้วยวิธีนี้ ได้แก่ ค่าแรงต้านการกด (Resistance to compression, RTC) และความชันในการกด (Compression slope, CS)

2. การทดสอบด้วยวิธีการตัด (Cutting test) พารามิเตอร์ที่ได้จากการวัดเนื้อสัมผัสด้วยวิธีนี้ ได้แก่ แรงตัดสูงสุด (Maximum cutting stress, MCS) และงานจากการตัดทั้งหมด (Work to cut, WTC)

3. การทดสอบด้วยการวัดเค้าโครงเนื้อสัมผัส (Texture profile analysis, TPA) ซึ่งวิธีการทดสอบด้วยการตัด (Cutting test) และ TPA นับว่าเป็นวิธีการกดเช่นเดียวกัน เนื่องจากในการตั้งสภาวะการทดสอบของเครื่องวัดเนื้อสัมผัสจัดอยู่ในประเภทการวัดแรงกด พารามิเตอร์ที่ได้จากการวัดเนื้อสัมผัสด้วยวิธีนี้ ได้แก่ ความแข็ง (Hardness) การเกาะติด (Adhesiveness) การเกาะตัวรวมกัน

(Cohesiveness) ความยืดหยุ่น (Springiness) การคืนกลับ (Resilience) และความทนทานต่อการเคี้ยว (Chewiness)

4. การทดสอบด้วยวิธีการดึง (Tension test) พารามิเตอร์ที่ได้จากการวัดเนื้อสัมผัสด้วยวิธีนี้ ได้แก่ แรงดึง (Tensile strength) สามารถใช้บ่งบอกความยืดหยุ่นของเส้น (Elasticity) โดยทำการทดสอบในเส้นบะหมี่สุก (Cooked noodle)

วิเคราะห์คุณภาพทางประสาทสัมผัส (Sensory)

การประเมินคุณภาพในการรับประทาน (Eating quality) โดยปกติอยู่บนพื้นฐานของการประเมินทางประสาทสัมผัส ซึ่งเกี่ยวข้องกับการยอมรับของผู้บริโภค ไม่ว่าจะเป็นคุณภาพทางด้านสีหรือลักษณะเนื้อสัมผัส ทั้งนี้เป็นเรื่องที่ยากสำหรับการประเมินโดยใช้เครื่องมือวัดเพื่อให้สัมพันธ์กับการกัดและการเคี้ยวของคน ดังนั้นการประเมินทางประสาทสัมผัสจึงเป็นเครื่องมืออย่างหนึ่งในการวิเคราะห์คุณภาพของบะหมี่ ส่วนใหญ่มักใช้วิธีการทดสอบแบบ 9-Point hedonic scale และการประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสด้วยวิธีการทดสอบเชิงพรรณนา ซึ่งเป็นวิธีการวัดและอธิบายลักษณะทางประสาทสัมผัสทั้งในเชิงคุณภาพและปริมาณ ซึ่งสามารถรวบรวมคุณลักษณะในการประเมินบะหมี่ด้วยวิธีการทดสอบเชิงพรรณนา Tang, Heymann & Hsieh (2000) ใช้วิธีการทดสอบทางประสาทสัมผัสเชิงพรรณนาในการทดสอบบะหมี่ โดยใช้ผู้ทดสอบที่ผ่านการฝึกฝน 12 คน โดยรวบรวมคุณลักษณะทางประสาทสัมผัสเชิงพรรณนาได้ทั้งหมด 8 คุณลักษณะ โดยมีคำนิยามดังนี้

คุณลักษณะ	**คำนิยาม**
1. สีเหลือง (Yellow color)	ความเข้มของสีเหลืองบนผิวบะหมี่
2. ความใส (Translucency)	ขนาดของแสงที่ส่องผ่านทะลุเส้นบะหมี่ได้
3. ความมันเงา (Shininess)	ขนาดของแสงสะท้อนจากพื้นผิวบะหมี่
4. ความเรียบของพื้นผิว (Surface smoothness)	ขนาดของรูพรุนบนผิวเส้นบะหมี่
5. ความแน่นเนื้อ (Firmness)	แรงที่ใช้ในการตัดเส้นให้ขาดออกจากกันด้วยฟันหน้า
6. ความยากง่ายในการเคี้ยว (Chewiness)	จำนวนครั้งในการเคี้ยวบะหมี่จนอยู่ในสถานะที่กลืนได้
7. การเกาะติดกันของเส้น (Surface stickiness)	ความสามารถในการแยกเส้นบะหมี่ 2 เส้นออกจากกัน
8. ความยืดหยุ่น (Elasticity)	ความสามารถในการคืนกลับเมื่อดึงเส้นบะหมี่ 1 เส้น

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 ให้พลังงานน้อยแต่มีคุณค่าทางอาหารสูง จึงมีประโยชน์ต่อสุขภาพและช่วยให้อายุยืน เหมาะสำหรับผู้ป่วยโรคเบาหวาน ความดันโลหิตสูง และโรคหัวใจ (กาญจนภาชน์ ลิ่วมโนมนต์, 2548)

สาหร่ายผักกาดทะเล

สาหร่ายผักกาดทะเล มีชื่อสามัญว่า sea lettuce มีชื่อวิทยาศาสตร์ว่า *Ulva rigida* C. Agardh เป็นสาหร่ายทะเลชนิดหนึ่งของประเทศไทย ที่มีชื่อเรียกว่าผักกาดทะเลเนื่องจากแผ่นใบของ

สาหร่ายชนิดนี้แผ่กว้างใบหยักคล้ายใบผักกาด (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 สามารถแพร่ขยายพันธุ์ได้ตลอดทั้งเดือนประมาณร้อยละ 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 อีกทั้งยังประกอบด้วยแคลเซียม 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 ลดน้ำตาลและช่วยรักษาแผลให้หายเร็ว 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 และสามารถสังเคราะห์แสงได้จึงเรียกว่า ไซยาโนแบคทีเรีย (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 หรือน้ำกร่อยแต่ ส่ ว น ใ ห ญ่ พ บ ใ น น้ ำ จื ด เจริญเติบโตได้ดีในน้ำที่มีความเป็นด่าง (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 ผลิตภัณฑ์ที่ออกมามีทั้งผลิตภัณฑ์ในรูปอาหารเสริมเพื่อสุขภาพมนุษย์ ซึ่งทำเป็นผงหรือเป็นเม็ดคล้ายยา หรือเป็นแคปซูล รวมทั้งอาจมีการผสมในอาหารอื่นๆ เช่น ผสมในเส้นสปาเกตตี้ สาหร่ายเกลียวทองเป็นสิ่งมีชีวิตชนิดหนึ่งที่มีปริมาณโปรตีนสูงถึงคลอโรฟิลล์ 70 โดยน้ำหนักแห้ง จึงเหมาะสมในการนำมาเป็นอาหารเสริมของคนและสัตว์ โดยจะอยู่ในรูปของกรดอะมิโนและไฟโคบิลิโปรตีน ซึ่งเป็นรงควัตถุที่สำคัญชนิดหนึ่งของสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำ

เงินซึ่งมีความสำคัญในระดับอุตสาหกรรมหลายประเภท 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)

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

ฟอสเฟต (Phosphate)

ฟอสเฟต (Phosphate) เป็นสารประกอบที่ผลิตได้จากกรดฟอสโฟลิก โดยการนำกรดชนิดนี้มาทำให้เป็นกลางเพียงบางส่วนหรือทั้งหมดด้วยไอออนของโลหะที่เป็นด่างซึ่งพบมาก ได้แก่ โซเดียม โปแตสเซียม แคลเซียม

สารประกอฟอสเฟตที่ใช้กันอยู่นั้นแบ่งออกเป็น 2 กลุ่มใหญ่ คือ

1. ออร์โทฟอสเฟต (Orthophosphates)
2. คอนเดนส์ฟอสเฟต (Condensedphosphates)

ออร์โทฟอสเฟตนั้นประกอบด้วยฟอสฟอรัส 1 อะตอม ล้อมรอบด้วยออกซิเจน 4 อะตอม สารประกอบนี้มีตำแหน่งที่จะรับอะตอมที่มีประจุบวกได้ 3 แห่ง ซึ่งอาจจะเป็นอะตอมของไฮโดรเจนหรือไอออนบวกของโลหะที่เป็นด่างหรือทั้งสองอย่างนั้นรวมกัน

คอนเดนส์ฟอสเฟตเกิดขึ้นจากการให้ความร้อนแก่ส่วนผสมของออโทฟอสเฟตภายใต้สภาวะที่ควบคุม ทำให้สารประกอบที่มีฟอสฟอรัสตั้งแต่ 2 อะตอมขึ้นไป โดยที่ระหว่างอะตอมของฟอสฟอรัสจะมีอะตอมของออกซิเจนคั่นอยู่ สารประกอบฟอสฟอรัสที่มีฟอสฟอรัส 2 อะตอม นี้ถูกเรียกว่า ไพโรฟอสเฟต (Pyrophosphate) สารประกอบฟอสฟอรัสที่มีฟอสฟอรัสตั้งแต่ 3 อะตอมขึ้นไป เรียกว่า โพลีฟอสเฟต (Polyphosphate) ซึ่งมีลักษณะโมเลกุลเป็นเส้นตรง แต่ถ้าโมเลกุลเชื่อมต่อกันเป็นวงจะถูกเรียกว่า เมตาฟอสเฟต (Metaphosphate)

นอกจากฟอสเฟต 2 กลุ่มดังกล่าวแล้วยังมีฟอสเฟตอีกกลุ่มหนึ่ง คือ อัลตราฟอสเฟต (Ultraphosphate) ซึ่งมีรูปร่างเป็นเส้นตรงที่แตกแขนงหรือเป็นวงเชื่อมกันหรือมีทั้ง 2 ลักษณะร่วมกัน แต่ฟอสเฟตกลุ่มนี้ไม่ได้รับความนิยมในการใช้งาน (ประสาร สวัสดิ์ซิตัง, 2538)

คุณสมบัติและหน้าที่ของสารประกอบฟอสเฟต

คุณสมบัติทางเคมีบางอย่างนั้นทำให้สารประกอบฟอสเฟตมีผลอย่างกว้างขวางในผลิตภัณฑ์อาหาร ดังต่อไปนี้

1. เป็นบัฟเฟอร์และควบคุมพีเอช (Buffering and pH control)

ฟอสเฟตช่วยควบคุมการเปลี่ยนแปลงพีเอช นั้นคือทำหน้าที่เป็นบัฟเฟอร์ เมื่อมีการเติมการกรดหรือด่างลงไปในอาหารจะทำให้สภาพความเป็นกรด-ด่างของอาหารเปลี่ยนไปเพียงเล็กน้อย สารประกอบฟอสเฟตที่ทำหน้าที่เป็นบัฟเฟอร์ได้ดี คือ พวกออโทฟอสเฟตและไพโรฟอสเฟต ส่วนโพลีฟอสเฟตนั้นยิ่งมีโมเลกุลยาวมากขึ้น คุณสมบัติการเป็นบัฟเฟอร์ก็จะลดลง สารประกอบฟอสเฟตยังถูกนำมาใช้ในการเพิ่มหรือลดระดับความเป็นกรด-ด่างตามที่ต้องการด้วยคุณสมบัติดังกล่าวนี้จึงมีการนำฟอสเฟตมาใช้ในผลิตภัณฑ์อาหารจำพวกเครื่องดื่ม เนยแข็งและผลิตภัณฑ์ขนมอบ (Bakery dough and cake mixes)

2. ลดความไวของไอออนโลหะ (Interactivation of metal ions)

ฟอสเฟตช่วยลดความไวของไอออนบวกของโลหะชนิดต่างๆ เช่น แคลเซียม แมกนีเซียม ทองแดงและเหล็ก เพื่อไม่ให้ไอออนเหล่านี้เข้าทำปฏิกิริยากับองค์ประกอบของอาหารแล้วเกิดการตกตะกอนหรือทำให้สีของอาหารเปลี่ยนไป ฟอสเฟตจะรวมตัวกับไอออนเหล่านั้นแล้วเกิดเป็นสารประกอบเชิงซ้อนที่ละลายน้ำได้ ไอออนของโลหะเหล่านี้จึงไม่สามารถไปรบกวนหรือทำปฏิกิริยากับอาหารได้ สารโพลีฟอสเฟต เช่น โซเดียมเฮกซะเมตาฟอสเฟต จะรวมตัวได้ดีกับแคลเซียมไอออนและแมกนีเซียมไอออน ส่วนโพลีฟอสเฟตที่มีโมเลกุลสั้น เช่น โซเดียมไตรโพลีฟอสเฟตและโซเดียมไพโรฟอสเฟตจะรวมตัวได้ดีกับไอออนของเหล็กและทองแดง

คุณสมบัติของฟอสเฟตในข้อนี้ทำให้มีการนำมาใช้ประโยชน์หลายอย่าง เช่น การสกัดเพคตินจากแอปเปิ้ลและส้ม จะใช้เพื่อให้ฟอสเฟตไปจับกับแคลเซียมเพื่อให้ได้ปริมาณเพคตินเพิ่มขึ้น ใช้ยับยั้งการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ในอาหาร เนื่องจากฟอสเฟตไปรวมตัวกับแคลเซียม แมกนีเซียม และเหล็ก ซึ่งเป็นแร่ธาตุที่มีความจำเป็นต่อการเจริญของจุลินทรีย์ นอกจากนี้ยังใช้ในการบำบัดน้ำที่จะ

นำมาใช้ในการผลิตอาหาร ใช้ป้องกันการเกิดความขุ่นของเบียร์และไวน์และใช้ป้องกันการสูญเสียคาร์บอนไดออกไซด์ในเครื่องดื่ม

ในแง่ของโภชนาการ ฟอสเฟตที่รวมตัวอยู่กับแคลเซียม เหล็ก และแมกนีเซียมนั้นช่วยให้ร่างการสามารถดูดซึมแร่ธาตุทั้งสามไปใช้ประโยชน์ได้

3. มีหลายประจุในโมเลกุล (Polyvalency and polyelectrolyte behavior)

การที่ฟอสเฟตมีประจุลบหลายประจุในโมเลกุล โดยเฉพาะพวกโพลีฟอสเฟตซึ่งสามารถทำปฏิกิริยากับองค์ประกอบของอาหารแล้วเกิดการแยกกลุ่ม การกระจาย การรวมตัวของไขมันกับน้ำหรือการแขวนลอยขององค์ประกอบต่างๆ

โพลีฟอสเฟตยังสามารถรวมตัวกับประจุที่อยู่บนโมเลกุลใหญ่ เช่น โปรตีน ทำให้โปรตีนสามารถอุ้มน้ำได้มากขึ้นและช่วยเพิ่มการเกิดเจลของโปรตีนทำให้โปรตีนละลายได้ดีขึ้นและไม่ตกตะกอน

โมโนโซเดียมฟอสเฟต (NaH_2PO_4) หรือเรียกว่า โมโนเบสิคโซเดียมฟอสเฟต หรือ โซเดียมไดไฮโดรเจนฟอสเฟต เป็นสารประกอบอินทรีย์ของโซเดียมกับไดไฮโดรเจนฟอสเฟต ($H_2PO_4^-$) ได้มาจากการทำให้เป็นกลางของกรดฟอสฟอริก ค่า pKa ของโมโนโซเดียมฟอสเฟตมีค่าอยู่ในช่วง 6.8-7.2 (ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับโครงสร้างทางเคมี) มีน้ำหนักโมเลกุล 119.98 g/mol ความหนาแน่น 2.36 g/cm^3 (Anhydrous) และความสามารถในการละลายน้ำ 59.9 g/100 mL (0°C)(Schrödter, Bettermann, Staffel, Wahl, Klein, & Hofmann, 2008)

ไดโซเดียมฟอสเฟต (Na_2HPO_4) หรือเรียกว่า ไดโซเดียมไฮโดรเจนออโทฟอสเฟต โซเดียมไฮโดรเจนฟอสเฟตและโซเดียมฟอสเฟตไดเบสิค ค่า pKa ของโมโนโซเดียมฟอสเฟตมีค่าอยู่ในช่วง 12.35 มีน้ำหนักโมเลกุล 141.96 g/mol (Anhydrous), 268.07 g/mol (Heptahydrate) ความหนาแน่น 1.7 g/cm^3 และความสามารถในการละลายน้ำ 7.7 g/100 mL (20°C)/ 11.8 g/100 mL (25°C) (Schrödter et al., 2008)

โดยโครงสร้างทางเคมีและองค์ประกอบของโมโนโซเดียมฟอสเฟตและไดโซเดียมฟอสเฟตแสดงดังภาพที่ 2-2 และตารางที่ 2-4

Monosodium phosphate **Disodium phosphate**

ภาพที่ 2-2 โครงสร้างทางเคมีของโมโนโซเดียมฟอสเฟตและไดโซเดียมฟอสเฟต

ที่มา : Schrödter et al. (2008)

ตารางที่ 2-4 องค์ประกอบของโมโนโซเดียมฟอสเฟตและไดโซเดียมฟอสเฟต

Sample	Formula	1% Soln. pH	2% Slurry pH	P (%)	P_2O_5 (%)	Na (%)	Solubility
Monosodium phosphate anhydrous (MSP)	NaH_2PO_4	4.4	4.8	25.8	59.2	19.1	48
Disodium phosphate anhydrous (DSP)	Na_2HPO_4	8.7	9.6	21.8	50	32.3	11

ที่มา : Zhou & Hou (2012)

การใช้เกลือฟอสเฟตในผลิตภัณฑ์บะหมี่

Zhou and Hou (2012) รายงานว่า ได้นำฟอสเฟตไปใช้ในบะหมี่เพื่อปรับปรุงการเกิดเจลในระหว่างการทำให้สุก เพื่อการกักเก็บน้ำช่วยอุ้มน้ำได้ดี ทำหน้าที่เป็น คีเลตติ้งเอเจนต์ (Chelating agent) และใช้ในการปรับปรุงคุณภาพของโดและลดการเปลี่ยนแปลงสีของผลิตภัณฑ์ ได้มีการใช้ฟอสเฟตในอาหารหลายชนิดขึ้นกับชนิดของฟอร์มและรูปร่าง นอกจากทำหน้าที่เป็นสารขึ้นฟูแล้วยังทำหน้าที่เป็นบัฟเฟอร์ ช่วยในการกระจายตัวเพื่อจับสารอื่นๆได้ดี อีกทั้งเป็นแร่ธาตุที่จำเป็นต่อร่างกายเพราะว่าฟอสฟอรัสได้มาจากการบริโภคเพียงอย่างเดียว ร่างกายไม่สามารถสังเคราะห์ขึ้นมาได้ ในแง่ของ Food safety (GRAS) category สามารถเติมเกลือฟอสเฟตลงในอาหารได้ไม่เกิน 70 mg/kg/day ถ้าใช้ในปริมาณที่มากเกินไปจะทำให้เกิดอันตรายต่อร่างกายได้ มักใช้ในผลิตภัณฑ์ซีเรียล แป้งดัดแปร และใช้ปรับปรุงคุณภาพของบะหมี่บางชนิด ในด้านลักษณะเนื้อสัมผัส สี กลิ่น รส งานวิจัยในปัจจุบันได้กล่าวถึงอย่างมากในผลิตภัณฑ์อาหารเส้น เพื่อใช้ในการปรับปรุงคุณภาพของบะหมี่กึ่งสำเร็จรูป

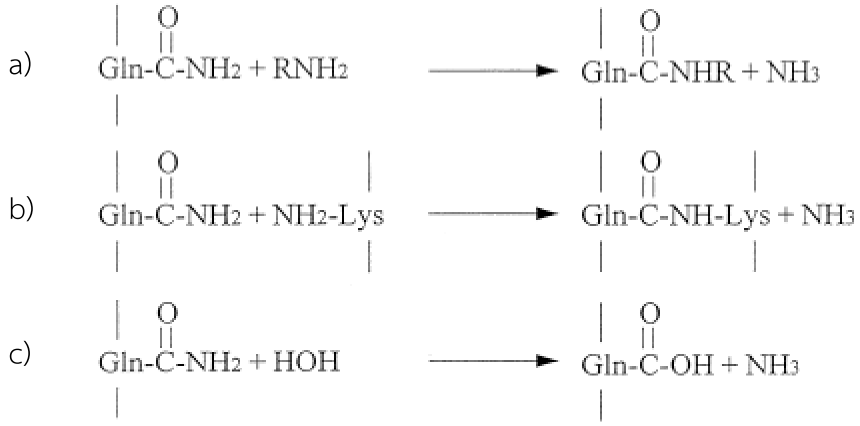
Wang et al. (2011a) ได้รายงานถึงบะหมี่กึ่งสำเร็จรูปแบบไม่ทอดของเกาหลีจะมีสีของเส้นบะหมี่สีเหลืองสว่างเมื่อเติมเกลือฟอสเฟต 3 ชนิด ประกอบด้วย โมโนโซเดียมฟอสเฟต (MSP) ไดโซเดียมฟอสเฟต (DSP) และไดฟอสฟอรัสฟอสเฟต (DKP) ให้ผลที่คล้ายคลึงกับแป้งมันฝรั่งดัดแปร (ASP) มีผลทำให้บะหมี่มีลักษณะนุ่ม ยืนยันจากการใช้เกลือฟอสเฟต (PS) มีการเพิ่มค่าความหนืดสูงสุด (PV) และค่าความหนืดต่ำสุด (FV) ของแป้งบะหมี่ สำหรับสมบัติของบะหมี่กึ่งสำเร็จรูปแบบไม่ทอด พบว่า เกลือฟอสเฟตทั้ง 3 ชนิด เพิ่มค่าความหนืดสูงสุด (PV) และค่าความหนืดต่ำสุด (FV) การเติม DSP หรือ DKP ร้อยละ 0.30 พบว่ามีผลกระทบต่อการเพิ่มค่า PV มากกว่า PV ของแป้งมันฝรั่งดัดแปร (ASP) ร้อยละ 5 และการทดลองแสดงให้เห็นว่า PS หรือสารผสมของ PS (ปริมาณเล็กน้อย) อาจจะใช้แทน APS ในการทำบะหมี่กึ่งสำเร็จรูปแบบไม่ทอดของเกาหลีได้

Zhou and Hou (2012) ได้รายงานการใช้เกลือฟอสเฟตในบะหมี่กึ่งสำเร็จรูปแบบไม่ทอดร่วมกับแป้งมันฝรั่งดัดแปร พบว่าเกลือฟอสเฟตทุกชนิดที่ใช้ในงานวิจัยนี้คือ Monosodium phosphate (MSP), Disodium phosphate (DSP), Dipotassium phosphate (DKP), Tripotassium phosphate (TKP), Sodium acid pyrophosphate (SAPP), Calcium acid pyrophosphate (CAPP), Sodium trimetaphosphate (STMP) มีผลต่อสมบัติด้านความหนืด

ของ บะหมี่กึ่งสำเร็จรูปของเกาหลี มีค่าความหนืดสูงสุดเพิ่มขึ้น จากการเติมเกลือฟอสเฟต < 0.06 mmol ซึ่งเกลือฟอสเฟตมีผลต่ออุณหภูมิการเกิดเจลเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ คุณสมบัติด้านความหนืดของ บะหมี่กึ่งสำเร็จรูปที่เติม DKP ร้อยละ 0.3 มีค่าสูงกว่าบะหมี่สูตรปกติและคุณสมบัติด้านความหนืดของ บะหมี่กึ่งสำเร็จรูปที่เติม DSP หรือ MSP ร้อยละ 0.3 ให้ผลคล้ายคลึงกับบะหมี่กึ่งสำเร็จรูปสูตรปกติ

เอนไซม์ทรานส์กลูตามิเนส (Transglutaminase, TGase)

เอนไซม์ทรานส์กลูตามิเนส (Transglutaminase, TGase) มีชื่อเรียกระบบตัวเลข คือ EC2.3.2.13 และมีชื่อเรียกตามระบบปฏิกิริยาว่า protein - glutamine γ - glutamyltransferase นอกจากนี้ยังมีการเรียกชื่อสามัญอื่น ๆ ได้แก่ แฟคเตอร์ XIIIa (Factor XIIIa) และไฟบริโนไลเกส (Fibrinoligase) เป็นต้น TGase เป็นเอนไซม์ที่เร่งปฏิกิริยาการย้ายหมู่เอซิล (acyl transfer) ระหว่างหมู่แกมม่าคาร์บอกซีเอไมด์ (γ - carboxyamine group) ของอนุมูลกรดอะมิโนกลูตามีน (glutamine residue) ในสายเปปไทด์หรือโปรตีน และสารประกอบเอมีน ในกรณีที่สารประกอบเอมีนเป็นหมู่แอบซิลลอนอะมิโน (ε - amino group) ในสายเปปไทด์ TGase จะเร่งปฏิกิริยาการเชื่อมพันธะโควาเลนต์ (covalent bond) ระหว่างสายเปปไทด์สองสายเกิดพันธะใหม่ที่เรียกว่าพันธะ ε - (γ - glutamyl) lysine หรือเรียกสั้น ๆ ว่า พันธะ G-L สำหรับในสภาวะที่ไม่มีสารประกอบเอมีน TGase จะเร่งปฏิกิริยาไฮโดรไลซิส (Hydrolysis) ของหมู่แกมม่าคาร์บอกซีเอไมด์ของอนุมูลกรดกลูตามีนในสายเปปไทด์ได้เป็นอนุมูลของกรดกลูตามิค (glutamic residue) และแอมโมเนีย ซึ่งเรียกปฏิกิริยานี้ว่า ดีแอมมิเดชั่น (Deamidation) (ปราณี อ่านเปรื่อง, 2543) การเร่งปฏิกิริยาทั้ง 3 ชนิด ของ TGase สรุปได้ดังภาพที่ 2-3



ภาพที่ 2-10 การเร่งปฏิกิริยาโดยเอนไซม์ทรานส์กลูตามิเนส

a) การเร่งปฏิกิริยาการย้ายหมู่เอซิล b) การเร่งปฏิกิริยาการเชื่อมพันธะ c) ปฏิกิริยาดีแอมมิเดชั่น

ที่มา: ปราณี อ่านเปรื่อง (2543); Motoki and Seguro (1998)

การใช้เอนไซม์ทรานส์กลูตามิเนสในผลิตภัณฑ์อาหารเส้น

เปรมวดี ฉายาปัญจะ (2543) ได้ศึกษาการเสริมแป้งถั่วในบะหมี่อบแห้ง โดยการทดแทนแป้งถั่วเปรียบเทียบกัน 2 ชนิด คือแป้งถั่วลิสงและแป้งถั่วเขียวซีก ในบะหมี่ที่ทดแทนด้วยแป้งถั่วลิสงสามารถทดแทนได้ร้อยละ 20 ส่วนในบะหมี่ที่ทดแทนด้วยแป้งถั่วเขียวซีกสามารถทดแทนได้ร้อยละ 30 โดยพิจารณาจากปริมาณโปรตีนที่สูง และมีคะแนนการยอมรับที่ดี มีกลิ่นถั่วหลังการต้มสุกเล็กน้อย จากนั้นมีการปรับปรุงคุณภาพหลังต้มให้ดีขึ้นโดยการใช้เอนไซม์ทรานส์กลูตามิเนสที่ปริมาณร้อยละ 0.05 0.1 0.2 และ 0.3 พบว่าการเติมเอนไซม์ทรานส์กลูตามิเนสระดับร้อยละ 0.1 ในบะหมี่ที่ทดแทนด้วยถั่วลิสง และบะหมี่ที่ทดแทนด้วยถั่วเขียวซีกมีคะแนนด้านความเหนียวและความนุ่มอยู่ในระดับที่เหมาะสมและมีคะแนนการยอมรับสูง

Wu and Corke (2005) ศึกษาผลของการใช้เอนไซม์ทรานส์กลูตามิเนสจากจุลินทรีย์ในระดับต่างกันต่อคุณภาพของบะหมี่แห้งที่ทำจากแป้งคุณภาพดี และคุณภาพต่ำ พบว่าเมื่อเติมเอนไซม์ทรานส์กลูตามิเนสมีผลทำให้บะหมี่ที่ทำจากแป้งทั้ง 2 ชนิด มีค่าแรงดึง (tensile force) ค่าความแข็ง (hardness) ค่าความคงทนต่อการแยกตัวของเนื้อ (Gumminess) เพิ่มขึ้น แต่น้ำหนักที่ได้หลังการต้มลดลงในขณะที่ปริมาณของแข็งที่สูญเสียระหว่างการต้มมีค่าไม่แตกต่างกัน

Basman, Koksel and Atli (2006) ศึกษาผลของการเติมเอนไซม์ทรานส์กลูตามิเนสต่อคุณภาพการปรุงสุกของสปาเก็ตตี้เสริมรำ พบว่า ปริมาณของแข็งที่สูญเสียในระหว่างการต้มลดลงเมื่อปริมาณเอมไซม์ทรานส์กลูตามิเนส ส่วนความแน่นเนื้อ และความเหนียวเหนอะ (stickiness) มีค่าเพิ่มขึ้น

Takacs, Gelencser and Kovacs (2008) ศึกษาผลการเติมเอนไซม์ทรานส์กลูตามิเนสต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์พาสต้าจากข้าวสาลี 2 พันธุ์ คือ *Triticum aestivum* และ *T. durum* พบว่าคุณภาพหลังการปรุงสุกของผลิตภัณฑ์พาสต้าดีขึ้น โดยค่าความสามารถในการดูดซับน้ำสูงขึ้นและค่าการสูญเสียของแข็งระหว่างการต้มกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับผลิตภัณฑ์พาสต้าที่ไม่เติมเอนไซม์ทรานส์กลูตามิเนส โดยปริมาณการเติมเอนไซม์ทรานส์กลูตามิเนสที่เหมาะสมต่อการปรับปรุงผลิตภัณฑ์พาสต้าจากข้าวสาลีที่ทำจาก *T. aestivum* คือ 60 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมแป้ง และผลิตภัณฑ์พาสต้าจากข้าวสาลีที่ทำจาก *T. durm* คือ 20 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมแป้ง

Gan, Ong, Wong and Easa (2009) ศึกษาผลการใช้ไรโบสเอนไซม์ทรานส์กลูตามิเนสจากจุลินทรีย์และโปรตีนถั่วเหลืองสกัดต่อคุณสมบัติทางกายภาพและความสามารถในการย่อยสตาร์ชของบะหมี่เหลือง พบว่า บะหมี่ที่เติมเอนไซม์ทรานส์กลูตามิเนสร่วมกับการใช้ไรโบสในแป้งที่ทดแทนด้วยโปรตีนถั่วเหลืองสกัด กับบะหมี่ที่เติมเอนไซม์ทรานส์กลูตามิเนสในแป้งที่ทดแทนด้วยโปรตีนถั่วเหลืองสกัดจะให้ค่าความต้านทานการดึงขาด และค่าความยืดหยุ่นได้สูงกว่าตัวอย่างที่ทดแทนแป้งด้วยโปรตีนถั่วเหลืองสกัดร่วมกับการเติมไรโบส หรือ ในตัวอย่างที่ทดแทนแป้งด้วยโปรตีนถั่วเหลืองสกัดเพียงอย่างเดียว

กุลยา ลิ้มรุ่งเรืองรัตน์ และ อโนชา สุขสมบูรณ์ (2555) ศึกษาผลของปริมาณเอนไซม์ทรานส์กลูตามิเนสต่อคุณภาพของบะหมี่เสริมใบมะรุมผง โดยปริมาณของใบมะรุมผงที่ใช้เติมในบะหมี่ถูกจำกัด (น้อยกว่าร้อยละ 3 โดยน้ำหนักแป้ง) ด้วยคุณภาพของบะหมี่โดยเฉพาะลักษณะเนื้อสัมผัส เอนไซม์ทรานส์กลูตามิเนสสามารถใช้ในการปรับปรุงโครงสร้างและลักษณะเนื้อสัมผัสของบะหมี่

งานวิจัยนี้ได้ศึกษาผลของการเติมเอนไซม์ทรานส์กลูตามิเนสต่อคุณภาพหลังการต้ม ลักษณะทางกายภาพ และลักษณะทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์บะหมี่ที่เติมใบมะรุมผงร้อยละ 6 (โดยน้ำหนักแป้ง) โดยแปรปริมาณเอนไซม์ทรานส์กลูตามิเนส เป็นร้อยละ 0 0.1 0.3 0.5 0.7 และ 0.9 (โดยน้ำหนักแป้ง) ผลการทดลองพบว่าค่าความต้านทานต่อการดึงขาด และค่าความแน่นเนื้อของบะหมี่ต้มสุกเพิ่มขึ้นเมื่อปริมาณเอนไซม์ทรานส์กลูตามิเนสเพิ่มขึ้น (ร้อยละ 0-0.3) แต่มีแนวโน้มลดลงเมื่อปริมาณเอนไซม์ทรานส์กลูตามิเนสเพิ่มขึ้น (ร้อยละ 0.5-0.9) ในขณะที่ปริมาณของแข็งที่สูญเสียระหว่างการต้ม ค่าสี แตกต่างอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \geq 0.05$) ผลการทดสอบทางประสาทสัมผัส พบว่าบะหมี่ที่เติมเอนไซม์ทรานส์กลูตามิเนสร้อยละ 0.3 (โดยน้ำหนักแป้ง) ได้คะแนนความชอบโดยรวมสูงที่สุด

บทที่ 3
วิธีดำเนินการทดลอง

งานวิจัยนี้ได้ศึกษาการพัฒนาผลิตภัณฑ์บะหมี่กึ่งสำเร็จรูปแบบไม่ทอดเสริมสาหร่าย 2 ชนิด คือ สาหร่ายผักกาดทะเล (*Ulva rigida*) ซึ่งเป็นสาหร่ายทะเลขนาดใหญ่ (macro algae) และ สาหร่ายเกลียวทอง (*Spirulina* sp.) ซึ่งเป็นสาหร่ายทะเลขนาดเล็ก (micro algae) โดยมีรายละเอียดขั้นตอนและวิธีการดำเนินการวิจัยดังต่อไปนี้

<u>ตอนที่ 1</u> การพัฒนาผลิตภัณฑ์บะหมี่กึ่งสำเร็จรูปแบบไม่ทอดเสริมสาหร่ายผักกาดทะเลผง

1. ศึกษาองค์ประกอบทางเคมีและปริมาณสารสำคัญบางชนิดของสาหร่ายผักกาดทะเลผง

1.1 การเตรียมสาหร่ายผักกาดทะเลผง

เตรียมสาหร่ายผักกาดทะเลในรูปผงแห้ง โดยนำสาหร่ายผักกาดทะเลสดมาล้างน้ำให้สะอาดจนกระทั่งไม่มีกรวดทรายแล้วทิ้งให้สะเด็ดน้ำเป็นเวลา 15 นาที แล้วนำไปอบให้แห้งด้วยตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 50 $^{\circ}$C เป็นเวลาประมาณ 2-3 ชั่วโมง จนมีความชื้นสุดท้ายประมาณร้อยละ 7 บดให้เป็นผงละเอียดโดยใช้เครื่องบด แล้วร่อนผ่านตะแกรงขนาด 80 เมช บรรจุในถุงพลาสติกปิดผนึกด้วยเครื่องปิดผนึกถุงด้วยความร้อน แล้วบรรจุลงในถุงฟอยล์ เพื่อนำไปใช้ในขั้นตอนต่อไป

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, 2000) ปริมาณไอโอดีนตามวิธีของ Moxon และ Dixon (1980) ปริมาณโซเดียมคลอไรด์ตามวิธี Mohr method ปริมาณเบต้าแคโรทีน ตามวิธีของ Hiranvarachat (2011) และแคโรทีนอยด์ ตามวิธีของ KMUTT (2001) (รายละเอียดวิธีการวิเคราะห์แสดงในภาคผนวก ก)

2. ศึกษาปริมาณสาหร่ายผักกาดทะเลผงและปริมาณความชื้นของส่วนผสมที่เหมาะสมสำหรับเติมในบะหมี่กึ่งสำเร็จรูปแบบไม่ทอด

โดยแปรปริมาณสาหร่ายผักกาดทะเลผงเป็นร้อยละ 0 2 4 6 8 และ 10 (โดยน้ำหนักแป้งสาลี) และแปรปริมาณความชื้นของส่วนผสมแป้งที่ใช้ทำบะหมี่กึ่งสำเร็จรูปแบบไม่ทอดเป็นร้อยละ 37 และ 40 (ตัวอย่างการคำนวณปริมาณน้ำแสดงในภาคผนวก ข) นำมาผลิตเป็นบะหมี่โดยใช้สูตรซึ่ง

ประกอบด้วยแป้งสาลี เกลือ โซเดียมคาร์บอเนต และโพแทสเซียมคาร์บอเนตในปริมาณร้อยละ 100 1 0.6 และ 0.4 โดยน้ำหนักแป้ง และทำบะหมี่ตามวิธีที่ดัดแปลงจากวิธีของกุลยา ลิ้มรุ่งเรืองรัตน์ และอโนชา สุขสมบูรณ์ (2555) โดยมีขั้นตอนดังนี้

1. ผสมแป้งสาลีและสาหร่ายผักกาดทะเลผงแล้วนำมาร่อน 3 ครั้ง เพื่อให้แป้งสาลีและสาหร่ายผักกาดทะเลเข้ากันดี หลังจากนั้นนำโซเดียมคลอไรด์ และเกลืออัลคาไลน์ (โซเดียมคาร์บอเนตและโพแทสเซียมคาร์บอเนต) มาละลายน้ำ เติมน้ำและสารละลายเกลือ ผสมให้เข้ากันโดยใช้เครื่องผสม ใช้อุปกรณ์ช่วยผสมรูปหัวใบไม้ ที่ความเร็วต่ำ (เบอร์ 1) เป็นเวลา 2 นาที และความเร็วปานกลาง (เบอร์ 2) 5 นาที จนเกิดเป็นก้อนโดแล้วพักโดประมาณ 20 นาที โดยใช้พลาสติกห่ออาหารคลุมไว้

2. นำโดมารีดอีกด้วยเครื่องรีดแผ่นแป้งให้มีความหนา 1.5 มิลลิเมตร นำแผ่นบะหมี่สดที่ได้ตัดเป็นเส้นบะหมี่ด้วยเครื่องทำบะหมี่ให้มีความกว้าง 0.2 เซนติเมตร ยาว 30 เซนติเมตร บรรจุบะหมี่ที่มีน้ำหนัก 70 กรัม ในพิมพ์สี่เหลี่ยมขนาด กว้าง 8 เซนติเมตร ยาว 9 เซนติเมตร นำบะหมี่ไปนึ่งที่ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 10 นาที จากนั้นพลิกบะหมี่กลับด้านเพื่อให้บะหมี่โดนไอน้ำสม่ำเสมอทั้ง 2 ด้าน และนึ่งต่ออีก 10 นาที

3. นำบะหมี่ที่ได้วางเรียงบนถาดและนำไปอบแห้งในตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 55 องศาเซลเซียส เมื่อเวลาผ่านไปครบ 1 ชั่วโมง ทำการพลิกบะหมี่ อบต่ออีกประมาณ 1 ชั่วโมงจนเหลือความชื้นประมาณร้อยละ 10

4. ตั้งทิ้งไว้ให้เย็นประมาณ 1 ชั่วโมง แล้วบรรจุในถุงโพลิเอทิลีน ปิดผนึกด้วยเครื่องปิดผนึกถุงด้วยความร้อน เก็บไว้ที่อุณหภูมิห้อง

นำบะหมี่กึ่งสำเร็จรูปแบบไม่ทอดที่เตรียมได้มาวิเคราะห์คุณภาพทางกายภาพและการทดสอบทางประสาทสัมผัส ดังนี้

2.1 วิเคราะห์คุณภาพหลังการต้ม ตามวิธีของ AACC (2000) ดังนี้

ก. หาเวลาที่เหมาะสมในการต้มบะหมี่ให้สุก (Cooking time)

ชั่งบะหมี่หนัก 5 กรัม ต้มในน้ำเดือด 200 มิลลิลิตร ในบีกเกอร์ที่มีกระจกนาฬิกาปิด จับเวลาที่ใช้ในการต้มที่ทำให้บะหมี่สุก โดยสุ่มตัวอย่างมาทุกๆ 30 วินาที เพื่อตรวจสอบส่วนทึบแข็งที่จุดกึ่งกลางของเส้นบะหมี่ จนเส้นบะหมี่ไม่มีส่วนทึบแข็งที่จุดกึ่งกลางเหลืออยู่ บันทึกเป็นระยะเวลาที่เหมาะสมในการต้มบะหมี่ให้สุก

ข. หาปริมาณของแข็งที่สูญเสียระหว่างการต้ม (Cooking loss)

ชั่งบะหมี่หนัก 5 กรัม ต้มในน้ำเดือด 200 มิลลิลิตร โดยใช้เวลาในการต้มที่เหมาะสมจากข้อ ก. ทิ้งให้สะเด็ดน้ำนาน 5 นาที บนตะแกรง ล้างบีกเกอร์ที่ใช้ต้มบะหมี่ด้วยน้ำกลั่น 50 มิลลิลิตร จากนั้นนำน้ำที่ต้มและล้างบีกเกอร์ใส่ในบีกเกอร์ (ที่ทราบน้ำหนักแน่นอน) นำไปอบแห้งที่อุณหภูมิ 110 องศาเซลเซียส จนน้ำหนักคงที่ ชั่งน้ำหนักบีกเกอร์หลังการอบ แล้วคำนวณหาปริมาณของแข็งที่สูญเสียระหว่างการต้ม

$$\text{ร้อยละปริมาณของแข็งที่สูญเสียระหว่างการต้ม} = \frac{(\text{น้ำหนักบีกเกอร์หลังอบ} - \text{น้ำหนักบีกเกอร์เปล่า})}{\text{น้ำหนักบะหมี่ก่อนต้ม}} \times 100$$

ค. หาน้ำหนักที่ได้หลังการต้ม (Cooking yield)

ชั่งบะหมี่หนัก 5 กรัม ต้มในน้ำเดือด 200 มิลลิลิตร โดยใช้เวลาในการต้มที่เหมาะสมจากข้อ ก. ทิ้งให้สะเด็ดน้ำนาน 1 นาที บนตะแกรง ซับความชื้นส่วนเกินด้วยกระดาษแล้วนำบะหมี่ไปชั่งน้ำหนัก คำนวณหาร้อยละน้ำหนักที่ได้หลังการต้ม

$$\text{ร้อยละน้ำหนักที่ได้หลังการต้ม} = \frac{\text{น้ำหนักบะหมี่หลังต้ม}}{\text{น้ำหนักบะหมี่ก่อนต้ม}} \times 100$$

2.2 วัดค่าสี

นำก้อนบะหมี่ที่ผ่านการอบแห้งและบะหมี่ที่ผ่านการต้มสุก มาวัดค่าสีโดยใช้เครื่องวัดสี Hunter lab colorimeter รุ่น Miniscan XE plus รายงานเป็นค่า L* a* และ b* คำนวณค่า Hue angle จาก $h° = \tan^{-1}(b/a)$ คำนวณค่า Chroma (C*) จาก $C^* = (a^{*2}+b^{*2})^{1/2}$ และคำนวณค่าความแตกต่างของสี (ΔE) จาก $\Delta E = (\Delta L^{*2}+\Delta a^{*2}+\Delta b^{*2})^{1/2}$

<u>การเตรียมตัวอย่างบะหมี่ที่ผ่านการอบแห้ง</u>

นำก้อนบะหมี่ที่ผ่านการอบแห้งมาวัดค่าสี โดยนำก้อนบะหมี่ด้านเรียบมาวางบนแท่นวัดสี ทำการวัด 3 ซ้ำโดยในแต่ละซ้ำวัดค่า 3 ครั้ง หมุนตัวอย่างไป 90 องศาในแต่ละครั้งที่ทำการวัด

<u>การเตรียมตัวอย่างบะหมี่ที่ผ่านการต้มสุก</u>

นำเส้นบะหมี่ที่ผ่านการต้มสุกตามระยะเวลาตามข้อ ก. ใส่ถ้วยสำหรับวัดค่าสีโดยวางตัวอย่างจนเต็มถ้วยไม่ให้มีช่องว่าง ทำการวัด 3 ซ้ำโดยในแต่ละซ้ำวัดค่า 3 ครั้ง หมุนตัวอย่างไป 90 องศาในแต่ละครั้งที่ทำการวัด

2.3 วัดลักษณะเนื้อสัมผัส

วัดลักษณะเนื้อสัมผัสของบะหมี่ที่ผ่านการต้มสุกแล้ว โดยใช้เครื่องวิเคราะห์ลักษณะเนื้อสัมผัส Texture analyzer (TA.XTplus) วัดค่าความต้านทานต่อการดึงขาด (Tensile strength) โดยใช้หัววัด Spaghetti tensile grips (A/SPR) วัดค่าความแน่นเนื้อ (Firmness) โดยใช้หัววัด A/LKB และค่าการยึดเกาะที่ผิวหน้า (Adhesiveness) โดยใช้หัววัด P/35 (รายละเอียดการเตรียมตัวอย่างและวิธีการวัดเนื้อสัมผัสแสดงในภาคผนวก ง)

2.4 ทดสอบทางประสาทสัมผัส

นำตัวอย่างบะหมี่มาทดสอบคุณภาพทางประสาทสัมผัสในด้านสี กลิ่นรสสาหร่าย ความแน่นเนื้อ ความเหนียว และการเกาะติดกัน โดยใช้การทดสอบแบบ Scoring test ใช้ผู้ทดสอบที่ผ่านการฝึกฝน 12 คน (ทำการฝึกฝนผู้ทดสอบโดยการให้ผู้ทดสอบชิมตัวอย่างบะหมี่และให้คะแนนผู้ทดสอบต้องชิมบะหมี่จำนวน 3 รอบ โดยที่คะแนนการชิมในแต่ละครั้งต้องใกล้เคียงกันและถูกต้อง ผู้ทดสอบที่ให้คะแนนใกล้เคียงกันและถูกต้องจะถูกเลือกให้ไปทดสอบในการทดลอง) และทดสอบคุณภาพทางประสาทสัมผัสในด้านสี กลิ่น รสชาติ เนื้อสัมผัส และความชอบโดยรวม โดยใช้การทดสอบแบบ 9-Point hedonic scale และใช้ผู้ทดสอบ 30 คน เตรียมตัวอย่างบะหมี่ที่ใช้ในการทดสอบ โดยนำบะหมี่มาต้มให้สุกตามเวลาที่ได้จากการทดลองและทำให้สะเด็ดน้ำ (ตัวอย่างแบบทดสอบการประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสแสดงในภาคผนวก จ)

วางแผนการทดลองแบบ Factorial in CRD ส่วนการทดสอบทางประสาทสัมผัส วางแผนการทดลองแบบ RCBD โดยปัจจัยที่ศึกษาคือ ปริมาณสาหร่าย 6 ระดับและปริมาณความชื้น 2 ระดับ ทำการทดลอง 3 ซ้ำ เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยโดยวิธี Duncan’s new multiple range test (DMRT) ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

พิจารณาเลือกบะหมี่ที่ได้คะแนนความชอบโดยรวมสูงสุด พิจารณาร่วมกับปริมาณของแข็งที่สูญเสียระหว่างการต้มและลักษณะเนื้อสัมผัส ได้แก่ ค่าความต้านทานต่อการดึงขาด (Tensile strength) ค่าการยึดเกาะที่ผิวหน้า (Adhesiveness) และค่าความแน่นเนื้อ (Firmness) เพื่อนำไปใช้ในการศึกษาขั้นต่อไป

3. ศึกษาชนิดและปริมาณเกลือฟอสเฟตที่เหมาะสมสำหรับเติมในบะหมี่กึ่งสำเร็จรูปแบบไม่ทอดที่เติมสาหร่ายผักกาดทะเลผง

โดยเติมเกลือฟอสเฟตในสูตรบะหมี่กึ่งสำเร็จรูปแบบไม่ทอดที่ใช้ปริมาณความชื้นและปริมาณสาหร่ายผักกาดทะเลผงที่เหมาะสมที่เลือกได้จากข้อ 2 โดยใช้เกลือฟอสเฟต 2 ชนิด คือ โมโนโซเดียมฟอสเฟตและไดโซเดียมฟอสเฟต แปรปริมาณเกลือฟอสเฟตเป็นร้อยละ 0 0.15 0.30 และ 0.45 (โดยน้ำหนักแป้งสาลี) นำมาเตรียมบะหมี่เช่นเดียวกับวิธีการทดลองข้อ 2 และวิเคราะห์คุณภาพดังนี้

3.1 วิเคราะห์คุณภาพหลังการต้ม ได้แก่ เวลาที่เหมาะสมในการต้มบะหมี่กึ่งสำเร็จรูปแบบไม่ทอดให้สุก (Cooking time) ปริมาณของแข็งที่สูญเสียระหว่างการต้ม (Cooking loss) และน้ำหนักที่ได้หลังการต้ม (Cooking yield) เช่นเดียวกับวิธีการทดลองข้อ 2.1

3.2 วัดค่าสี เช่นเดียวกับการทดลองข้อ 2.2

3.3 วิเคราะห์ลักษณะเนื้อสัมผัส เช่นเดียวกับวิธีการทดลองข้อ 2.3

3.4 ทดสอบทางประสาทสัมผัส เช่นเดียวกับวิธีการทดลองข้อ 2.4

วางแผนการทดลองแบบ CRD ส่วนการทดสอบทางประสาทสัมผัส วางแผนการทดลองแบบ RCBD ทำการทดลอง 3 ซ้ำ เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยโดยวิธี Duncan’s new multiple range test (DMRT) ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

พิจารณาเลือกบะหมี่ที่ได้คะแนนความชอบโดยรวมสูงสุด พิจารณาร่วมกับปริมาณของแข็งที่สูญเสียระหว่างการต้มและลักษณะเนื้อสัมผัส ได้แก่ ค่าความต้านทานต่อการดึงขาด (Tensile strength) ค่าการยึดเกาะที่ผิวหน้า (Adhesiveness) และค่าความแน่นเนื้อ (Firmness) เพื่อนำไปใช้ในการศึกษาขั้นต่อไป

4. ศึกษาผลของเอนไซม์ทรานส์กลูตามิเนสเพื่อปรับปรุงคุณภาพของบะหมี่กึ่งสำเร็จรูปแบบไม่ทอดเสริมสาหร่ายผักกาดทะเลผง

โดยแปรปริมาณเอนไซม์ทรานส์กลูตามิเนสร้อยละ 0 0.1 0.3 และ 0.5 โดยน้ำหนักแป้ง โดยเติมเอนไซม์ในขั้นตอนการผสมแป้งแล้วพักไว้ประมาณ 60 นาที เพื่อให้เกิดกิจกรรมของเอนไซม์ที่อุณหภูมิห้อง (30 ± 2 องศาเซลเซียส) ทำบะหมี่เช่นเดียวกับวิธีการทดลองข้อ 2 นำโดและบะหมี่มาวิเคราะห์คุณภาพดังนี้

4.1 วิเคราะห์ปริมาณหมู่อะมิโนอิสระของโดบะหมี่ ตามวิธีที่ดัดแปลงมาจากวิธีของ Huang et al. (2010)

4.2 วิเคราะห์คุณภาพหลังการต้มของบะหมี่ เช่นเดียวกับวิธีการทดลองข้อ 2.1

4.3 วิเคราะห์ลักษณะเนื้อสัมผัสของบะหมี่ เช่นเดียวกับวิธีการทดลองข้อ 2.3

4.4 วิเคราะห์โครงสร้างระดับจุลภาคของเส้นบะหมี่โดยใช้กล้องจุลทรรศน์อิเลคตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope)

4.5 ทดสอบทางประสาทสัมผัส เช่นเดียวกับวิธีการทดลองข้อ 2.4

วางแผนการทดลองแบบ CRD ทำการทดลอง 3 ซ้ำ เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยโดยวิธี Duncan’s new multiple range test (DMRT) ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

ในการทดสอบทางประสาทสัมผัสวางแผนการทดลองแบบ RCBD ทำการทดลอง 3 ซ้ำ เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยโดยวิธี Duncan’s new multiple range test (DMRT) ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 โดยปัจจัยที่ศึกษาคือ ปริมาณเอนไซม์ทรานส์กลูตามิเนสที่เติมในบะหมี่กึ่งสำเร็จรูปแบบไม่ทอด

พิจารณาเลือกบะหมี่ที่ได้คะแนนความชอบโดยรวมสูงสุด พิจารณาร่วมกับเวลาที่เหมาะสมในการต้ม ปริมาณของแข็งที่สูญเสียระหว่างการต้มและลักษณะเนื้อสัมผัส ได้แก่ ค่าความต้านทานต่อการดึงขาด (Tensile strength) ค่าการยึดเกาะที่ผิวหน้า (Adhesiveness) และค่าความแน่นเนื้อ (Firmness) เพื่อนำไปใช้ในการศึกษาขั้นต่อไป

<u>ตอนที่ 2</u> การพัฒนาผลิตภัณฑ์บะหมี่กึ่งสำเร็จรูปแบบไม่ทอดเสริมสาหร่ายเกลียวทองผง

1. ศึกษาองค์ประกอบทางเคมีและปริมาณสารสำคัญบางชนิดของสาหร่ายเกลียวทองผง

นำสาหร่ายเกลียวทองผงมาวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี (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

2. ศึกษาปริมาณสาหร่ายเกลียวทองผงที่เหมาะสมสำหรับเติมในบะหมี่กึ่งสำเร็จรูปแบบไม่ทอด

โดยแปรปริมาณสาหร่ายเกลียวทองผงที่ใช้เติมลงในบะหมี่กึ่งสำเร็จรูปแบบไม่ทอดปริมาณร้อยละ 0, 0.5, 1.0, 1.5 และ 2.0 (โดยน้ำหนักแป้ง) เตรียมส่วนผสมโดยกำหนดให้ส่วนผสมมีความชื้นร้อยละ 37 คำนวณปริมาณน้ำที่เติมโดยคิดจากความชื้นสุดท้ายของส่วนผสม (ตัวอย่างการคำนวณปริมาณน้ำ แสดงในภาคผนวก ข) นำมาทำบะหมี่กึ่งสำเร็จรูปแบบไม่ทอดโดยใช้สูตรและวิธีทำเช่นเดียวกับการทดลองตอนที่ 1 ข้อ 2 นำผลิตภัณฑ์ที่ได้มาวิเคราะห์คุณภาพดังนี้

2.1 วิเคราะห์คุณภาพหลังการต้ม (Cooking Quality) ได้แก่ เวลาที่เหมาะสมในการต้มบะหมี่ให้สุก (Cooking Time) ปริมาณของแข็งที่สูญเสียระหว่างการต้ม (Cooking Loss) และน้ำหนักที่ได้หลังการต้ม (Cooking Yield) ตามวิธีของ AACC (2000)

2.2 วัดค่าสี นำบะหมี่ที่ผ่านการอบแห้งและที่ผ่านการต้มสุก มาวัดค่าสีโดยใช้เครื่อง Hunter Lab Colorimeter รายงานเป็นค่าความสว่าง (L*) ค่าความเป็นสีแดง-เขียว (a*) และค่า

ความเป็นสีเหลือง-น้ำเงิน (b*) คำนวณค่ามุมของเฉดสี (Hue angle, h°) จาก $h° = tan^{-1}$ (b/a) และคำนวณค่าความเข้มสี (Chroma, C*) จาก $C^* = (a^{*2}+b^{*2})^{1/2}$

2.3 วิเคราะห์ลักษณะเนื้อสัมผัส วัดลักษณะเนื้อสัมผัสของบะหมี่ที่ผ่านการต้มสุกแล้ว โดยใช้เครื่องวิเคราะห์ลักษณะเนื้อสัมผัส Texture analyzer (TA-XT2) วัดค่าความต้านทานต่อการดึงขาด (Tensile strength) โดยใช้หัววัด spaghetti tensile grips (A/SPR) วัดค่าความแน่นเนื้อ (Firmness) โดยใช้หัววัด A/LKB และค่าการยึดเกาะที่ผิวหน้า (Adhesiviness) โดยใช้หัววัด P/35 (รายละเอียดการเตรียมตัวอย่างและวิธีการวัดเนื้อสัมผัสแสดงในภาคผนวก ง)

2.4 ทดสอบทางประสาทสัมผัส

นำตัวอย่างบะหมี่มาทดสอบคุณภาพทางประสาทสัมผัสในด้านสี กลิ่นรสสาหร่าย ความแน่นเนื้อ ความเหนียว และการเกาะติดกัน โดยใช้การทดสอบแบบ Scoring test ใช้ผู้ทดสอบที่ผ่านการฝึกฝน 12 คน (ทำการฝึกฝนผู้ทดสอบโดยการให้ผู้ทดสอบชิมตัวอย่างบะหมี่และให้คะแนน ผู้ทดสอบต้องชิมบะหมี่จำนวน 3 รอบ โดยที่คะแนนการชิมในแต่ละครั้งต้องใกล้เคียงกันและถูกต้อง ผู้ทดสอบที่ให้คะแนนใกล้เคียงกันและถูกต้องจะถูกเลือกให้ไปทดสอบในการทดลอง)และทดสอบคุณภาพทางประสาทสัมผัสในด้านสี กลิ่น รสชาติ เนื้อสัมผัส และความชอบโดยรวม โดยใช้การทดสอบแบบ 9 point hedonic scale และใช้ผู้ทดสอบ 30 คน เตรียมตัวอย่างบะหมี่ที่ใช้ในการทดสอบ โดยนำบะหมี่มาต้มให้สุกตามเวลาที่ได้จากการทดลองและทำให้สะเด็ดน้ำ เสิร์ฟภายใน 15 นาที (ตัวอย่างแบบทดสอบการประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสแสดงในภาคผนวก จ)

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

พิจารณาเลือกบะหมี่ที่ได้คะแนนความชอบโดยรวมสูงสุด และพิจารณาร่วมกับปริมาณของแข็งที่สูญเสียระหว่างการต้ม และลักษณะเนื้อสัมผัส ได้แก่ ค่าความต้านทานต่อการดึงขาด (Tensile strength) ค่าการยึดเกาะที่ผิวหน้า (Adhesiveness) และค่าความแน่นเนื้อ (Firmness) เพื่อนำไปใช้ในการศึกษาขั้นต่อไป

3. ศึกษาชนิดและปริมาณของเกลือฟอสเฟตที่เหมาะสมสำหรับเติมในบะหมี่กึ่งสำเร็จรูปแบบไม่ทอดที่เติมสาหร่ายเกลียวทองผง

โดยเติมเกลือฟอสเฟตในสูตรบะหมี่กึ่งสำเร็จรูปแบบไม่ทอดที่ใช้ปริมาณความชื้นและปริมาณสาหร่ายเกลียวทองผงที่เหมาะสมที่เลือกได้จากข้อ 2 โดยใช้เกลือฟอสเฟต 2 ชนิด คือ โมโนโซเดียมฟอสเฟตและไดโซเดียมฟอสเฟต แปรปริมาณเกลือฟอสเฟตเป็นร้อยละ 0 0.15 0.30 และ 0.45 (โดยน้ำหนักแป้งสาลี) นำมาเตรียมบะหมี่เช่นเดียวกับวิธีการทดลองข้อ 2 และวิเคราะห์คุณภาพดังนี้

3.1 วิเคราะห์คุณภาพหลังการต้ม ได้แก่ เวลาที่เหมาะสมในการต้มบะหมี่กึ่งสำเร็จรูปแบบไม่ทอดให้สุก (Cooking time) ปริมาณของแข็งที่สูญเสียระหว่างการต้ม (Cooking loss) และน้ำหนักที่ได้หลังการต้ม (Cooking yield) เช่นเดียวกับวิธีการทดลองข้อ 2.1

3.2 วัดค่าสี เช่นเดียวกับการทดลองข้อ 2.2

3.3 วิเคราะห์ลักษณะเนื้อสัมผัส เช่นเดียวกับวิธีการทดลองข้อ 2.3

3.4 ทดสอบทางประสาทสัมผัส เช่นเดียวกับวิธีการทดลองข้อ 2.4

วางแผนการทดลองแบบ CRD ส่วนการทดสอบทางประสาทสัมผัส วางแผนการทดลองแบบ RCBD ทำการทดลอง 3 ซ้ำ เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยโดยวิธี Duncan’s new multiple range test (DMRT) ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

พิจารณาเลือกบะหมี่ที่ได้คะแนนความชอบโดยรวมสูงสุด พิจารณาร่วมกับปริมาณของแข็งที่สูญเสียระหว่างการต้มและลักษณะเนื้อสัมผัส ได้แก่ ค่าความต้านทานต่อการดึงขาด (Tensile strength) ค่าการยึดเกาะที่ผิวหน้า (Adhesiveness) และค่าความแน่นเนื้อ (Firmness) เพื่อนำไปใช้ในการศึกษาขั้นต่อไป

4. ศึกษาผลของเอนไซม์ทรานส์กลูตามิเนสเพื่อปรับปรุงคุณภาพของบะหมี่กึ่งสำเร็จรูปแบบไม่ทอดเสริมสาหร่ายผักกาดทะเลผง

โดยแปรปริมาณเอนไซม์ทรานส์กลูตามิเนสร้อยละ 0 0.1 0.3 และ 0.5 โดยน้ำหนักแป้ง โดยเติมเอนไซม์ในขั้นตอนการผสมแป้งแล้วพักไว้ประมาณ 60 นาที เพื่อให้เกิดกิจกรรมของเอนไซม์ที่อุณหภูมิห้อง (30 ± 2 องศาเซลเซียส) ทำบะหมี่เช่นเดียวกับวิธีการทดลองข้อ 2 นำโดและบะหมี่มาวิเคราะห์คุณภาพดังนี้

4.1 วิเคราะห์ปริมาณหมู่อะมิโนอิสระของโดบะหมี่ ตามวิธีที่ดัดแปลงมาจากวิธีของ Huang et al. (2010)

4.2 วิเคราะห์คุณภาพหลังการต้ม เช่นเดียวกับวิธีการทดลองข้อ 2.1

4.3 วิเคราะห์ลักษณะเนื้อสัมผัส เช่นเดียวกับวิธีการทดลองข้อ 2.3

4.4 วิเคราะห์โครงสร้างระดับจุลภาคของเส้นบะหมี่โดยใช้กล้องจุลทรรศน์อิเลคตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope)

4.5 ทดสอบทางประสาทสัมผัส เช่นเดียวกับวิธีการทดลองข้อ 2.4

วางแผนการทดลองแบบ CRD ทำการทดลอง 3 ซ้ำ เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยโดยวิธี Duncan’s new multiple range test (DMRT) ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

ในการทดสอบทางประสาทสัมผัสวางแผนการทดลองแบบ RCBD ทำการทดลอง 3 ซ้ำ เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยโดยวิธี Duncan’s new multiple range test (DMRT) ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 โดยปัจจัยที่ศึกษาคือ ปริมาณเอนไซม์ทรานส์กลูตามิเนสที่เติมในบะหมี่กึ่งสำเร็จรูปแบบไม่ทอด

พิจารณาเลือกบะหมี่ที่ได้คะแนนความชอบโดยรวมสูงสุด พิจารณาร่วมกับเวลาที่เหมาะสมในการต้ม ปริมาณของแข็งที่สูญเสียระหว่างการต้มและลักษณะเนื้อสัมผัส ได้แก่ ค่าความต้านทานต่อการดึงขาด (Tensile strength) ค่าการยึดเกาะที่ผิวหน้า (Adhesiveness) และค่าความแน่นเนื้อ (Firmness) เพื่อนำไปใช้ในการศึกษาขั้นต่อไป

ตอนที่ 3 เปรียบเทียบคุณภาพทางเคมี กายภาพ และลักษณะทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์บะหมี่กึ่งสำเร็จรูปแบบไม่ทอดเสริมสาหร่ายผักกาดทะเลผงและสาหร่ายเกลียวทองผงกับผลิตภัณฑ์บะหมี่ทางการค้า

โดยนำผลิตภัณฑ์บะหมี่กึ่งสำเร็จรูปแบบไม่ทอดเสริมสาหร่ายผักกาดทะเลผงและสาหร่ายเกลียวทองผงที่ได้รับการยอมรับสูงสุดจากการทดลองตอนที่ 1 และ 2 ตามลำดับ มาวิเคราะห์คุณค่าทางโภชนาการและคุณภาพของผลิตภัณฑ์บะหมี่กึ่งสำเร็จรูปทางการค้าชนิดที่เสริมสาหร่ายและไม่เสริมสาหร่ายดังนี้

1. การวิเคราะห์คุณภาพของพาสต้าหลังการต้ม เช่นเดียวกับวิธีการทดลองข้อ 2.1
2. วิเคราะห์ลักษณะเนื้อสัมผัส เช่นเดียวกับวิธีการทดลองข้อ 2.3
3. วิเคราะห์โครงสร้างระดับจุลภาค เช่นเดียวกับวิธีการทดลองข้อ 4.4
4. ประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัส เช่นเดียวกับวิธีการทดลองข้อ 2.4
5. วิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี เช่นเดียวกับวิธีการทดลองข้อ 1.1

บทที่ 4
ผลการทดลองและวิจารณ์

<u>ตอนที่ 1</u> การพัฒนาผลิตภัณฑ์บะหมี่กึ่งสำเร็จรูปแบบไม่ทอดเสริมสาหร่ายผักกาดทะเลผง

1. ผลการศึกษาองค์ประกอบทางเคมีและปริมาณสารสำคัญบางชนิดของสาหร่ายผักกาดทะเลผง

ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของสาหร่ายผักกาดทะเลผงที่เตรียมได้แสดงดังตารางที่ 4-1 ชนิดและปริมาณของกรดอะมิโนแสดงดังตารางที่ 4-2 และผลการวิเคราะห์ชนิดและปริมาณของกรดไขมันแสดงดังตารางที่ 4-3

จากผลการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี (ตารางที่ 4-1) พบว่า สาหร่ายผักกาดทะเลเป็นแหล่งที่ดีของโปรตีน ใยอาหาร แร่ธาตุ และเบต้า-แคโรทีนซึ่งมีสมบัติในการต้านอนุมูลอิสระ โดยปริมาณโปรตีน ไขมัน คาร์โบไฮเดรต และใยอาหารที่วิเคราะห์ได้มีปริมาณใกล้เคียงกับผลการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของสาหร่าย *Ulva lactuca* และ *Ulva fasciata* ที่ประกอบด้วยปริมาณโปรตีนร้อยละ 13 – 18 ไขมันร้อยละ 0.3 – 1.9 คาร์โบไฮเดรตร้อยละ 53 – 58 และใยอาหารร้อยละ 9 – 12 โดยน้ำหนักแห้ง (Padua et al., 2004) นอกจากนี้สาหร่ายผักกาดทะเลผงยังประกอบด้วยแร่ธาตุที่สำคัญ ได้แก่ แคลเซียม ไอโอดีน และโซเดียม และสารต้านอนุมูลอิสระที่สำคัญ ได้แก่ เบต้า-แคโรทีน และสารประกอบฟีนอกลิก (ตารางที่ 4-1) สอดคล้องกับผลการศึกษาองค์ประกอบของสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพ (bioactive) ของ Yildiz et al. (2012) ที่พบว่าในสาหร่ายผักกาดทะเลมีสารประกอบฟีนอลิก วิตามิน E และแคโรทีนอยด์อยู่ในปริมาณมาก

จากผลการวิเคราะห์ชนิดและกรดอะมิโนในสาหร่ายผักกาดทะเลผง (ตารางที่ 4-2) พบว่าสาหร่ายผักกาดทะเลผงประกอบด้วยกรดอะมิโนทั้งชนิดที่จำเป็นและชนิดที่ไม่จำเป็น โดยกรดอะมิโนชนิดที่มีปริมาณสูง ได้แก่ กรดแอสปาติก (31.29 มิลลิกรัม/กรัม) กรดกลูตามิก (27.03 มิลลิกรัม/กรัม) อะลานีน (20.23 มิลลิกรัม/กรัม) และลิวซีน (14.13 มิลลิกรัม/กรัม)

จากผลการวิเคราะห์ชนิดและปริมาณกรดไขมันในสาหร่ายผักกาดทะเลผง (ตารางที่ 4-3) พบว่า สาหร่ายผักกาดทะเลผงประกอบด้วยกรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัว (Unsaturated fatty acid) ในปริมาณร้อยละ 13.65 ของกรดไขมันทั้งหมด (1.46 มิลลิกรัม/กรัม) โดยประกอบด้วยกรดไขมันประเภท Polyunsaturated fatty acid (PUFA) ในปริมาณร้อยละ 3.16 ซึ่งเป็นกรดไขมันไม่อิ่มตัว Omega-3 ร้อยละ 2.78 (0.30 มิลลิกรัม/กรัม) และ Omega-6 ร้อยละ 0.38 (0.04 มิลลิกรัม/กรัม) ซึ่งกรดไขมันไม่อิ่มตัวทั้งสองชนิดเป็นกรดไขมันที่จำเป็นต่อร่างกาย และมีประโยชน์ต่อร่างกายโดยช่วยป้องกันโรคต่างๆ ได้แก่ โรคมะเร็ง โรคหลอดเลือดหัวใจ เป็นต้น

จากผลการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของสาหร่ายผักกาดทะเลผง จะเห็นได้ว่าสาหร่ายผักกาดทะเลมีคุณค่าทางอาหารหลายชนิดที่มีประโยชน์แก่ร่างกาย มีไขมันต่ำ นอกจากนี้ยังช่วยป้องกันโรคมะเร็งลำไส้ใหญ่ เนื่องจากสาหร่ายผักกาดทะเลมีกากใยอาหารสูง จึงอาจกล่าวได้ว่าการเติมสาหร่ายผักกาดทะเลผงในผลิตภัณฑ์บะหมี่กึ่งสำเร็จรูปแบบไม่ทอด จะช่วยเพิ่มคุณค่าทางโภชนาการของผลิตภัณฑ์ได้

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 (g/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 ชนิดและปริมาณของกรดอะมิโนในสาหร่ายผักกาดทะเลผง

กรดอะมิโน	ปริมาณ (mg/g)
Isoleucine	8.60 ± 1.05
Leucine	14.13 ± 0.09
Lysine	11.95 ± 0.41
Methionine	3.93 ± 0.51
Phenylalanine	10.68 ± 0.13
Threonine	9.90 ± 0.28
Valine	12.00 ± 0.55
Alanine	20.23 ± 0.71
Arginine	13.45 ± 0.29
Aspartic acid	31.29 ± 1.54
Cystine	1.78 ± 0.22
Glutamic acid	27.03 ± 0.70
Glycine	13.64 ± 0.25
Histidine	3.83 ± 0.79
Proline	3.35 ± 0.10
Serine	12.34 ± 0.21
Tyrosine	6.69 ± 0.39

ตารางที่ 4-3 ชนิดและปริมาณของกรดไขมันในสาหร่ายผักกาดทะเลผง

ชนิดของกรดไขมัน	ปริมาณกรดไขมัน*	
	มิลลิกรัม/กรัม	ร้อยละ
C12:0	0.018±0.002	0.17±0.02
C13:0	1.214±0.059	11.36±0.54
C14:0	0.373±0.006	3.45±0.04
C14:1	0.037±0.006	0.35±0.06
C15:0	0.080±0.005	0.75±0.04
C16:0	3.159±0.296	29.52±2.63
C16:1	0.434±0.023	4.06±0.20
C17:0	0.076±0.011	0.71±0.10
C17:1	0.131±0.031	1.23±0.29
C18:0	0.189±0.061	1.76±0.57
C18:1	0.519±0.222	4.85±2.07
C18:3 n-6	0.017±0.001	0.16±0.01
C18:3 n-3	0.236±0.000	2.21±0.01
C20:0	0.409±0.001	3.82±0.02
C20:2 n-6	0.024±0.002	0.22±0.02
C20:3 n-6	nd	nd
C20:5 n-3	0.018±0.002	0.17±0.02
C24:0	0.038±0.001	0.35±0.01
C22:6 n-3	0.043±0.013	0.40±0.12
อื่นๆ	3.678±0.536	34.44±5.14

* รายงานเป็น ค่าเฉลี่ย ± Standard error

nd หมายถึง วิเคราะห์แต่ไม่พบ

2. ผลการศึกษาปริมาณสาหร่ายผักกาดทะเลผงและปริมาณความชื้นของส่วนผสมที่เหมาะสมสำหรับเติมในบะหมี่กึ่งสำเร็จรูปแบบไม่ทอด

จากการวิเคราะห์คุณภาพของบะหมี่กึ่งสำเร็จรูปแบบไม่ทอดที่แปรปริมาณสาหร่ายผักกาดทะเลผงร้อยละ 0 2 4 6 8 และ 10 โดยน้ำหนักแป้ง และแปรปริมาณความชื้นของส่วนผสมเป็นร้อยละ 37 และ 40 และ ได้ผลการวิเคราะห์คุณภาพดังนี้

2.1 ผลการวิเคราะห์คุณภาพหลังการต้ม

จากผลการวิเคราะห์ปัจจัยร่วมระหว่างปริมาณสาหร่ายผักกาดทะเลผงและปริมาณความชื้น (ตารางที่ 4-4) พบว่าอิทธิพลร่วมของปริมาณสาหร่ายผักกาดทะเลผงและปริมาณความชื้นมีผลต่อ

ปริมาณของแข็งที่สูญเสียระหว่างการต้มและน้ำหนักหลังการต้มอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p<0.05)

ตารางที่ 4-4 ค่า F และ p ของคุณภาพของบะหมี่กึ่งสำเร็จรูปแบบไม่ทอดที่แปรปริมาณสาหร่ายผักกาดทะเลผงและปริมาณความชื้นของส่วนผสมระดับต่างๆ

แหล่งความแปรปรวน	F(p)	
	ปริมาณของแข็งที่สูญเสียระหว่างการต้ม	น้ำหนักหลังการต้ม
ความชื้นของส่วนผสม	36.880*(0.000)	17.300*(0.000)
สาหร่ายผักกาดทะเลผง	43.178*(0.000)	69.434*(0.000)
ความชื้นXสาหร่ายผักกาดทะเลผง	3.615*(0.014)	7.143*(0.000)

* หมายถึง มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p<0.05)

จากการวิเคราะห์คุณภาพหลังการต้มของบะหมี่กึ่งสำเร็จรูปแบบไม่ทอดที่แปรปริมาณสาหร่ายผักกาดทะเลผงและปริมาณความชื้นของส่วนผสมระดับต่างๆ ได้ผลดังตารางที่ 4-5 พบว่า เมื่อปริมาณความชื้นของส่วนผสมเพิ่มขึ้น (ร้อยละ 37–40) และเติมปริมาณสาหร่ายผักกาดทะเลผงเพิ่มขึ้น (ร้อยละ 0-10) มีผลทำให้ระยะเวลาในการต้มสุกลดลงจาก 4.5 นาทีเป็น 3.0 นาที โดยปกติการสุกของบะหมี่เกิดจากการเกิดเจลของสตาร์ช โดยสตาร์ชจะเกิดการเจลาติไนเซชัน เมื่อให้ความร้อนแก่เม็ดสตาร์ชในสภาวะที่มีน้ำอยู่พันธะไฮโดรเจนจะคลายตัว โมเลกุลของน้ำจะแทรกเข้าไปในเม็ดสตาร์ชและจับกับโมเลกุลของสตาร์ช ทำให้เม็ดสตาร์ชพองตัวและใสขึ้น (กล้าณรงค์ ศรีรอต และเกื้อกูล ปิยะจอมขวัญ, 2546) เมื่อเติมสาหร่ายผักกาดทะเลผงในผลิตภัณฑ์บะหมี่มากขึ้นมีผลทำให้เวลาที่ใช้ในการต้มสุกลดลง อาจเนื่องจากการเติมสาหร่ายผักกาดทะเลผงเพิ่มขึ้นทำให้สัดส่วนของแป้งสาลีในสูตรบะหมี่ลดลง ซึ่งส่งผลต่อการเกิดกลูเตนของโดบะหมี่ โดยการใช้ส่วนผสมอื่นที่ไม่ใช่แป้งสาลีส่งผลให้เกิดโครงสร้างร่างแหของกลูเตน (Gluten network) ที่ไม่แข็งแรง (Eyidemir & Hayta, 2009)

จากการวิเคราะห์หาปริมาณของแข็งที่สูญเสียระหว่างการต้มและน้ำหนักหลังการต้ม พบว่า เมื่อปริมาณความชื้นของส่วนผสมเพิ่มขึ้น (ร้อยละ 37–40) และเติมปริมาณสาหร่ายผักกาดทะเลผงเพิ่มขึ้น (ร้อยละ 0-10) ทำให้ปริมาณของแข็งที่สูญเสียระหว่างการต้มเพิ่มขึ้นจากร้อยละ 7.38 เป็นร้อยละ 10.85 แต่มีน้ำหนักที่ได้หลังการต้มลดลงจากร้อยละ 244.61 เป็นร้อยละ 218.90 เนื่องจากสาหร่ายผักกาดทะเลผงประกอบด้วยเส้นใย (ร้อยละ 11.60) ซึ่งอาจไปขัดขวางการเชื่อมโครงสร้างของสตาร์ชและโปรตีนในบะหมี่กึ่งสำเร็จรูป ทำให้โครงสร้างของบะหมี่ไม่แข็งแรง จึงมีปริมาณของแข็งที่สูญเสียในระหว่างการต้มเพิ่มขึ้น สอดคล้องกับรายงานของ Tudorica et al. (2002) พบว่าพาสต้าที่เติมผักโขมมีปริมาณของแข็งที่สูญเสียระหว่างการต้มเพิ่มขึ้น เนื่องจากองค์ประกอบที่เป็นเส้นใยในผักโขมไปขัดขวางการเกิดโครงสร้างของสตาร์ชและโปรตีน โดยทำให้โครงร่างของเส้นพาสต้าไม่แข็งแรง ทำให้ปริมาณของแข็งที่สูญเสียระหว่างการต้มเพิ่มขึ้น รวมทั้งมีผลทำให้ค่าน้ำหนักที่ได้หลัง

การต้มซึ่งบ่งชี้ถึงการดูดน้ำของบะหมี่และเวลาที่เหมาะสมในการต้มบะหมี่มีค่าลดลง และเมื่อปริมาณความชื้นเพิ่มขึ้นจากร้อยละ 37 เป็นร้อยละ 40 ปริมาณของแข็งที่สูญเสียระหว่างการต้มลดลง เนื่องจากปริมาณน้ำที่เพิ่มขึ้น ส่งผลให้แป้งดูดน้ำได้มากขึ้น ทำให้เกิดร่างแหกลูเตนที่จับตัวกันแน่นและแข็งแรงกว่าทำให้สตาร์ชหลุดออกได้ยากส่งผลให้ปริมาณของแข็งที่สูญเสียระหว่างการต้มลดลง ซึ่งสอดคล้องกับผลการวัดค่าการยึดเกาะที่ผิวหน้า พบว่า เมื่อปริมาณความเพิ่มขึ้นทำให้ค่ายึดเกาะที่ผิวหน้าลดลง

ตารางที่ 4-5 คุณภาพหลังการต้มของบะหมี่กึ่งสำเร็จรูปแบบไม่ทอดที่แปรปริมาณสาหร่ายผักกาดทะเลผงและปริมาณความชื้นของส่วนผสมระดับต่างๆ

ปริมาณความชื้นของส่วนผสม (%)	ปริมาณสาหร่าย (%)	คุณภาพหลังการต้ม		
		เวลาที่เหมาะสมในการต้ม(นาที)	ปริมาณของแข็งที่สูญเสียระหว่างการต้ม(ร้อยละ)	น้ำหนักที่ได้หลังการต้ม(ร้อยละ)
37	0	4.50	$8.63^{c} \pm 0.40$	$244.61^{a} \pm 3.67$
	2	4.00	$9.17^{bc} \pm 0.37$	$237.73^{bc} \pm 3.73$
	4	4.00	$9.20^{bc} \pm 0.20$	$235.70^{c} \pm 1.52$
	6	3.50	$9.32^{bc} \pm 0.24$	$229.84^{d} \pm 1.50$
	8	3.50	$10.84^{a} \pm 0.33$	$221.17^{e} \pm 4.65$
	10	3.50	$10.85^{a} \pm 0.19$	$218.90^{e} \pm 3.12$
40	0	4.00	$7.38^{d} \pm 0.42$	$242.75^{ab} \pm 1.69$
	2	4.00	$7.68^{d} \pm 0.02$	$239.18^{bc} \pm 3.63$
	4	4.00	$8.79^{c} \pm 0.41$	$221.42^{e} \pm 1.31$
	6	3.50	$9.33^{bc} \pm 0.81$	$220.63^{e} \pm 4.14$
	8	3.50	$9.69^{b} \pm 0.44$	$220.87^{e} \pm 0.67$
	10	3.00	$10.46^{a} \pm 0.45$	$219.09^{e} \pm 1.10$

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

2.2 ผลการวัดค่าสี

จากผลการวิเคราะห์ปัจจัยร่วมระหว่างปริมาณสาหร่ายผักกาดทะเลผงและปริมาณความชื้นของส่วนผสมระดับต่างๆ แสดงดังตารางที่ 4-6 และ 4-7 พบว่า อิทธิพลร่วมของปริมาณสาหร่ายผักกาดทะเลผงและปริมาณความชื้นของส่วนผสมมีผลต่อค่าความสว่าง (L*) ค่าความเป็นสีแดง-สีเขียว (a*) ค่าความเป็นสีเหลือง-สีน้ำเงิน (b*) ค่ามุมของเฉดสี (h°) ค่าความเข้มสี (C*) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) โดยค่ามุมของเฉดสีและค่าความเข้มสีได้จากการคำนวณค่าสีในระบบ CIE Lab อย่างไรก็ตามการรายงานค่าสีในระบบ CIE Lch จะแสดงให้เห็นถึงความสอดคล้องของค่าสีและลักษณะปรากฏของผลิตภัณฑ์ได้มากกว่าค่าสีในระบบ CIE Lab เนื่องจากการรายงานค่าสีใน

ระบบ CIE Lab มีข้อจำกัด โดยมักพบว่าค่าสีไม่สอดคล้องกับลักษณะปรากฏของผลิตภัณฑ์ที่สังเกตเห็น ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงเน้นการอภิปรายผลของค่าสีในระบบ CIE Lch เพื่อให้เห็นความสอดคล้องของค่าสีและลักษณะปรากฏของผลิตภัณฑ์ได้ชัดเจนกว่า

ตารางที่ 4-6 ค่า F และ p ของค่าสีของบะหมี่กึ่งสำเร็จรูปแบบไม่ทอดที่แปรปริมาณสาหร่ายผักกาดทะเลผงและปริมาณความชื้นของส่วนผสมระดับต่างๆ หลังอบแห้ง

แหล่งความแปรปรวน	F(p)				
	L*	a*	b*	h°	C*
ความชื้นของส่วนผสม	595.986* (0.000)	27.583* (0.000)	13.574* (0.001)	20.335* (0.000)	15.843* (0.001)
สาหร่ายผักกาดทะเลผง	1885.119* (0.000)	1881.042* (0.000)	284.046* (0.000)	2099.605* (0.000)	167.944* (0.000)
ความชื้นXสาหร่ายผักกาดทะเลผง	26.753* (0.000)	6.531* (0.001)	7.289* (0.000)	11.543* (0.000)	4.743* (0.004)

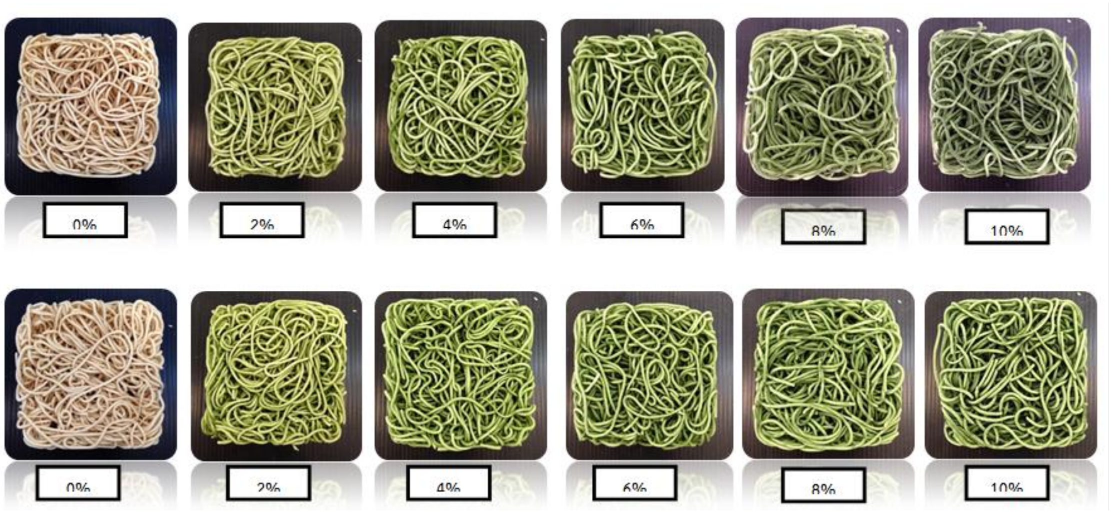
* หมายถึง มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

ตารางที่ 4-7 ค่า F และ p ของค่าสีของบะหมี่กึ่งสำเร็จรูปแบบไม่ทอดที่แปรปริมาณสาหร่ายผักกาดทะเลผงและปริมาณความชื้นของส่วนผสมระดับต่างๆ หลังต้มสุก

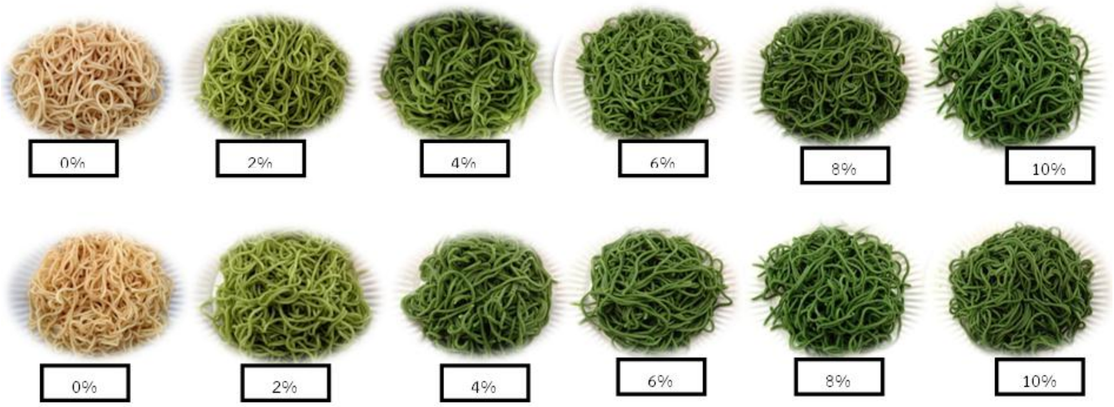
แหล่งความแปรปรวน	F(p)				
	L*	a*	b*	h°	C*
ความชื้นของส่วนผสม	.006 (0.983)	.033 (0.857)	10.345* (0.004)	6.114* (0.021)	14.132* (0.001)
สาหร่ายผักกาดทะเลผง	3455.307* (0.000)	2326.184* (0.000)	443.715* (0.000)	1353.017* (0.000)	299.649* (0.000)
ความชื้นXสาหร่ายผักกาดทะเลผง	24.815* (0.000)	10.306* (0.000)	5.301* (0.002)	5.848* (0.001)	4.778* (0.004)

* หมายถึง มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

จากผลการวิเคราะห์ค่าสีของผลิตภัณฑ์บะหมี่กึ่งสำเร็จรูปแบบไม่ทอดอบแห้งและต้มสุกที่แปรปริมาณสาหร่ายผักกาดทะเลผงและปริมาณความชื้นของส่วนผสมระดับต่างๆ ดังตารางที่ 4-8 และ 4-9 และภาพที่ 4-1 และ 4-2 พบว่า เมื่อใช้ปริมาณความชื้นของส่วนผสมร้อยละ 37 และ 40 และเติมปริมาณสาหร่ายผักกาดทะเลผงเพิ่มขึ้นมีผลทำให้ค่าความสว่างลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) จาก 59.14 เป็น 27.14 อาจเนื่องจากสาหร่ายผักกาดทะเลผงมีคลอโรฟิลล์ซึ่งเป็นรงควัตถุสีเขียวเป็นองค์ประกอบ เมื่อเติมในปริมาณที่มากขึ้น (ร้อยละ 0-10) มีผลทำให้เส้นของบะหมี่มีสีเขียวเข้มขึ้นและทำให้ค่าความสว่างของเส้นลดลงไปด้วย และเมื่อปริมาณความชื้นของส่วนผสมที่เพิ่มขึ้นจากร้อยละ 37 เป็นร้อยละ 40 ทำให้ค่าความสว่าง (L*) ลดลง อาจเนื่องจากปริมาณน้ำที่เพิ่มขึ้นทำให้แป้งดูดน้ำได้มากขึ้น จึงเกิดร่างแหกลูเตนที่จับตัวกันแน่นและแข็งแรงกว่าซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของปริศนา สุวรรณาภรณ และกมลพรรณ วิวัฒนวาณิชย (ม.ป.ป.) รายงานว่า ปริมาณน้ำที่เพิ่มขึ้นนั้นมีผลใหคา L* ลดลง เพราะปริมาณน้ำมากทำให้บะหมี่มีโครงสรางที่อัดตัวกันแนนไดมากกวาปริมาณน้ำนอยจึงทำใหบะหมี่ทึบแสง นอกจากนี้ยังพบว่า บะหมี่หลังต้มสุกมีค่าความสว่างลดลงเมื่อเปรียบเทียบกับบะหมี่อบแห้ง เนื่องจากกระบวนการต้มทำให้เกิดการสูญเสียรงควัตถุของสาหร่ายผักกาดทะเลผงในน้ำที่ใช้ต้ม บะหมี่หลังต้มจึงมีค่าความสว่างลดลง จากผลการวิเคราะห์ค่าความเป็นสีแดงและสีเขียว (a*) พบว่า เมื่อปริมาณสาหร่ายผักกาดทะเลผงและปริมาณความชื้นของส่วนผสมเพิ่มขึ้น มีผลทำให้ค่า a* แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) โดยบะหมี่มีค่า a* เป็นลบแสดงว่ามีความเป็นสีเขียวอาจเนื่องจากสาหร่ายผักกาดทะเลผงมีคลอโรฟิลล์ซึ่งเป็นรงควัตถุสีเขียวเป็นองค์ประกอบเมื่อเติมในปริมาณที่มากขึ้น (ร้อยละ 0-10) ส่งผลให้เส้นของบะหมี่มีสีเขียวเข้มขึ้นสอดคล้องกับผลการวิเคราะห์ค่ามุมของเฉดสี (h°) ของบะหมี่อบแห้งและต้มสุกที่พบว่าค่ามุมของเฉดสี มีค่าเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) เมื่อปริมาณสาหร่ายผักกาดทะเลผงและปริมาณความชื้นของส่วนผสมเพิ่มขึ้น (ตารางที่ 4-8 และ 4-9) โดยค่ามุมของเฉดสีเปนคาที่แสดงถึงค่าสีที่แทจริงที่ปรากฏใหเห็นซึ่งมีคาอยูระหวาง 0-360 องศา โดยมุมที่อยู่ในช่วง 45-90 องศา แสดงถึงตัวอย่างมีสีสมแดงถึงสีเหลือง และมุมที่อยู่ในช่วง 90-135 องศา แสดงถึงตัวอย่างมีสีเหลืองถึงเหลืองเขียว (McGuire, 1992) บะหมี่อบแห้งและต้มสุกที่ไม่เติมสาหร่ายและเตรียมโดยใช้ความชื้นของส่วนผสมร้อยละ 37-40 มีค่ามุมของเฉดสีอยู่ในช่วง 80.23-86.13 แสดงถึงบะหมี่อยู่ในโทนสีเหลือง แต่เมื่อเติมสาหร่ายผักกาดทะเลผงเพิ่มขึ้น (ร้อยละ 2-10) ทำให้ค่ามุมของเฉดสีเพิ่มขึ้นอยู่ในช่วง 106.76-128.02 แสดงถึงบะหมี่อยู่ในโทนสีเขียว (ภาพที่ 4-1 และ 4-2)



ภาพที่ 4-1 บะหมี่กึ่งสำเร็จรูปแบบไม่ทอดอบแห้งที่เติมสาหร่ายผักกาดทะเลผงร้อยละ 0 2 4 6 8 และ 10 เมื่อใช้ความชื้นของส่วนผสมร้อยละ 37 (แถวบน) และ 40 (แถวล่าง)



ภาพที่ 4-2 บะหมี่กึ่งสำเร็จรูปแบบไม่ทอดต้มสุกที่เติมสาหร่ายผักกาดทะเลผงร้อยละ 0 2 4 6 8 และ 10 เมื่อใช้ความชื้นของส่วนผสมร้อยละ 37 (แถวบน) และ 40 (แถวล่าง)

ตารางที่ 4-8 ค่าสีของบะหมี่กึ่งสำเร็จรูปแบบไม่ทอดที่แปรปริมาณสาหร่ายผักกาดทะเลผงและปริมาณความชื้นของส่วนผสมระดับต่างๆ หลังอบแห้ง

ปริมาณความชื้นของส่วนผสม (%)	ปริมาณสาหร่าย (%)	ค่าสีบะหมี่หลังอบแห้ง				
		L*	a*	b*	h°	C*
37	0	59.14^{a} ± 0.44	3.69^{a} ± 0.20	28.70^{b} ± 0.16	82.67^{g} ± 0.42	28.93^{b} ± 0.15
	2	47.29^{b} ± 0.16	-8.71^{c} ± 0.19	27.73^{c} ± 0.43	107.43^{e} ± 0.11	29.07^{b} ± 0.47
	4	42.36^{c} ± 2.96	-9.59^{de} ± 0.16	25.81^{e} ± 0.33	110.39^{d} ± 0.09	27.54^{c} ± 0.37
	6	39.49^{d} ± 0.18	-9.78^{def} ± 0.29	24.89^{f} ± 0.06	111.45^{c} ± 0.63	26.74^{c} ± 0.05
	8	36.08^{e} ± 0.78	-9.78^{def} ± 0.38	22.66^{gh} ± 0.16	113.35^{b} ± 0.95	24.68^{de} ± 0.03
	10	33.71^{f} ± 1.28	-9.90^{def} ± 0.30	22.14^{h} ± 0.41	114.09^{b} ± 1.02	24.26^{e} ± 0.26
40	0	58.73^{a} ± 0.24	2.04^{b} ± 0.33	30.10^{a} ± 0.16	86.13^{f} ± 0.61	30.17^{a} ± 0.17
	2	42.18^{c} ± 0.51	-8.79^{c} ± 0.04	29.18^{b} ± 0.53	106.76^{e} ± 0.27	30.48^{a} ± 0.51
	4	34.58^{f} ± 0.29	-9.55^{d} ± 0.11	26.68^{d} ± 0.81	109.72^{d} ± 0.74	28.34^{b} ± 0.73
	6	34.19^{f} ± 0.16	-10.13^{efg} ± 0.33	25.02^{f} ± 0.58	112.05^{c} ± 0.35	26.99^{c} ± 0.64
	8	31.58^{g} ± 0.14	-10.21^{fg} ± 0.29	23.27^{g} ± 0.28	113.69^{b} ± 0.60	25.41^{d} ± 0.31
	10	29.22^{h} ± 0.82	-10.48^{g} ± 0.53	20.97^{i} ± 0.69	116.56^{a} ± 0.69	23.45^{f} ± 0.82

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

ตารางที่ 4-9 ค่าสีของบะหมี่กึ่งสำเร็จรูปแบบไม่ทอดที่แปรปริมาณสาหร่ายผักกาดทะเลผงและปริมาณความชื้นของส่วนผสมระดับต่างๆ หลังต้มสุก

ปริมาณความชื้นของส่วนผสม (%)	ปริมาณสาหร่าย (%)	ค่าสีบะหมี่หลังต้ม				
		L*	a*	b*	h°	C*
37	0	55.00^{b} ± 0.68	4.73^{a} ± 0.20	27.45^{a} ± 0.05	80.23^{h} ± 0.40	27.85^{bc} ± 0.06
	2	41.92^{c} ± 0.19	-10.56^{d} ± 0.31	27.05^{a} ± 0.68	111.32^{f} ± 0.08	29.04^{ab} ± 0.74
	4	36.72^{e} ± 0.80	-11.46^{ef} ± 0.61	21.69^{c} ± 0.69	117.84^{e} ± 0.30	24.53^{d} ± 0.85
	6	30.59^{g} ± 0.05	-11.45^{ef} ± 0.17	19.23^{d} ± 0.54	120.77^{d} ± 0.61	22.38^{e} ± 0.51
	8	27.28^{hi} ± 0.46	-11.85^{fg} ± 0.55	16.01^{g} ± 0.56	126.50^{ab} ± 1.84	19.93^{g} ± 0.45
	10	27.25^{hi} ± 0.19	-11.90^{fg} ± 0.22	17.45^{ef} ± 0.34	124.31^{c} ± 0.13	21.13^{f} ± 0.40
40	0	58.30^{a} ± 0.72	3.29^{b} ± 0.24	28.04^{a} ± 0.34	83.31^{g} ± 0.50	28.24^{a} ± 0.33
	2	40.75^{d} ± 0.36	-9.60^{c} ± 0.11	25.25^{b} ± 0.31	110.82^{f} ± 0.30	27.01^{c} ± 0.30
	4	34.47^{f} ± 0.69	-10.91^{de} ± 0.09	21.49^{c} ± 0.10	116.92^{e} ± 0.13	24.10^{d} ± 0.13
	6	30.12^{g} ± 0.10	-11.53^{f} ± 0.33	18.21^{e} ± 1.15	122.41^{d} ± 2.32	21.57^{ef} ± 0.81
	8	28.06^{h} ± 0.28	-11.57^{f} ± 0.28	16.52f^{g} ± 0.25	125.00^{bc} ± 0.85	20.17^{g} ± 0.22
	10	27.14^{i} ± 0.15	-12.28^{g} ± 0.43	15.72^{g} ± 0.78	128.02^{a} ± 2.10	19.96^{g} ± 0.50

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

2.3 ผลการวัดลักษณะเนื้อสัมผัส

จากผลการวิเคราะห์ปัจจัยร่วมระหว่างปริมาณสาหร่ายผักกาดทะเลผงและปริมาณความชื้นของส่วนผสมดังตารางที่ 4-10 พบว่า อิทธิพลร่วมของปริมาณสาหร่ายผักกาดทะเลผงและปริมาณความชื้นของส่วนผสมมีผลต่อค่าความต้านต่อการดึงขาดและค่าการยึดเกาะที่ผิวหน้าอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) และผลการวิเคราะห์ลักษณะเนื้อสัมผัสของบะหมี่กึ่งสำเร็จรูปแบบไม่ทอดที่แปรปริมาณสาหร่ายผักกาดทะเลผงและปริมาณความชื้นของส่วนผสมระดับต่างๆ ได้ผลดังตารางที่ 4-11 ถึง 4-13

ตารางที่ 4-10 ค่า F และ p ของค่าความแน่นเนื้อ ค่าความต้านทานต่อการดึงขาด ค่าการยึดเกาะที่ผิวหน้าของบะหมี่กึ่งสำเร็จรูปแบบไม่ทอดที่แปรปริมาณสาหร่ายผักกาดทะเลผงและปริมาณความชื้นของส่วนผสมระดับต่างๆ

แหล่งความแปรปรวน	F (p)		
	ค่าความแน่นเนื้อ	ค่าความต้านทานต่อการดึงขาด	ค่าการยึดเกาะที่ผิวหน้า
ความชื้นของส่วนผสม	13.725* (0.001)	.559 (0.462)	460.651* (0.000)
สาหร่ายผักกาดทะเลผง	63.279* (0.000)	58.532* (0.000)	152.685* (0.000)
ความชื้นXสาหร่ายผักกาดทะเลผง	1.204 (0.337)	2.857* (0.037)	58.594* (0.000)

* หมายถึง มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

ค่าความแน่นเนื้อเป็นค่าแรงสูงสุดที่ใช้ในการตัดให้เส้นพาสต้าขาดออกจากกัน ถ้าใช้แรงในการตัดมากแสดงว่าเส้นพาสต้ามีความแน่นเนื้อมาก นอกจากนี้ยังสามารถใช้ประเมินความคงทนของเส้นพาสต้าต่อการหุงต้มได้ ค่าความต้านทานต่อการดึงขาดแสดงถึงความเหนียว ความยืดหยุ่น ความสามารถในการเกาะรวมตัวกันของเส้นพาสต้าสุกและยังบ่งชี้ถึงความคงทนของเส้นพาสต้าด้วย ค่าการยึดเกาะที่ผิวหน้าคือ แรงที่ใช้แยกผลิตภัณฑ์ออกมาเมื่อผิวของผลิตภัณฑ์เกาะกับผิวอื่น ถ้ามีแรงเกาะที่ผิวหน้าสูงแสดงว่าใช้แรงในการแยกผลิตภัณฑ์ออกจากกันมาก (วิภา สุโรจนะเมธากุล, 2545) จากผลการทดลอง (ตารางที่ 4-11) พบว่า เมื่อใช้ปริมาณสาหร่ายผักกาดทะเลผงและปริมาณความชื้นของส่วนผสมเพิ่มขึ้นมีผลทำให้ค่าการยึดเกาะที่ผิวหน้าเพิ่มขึ้นจาก 95.07 g f.s เป็น 170.06 g f.s เนื่องจากเมื่อใช้ปริมาณสาหร่ายผักกาดทะเลผงเพิ่มขึ้น องค์ประกอบที่เป็นเส้นใยในสาหร่ายผักกาดทะเลอาจไปขัดขวางการเกิดโครงสร้างของสตาร์ชและโปรตีนทำให้โครงสร้างของเส้นบะหมี่ไม่แข็งแรง มีผลให้สตาร์ชที่ผิวหน้าหลุดออกมามากในระหว่างการต้ม ทำให้ค่าการยึดเกาะที่ผิวหน้าเพิ่มขึ้น ซึ่ง

สอดคล้องกับผลการวิเคราะห์ปริมาณของแข็งที่สูญเสียระหว่างการต้มที่พบว่าเมื่อ ปริมาณสาหร่ายผักกาดทะเลผงเพิ่มขึ้นทำให้ปริมาณของแข็งที่สูญเสียระหว่างการต้มเพิ่มขึ้น

เมื่อใช้ปริมาณความชื้นของส่วนผสมร้อยละ 37 และ 40 และเติมปริมาณสาหร่ายผักกาดทะเลผง (ร้อยละ 2-4) มีผลทำให้ค่าความต้านทานต่อการดึงขาดเพิ่มขึ้นจาก 12.82 g f เป็น 19.91g f แต่เมื่อเติมสาหร่ายผักกาดทะเลผงเพิ่มขึ้น (ร้อยละ 6-10) ทำให้ค่าความต้านทานต่อการดึงขาดลดลงจาก 16.64 g f เป็น 11.39 g f (ร้อยละ 2 และ 4) เนื่องจากการเติมสาหร่ายผักกาดทะเลผงในปริมาณที่เหมาะสม (ร้อยละ 2-4) สาหร่ายจะดูดซับน้ำในปริมาณที่เหมาะสมกับการเกิดร่างแหกลูเตนทำให้โครงสร้างของบะหมี่แข็งแรง แต่ถ้าเติมในปริมาณมากเกินไป (ร้อยละ 6-10) สาหร่ายจะไปขัดขวางการเกิดร่างแหกลูเตนทำให้โครงสร้างของบะหมี่ไม่แข็งแรงและขาดง่าย

อย่างไรก็ตาม อิทธิพลร่วมของปัจจัยหลักทั้งสองปัจจัย (ปริมาณสาหร่ายและปริมาณความชื้นของส่วนผสม) ไม่มีผลต่อค่าความแน่นเนื้อ เฉพาะปัจจัยหลักเท่านั้นที่มีผลทำให้ค่าความแน่นเนื้อแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยความแน่นเนื้อมีค่าเพิ่มขึ้นจาก 232.91 g f เป็น 281.74 g f เมื่อปริมาณสาหร่ายผักกาดทะเลผงเพิ่มขึ้น สาหร่ายจะเกิดการแข่งขันกับสตาร์ชในการดูดน้ำ ทำให้จำกัดการพองตัวของสตาร์ช สตาร์ชจึงพองตัวได้น้อยลง ส่งผลให้เนื้อสัมผัสของบะหมี่แน่นขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับผลการวิเคราะห์น้ำหนักหลังการต้มที่พบว่าเมื่อปริมาณสาหร่ายผักกาดทะเลผงเพิ่มขึ้นน้ำหนักหลังการต้มมีค่าลดลงซึ่งบ่งชี้ว่าบะหมี่มีการดูดน้ำได้น้อยลง นอกจากนี้การเติมสาหร่ายเพิ่มขึ้นเป็นการเพิ่มปริมาณของแข็งในส่วนผสมของบะหมี่ทำให้บะหมี่มีความแน่นเนื้อเพิ่มขึ้นและเมื่อปริมาณความชื้นเพิ่มขึ้นจากร้อยละ 37 เป็นร้อยละ 40 ทำให้ค่าความแน่นเนื้อเพิ่มขึ้นเนื่องจากปริมาณความชื้นที่เพิ่มขึ้นจะทำให้แป้งดูดน้ำได้มากส่งผลให้เกิดกลูเตนมาก โครงสร้างของบะหมี่จึงแข็งแรงขึ้น

ตารางที่ 4-11 ลักษณะเนื้อสัมผัสของบะหมี่กึ่งสำเร็จรูปแบบไม่ทอดต้มสุกที่แปรปริมาณสาหร่ายผักกาดทะเลผงและปริมาณความชื้นของส่วนผสมระดับต่างๆ

ปริมาณความชื้นของส่วนผสม (%)	ปริมาณสาหร่าย (%)	ค่าความต้านทานต่อการดึงขาด (กรัมแรง, g f)	ค่าการยึดเกาะที่ผิวหน้า (กรัมแรง.วินาที, g f.s)
37	0	$12.82^{e} \pm 0.18$	$98.58^{d} \pm 0.05$
	2	$16.29^{bc} \pm 0.07$	$103.64^{d} \pm 8.63$
	4	$19.91^{a} \pm 0.28$	$161.77^{ab} \pm 3.83$
	6	$16.64^{b} \pm 1.38$	$165.59^{a} \pm 2.55$
	8	$12.58^{e} \pm 0.25$	$170.26^{a} \pm 7.87$
	10	$11.39^{e} \pm 0.50$	$168.68^{a} \pm 9.02$
40	0	$14.53^{d} \pm 0.07$	$97.52^{d} \pm 1.21$
	2	$15.61^{bcd} \pm 2.10$	$95.07^{d} \pm 1.00$
	4	$18.99^{a} \pm 0.96$	$96.84^{d} \pm 2.46$
	6	$14.69^{cd} \pm 0.21$	$98.65^{d} \pm 3.51$
	8	$12.94^{e} \pm 0.88$	$113.12^{c} \pm 3.53$
	10	$11.51^{e} \pm 1.20$	$155.77^{b} \pm 4.32$

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

ตารางที่ 4-12 ค่าความแน่นเนื้อของบะหมี่กึ่งสำเร็จรูปแบบไม่ทอดต้มสุกที่แปรปริมาณความชื้นของส่วนผสมเป็นร้อยละ 37 และ 40

ปริมาณความชื้นของส่วนผสม (%)	ค่าความแน่นเนื้อ (กรัมแรง, g f)
37	$255.68^{b} \pm 16.27$
40	$261.28^{a} \pm 13.68$

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

ตารางที่ 4-13 ค่าความแน่นเนื้อของบะหมี่กึ่งสำเร็จรูปแบบไม่ทอดต้มสุกที่แปรปริมาณสาหร่ายผักกาดทะเลผงระดับต่างๆ

ปริมาณสาหร่ายผักกาดทะเลผง (%)	ค่าความแน่นเนื้อ (กรัมแรง, g f)
0	236.48[d] ± 4.82
2	246.22[c] ± 9.86
4	259.18[b] ± 7.00
6	263.16[b] ± 2.20
8	265.03[b] ± 3.48
10	280.16[a] ± 2.75

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

2.4 ผลการทดสอบทางประสาทสัมผัส

จากการทดสอบทางประสาทสัมผัสของบะหมี่กึ่งสำเร็จรูปแบบไม่ทอดที่แปรปริมาณสาหร่ายผักกาดทะเลผงและปริมาณความชื้นของส่วนผสมระดับต่างๆ โดยใช้วิธี Scoring test ได้ผลดังตารางที่ 4-14 และการทดสอบทางด้านประสาทสัมผัสโดยใช้วิธี 9-Point hedonic scale ได้ผลดังตารางที่ 4-15

จากผลการทดสอบทางประสาทสัมผัสโดยใช้วิธี Scoring test ซึ่งเป็นการทดสอบความเข้มของคุณลักษณะทางประสาทสัมผัส พบว่า ปริมาณสาหร่ายผักกาดทะเลผงและปริมาณความชื้นของส่วนผสมมีผลต่อทำให้คะแนนด้านสีและกลิ่นรสสาหร่ายแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) โดยบะหมี่ที่ไม่เติมสาหร่ายผักกาดทะเลผงและใช้ความชื้นของส่วนผสมร้อยละ 37 และ 40 มีคะแนนด้านสีและกลิ่นรสสาหร่ายเท่ากับ 1.00 แสดงถึงบะหมี่ไม่มีสีเขียว และไม่มีกลิ่นรสของสาหร่าย แต่เมื่อปริมาณสาหร่ายผักกาดทะเลผงเพิ่มขึ้น บะหมี่มีคะแนนด้านสีอยู่ในช่วง 2.00-4.92 และมีคะแนนด้านกลิ่นรสอยู่ในช่วง 2.08-4.67 แสดงว่ามีสีเขียวเพิ่มขึ้น และมีกลิ่นรสสาหร่ายเพิ่มขึ้น ซึ่งผลการทดสอบทางประสาทสัมผัสในด้านสีสอดคล้องกับผลการวิเคราะห์ค่าสีของบะหมี่ที่พบว่าเมื่อปริมาณสาหร่ายผักกาดทะเลผงเพิ่มขึ้นค่าความเป็นสีเขียวและค่ามุมของเฉดสีของบะหมี่มีค่าเพิ่มขึ้นด้วย อย่างไรก็ตาม ค่าความแน่นเนื้อ ความเหนียวและการเกาะติดกันของบะหมี่ทุกตัวอย่างไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\geq0.05$) โดยค่าความแน่นเนื้อมีคะแนนอยู่ในช่วง 2.67-3.33 แสดงถึงบะหมี่มีความแน่นเนื้อน้อยถึงปานกลาง ความเหนียวมีคะแนนอยู่ในช่วง 2.58-3.33 แสดงถึงบะหมี่มีความเหนียวน้อยถึงปานกลางและด้านการเกาะติดกันมีคะแนนอยู่ในช่วง 2.75-3.17 แสดงถึงบะหมี่มีการเกาะติดกันน้อยถึงปานกลาง ถึงแม้ว่าค่าลักษณะเนื้อสัมผัสของบะหมี่ที่วิเคราะห์ได้โดยใช้เครื่องมือมีความแตกต่างกัน แต่ผู้ทดสอบไม่สามารถแยกความแตกต่างได้

จากผลการทดสอบทางประสาทสัมผัสโดยใช้วิธี 9-Point hedonic scale ซึ่งเป็นการทดสอบความชอบที่มีต่อผลิตภัณฑ์ พบว่า ปริมาณสาหร่ายผักกาดทะเลผงและปริมาณความชื้นของส่วนผสมมีผลต่อทำให้คะแนนความชอบของบะหมี่ในทุกด้านแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

($p<0.05$) โดยเมื่อปริมาณสาหร่ายผักกาดทะเลผงเพิ่มขึ้นมีผลทำให้คะแนนความชอบทุกด้านมีค่าลดลง โดยเฉพาะเมื่อปริมาณสาหร่ายผักกาดทะเลผงเพิ่มขึ้นเป็นร้อยละ 6-10 บะหมี่ได้คะแนนความชอบในด้านสี กลิ่น และรสชาติ อยู่ในระดับที่ไม่ชอบหรือชอบเล็กน้อย ซึ่งต่ำกว่าเกณฑ์ในการยอมรับผลิตภัณฑ์ (6 คะแนน) ทั้งนี้อาจเป็นผลมาจากสาหร่ายผักกาดทะเลที่นำมาใช้เป็นวัตถุดิบมีกลิ่นเฉพาะ (กลิ่นคาว) อีกทั้งมีผลต่อคุณภาพโดยรวมของผลิตภัณฑ์ จึงทำให้ผู้ทดสอบไม่ยอมรับ ดังนั้นการเติมสาหร่ายผักกาดทะเลผงในปริมาณมากเกินไปจึงทำให้คะแนนความชอบในด้านสี กลิ่น รสชาติ เนื้อสัมผัสและความชอบโดยรวมลดลง

เมื่อพิจารณาผลการทดสอบทางประสาทสัมผัส และผลการวิเคราะห์ลักษณะเนื้อสัมผัส พบว่าบะหมี่ที่เติมสาหร่ายผักกาดทะเลผงปริมาณร้อยละ 4 และใช้ความชื้นของส่วนผสมร้อยละ 37 ได้คะแนนความชอบโดยรวมสูงสุด มีค่าความต้านทานต่อการดึงขาดสูงสุด ดังนั้นจึงเลือกตัวอย่างนี้ไปศึกษาในขั้นตอนต่อไป

ตารางที่ 4-14 คะแนนการทดสอบทางประสาทสัมผัสของบะหมี่กึ่งสำเร็จรูปแบบไม่ทอดต้มสุกที่แปรปริมาณสาหร่ายผักกาดทะเลผงและปริมาณความชื้นของส่วนผสมระดับต่างๆ โดยใช้วิธี Scoring test

ปริมาณความชื้น (%)	ปริมาณสาหร่าย (%)	คะแนนการทดสอบทางประสาทสัมผัส				
		สีเขียว	กลิ่นรสสาหร่าย	ความแน่นเนื้อ^{ns}	ความเหนียว^{ns}	การเกาะติดกัน^{ns}
37	0	1.00^{f} ± 0.00	1.00^{e} ± 0.00	3.00 ± 0.74	2.58 ± 0.51	3.00 ± 0.74
	2	2.00^{e} ± 0.00	2.08^{d} ± 0.29	2.83 ± 0.58	2.83 ± 0.72	2.75 ± 0.75
	4	2.83^{d} ± 0.39	2.75^{c} ± 0.45	2.67 ± 0.78	2.83 ± 0.83	2.83 ± 0.83
	6	3.41^{c} ± 0.51	3.58^{b} ± 0.67	3.25 ± 0.75	3.17 ± 0.83	3.08 ± 0.79
	8	4.00^{b} ± 0.95	4.25^{a} ± 0.87	3.25 ± 0.62	3.33 ± 0.65	2.83 ± 0.94
	10	4.92^{a} ± 0.29	4.67^{a} ± 0.78	3.17 ± 1.11	3.08 ± 1.16	3.08 ± 1.08
40	0	1.00^{f} ± 0.00	1.00^{e} ± 0.00	3.08 ± 0.67	2.58 ± 0.89	2.92 ± 0.66
	2	2.08^{e} ± 0.29	2.08^{d} ± 0.29	3.00 ± 0.74	2.67 ± 0.78	3.17 ± 0.58
	4	3.00^{d} ± 0.60	3.00^{c} ± 0.60	3.17 ± 0.72	3.08 ± 0.79	2.75 ± 0.86
	6	3.58^{c} ± 0.51	3.67^{b} ± 0.65	3.17 ± 0.58	3.08 ± 0.79	2.91 ± 1.00
	8	4.25^{b} ± 0.62	4.58^{a} ± 0.67	3.33 ± 0.65	3.33 ± 0.65	2.67 ± 1.23
	10	4.75^{a} ± 0.62	4.50^{a} ± 1.00	3.17 ± 1.09	3.00 ± 1.13	2.90 ± 1.16

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

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

เกณฑ์การให้คะแนน : 5=มากที่สุด, 4=มาก, 3=ปานกลาง, 2=น้อย, 1=น้อยที่สุด

ตารางที่ 4-15 คะแนนทดสอบทางประสาทสัมผัสของบะหมี่กึ่งสำเร็จรูปแบบไม่ทอดต้มสุกที่แปรปริมาณสาหร่ายผักกาดทะเลผงและปริมาณความชื้นของส่วนผสมระดับต่างๆ โดยใช้วิธี 9-Point hedonic scale

ปริมาณความชื้น (%)	ปริมาณสาหร่าย (%)	คะแนนทดสอบทางประสาทสัมผัส				
		สี	กลิ่น	รสชาติ	เนื้อสัมผัส	ความชอบโดยรวม
37	0	$6.30^{c} \pm 1.53$	$5.73^{bc} \pm 1.50$	$6.23^{ab} \pm 1.76$	$6.47^{a} \pm 1.46$	$6.50^{ab} \pm 1.25$
	2	$7.10^{abc} \pm 1.45$	$5.70^{bc} \pm 1.72$	$6.43^{ab} \pm 1.43$	$6.13^{ab} \pm 1.20$	$6.60^{ab} \pm 1.22$
	4	$7.10^{ab} \pm 0.96$	$5.50^{bcd} \pm 1.52$	$6.43^{ab} \pm 1.14$	$6.07^{abc} \pm 1.17$	$6.63^{ab} \pm 1.00$
	6	$6.27^{c} \pm 1.51$	$6.60^{a} \pm 1.65$	$5.47^{c} \pm 1.33$	$6.17^{ab} \pm 1.32$	$6.03^{c} \pm 1.13$
	8	$5.03^{e} \pm 1.45$	$4.80^{d} \pm 0.99$	$5.00^{cd} \pm 1.31$	$5.73^{bcd} \pm 1.16$	$5.27^{de} \pm 1.08$
	10	$4.53^{e} \pm 1.55$	$5.90^{abc} \pm 1.24$	$4.50^{d} \pm 1.46$	$5.63^{cd} \pm 1.00$	$4.93^{e} \pm 1.23$
40	0	$6.23^{c} \pm 1.52$	$6.17^{ab} \pm 1.46$	$6.13^{b} \pm 1.65$	$6.23^{a} \pm 1.43$	$6.30^{bc} \pm 1.37$
	2	$7.30^{a} \pm 1.42$	$5.90^{abc} \pm 1.84$	$6.80^{a} \pm 1.37$	$6.33^{a} \pm 1.21$	$6.90^{a} \pm 1.27$
	4	$6.60^{bc} \pm 1.40$	$5.80^{abc} \pm 1.63$	$6.13^{b} \pm 1.46$	$6.27^{a} \pm 1.20$	$6.33^{bc} \pm 1.18$
	6	$5.63^{d} \pm 1.38$	$5.90^{abc} \pm 1.60$	$5.30^{c} \pm 1.21$	$6.07^{abc} \pm 1.11$	$5.73^{d} \pm 1.14$
	8	$4.97^{e} \pm 1.16$	$5.30^{cd} \pm 1.02$	$4.73^{d} \pm 1.26$	$5.60^{d} \pm 1.00$	$5.20^{e} \pm 1.10$
	10	$4.47^{e} \pm 1.70$	$5.40^{bcd} \pm 1.38$	$4.50^{d} \pm 1.46$	$5.60^{d} \pm 1.23$	$4.83^{e} \pm 1.20$

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

3. ผลการศึกษาชนิดและปริมาณเกลือฟอสเฟตที่เหมาะสมสำหรับเติมในบะหมี่กึ่งสำเร็จรูปแบบไม่ทอดที่เติมสาหร่ายผักกาดทะเลผง

จากการศึกษาชนิดและปริมาณเกลือฟอสเฟตที่เหมาะสมสำหรับเติมในบะหมี่กึ่งสำเร็จรูปแบบไม่ทอด โดยใช้บะหมี่สูตรที่เลือกได้จากข้อ 2 ซึ่งเตรียมโดยเติมสาหร่ายผักกาดทะเลผงร้อยละ 4 และความชื้นของส่วนผสมร้อยละ 37 โดยใช้เกลือฟอสเฟต 2 ชนิด คือ โมโนโซเดียมฟอสเฟต (MSP) และ ไดโซเดียมฟอสเฟต (DSP) และแปรปริมาณเกลือฟอสเฟตเป็นร้อยละ 0 (Control) 0.15 0.30 และ 0.45 (โดยน้ำหนักแป้งสาลี) นำมาวิเคราะห์คุณภาพหลังการต้ม ค่าสี ลักษณะเนื้อสัมผัส และการทดสอบทางประสาทสัมผัส ได้ผลดังนี้

3.1 ผลการวิเคราะห์คุณภาพหลังการต้ม

จากการวิเคราะห์คุณภาพหลังการต้มของบะหมี่กึ่งสำเร็จรูปแบบไม่ทอดเสริมสาหร่ายผักกาดทะเลผงที่เติมโมโนโซเดียมฟอสเฟตและไดโซเดียมฟอสเฟตปริมาณต่างๆ ได้ผลดังตาราง 4-16 พบว่าเมื่อปริมาณเกลือฟอสเฟตทั้งสองชนิดเพิ่มขึ้น มีผลทำให้ระยะเวลาในการต้มสุก และปริมาณของแข็งที่สูญเสียระหว่างการต้มลดลง แต่น้ำหนักหลังการต้มไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \geq 0.05$) โดยบะหมี่ที่ไม่เติมเกลือฟอสเฟต (Control) ใช้เวลาในการต้มสุก 4.0 นาที แต่เมื่อปริมาณเกลือฟอสเฟตทั้งสองชนิดเพิ่มขึ้นจากร้อยละ 0.15 เป็นร้อยละ 0.45 มีผลทำให้ระยะเวลาในการต้มสุกลดลงจาก 3.5 นาทีเป็น 3.0 นาที อาจเนื่องจากเกลือฟอสเฟตมีสมบัติในการกักเก็บน้ำและช่วยในการอุ้มน้ำ การใช้เกลือฟอสเฟตในบะหมี่เพื่อช่วยปรับปรุงการเกิดเจลในระหว่างการทำให้สุก ทำให้ระยะเวลาในการต้มสุกลดลง (Zhou and Hou, 2012) บะหมี่ที่เติมเกลือฟอสเฟตทั้งสองชนิดมีปริมาณของแข็งที่สูญเสียระหว่างการต้มลดลงเมื่อปริมาณโมโนโซเดียมฟอสเฟตและไดโซเดียมฟอสเฟตเพิ่มขึ้น (ร้อยละ 0.15-0.45) อาจเนื่องจากโมเลกุลของฟอสเฟตมีหมู่ไฮดรอกซิล ซึ่งช่วยในการจับกันของสตาร์ชและฟอสเฟต ทำให้สตาร์ชมีความคงทน (Baek et al., 2004) สตาร์ชจึงพองตัวได้น้อยและทำให้อะไมโลสหลุดออกจากเม็ดสตาร์ชน้อยลง ปริมาณของแข็งที่สูญเสียระหว่างการต้มจึงลดลง (Fu, 2008) โดยการใช้ไดโซเดียมฟอสเฟตทำให้ปริมาณของแข็งที่สูญเสียระหว่างการต้มต่ำกว่าการใช้โมโนโซเดียมฟอสเฟต อาจเนื่องจากไดโซเดียมฟอสเฟตมีความเป็นประจุมากกว่าโมโนโซเดียมฟอสเฟต ทำให้ไดโซเดียมฟอสเฟตสามารถจับกับโปรตีนได้ดีกว่า โดยเกลือฟอสเฟตทำให้สายโปรตีนเกิดการคลายตัวและจับกันเอง (Wang et al., 2011b) ทำให้เกิดโครงร่างที่แข็งแรงที่สามารถห่อหุ้มเม็ดสตาร์ชไว้ได้ ในระหว่างการต้มสตาร์ชจึงหลุดออกมาได้น้อยกว่า

ตารางที่ 4-16 คุณภาพหลังการต้มของบะหมี่กึ่งสำเร็จรูปแบบไม่ทอดเสริมสาหร่ายผักกาดทะเลผงที่เติมโมโนโซเดียมฟอสเฟต (MSP) และไดโซเดียมฟอสเฟต (DSP) ในปริมาณต่างๆ

ปริมาณเกลือฟอสเฟต (ร้อยละโดยน้ำหนักแป้ง)	คุณภาพหลังการต้ม		
	เวลาที่เหมาะสมในการต้ม(นาที)	ปริมาณของแข็งที่สูญเสียระหว่างการต้ม(ร้อยละ)	น้ำหนักที่ได้หลังการต้ม [ns] (ร้อยละ)
Control	4.00	4.74[a] ± 0.24	225.27 ± 8.61
0.15% MSP	3.50	5.46[a] ± 0.42	226.93 ± 1.39
0.30% MSP	3.00	4.69[b] ± 0.10	224.64 ± 9.61
0.45% MSP	3.00	4.32[b] ± 0.40	221.02 ± 9.63
0.15% DSP	3.50	4.26[b] ± 0.27	229.72 ± 2.97
0.30% DSP	3.00	3.39[c] ± 0.35	210.96 ± 7.46
0.45% DSP	3.00	3.14[c] ± 0.36	212.94 ± 8.40

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

[ns] หมายถึง ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\geq0.05$)

3.2 ผลการวัดค่าสี

เมื่อนำบะหมี่กึ่งสำเร็จรูปแบบไม่ทอดเสริมสาหร่ายผักกาดทะเลผงและเติมโมโนโซเดียมฟอสเฟต และไดโซเดียมฟอสเฟตปริมาณต่างๆ ที่ผ่านการอบแห้งและผ่านการต้มสุกได้ผลดังตาราง 4-17 และ 4-18

จากผลการทดลอง พบว่า ชนิดและปริมาณเกลือฟอสเฟตมีผลทำให้ค่าสีของบะหมี่อบแห้งและบะหมี่ต้มสุกแตกต่างกันมีอย่างนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) โดยการใช้ไดโซเดียมฟอสเฟตทำให้ค่า a*, h° และ C* ของบะหมี่อบแห้งและต้มสุกต่ำกว่าการใช้โมโนโซเดียมฟอสเฟต แต่ไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงค่า L* และ b* ในบะหมี่ต้มสุก ส่วนในบะหมี่อบแห้งพบว่า ค่า L* มีค่าลดลงเมื่อปริมาณเกลือฟอสเฟตเพิ่มขึ้น อย่างไรก็ตาม ทั้งบะหมี่อบแห้งและบะหมี่ต้มสุกที่เติมเกลือฟอสเฟตทั้งสองชนิดในปริมาณร้อยละ 0.15-0.3 มีค่า h° อยู่ในช่วง 106.43-116.48 แสดงถึงบะหมี่อยู่ในโทนสีเขียว โดยมีรายงานว่า มุมที่อยู่ในช่วง 90-135 องศา แสดงถึงตัวอย่างมีสีเหลืองถึงเหลืองเขียว (McGuire, 1992)

ตารางที่ 4-17 ค่าสีของบะหมี่กึ่งสำเร็จรูปแบบไม่ทอดเสริมสาหร่ายผักกาดทะเลผงที่เติมโมโนโซเดียมฟอสเฟต (MSP) และไดโซเดียมฟอสเฟต (DSP) ที่ผ่านการอบแห้ง

ชนิดและปริมาณเกลือฟอสเฟต	ค่าสีบะหมี่หลังอบแห้ง				
	L*	a*	b*	h°	C*
Control	46.83^{a} ± 0.30	-6.38^{a}±0.07	21.65^{b}±0.29	106.43^{d}±0.12	22.57^{c}±0.30
0.15% MSP	40.44^{c} ± 1.93	-9.17^{c}± 0.04	26.36^{a}±0.45	109.18^{a}± 0.28	27.91^{a}±0.43
0.30% MSP	42.68^{b} ± 1.09	-9.45^{cd}±0.10	26.61^{a}±0.33	109.56^{a}± 0.04	28.23^{a}±0.34
0.45% MSP	43.47^{b} ± 0.61	-9.62^{d}±0.32	27.16^{a}±1.13	109.51^{a}±0.15	28.81^{a}±1.17
0.15% DSP	46.18^{a} ± 1.24	-6.83^{b}±0.17	22.38^{b}±0.88	106.98^{c}±0.28	23.40^{bc}±0.89
0.30% DSP	44.76^{ab} ± 1.32	-7.03^{b}±0.26	22.29^{b}±0.52	107.51^{b}±0.36	23.37^{bc}±0.57
0.45% DSP	45.68^{a} ± 1.09	-7.11^{b}±0.26	22.90^{b}±0.85	107.24^{bc}±0.24	23.97^{b}±0.89

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

ตารางที่ 4-18 ค่าสีของบะหมี่กึ่งสำเร็จรูปแบบไม่ทอดเสริมสาหร่ายผักกาดทะเลผงที่เติมโมโนโซเดียมฟอสเฟต (MSP) และไดโซเดียมฟอสเฟต (DSP) ที่ผ่านการต้มสุก

ชนิดและปริมาณเกลือฟอสเฟต	ค่าสีบะหมี่หลังต้มสุก				
	L^{*ns}	a*	b^{*ns}	h°	C*
Control	37.57±0.30	-9.69^{bc}±1.25	21.23±1.43	114.48^{b}±1.36	23.34^{ab}±1.82
0.15% MSP	37.60±0.56	-10.83^{bcd}±0.62	21.94±1.14	116.26^{a}±0.19	24.46^{a}±1.29
0.30% MSP	37.27±1.91	-10.85^{bcd}±0.68	21.83±1.30	116.44^{a}±0.90	24.38^{a}±1.42
0.45% MSP	38.20±0.33	-11.34^{bd}±0.21	22.62±0.37	116.62^{a}±0.10	25.30^{a}±0.42
0.15% DSP	37.98±1.04	-8.58^{ab}±0.22	20.12±0.87	113.10^{c}±0.36	21.87^{b}±0.89
0.30% DSP	37.87±0.43	-8.51^{ab}±0.36	20.27±0.99	112.79^{c}±0.71	21.99^{b}±1.02
0.45% DSP	37.96±1.17	-8.41^{a}±0.54	20.22±1.33	112.58^{c}±0.48	21.90^{b}±1.42

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

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

3.3 ผลการวิเคราะห์เนื้อสัมผัส

จากการวิเคราะห์ลักษณะเนื้อสัมผัสของบะหมี่กึ่งสำเร็จรูปแบบไม่ทอดเสริมสาหร่ายผักกาดทะเลผงที่เติมเกลือฟอสเฟตทั้งสองชนิดในปริมาณต่างๆ ได้ผลดังตารางที่ 4-19 พบว่า ปริมาณเกลือฟอสเฟตมีผลต่อค่าความแน่นเนื้อและค่าการยึดเกาะที่ผิวหน้าแตกต่างกันมีอย่างนัยสำคัญทางสถิติ

(p<0.05) แต่ไม่มีผลต่อค่าความต้านทานการดึงขาด โดยเมื่อเติมเกลือฟอสเฟตทั้งสองชนิดในปริมาณเพิ่มขึ้นทำให้ค่าความแน่นเนื้อ และค่าการยึดเกาะที่ผิวหน้าของบะหมี่ลดลง ซึ่งอาจเป็นผลมาจากเกลือฟอสเฟตมีสมบัติในการอุ้มน้ำและกักเก็บน้ำ ทำให้เส้นบะหมี่ดูดซับน้ำได้มากมีผลให้ค่าความแน่นเนื้อลดลง นอกจากนี้เกลือฟอสเฟตสามารถจับกับสตาร์ช ทำให้สตาร์ชพองตัวได้น้อยและทำให้อะไมโลสที่ผิวหน้าหลุดออกได้น้อยลง (Fu, 2008) ค่าการยึดเกาะที่ผิวหน้าจึงลดลง

ตารางที่ 4-19 ลักษณะเนื้อสัมผัสของบะหมี่กึ่งสำเร็จรูปแบบไม่ทอดเสริมสาหร่ายผักกาดทะเลผงที่เติมโมโนโซเดียมฟอสเฟต (MSP) และไดโซเดียมฟอสเฟต (DSP) ปริมาณต่างๆ

ปริมาณเกลือฟอสเฟต (ร้อยละโดยน้ำหนักแป้ง)	ลักษณะเนื้อสัมผัส		
	ค่าความต้านทานต่อการดึงขาด^{ns} (g f)	ค่าความแน่นเนื้อ (g f)	ค่าการยึดเกาะที่ผิวหน้า (g f.s)
Control	15.85 ± 0.37	292.48^{b} ± 9.21	99.80^{b} ± 0.46
0.15% MSP	16.36 ± 0.12	223.20^{d} ± 5.65	102.08^{b} ± 7.44
0.30% MSP	16.72 ± 0.62	209.91^{e} ± 8.91	100.24^{b} ± 2.28
0.45% MSP	14.69 ± 0.12	169.85^{f} ± 2.49	121.12^{a} ± 0.26
0.15% DSP	16.53 ± 0.60	350.40^{a} ± 8.57	75.04^{e} ± 1.07
0.30% DSP	16.53 ± 0.93	291.60^{b} ± 5.43	63.10^{f} ± 3.10
0.45% DSP	16.77 ± 1.76	272.92^{c} ± 2.17	90.64^{d} ± 1.75

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

3.4 ผลการทดสอบทางประสาทสัมผัส

จากการทดสอบทางประสาทสัมผัสของบะหมี่กึ่งสำเร็จรูปแบบไม่ทอดที่มีความชื้นของส่วนผสมร้อยละ 37 เติมสาหร่ายผักกาดทะเลผงร้อยละ 4 และเติมเกลือฟอสเฟตในปริมาณต่างๆ โดยใช้วิธี Scoring test ได้ผลดังตารางที่ 4-20 และการทดสอบทางประสาทสัมผัสโดยใช้วิธี 9-Point hedonic scale ได้ผลดังตารางที่ 4-21

จากผลการทดสอบทางประสาทสัมผัสโดยใช้วิธี Scoring test พบว่า เมื่อใช้เกลือฟอสเฟตทั้งสองชนิดในปริมาณที่เพิ่มขึ้น (ร้อยละ 0.15-0.45) มีผลทำให้คะแนนความเข้มในด้านความเหนียวและการเกาะติดกันของบะหมี่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p<0.05) โดยบะหมี่ได้คะแนนด้านความเหนียวอยู่ในระดับปานกลางถึงมาก (3.20-4.00 คะแนน) คะแนนด้านการเกาะติดกันในระดับปานกลางถึงมาก (2.80-3.90 คะแนน) บะหมี่ทุกตัวอย่างมีคะแนนความเข้มในด้านสีเขียวและความแน่นเนื้อไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p≥0.05) โดยได้คะแนนด้านสีเขียวอยู่ในระดับสีเขียวปานกลางถึงมาก (3.45-4.10 คะแนน) และคะแนนด้านความแน่นเนื้ออยู่ในระดับปานกลางถึงมาก (3.10-4.00 คะแนน)

จากผลการทดสอบทางด้านประสาทสัมผัสโดยใช้วิธี 9-Point hedonic scale พบว่า เมื่อใช้เกลือฟอสเฟตทั้งสองชนิดในปริมาณที่เพิ่มขึ้น (ร้อยละ 0.15-0.45) ทำให้คะแนนความชอบในด้านเนื้อสัมผัส และความชอบโดยรวมมีแนวโน้มลดลง ส่วนคะแนนความชอบในด้านกลิ่นและรสชาติไม่แตกต่างกัน แต่มีคะแนนสูงกว่าบะหมี่ที่ไม่เติมเกลือฟอสเฟต โดยมีคะแนนความชอบในด้านกลิ่น รสชาติ และเนื้อสัมผัสอยู่ในระดับชอบเล็กน้อยถึงชอบปานกลาง และบะหมี่ทุกตัวอย่างได้คะแนนความชอบในด้านสีไม่แตกต่างกัน ($p \geq 0.05$) โดยอยู่ในระดับชอบปานกลาง บะหมี่ที่เติมโมโนโซเดียมฟอสเฟตร้อยละ 0.15-0.45 และไดโซเดียมฟอสเฟตร้อยละ 0.15-0.30 ได้คะแนนความชอบโดยรวมสูงสุดและไม่แตกต่างกัน ($p \geq 0.05$) โดยได้คะแนนความชอบโดยรวมอยู่ในระดับชอบเล็กน้อยถึงชอบปานกลาง

เมื่อพิจารณาผลการทดสอบทางประสาทสัมผัสและคุณภาพของบะหมี่หลังการต้ม พบว่า บะหมี่ที่เติมสาหร่ายผักกาดทะเลผงปริมาณร้อยละ 4 ความชื้นของส่วนผสมร้อยละ 37 และเติมไดโซเดียมฟอสเฟตร้อยละ 0.30 ได้คะแนนความชอบโดยรวมสูงสุด แต่ใช้เวลาในการต้มสุกน้อยที่สุด ประกอบกับมีปริมาณของแข็งที่สูญเสียระหว่างการต้มน้อยที่สุด ค่าการยึดเกาะที่ผิวหน้าต่ำ และความแน่นเนื้อสูง ซึ่งเป็นคุณลักษณะที่ต้องการของบะหมี่กึ่งสำเร็จรูป ดังนั้นจึงเลือกตัวอย่างนี้ไปศึกษาขั้นตอนต่อไป

ตารางที่ 4-20 คะแนนการทดสอบทางประสาทสัมผัสของบะหมี่กึ่งสำเร็จรูปแบบไม่ทอดเสริมสาหร่ายผักกาดทะเลผงที่เติมโมโนโซเดียมฟอสเฟต (MSP) และไดโซเดียมฟอสเฟต (DSP) โดยวิธี scoring test

ชนิดและปริมาณเกลือฟอสเฟต	คะแนนการทดสอบทางประสาทสัมผัส				
	สีเขียว^{ns}	กลิ่นรสสาหร่าย	ความแน่นเนื้อ^{ns}	ความเหนียว	การเกาะติดกัน
Control	3.45 ± 1.14	2.95^{b} ± 0.69	3.90 ± 0.91	3.00^{b} ± 0.72	3.15^{bc} ± 0.74
0.15% MSP	3.80 ± 0.78	3.60^{ab} ± 0.70	4.00 ± 0.67	3.50^{ab} ± 0.85	3.60^{ab} ± 0.70
0.30% MSP	4.10 ± 0.88	4.20^{a} ± 0.79	3.80 ± 0.92	4.00^{a} ± 0.82	3.70^{ab} ± 0.82
0.45% MSP	3.80 ± 0.63	3.60^{ab} ± 0.84	3.30 ± 0.94	3.60^{ab} ± 0.84	3.90^{a} ± 0.99
0.15% DSP	3.50 ± 0.53	4.00^{a} ± 0.67	3.80 ± 0.42	3.70^{ab} ± 0.48	2.90^{bc} ± 0.57
0.30% DSP	3.50 ± 0.53	3.90^{a} ± 0.74	3.60 ± 0.52	4.00^{a} ± 0.67	2.80^{bc} ± 0.63
0.45% DSP	3.70 ± 0.67	3.60^{ab} ± 0.70	3.10 ± 0.32	3.20^{bc} ± 0.63	2.90^{bc} ± 0.57

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

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

เกณฑ์การให้คะแนน : 5=มากที่สุด, 4=มาก, 3=ปานกลาง, 2=น้อย, 1=น้อยที่สุด

ตารางที่ 4-21 คะแนนการทดสอบทางประสาทสัมผัสของบะหมี่กึ่งสำเร็จรูปแบบไม่ทอดเสริมสาหร่ายผักกาดทะเลผงที่เติมโมโนโซเดียมฟอสเฟต (MSP) และไดโซเดียมฟอสเฟต (DSP) ปริมาณต่างๆ โดยวิธี 9-Point hedonic scale

ชนิดและปริมาณเกลือฟอสเฟต	คะแนนการทดสอบทางประสาทสัมผัส				
	สี^{ns}	กลิ่น	รสชาติ	เนื้อสัมผัส	ความชอบโดยรวม
Control	6.68 ± 1.17	6.29^{b} ± 1.23	6.61^{b} ± 0.95	6.55^{b} ± 1.06	6.57^{b} ± 0.99
0.15% MSP	7.36 ± 0.99	6.78^{ab} ± 0.88	7.07^{ab} ± 0.90	7.14^{a} ± 0.85	7.36^{a} ± 0.87
0.30% MSP	7.25 ± 1.11	6.96^{a} ± 0.96	7.14^{a} ± 1.21	6.96^{ab} ± 1.07	7.21^{a} ± 1.03
0.45% MSP	7.18 ± 1.09	7.04^{a} ± 1.10	6.89^{ab} ± 1.23	6.61^{b} ± 1.26	6.96^{ab} ± 1.23
0.15% DSP	7.11 ± 1.17	6.64^{ab} ± 1.57	7.14^{a} ± 0.93	7.25^{a} ± 0.70	7.07^{ab} ± 0.94
0.30% DSP	7.25 ± 1.29	6.68^{ab} ± 1.25	7.36^{a} ± 0.91	6.96^{ab} ± 0.92	7.04^{ab} ±1.17
0.45% DSP	7.14 ± 1.30	6.32^{b} ± 1.33	7.07^{ab} ± 0.94	6.85^{ab} ± 0.76	6.64^{b} ± 1.06

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

4. ผลการศึกษาผลของเอนไซม์ทรานส์กลูตามิเนสเพื่อปรับปรุงคุณภาพของบะหมี่กึ่งสำเร็จรูปแบบไม่ทอดเสริมสาหร่ายผักกาดทะเลผง

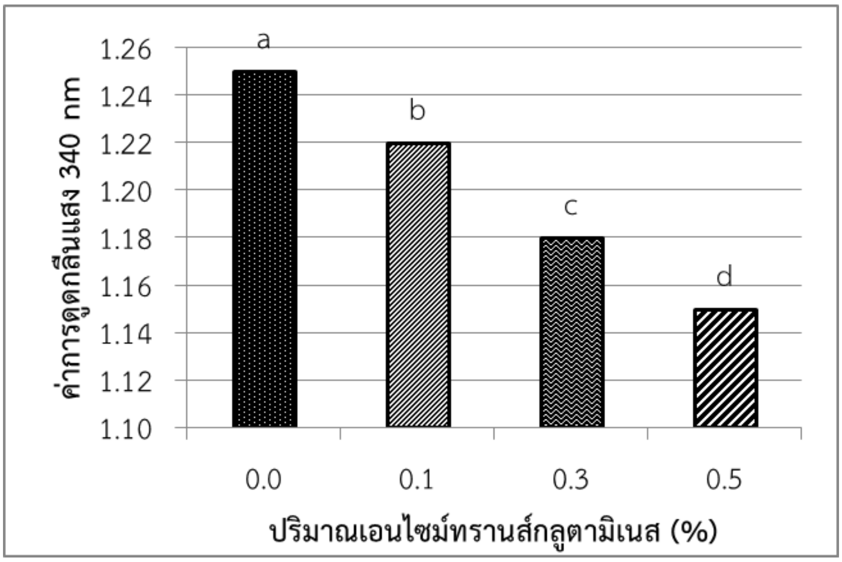
จากการวิเคราะห์คุณภาพของบะหมี่กึ่งสำเร็จรูปแบบไม่ทอดที่เสริมสาหร่ายผักกาดทะเลผง โดยใช้บะหมี่สูตรที่เลือกได้จากข้อ 2 ซึ่งเตรียมโดยเติมสาหร่ายผักกาดทะเลผงร้อยละ 4 (โดยน้ำหนักแป้ง) และความชื้นของส่วนผสมร้อยละ 37 และเติมไดโซเดียมฟอสเฟตร้อยละ 0.30 นำมาศึกษาหาปริมาณเอนไซม์ทรานส์กลูตามิเนสที่เหมาะสมโดยแปรปริมาณเอนไซม์เอนไซม์ทรานส์กลูตามิเนสที่ใช้เติมในบะหมี่เป็นร้อยละ 0 0.1 0.3 และ 0.5 (โดยน้ำหนักแป้ง) และได้มีการปรับขั้นตอนการผลิตบะหมี่จากวิธีเดิม โดยการเติมเอนไซม์ในขั้นตอนการผสมแป้งแล้วพักไว้ประมาณ 60 นาที ที่อุณหภูมิห้อง (30 ± 2 องศาเซลเซียส) เพื่อให้เกิดกิจกรรมของเอนไซม์ ได้ผลการวิเคราะห์ดังนี้

4.1. ผลวิเคราะห์ปริมาณของหมู่อะมิโนอิสระในโดบะหมี่

จากการวิเคราะห์ปริมาณของหมู่อะมิโนอิสระของโดบะหมี่เสริมสาหร่ายผักกาดทะเลผงที่เติมเอนไซม์ทรานส์กลูตามิเนสปริมาณต่าง ๆ ได้ผลแสดงดังภาพที่ 4-3

ปริมาณของหมู่อะมิโนอิสระ (Free amino groups) สามารถบ่งชี้ถึงการเกิดพันธะโควาเลนต์ที่มีเอนไซม์ทรานส์กลูตามิเนสเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาได้ โดยวิธีการนี้จะขึ้นกับปฏิกิริยาระหว่างหมู่อะมิโนหลัก (Primary amino groups) และ o-phthaldialdehyde (OPA) ซึ่งสามารถวัดค่าการดูดกลืนแสงได้ที่ความยาวคลื่น 340 nm ค่าการดูดกลืนแสงที่ได้นั้นแสดงถึงปริมาณของหมู่อะมิโนอิสระในโดบะหมี่ ถ้าค่าการดูดกลืนแสงมากหมายถึงมีปริมาณหมู่อะโนอิสระในโดบะหมี่มาก ในขณะที่ค่าการดูดกลืนแสงน้อยหมายถึงมีปริมาณหมู่อะมิโนอิสระน้อย ผลการทดลองพบว่าเมื่อเติมเอนไซม์ทรานส์

กลูตามิเนสเพิ่มขึ้นมีผลทำให้มีปริมาณหมู่อะมิโนอิสระในโดลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) โดยโดบะหมี่เสริมสาหร่ายผักกาดทะเลผงที่ไม่เติมเอนไซม์ทรานส์กลูตามิเนสมีค่าการดูดกลืนแสงเท่ากับ 1.25 และโดบะหมี่เสริมสาหร่ายผักกาดทะเลผงที่เติมเอนไซม์ทรานส์กลูตามิเนสร้อยละ 0.1 0.3 และ 0.5 โดยน้ำหนักแป้ง มีค่าการดูดกลืนแสงเท่ากับ 1.22 1.18 และ 1.15 ตามลำดับ ทั้งนี้เนื่องจากเอนไซม์ทรานส์กลูตามิเนสทำหน้าที่ในการเชื่อมสายของโปรตีนระหว่าง กลูตามีนและไลซีนเกิดเป็นโครงสร้างกลูเตนที่แข็งแรงขึ้น (Bellido & Hatcher, 2011)



ภาพที่ 4-3 ค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 340 nm ของโดบะหมี่เสริมสาหร่ายผักกาดทะเลผงเมื่อเติมเอนไซม์ทรานส์กลูตามิเนสปริมาณต่าง ๆ

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

4.2 ผลการวิเคราะห์คุณภาพหลังการต้ม

จากการวิเคราะห์คุณภาพหลังการต้มของบะหมี่กึ่งสำเร็จรูปแบบไม่ทอดที่เสริมสาหร่ายผักกาดทะเลผงที่เติมเอนไซม์ทรานส์กลูตามิเนสปริมาณต่าง ๆ ได้ผลดังตารางที่ 4-22 พบว่า บะหมี่เสริมสาหร่ายผักกาดทะเลผงที่เติมเอนไซม์ทรานส์กลูตามิเนสมีเวลาที่เหมาะสมในการต้มสุก คือ 4.0 นาที และเมื่อเติมเอนไซม์ทรานส์กลูตามิเนสมากขึ้น ปริมาณของแข็งที่สูญเสียระหว่างการต้มมีค่าลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) โดยมีค่าลดลงจากร้อยละ 9.53 เป็นร้อยละ 8.23 ทั้งนี้เนื่องจากการเชื่อมโยงสายโปรตีนระหว่างกรดอะมิโน กลูตามีน และไลซีนส่งผลให้เกิดการเชื่อมประสานของโปรตีนโดยพันธะโควาเลนต์ที่แข็งแรงทั้งในโมเลกุลและระหว่างโมเลกุลของสายโปรตีนทำให้เกิดโปรตีนสายยาวเป็นร่างแหที่แน่นขึ้น (Autio et al., 2005) ในขณะที่น้ำหนักที่ได้หลังการต้มไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\geq0.05$) ซึ่งมีค่าอยู่ในช่วงร้อยละ 245.55-255.82

ตารางที่ 4-22 คุณภาพหลังการต้มของบะหมี่กึ่งสำเร็จรูปแบบไม่ทอดที่เสริมสาหร่ายผักกาดทะเลผงที่เติมเอนไซม์ทรานส์กลูตามิเนสปริมาณต่าง ๆ

ปริมาณเอนไซม์ทรานส์กลูตามิเนส (ร้อยละโดยน้ำหนักแป้ง)	คุณภาพหลังการต้ม		
	เวลาที่เหมาะสมในการต้ม (นาที)	ปริมาณของแข็งที่สูญเสียระหว่างการต้ม (ร้อยละ)	น้ำหนักที่ได้หลังการต้ม (ร้อยละ)[ns]
0	4.0	$9.53^{a} \pm 0.29$	245.55 ± 0.88
0.1	4.0	$8.62^{b} \pm 0.33$	246.13 ± 2.91
0.3	4.0	$8.28^{c} \pm 0.06$	255.82 ± 1.56
0.5	4.0	$8.23^{c} \pm 0.41$	255.45 ± 0.82

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

[ns] หมายถึง ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\geq0.05$)

4.3 ผลการวิเคราะห์ลักษณะเนื้อสัมผัส

จากการวิเคราะห์ลักษณะเนื้อสัมผัสของบะหมี่กึ่งสำเร็จรูปแบบไม่ทอดเสริมสาหร่ายผักกาดทะเลผงที่เติมเอนไซม์ทรานส์กลูตามิเนสในปริมาณต่าง ๆ ได้ผลดังตารางที่ 4-23 พบว่า เมื่อปริมาณเอนไซม์ทรานส์กลูตามิเนสเพิ่มขึ้น ค่าความต้านทานต่อการดึงขาดและค่าความแน่นเนื้อมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) โดยมีค่า 11.12-14.34 g_f และ 146.99-169.68 g_f ตามลำดับ แต่มีค่าการยึดเกาะที่ผิวหน้าลดลงจาก 144.45 เป็น 158.07 $g_f.s$ ทั้งนี้เนื่องจากการเชื่อมโยงสายโปรตีนระหว่างกรดอะมิโนกลูตามีนและไลซีนส่งผลให้เกิดการเชื่อมประสานของโปรตีนโดยพันธะโควาเลนต์ที่แข็งแรงทั้งในโมเลกุลและระหว่างโมเลกุลของสายโปรตีนทำให้เกิดโปรตีนสายยาวเป็นร่างแหที่แน่นขึ้น (Autio et al., 2005)

ตารางที่ 4-23 ลักษณะเนื้อสัมผัสของบะหมี่กึ่งสำเร็จรูปแบบไม่ทอดที่เสริมสาหร่ายผักกาดทะเลผงที่เติมเอนไซม์ทรานส์กลูตามิเนสปริมาณต่าง ๆ

ปริมาณเอนไซม์ทรานส์กลูตามิเนส (ร้อยละโดยน้ำหนักแป้ง)	ลักษณะเนื้อสัมผัส		
	ค่าความต้านทานต่อการดึงขาด (g_f)	ค่าความแน่นเนื้อ (g_f)	ค่าการยึดเกาะที่ผิวหน้า ($g_f.s$)
0	$11.12^c \pm 0.57$	$146.99^c \pm 1.46$	$158.07^a \pm 0.95$
0.1	$11.80^c \pm 0.83$	$161.78^b \pm 1.60$	$157.60^a \pm 1.05$
0.3	$13.31^b \pm 0.97$	$162.64^b \pm 1.22$	$144.69^b \pm 0.72$
0.5	$14.34^a \pm 0.54$	$169.68^a \pm 0.84$	$144.45^b \pm 1.28$

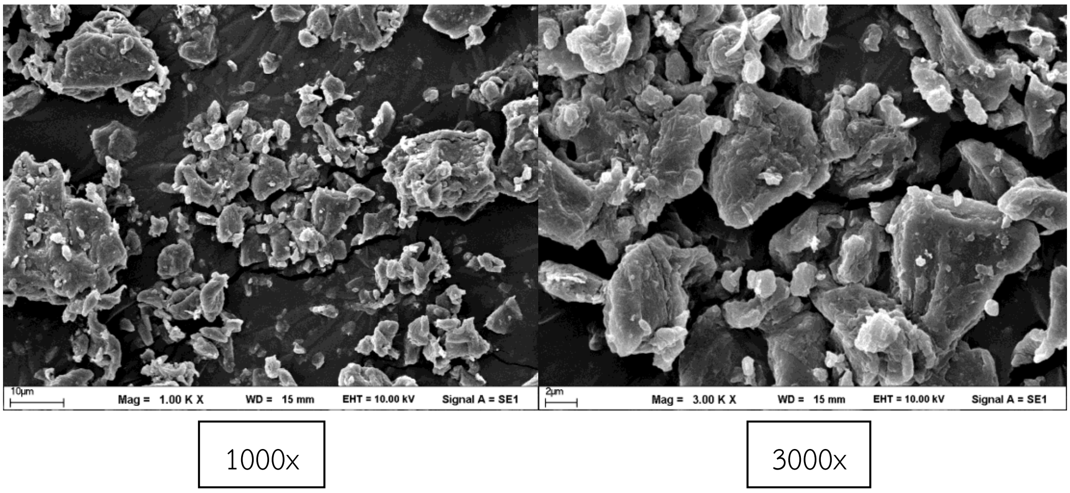
a,b,c หมายถึง ตัวเลขที่มีตัวอักษรกำกับแตกต่างกันตามแนวตั้งมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

4.4 ผลการวิเคราะห์โครงสร้างระดับจุลภาคของบะหมี่ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning electron microsrope, SEM)

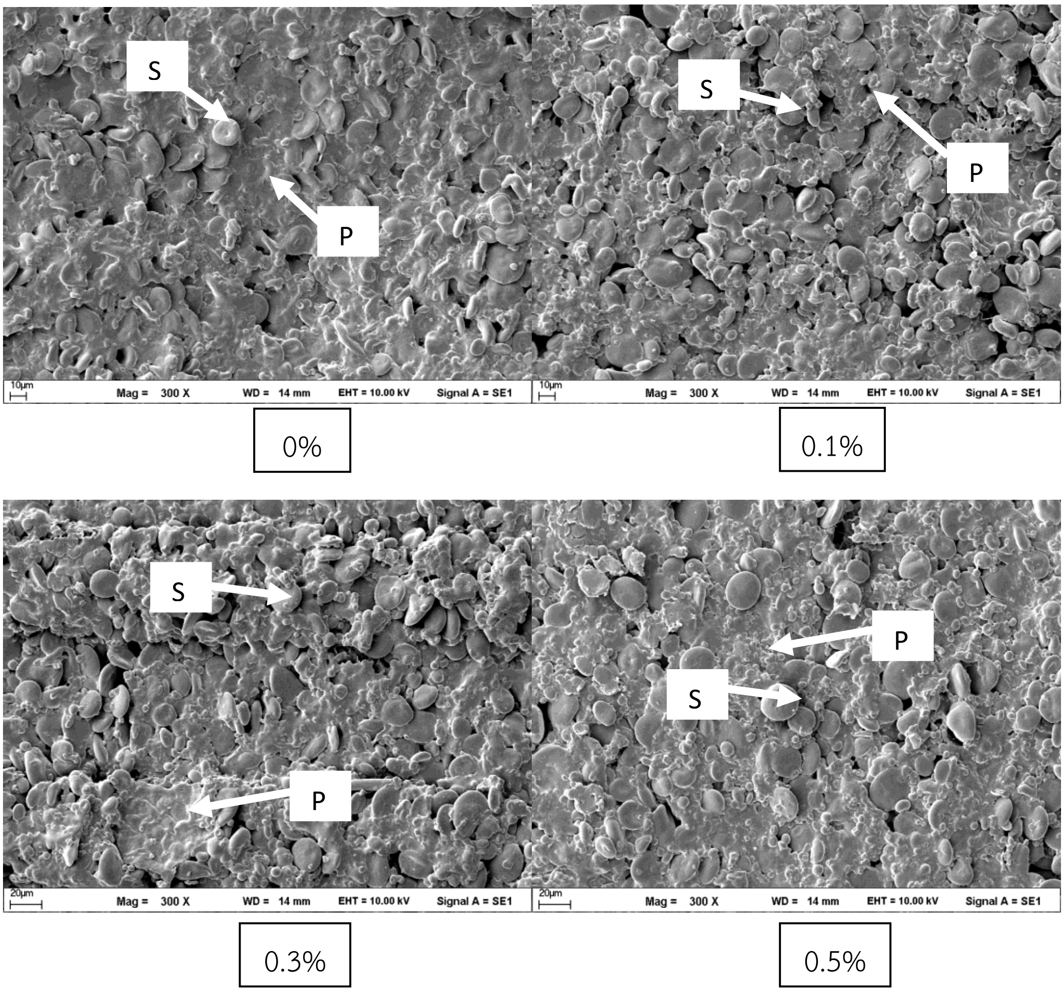
ผลการวิเคราะห์ลักษณะและรูปร่างของสาหร่ายผักกาดทะเลผงด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) ที่กำลังขยาย 1000 และ 3000 เท่า แสดงดังภาพที่ 4-4 พบว่าสาหร่ายผักกาดทะเลผงมีลักษณะเกาะกันเป็นก้อน มีรูปร่างไม่สม่ำเสมอ มีขนาดอยู่ในช่วง 0.22-0.26 ไมครอน และมีขนาดเฉลี่ย 0.24 ไมครอน เนื่องจากสาหร่ายผักกาดทะเลผงที่นำมาวิเคราะห์ถูกลดขนาดลงโดยผ่านกระบวนการทำแห้ง บดละเอียดเป็นผงและร่อนผ่านตะแกรงร่อนขนาด 80 เมซ จึงมีลักษณะเกาะกันเป็นก้อนและมีรูปร่างไม่สม่ำเสมอ ซึ่งแตกต่างจากลักษณะรูปร่างของสาหร่ายผักกาดทะเลสดที่มีรูปร่างแผ่ออกเป็นแผ่นและมีรอยจีบอยู่ตรงขอบ

ผลการวิเคราะห์โครงสร้างพื้นผิวระดับจุลภาคของเส้นบะหมี่เสริมสาหร่ายผักกาดทะเลผงที่เติมเอนไซม์ทรานส์กลูตามิเนสร้อยละ 0 0.1 0.3 และ 0.5 (โดยน้ำหนักแป้ง) ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) ที่กำลังขยาย 300 เท่า โดยวิเคราะห์แบบพื้นผิว (Surface) และแบบตัดขวาง (Cross section) แสดงดังภาพที่ 4-5 และ 4-6

จากการวิเคราะห์โครงสร้างพื้นผิวระดับจุลภาคของบะหมี่เสริมสาหร่ายผักกาดทะเลผงที่เติมเอนไซม์ทรานส์กลูตามิเนสร้อยละ 0 0.1 0.3 และ 0.5 (โดยน้ำหนักแป้ง) ด้วย SEM (ภาพที่ 4-5) พบว่า พื้นผิวของเส้นบะหมี่ดิบที่เสริมสาหร่ายผักกาดทะเลผงที่เติมเอนไซม์ทรานส์กลูตามิเนสปริมาณต่าง ๆ มีพื้นผิวขรุขระ ไม่เรียบเนียนและพบเม็ดแป้งกระจัดกระจายอยู่ตามพื้นผิวของเส้นบะหมี่ อย่างไรก็ตามไม่สามารถสังเกตเห็นสาหร่ายผักกาดทะลผงในโครงสร้างของบะหมี่ได้ อาจเนื่องจากสาหร่ายผักกาดทะเลผงมีขนาดเล็กมากจึงไปรวมกับร่างแหโปรตีน ซึ่งวิธีการนี้ไม่สามารถแยกความแตกต่างระหว่างสาหร่ายผักกาดทะเลผงในโครงสร้างของบะหมี่ได้



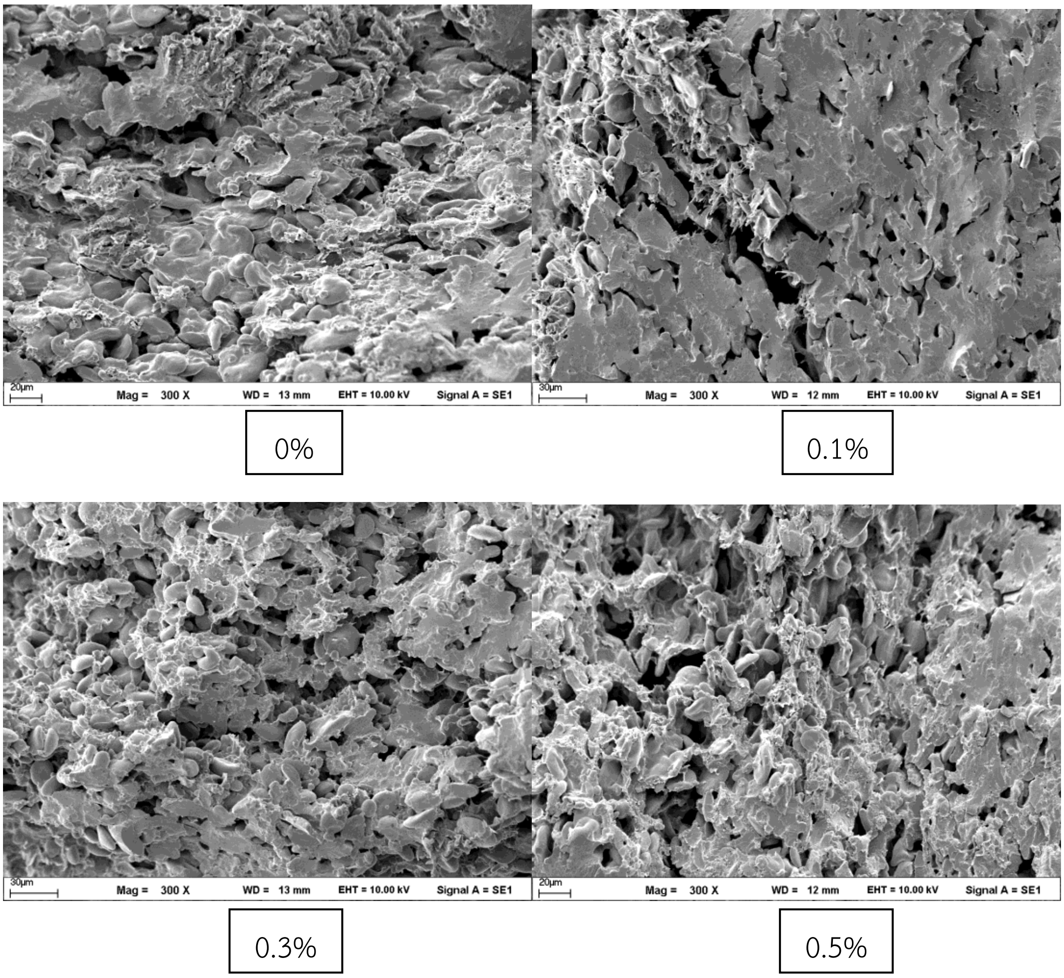
ภาพที่ 4-4 ลักษณะและรูปร่างของสาหร่ายผักกาดทะเลผงที่กำลังขยาย 1000 และ 3000 เท่า



ภาพที่ 4-5 โครงสร้างพื้นผิวระดับจุลภาคของบะหมี่เสริมสาหร่ายผักกาดทะเลผงที่เติมเอนไซม์ทรานส์กลูตามิเนสปริมาณต่าง ๆ

*S คือ เม็ดสตาร์ช และ P คือ ร่างแหโปรตีน

จากการวิเคราะห์โครงสร้างระดับจุลภาคของบะหมี่เสริมสาหร่ายผักกาดทะเลผงที่เติมเอนไซม์ทรานส์กลูตามิเนสร้อยละ 0 0.1 0.3 และ 0.5 (โดยน้ำหนักแป้ง) แบบตัดขวาง (ภาพที่ 4-6) พบว่า การเติมเอนไซม์ทรานส์กลูตามิเนสในปริมาณเพิ่มขึ้นทำให้โครงสร้างของโปรตีนจับตัวกันอย่างหนาแน่นมากขึ้นและมีรูพรุนน้อยลง ซึ่งสอดคล้องกับผลการวิเคราะห์คุณภาพหลังการต้ม (ตารางที่ 4-22) ที่พบว่า การเติมปริมาณเอนไซม์ทรานส์กลูตามิเนสในปริมาณเพิ่มขึ้นทำให้ปริมาณของแข็งที่สูญเสียระหว่างการต้ม (Cooking loss) ลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) ทั้งนี้เนื่องจากเอนไซม์ทรานส์กลูตามิเนสช่วยให้โครงสร้างโปรตีนแข็งแรงขึ้น จึงสามารถกักเก็บเม็ดแป้งเอาไว้ในโครงสร้างได้ เมื่อนำไปต้มสุกจึงทำให้มีเม็ดแป้งหลุดออกมาน้อยลง นอกจากนี้ยังสอดคล้องกับผลการวัดลักษณะเนื้อสัมผัส (ตารางที่ 4-23) ที่พบว่าเมื่อเติมเอนไซม์ทรานส์กลูตามิเนสในปริมาณเพิ่มขึ้นมีค่าความต้านทานต่อการดึงขาดและค่าความแน่นเนื้อสูงขึ้น เนื่องจากเอนไซม์ทรานส์กลูตามิเนสเป็นทำหน้าที่ในการเร่งปฏิกิริยาในการเชื่อมสายของโปรตีนเกิดเป็นโครงสร้างกลูเตนที่แข็งแรงขึ้น



ภาพที่ 4-6 โครงสร้างระดับจุลภาคแบบตัดขวางของบะหมี่เสริมสาหร่ายผักกาดทะเลผงที่เติมเอนไซม์ทรานส์กลูตามิเนสปริมาณต่าง ๆ

4.5 ผลการทดสอบทางประสาทสัมผัส

จากการทดสอบทางประสาทสัมผัสของบะหมี่กึ่งสำเร็จรูปแบบไม่ทอดเสริมสาหร่ายผักกาดทะเลผงที่เติมเอนไซม์ทรานส์กลูตามิเนสในปริมาณต่าง ๆ โดยใช้วิธี scoring test ได้ผลดังตารางที่ 4-24 และการทดสอบทางประสาทสัมผัสโดยใช้วิธี 9-point hedonic scale ได้ผลดังตารางที่ 4-25

ตารางที่ 4-24 คะแนนการทดสอบทางประสาทสัมผัสของบะหมี่เสริมสาหร่ายผักกาดทะเลผงที่เติมเอนไซม์ทรานส์กลูตามิเนสในปริมาณต่าง ๆ โดยใช้วิธี scoring test

ปริมาณเอนไซม์ทรานส์กลูตามิเนส (ร้อยละโดยน้ำหนักแป้ง)	คะแนนการทดสอบทางประสาทสัมผัส				
	สีเขียว[ns]	กลิ่นรสสาหร่าย[ns]	ความแน่นเนื้อ	ความเหนียว	การเกาะติดกัน
0	3.83 ± 0.80	3.08 ± 0.84	2.67[c] ± 0.49	2.50[c] ± 0.52	4.17[a] ± 0.72
0.1	4.08 ± 0.72	2.83 ± 0.79	3.58[b] ±0.52	3.17[b] ± 0.72	3.50[b] ± 0.52
0.3	4.08 ± 0.94	3.17 ± 0.79	4.25[a] ± 0.75	4.00[a] ± 0.60	2.17[c] ± 0.71
0.5	4.33 ± 0.80	3.50 ± 0.74	4.33[a] ± 0.65	4.08[a] ± 0.52	2.08[c] ± 0.90

[a,b,c] หมายถึง ตัวเลขที่มีตัวอักษรกำกับแตกต่างกันตามแนวตั้งมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)
[ns] หมายถึง ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p≥0.05$)
เกณฑ์การให้คะแนน : 5=มากที่สุด, 4=มาก, 3=ปานกลาง, 2=น้อย, 1=น้อยที่สุด

จากผลการทดสอบคุณภาพทางประสาทสัมผัสแบบ Scoring Test พบว่า บะหมี่เสริมสาหร่ายผักกาดทะเลผงที่เติมเอนไซม์ทรานส์กลูตามิเนสในปริมาณต่าง ๆ มีคะแนนความเข้มด้านสีเขียว และกลิ่นรสสาหร่ายไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p≥0.05$) แสดงว่าการเติมเอนไซม์ทรานส์กลูตามิเนสไม่มีผลต่อสีและกลิ่นรสของบะหมี่ ส่วนคะแนนด้านความแน่นเนื้อ และความเหนียวมีค่าเพิ่มขึ้น ในขณะที่คะแนนด้านการเกาะติดกันมีค่าลดลง ซึ่งสอดคล้องกับผลการวิเคราะห์ลักษณะเนื้อสัมผัส โดยค่าความแน่นเนื้อและความเหนียวของบะหมี่เสริมสาหร่ายผักกาดทะเลผงมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อเติมเอนไซม์ทรานส์กลูตามิเนสในปริมาณที่สูงขึ้น ทั้งนี้เนื่องจากในสาหร่ายผักกาดทะเลผงมีกรดอะมิโนกลูตามีนและไลซีนที่เป็นสารตั้งต้นในการเร่งปฏิกิริยาของเอนไซม์ทรานส์กลูตามิเนสในการเชื่อมสายของโปรตีนระหว่างกรดอะมิโนกลูตามีนในสายเปปไทด์กับสารประกอบเอมีนของไลซีนเกิดพันธะ ε - (γ - glutamyl) lysine เกิดเป็นโครงสร้างกลูเตนที่แข็งแรงขึ้น โดยบะหมี่ทุกตัวอย่างได้คะแนนด้านความแน่นเนื้อ ความเหนียว และการเกาะติดกันอยู่ในช่วง 2.67–4.33, 2.50–4.08 และ 2.08–4.17 คะแนน ตามลำดับ

ตารางที่ 4-25 คะแนนการทดสอบทางประสาทสัมผัสของบะหมี่เสริมสาหร่ายผักกาดทะเลผงที่เติมเอนไซม์ทรานส์กลูตามิเนสในปริมาณต่าง ๆ ที่ผ่านการต้มสุก โดยใช้วิธี 9-point hedonic scale

ปริมาณเอนไซม์ทรานส์กลูตามิเนส (ร้อยละโดยน้ำหนักแป้ง)	คะแนนการทดสอบทางประสาทสัมผัส				
	สี[ns]	กลิ่น[ns]	รสชาติ[ns]	เนื้อสัมผัส	ความชอบโดยรวม
0	6.73 ± 1.26	5.77 ± 1.48	6.10 ± 1.19	6.63[b] ± 1.30	6.20[b] ± 1.06
0.1	6.93 ± 1.07	6.07 ± 1.74	6.17 ± 1.42	6.87[ab] ± 1.17	6.57[ab] ± 1.10
0.3	7.00 ± 1.31	6.27 ± 1.48	6.07 ± 1.26	6.97[ab] ± 1.13	6.87[a] ± 0.94
0.5	7.13 ± 1.44	6.23 ± 1.30	6.17± 1.29	7.30[a] ± 1.32	6.93[a] ± 1.31

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

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

จากผลการทดสอบทางประสาทสัมผัสด้วยวิธี 9-point hedonic scale พบว่า เมื่อปริมาณเอนไซม์ทรานส์กลูตามิเนสเพิ่มขึ้น บะหมี่เสริมสาหร่ายผักกาดทะเลผงได้คะแนนความชอบด้านสี กลิ่น และรสชาติไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \geq 0.05$) แต่ได้คะแนนความชอบด้านเนื้อสัมผัสและความชอบโดยรวมแตกต่างกันเพิ่มขึ้น ($p<0.05$) โดยคะแนนความชอบด้านเนื้อสัมผัสและคะแนนความชอบโดยรวมอยู่ในช่วง 6.63–7.30 และ 6.20–6.93 คะแนน ตามลำดับ

เมื่อพิจารณาผลการทดสอบทางประสาทสัมผัสด้านคะแนนความชอบโดยรวมและผลการวัดลักษณะเนื้อสัมผัส พบว่า บะหมี่เสริมสาหร่ายผักกาดทะเลผงที่เติมเอนไซม์ทรานส์กลูตามิเนสร้อยละ 0.3 และ 0.5 (โดยน้ำหนักแป้ง) ได้คะแนนความชอบโดยรวมสูงสุด และมีค่าความต้านทานต่อการดึงขาดและความแน่นเนื้อสูงสุด นอกจากนี้ยังมีปริมาณของแข็งที่สูญเสียระหว่างการต้มน้อยสุด ซึ่งเป็นคุณลักษณะที่ต้องการของบะหมี่กึ่งสำเร็จรูป ดังนั้นจึงเลือกบะหมี่กึ่งสำเร็จรูปแบบไม่ทอดเสริมสาหร่ายผักกาดทะเลผงที่เติมเอนไซม์ทรานส์กลูตามิเนสปริมาณร้อยละ 0.3 (โดยน้ำหนักแป้ง) ซึ่งใช้เอนไซม์ทรานส์กลูตามิเนสในปริมาณที่น้อยกว่าและผลการทดลองที่ได้ไม่แตกต่างกัน นำไปเปรียบเทียบกับบะหมี่กึ่งสำเร็จรูปแบบไม่ทอดทางการค้า

<u>ตอนที่ 2</u> ผลการพัฒนาผลิตภัณฑ์บะหมี่กึ่งสำเร็จรูปแบบไม่ทอดเสริมสาหร่ายเกลียวทองผง

สาหร่ายที่นำมาใช้ในการทดลองตอนนี้ ได้แก่ สาหร่ายเกลียวทองซึ่งเป็นสาหร่ายขนาดเล็ก โดยในงานวิจัยนี้ได้ใช้สาหร่ายเกลียวทองผงทางการค้า

1. ผลการศึกษาองค์ประกอบทางเคมีและปริมาณสารสำคัญบางชนิดของสาหร่ายเกลียวทองผง

ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของสาหร่ายเกลียวทองผงแสดงดังตารางที่ 4-26 ผลการวิเคราะห์ชนิดและปริมาณกรดอะมิโนของสาหร่ายเกลียวทองผงแสดงดังตารางที่ 4-27 และ ผลการวิเคราะห์ชนิดและปริมาณของกรดไขมันของสาหร่ายเกลียวทองผงแสดงดังตารางที่ 4-28 เมื่อพิจารณาองค์ประกอบทางเคมีของสาหร่ายเกลียวทองผง พบว่าในสาหร่ายเกลียวทองผงมีปริมาณโปรตีน เถ้า ไขมัน คาร์โบไฮเดรต และใยอาหารรวม คิดเป็นร้อยละ 50.52, 4.49, 0.65, 44.34 และ 6.91 โดยน้ำหนักแห้ง โดยปริมาณโปรตีน ไขมัน คาร์โบไฮเดรต และใยอาหารรวมที่วิเคราะห์ได้สอดคล้องกับรายงานของสมศักดิ์ วรคามิน (2551) ที่รายงานว่าองค์ประกอบทางเคมีของสาหร่ายเกลียวทอง (*Spirulina platensis*) ประกอบด้วยโปรตีนร้อยละ 55–70 ไขมันร้อยละ 0.6–0.8 คาร์โบไฮเดรตร้อยละ 40–55 และใยอาหารร้อยละ 19-25 โดยน้ำหนักแห้ง สาหร่ายเกลียวทองผง มีปริมาณไฟโคไซยานิน 0.08 กรัม/ลิตร ซึ่งมีปริมาณน้อยกว่าที่ราเชนทร์ ดวงศรี (2552) รายงานว่าสาหร่ายเกลียวทองประกอบด้วยไฟโคไซยานิน 1.76 มิลลิกรัม/มิลลิลิตร ซึ่งอาจเป็นผลจากวิธีการเพาะเลี้ยงสาหร่าย และวิธีการเลี้ยงสาหร่ายที่แตกต่างกัน โดยในการทดลองได้ใช้ตัวอย่างสาหร่ายเกลียวทองแบบผงทางการค้า ซึ่งมีการเก็บเกี่ยวสาหร่ายโดยการกรองน้ำออก นำไปทำแห้งที่อุณหภูมิ 70 $^{\circ}$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)

จากผลการวิเคราะห์ชนิดและปริมาณของกรดอะมิโนในสาหร่ายเกลียวทองผง (ตารางที่ 4-46) พบว่า สาหร่ายเกลียวทองผงประกอบด้วยกรดอะมิโนทั้งชนิดที่จำเป็นและชนิดที่ไม่จำเป็น โดยกรดอะมิโนในสาหร่ายเกลียวทองผงที่ในปริมาณสูง ได้แก่ กรดกรดกลูตามิก (84.71 มิลลิกรัม/กรัม) กรดแอสปาติก (63.28 มิลลิกรัม/กรัม) และลิวซีน (61.65 มิลลิกรัม/กรัม)

จากผลการวิเคราะห์ชนิดและปริมาณกรดไขมันในสาหร่ายเกลียวทองผง (ตารางที่ 4-25) พบว่า สาหร่ายเกลียวทองผงประกอบด้วยกรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัว (Unsaturated fatty acid) ในปริมาณร้อยละ 21.56 ของกรดไขมันทั้งหมด (0.26 มิลลิกรัม/กรัม) โดยประกอบด้วยกรดไขมันประเภท Polyunsaturated fatty acid (PUFA) ในปริมาณร้อยละ 14.69 (0.18 มิลลิกรัม/กรัม) ซึ่งเป็นกรดไขมันไม่อิ่มตัว Omega-6

ตารางที่ 4-26 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 (g/100 g)	5.90 ± 0.87
ความสามารถในการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระ (%)	39.37 ± 0.03
แคลเซียม (mg/100 กรัม)	66.80 ± 6.12
ไอโอดีน (mg/ 1000 กรัม)	16.71 ± 2.36
เบต้า-แคโรทีน (mg/100 g)	2863.45 ± 92.04
ไฟโคไซยานิน (g/l)	0.08 ± 0.01

% db ร้อยละโดยน้ำหนักแห้ง

ตารางที่ 4-27 ชนิดและปริมาณของกรดอะมิโนในสาหร่ายเกลียวทองผง

กรดอะมิโน	ปริมาณ (mg/g)
Isoleucine	38.15 ± 1.40
Leucine	61.65 ± 2.41
Lysine	27.81 ± 1.31
Methionine	11.60 ± 0.75
Phenylalanine	35.80 ± 1.84
Threonine	37.18 ± 2.05
Valine	42.78 ± 1.51
Alanine	51.68 ± 0.74
Arginine	51.69 ± 2.43
Aspartic acid	63.28 ± 5.39
Cystine	3.05 ± 0.12
Glutamic acid	84.71 ± 5.16
Glycine	37.70 ± 1.69
Histidine	13.94 ± 1.05
Proline	20.22 ± 1.44
Serine	38.95 ± 1.95
Tyrosine	31.43 ± 1.88

ตารางที่ 4-28 ชนิดและปริมาณของกรดไขมันในสาหร่ายเกลียวทองผง

ชนิดของกรดไขมัน	ปริมาณกรดไขมัน*	
	มิลลิกรัม/กรัม	ร้อยละ
C12:0	0.001±0.000	0.08±0.01
C13:0	0.084±0.006	6.95±0.32
C14:0	0.018±0.000	1.49±0.05
C14:1	0.001±0.001	0.09±0.05
C15:0	0.001±0.000	0.10±0.03
C16:0	0.537±0.004	44.69±1.51
C16:1	0.047±0.002	3.89±0.26
C17:0	0.002±0.000	0.20±0.04
C17:1	0.012±0.000	1.01±0.01
C18:0	0.012±0.000	1.01±0.07
C18:1	0.025±0.001	2.11±0.02
C18:3 n-6	0.174±0.001	14.46±0.43
C18:3 n-3	nd	nd
C20:0	0.002±0.000	0.144±0.005
C20:2 n-6	nd	nd
C20:3	0.003±0.000	0.23±0.00
C20:5 n-3	nd	nd
C24:0	nd	nd
C22:6 n-3	nd	nd
อื่นๆ	0.285±0.035	23.56±2.15

* รายงานเป็น ค่าเฉลี่ย ± Standard error
nd หมายถึง วิเคราะห์แต่ไม่พบ

2. ผลการศึกษาปริมาณสาหร่ายเกลียวทองผงที่เหมาะสมสำหรับเติมในบะหมี่กึ่งสำเร็จรูปแบบไม่ทอด

จากการวิเคราะห์คุณภาพหลังการต้มของบะหมี่กึ่งสำเร็จรูปแบบไม่ทอดที่เติมสาหร่ายเกลียวทองผงร้อยละ 0 0.5 1.0 1.5 และ 2.0 (โดยน้ำหนักแป้งสาลี) ได้ผลวิเคราะห์ดังนี้

2.1 ผลการวิเคราะห์คุณภาพหลังการต้ม

จากการวิเคราะห์คุณภาพหลังการต้มของบะหมี่กึ่งสำเร็จรูปแบบไม่ทอดที่เติมสาหร่ายเกลียวทองผงปริมาณต่างๆ ได้ผลดังตารางที่ 4-29 พบว่าเมื่อปริมาณสาหร่ายเกลียวทองผงเพิ่มขึ้น (ร้อยละ 0-2 โดยน้ำหนักแป้ง) ปริมาณของของแข็งที่สูญเสียระหว่างการต้มมีค่าเพิ่มขึ้นอย่างมี

นัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) โดยมีค่าเพิ่มขึ้นจากร้อยละ 8.56 เป็นร้อยละ 12.76 ทั้งนี้อาจเนื่องจากสาหร่ายเกลียวทองมีองค์ประกอบชนิดที่ละลายน้ำได้อยู่สูง เช่น โปรตีนประเภทที่ละลายน้ำได้ (Anusaya Devi et al., 1981) ซึ่งแตกต่างจากแป้งสาลีที่ประกอบด้วยโปรตีนกลูเตนซึ่งเป็นโปรตีนประเภทที่ไม่ละลายน้ำและทำให้เกิดโครงสร้างของผลิตภัณฑ์ นอกจากนี้ยังพบว่าน้ำที่ใช้ต้มบะหมี่ที่เสริมสาหร่ายเกลียวทองผงมีสีเขียว แสดงว่ามีการสูญเสียรงควัตถุที่ให้สีเขียวในน้ำที่ใช้ต้มด้วย อย่างไรก็ตาม ปริมาณสาหร่ายเกลียวทองผงไม่มีผลต่อเวลาที่เหมาะสมในการต้มบะหมี่ให้สุก โดยบะหมี่ที่เติมสาหร่ายเกลียวทองผงทุกระดับใช้เวลาในการต้มสุก 4.00 นาที และน้ำหนักที่ได้หลังการต้มของบะหมี่ที่เติมสาหร่ายเกลียวทองผงทุกตัวอย่างมีค่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \geq 0.05$)

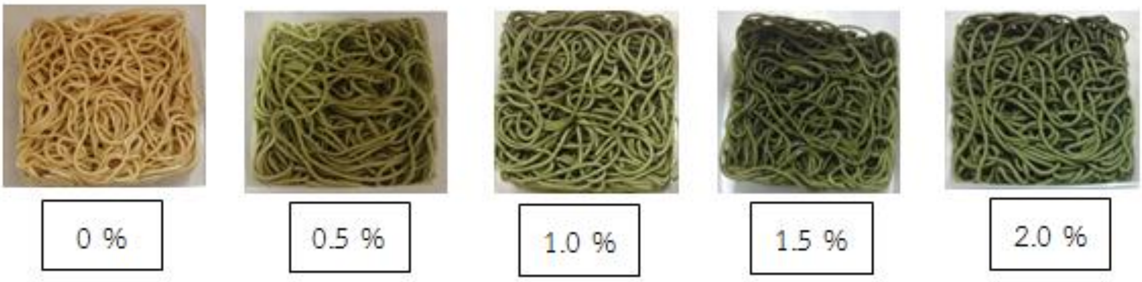
ตารางที่ 4-29 คุณภาพหลังการต้มของบะหมี่กึ่งสำเร็จรูปแบบไม่ทอดที่เติมสาหร่ายเกลียวทองผงในปริมาณต่างๆ

ปริมาณสาหร่ายเกลียวทองผง (ร้อยละโดยน้ำหนักแป้ง)	เวลาที่เหมาะสมในการต้มบะหมี่ให้สุก (นาที)	ปริมาณของแข็งที่สูญเสียระหว่างการต้ม (ร้อยละ)	น้ำหนักที่ได้หลังการต้ม[ns] (ร้อยละ)
0	4.5	$8.56^{c} \pm 0.55$	261.58 ± 4.22
0.5	4.0	$10.09^{b} \pm 0.36$	254.90 ± 10.16
1.0	4.0	$11.70^{a} \pm 0.72$	247.65 ± 7.35
1.5	4.0	$12.12^{a} \pm 0.91$	251.12 ± 14.19
2.0	4.0	$12.76^{a} \pm 0.45$	254.33 ± 11.71

[a,b,c] หมายถึง ตัวเลขที่มีอักษรกำกับแตกต่างกันตามแนวตั้งมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)
[ns] หมายถึง ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \geq 0.05$)

2.2 ผลการวัดค่าสี

เมื่อนำบะหมี่กึ่งสำเร็จรูปแบบไม่ทอดที่เติมสาหร่ายเกลียวทองผงในปริมาณต่างๆ ที่ผ่านการอบแห้งและผ่านการต้มสุกซึ่งมีลักษณะดังภาพ 4-7 และ 4-8 ตามลำดับ มาวัดค่าสีได้ผลดังตารางที่ 4-30 และ 4-31 พบว่าเมื่อปริมาณสาหร่ายเพิ่มขึ้น (ร้อยละ 0-2) บะหมี่อบแห้งและต้มสุกมีค่าความสว่าง (L*) ค่าความเป็นสีเหลือง (b*) ลดลง แต่มีค่าความเป็นสีเขียว (-a*) เพิ่มขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับค่าเฉดสี (h°) โดยบะหมี่อบแห้งมีค่า h° อยู่ในช่วง 96.28-99.38 และบะหมี่ต้มสุกมีค่า h° อยู่ในช่วง 96.77-103.25 แสดงว่าอยู่ในเฉดสีเขียว ซึ่งเป็นผลมาจากรงควัตถุที่พบในสาหร่ายเกลียวทองผงคือคลอโรฟิลล์ซึ่งให้สีเขียว และไฟโคไซยานินซึ่งให้สีเขียวแกมน้ำเงิน (สมศักดิ์ วรคามิน, 2547) และการที่บะหมี่มีค่า L* ลดลง แต่ค่าความเป็นสีเขียว (–a*) เพิ่มขึ้น อาจเป็นผลมาจากคุณลักษณะของวัตถุดิบที่ใช้ สอดคล้องกับผลการวัดค่าสีของวัตถุดิบที่พบว่าสาหร่ายเกลียวทองมีค่า L*, a*, b* เท่ากับ 33.94, -5.64, 12.07 ในขณะที่แป้งสาลีมีค่า L*, a*, b* เท่ากับ 95.90, 0.41, 7.50 แสดงว่าสาหร่ายเกลียวทองผงมีค่าความสว่างน้อยกว่าแป้งสาลี แต่มีค่าความเป็นสีเขียวมากกว่าแป้งสาลี



ภาพที่ 4-7 บะหมี่อบแห้งที่เติมสาหร่ายเกลียวทองผงปริมาณต่างๆ

ภาพที่ 4-8 บะหมี่ต้มสุกที่เติมสาหร่ายเกลียวทองผงปริมาณต่างๆ

ตารางที่ 4-30 ค่าสีของบะหมี่กึ่งสำเร็จรูปแบบไม่ทอดอบแห้งที่เติมสาหร่ายเกลียวทองผงในปริมาณต่างๆ

ปริมาณสาหร่ายเกลียวทองผง (ร้อยละโดยน้ำหนักแป้ง)	ค่าสี				
	L*	a*	b*	h°	c*
0	64.51^{a} ±1.07	1.78^{a} ±0.12	28.73^{a} ±0.22	86.46^{e} ±0.22	28.79^{a} ±0.22
0.5	53.80^{b} ±0.23	-2.84^{b} ±0.26	25.80^{b} ±0.14	96.28^{d} ±0.60	25.95^{b} ±0.11
1.0	44.87^{c} ±0.85	-3.12^{c} ±0.09	25.31^{c} ±0.12	97.03^{c} ±0.17	25.50^{c} ±0.12
1.5	40.30^{d} ±0.76	-3.65^{d} ±0.08	24.19^{d} ±0.28	98.58^{b} ±0.28	24.47^{d} ±0.27
2.0	35.23^{e} ±0.97	-3.78^{d} ±0.06	22.89^{e} ±0.19	99.38^{a} ±0.20	23.20^{e} ±0.18

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

ตารางที่ 4-31 ค่าสีของบะหมี่กึ่งสำเร็จรูปแบบไม่ทอดต้มสุกที่เติมสาหร่ายเกลียวทองผงในปริมาณต่างๆ

ปริมาณสาหร่ายเกลียวทองผง (ร้อยละโดยน้ำหนักแป้ง)	ค่าสี				
	L*	a*	b*	h°	C*
0	63.80^{a}±0.14	2.57^{a}±0.12	28.41^{a}±0.07	84.84^{e}±0.23	28.53^{a}±0.09
0.5	48.70^{b}±0.19	-3.31^{b}±0.04	27.85^{b}±0.09	96.77^{d}±0.06	28.04^{b}±0.10
1.0	42.99^{c}±0.09	-4.50^{c}±0.18	25.76^{c}±0.08	99.92^{c}±0.35	26.15^{c}±0.11
1.5	39.18^{d}±0.16	-4.81^{d}±0.28	23.52^{d}±0.04	101.56^{b}±0.63	24.00^{d}±0.09
2.0	35.79^{e}±0.19	-5.23^{e}±0.04	22.20^{e}±0.03	103.25^{a}±0.10	22.80^{e}±0.01

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

2.3 ผลการวิเคราะห์ลักษณะเนื้อสัมผัส

จากการวิเคราะห์ลักษณะเนื้อสัมผัสของบะหมี่ที่เติมสาหร่ายเกลียวทองผงปริมาณต่างๆ ได้ผลดังตารางที่ 4-32

ตารางที่ 4-32 ลักษณะเนื้อสัมผัสของบะหมี่กึ่งสำเร็จรูปแบบไม่ทอดที่เติมสาหร่ายเกลียวทองผงในปริมาณต่างๆ

ปริมาณสาหร่ายเกลียวทองผง (ร้อยละโดยน้ำหนักแป้ง)	ลักษณะเนื้อสัมผัส		
	ค่าความต้านทานต่อการดึงขาด (g f)	ค่าความแน่นเนื้อ (g f)	ค่าการยึดเกาะที่ผิวหน้า (g f.s)
0	13.71^{b} ± 0.77	196.51^{c} ± 7.73	96.47^{a} ± 7.77
0.5	15.61^{a} ± 0.66	227.98^{b} ± 8.00	75.34^{b} ± 3.34
1.0	15.86^{a} ± 0.22	242.71^{b} ± 6.39	63.53^{c} ± 3.30
1.5	15.88^{a} ± 0.63	264.06^{a} ± 12.36	58.34^{cd} ± 1.31
2.0	16.61^{a} ± 0.22	277.31^{a} ± 4.43	54.78^{d} ± 2.16

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

จากผลการวิเคราะห์ลักษณะเนื้อสัมผัส พบว่าเมื่อเติมสาหร่ายเกลียวทองผงในปริมาณที่เพิ่มขึ้น (ร้อยละ 0-2) มีผลทำให้ค่าความต้านทานต่อการดึงขาด และความแน่นเนื้อเพิ่มขึ้น แต่ค่าการยึดเกาะที่ผิวหน้าลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) อาจเนื่องจากสาหร่ายเกลียวทองผงมี

ปริมาณโปรตีนสูง ทำให้เกิดพันธะไดซัลไฟด์กับหมู่ซัลไฮดริลของซีสเทอีนในโปรตีนกลูเตน ช่วยเสริมโครงสร้างร่างแหกลูเตน (Fradique et al., 2010) อย่างไรก็ตาม บะหมี่ที่เติมสาหร่ายเกลียวทองผงทุกระดับมีค่าความแน่นเนื้อไม่แตกต่างกัน

2.4 ผลการทดสอบทางประสาทสัมผัส

จากการวิเคราะห์การทดสอบทางด้านประสาทสัมผัสของบะหมี่กึ่งสำเร็จรูปแบบไม่ทอดที่เติมสาหร่ายเกลียวทองผงปริมาณต่างๆ โดยใช้ scoring test ได้ผลดังตารางที่ 4-33 และทดสอบทางด้านประสาทสัมผัสโดยใช้ 9-point hedonic scale ได้ผลดังตารางที่ 4-34

ตารางที่ 4-33 คะแนนการทดสอบทางประสาทสัมผัสของบะหมี่ที่เติมสาหร่ายเกลียวทองผงในปริมาณต่างๆ ที่ผ่านการต้มสุกโดยใช้วิธี scoring test

ปริมาณสาหร่ายเกลียวทองผง (ร้อยละโดยน้ำหนักแป้ง)	คะแนนการทดสอบทางประสาทสัมผัส				
	สีเขียว	กลิ่นรสสาหร่าย	ความแน่นเนื้อ	ความเหนียว	การเกาะติดกัน^{ns}
0	1.08^{e}±0.29	1.00^{e}±0.00	2.42^{d}±0.79	2.58^{d}±0.51	3.17±0.39
0.5	2.17^{d}±0.39	2.25^{d}±0.45	2.75^{cd}±0.62	2.83^{cd}±0.58	3.00±0.43
1.0	3.00^{c}±0.00	2.92^{c}±0.51	3.08^{bc}±0.51	3.17^{bc}±0.39	3.17±0.39
1.5	3.92^{b}±0.29	4.00^{b}±0.00	3.33^{b}±0.49	3.33^{b}±0.49	3.33±0.49
2.0	5.00^{a}±0.00	5.00^{a}±0.00	3.83^{a}±0.58	3.83^{a}±0.58	3.42±0.51

$^{a,b,c,...}$ หมายถึง ตัวเลขที่มีอักษรกำกับแตกต่างกันตามแนวตั้งมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)
^{ns} หมายถึง ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \geq 0.05$)
เกณฑ์การให้คะแนน : 5=มากที่สุด, 4=มาก, 3=ปานกลาง, 2=น้อย, 1=น้อยที่สุด

จากผลการทดสอบคุณภาพทางประสาทสัมผัสโดยวิธี Scoring Test พบว่าเมื่อเติมสาหร่ายเกลียวทองผงเพิ่มขึ้น คะแนนความเข้มในด้านสีเขียว กลิ่นรสสาหร่าย ความแน่นเนื้อ และความเหนียวเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) โดยบะหมี่ที่เติมสาหร่ายเกลียวทองผงร้อยละ 0.5-2.0 มีคะแนนด้านสีเขียวและกลิ่นรสสาหร่ายอยู่ในเกณฑ์ระดับน้อยถึงมากที่สุด (2.17-5.00 และ 2.25-5.00 คะแนน ตามลำดับ) คะแนนด้านความแน่นเนื้อและความเหนียวอยู่ในเกณฑ์ระดับน้อยถึงปานกลาง (2.42-3.83 และ 2.58-3.83 คะแนน ตามลำดับ) ส่วนคะแนนด้านการเกาะติดกัน พบว่าบะหมี่ทุกตัวอย่างมีคะแนนไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \geq 0.05$)

ตารางที่ 4-34 คะแนนการทดสอบทางประสาทสัมผัสของบะหมี่ที่เติมสาหร่ายเกลียวทองผงในปริมาณต่างๆ ที่ผ่านการต้มสุกโดยใช้วิธี 9-point hedonic scale

ปริมาณสาหร่ายเกลียวทองผง (ร้อยละโดยน้ำหนักแป้ง)	คะแนนการทดสอบทางประสาทสัมผัส				
	สี[ns]	กลิ่น	รสชาติ	เนื้อสัมผัส[ns]	ความชอบโดยรวม
0	6.60±0.56	6.07[ab]±0.74	5.97[b]±0.67	6.37±0.81	6.37[b]±0.76
0.5	6.57±0.57	6.33[a]±0.88	6.47[a]±0.73	6.57±0.86	6.70[a]±0.92
1.0	6.70±0.70	6.13[ab]±0.51	6.57[a]±0.77	6.43±0.77	6.90[a]±0.66
1.5	6.60±0.62	5.90[bc]±0.80	6.37[ab]±0.76	6.23±0.86	6.73[a]±0.64
2.0	6.30±0.53	5.57[c]±0.77	6.27[ab]±0.83	6.47±0.73	6.20[b]±0.66

[a,b,c,...] หมายถึง ตัวเลขที่มีอักษรกำกับแตกต่างกันตามแนวตั้งมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)
[ns] หมายถึง ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \geq 0.05$)

จากผลการทดสอบคุณภาพทางประสาทสัมผัสโดยวิธี 9-point hedonic scale พบว่าบะหมี่ที่เติมสาหร่ายเกลียวทองผงในปริมาณต่างๆ ได้คะแนนความชอบในด้านกลิ่น รสชาติ และความชอบโดยรวมแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) แต่คะแนนความชอบด้านสีและเนื้อสัมผัสไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \geq 0.05$) โดยบะหมี่ที่เติมสาหร่ายเกลียวทองผงร้อยละ 0.5-2.0 ได้คะแนนความชอบด้านกลิ่นลดลงจาก 6.33 เป็น 5.57 คะแนน อาจเป็นผลมาจากกลิ่นรสที่เฉพาะของสาหร่ายซึ่งเมื่อเติมในปริมาณมากจะมีกลิ่นแรงเกินไป สอดคล้องกับผลการทดสอบทางประสาทสัมผัสโดยใช้วิธี scoring test ด้านกลิ่นรสที่พบว่าคะแนนความเข้มด้านกลิ่นรสสาหร่ายมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อปริมาณสาหร่ายเกลียวทองเพิ่มขึ้น ส่วนคะแนนด้านความชอบโดยรวมพบว่าบะหมี่ที่เติมสาหร่ายเกลียวทองผงร้อยละ 0.5 1.0 และ 1.5 ได้คะแนนความชอบโดยรวมมากที่สุดและไม่แตกต่างกัน ($p \geq 0.05$) โดยมีคะแนนอยู่ในระดับชอบเล็กน้อยถึงชอบปานกลาง (6.70-6.90 คะแนน)

เมื่อพิจารณาผลการทดสอบทางประสาทสัมผัสในด้านคะแนนความชอบโดยรวม และผลการวิเคราะห์ลักษณะเนื้อสัมผัส พบว่าบะหมี่ที่เติมสาหร่ายเกลียวทองผงปริมาณร้อยละ 1.5 ได้คะแนนความชอบโดยรวมสูงสุด และมีความแน่นเนื้อสูงที่สุด นอกจากนี้การเติมสาหร่ายเกลียวทองผงร้อยละ 1.5 ยังเป็นปริมาณสูงสุดที่ผู้ทดสอบให้คะแนนความชอบโดยรวมสูงสุด ซึ่งการเติมสาหร่ายเกลียวทองผงในปริมาณที่สูงจะช่วยเพิ่มคุณค่าทางโภชนาการได้มากกว่า ดังนั้นจึงเลือกตัวอย่างนี้ไปศึกษาในขั้นตอนต่อไป

3. ผลการศึกษาชนิดและปริมาณของเกลือฟอสเฟตที่เหมาะสมสำหรับเติมในบะหมี่กึ่งสำเร็จรูปแบบไม่ทอดที่เติมสาหร่ายเกลียวทองผง

จากการศึกษาชนิดและปริมาณเกลือฟอสเฟตที่เหมาะสมสำหรับเติมในบะหมี่กึ่งสำเร็จรูปแบบไม่ทอดโดยใช้บะหมี่สูตรที่เลือกได้จากข้อ 2 ซึ่งเตรียมโดยเติมสาหร่ายเกลียวทองผงร้อยละ 1.5 โดยใช้เกลือฟอสเฟต 2 ชนิด คือ โมโนโซเดียมฟอสเฟต (MSP) และ ไดโซเดียมฟอสเฟต (DSP) และแปรปริมาณเกลือฟอสเฟตเป็นร้อยละ 0 0.15 0.30 และ 0.45 (โดยน้ำหนักแป้งสาลี) นำมาวิเคราะห์คุณภาพหลังการต้ม ค่าสี ลักษณะเนื้อสัมผัส และการทดสอบทางประสาทสัมผัส ได้ผลดังนี้

3.1 ผลการวิเคราะห์คุณภาพหลังการต้ม

จากการวิเคราะห์คุณภาพหลังการต้มบะหมี่กึ่งสำเร็จรูปแบบไม่ทอดเสริมสาหร่ายเกลียวทองผงที่เติมโมโนโซเดียมฟอสเฟต และไดโซเดียมฟอสเฟตในปริมาณต่างๆ ได้ผลดังตาราง 4-35 พบว่าเมื่อเติมเกลือฟอสเฟตทั้งสองชนิดในปริมาณเพิ่มขึ้น มีผลทำให้ระยะเวลาในการต้มสุกและปริมาณของแข็งที่สูญเสียระหว่างการต้มลดลง แต่น้ำหนักที่ได้หลังการต้มไม่แตกต่างกัน ($p \geq 0.05$) อาจเนื่องจากฟอสเฟตมีสมบัติในการกักเก็บน้ำและอุ้มน้ำ และช่วยในการเกิดเจลของสตาร์ชในระหว่างการต้ม ทำให้ใช้เวลาในการต้มสุกลดลง (Zhou and Hou, 2012) นอกจากนี้หมู่ไฮดรอกซิลในโมเลกุลของฟอสเฟตช่วยในการจับกันของฟอสเฟตและสายโมเลกุลของสตาร์ช ทำให้สตาร์ชในส่วนอสัณฐานมีความคงตัว มีผลให้สตาร์ชพองตัวได้น้อยและทำให้อะไมโลสหลุดออกจากเม็ดสตาร์ชน้อยลง ปริมาณของแข็งที่สูญเสียระหว่างการต้มจึงลดลง (Niu et al., 2014) โดยบะหมี่ที่เติมโมโนโซเดียมฟอสเฟตและไดโซเดียมฟอสเฟตร้อยละ 0.30-0.45 มีปริมาณของแข็งที่สูญเสียระหว่างการต้มน้อยกว่าตัวอย่างควบคุม (control)

ตารางที่ 4-35 คุณภาพหลังการต้มบะหมี่กึ่งสำเร็จรูปแบบไม่ทอดเสริมสาหร่ายเกลียวทองผงที่เติมโมโนโซเดียมฟอสเฟต (MSP) และไดโซเดียมฟอสเฟต (DSP) ปริมาณต่างๆ

ชนิดและปริมาณเกลือฟอสเฟต	คุณภาพหลังการต้ม		
	เวลาที่เหมาะสมในการต้ม(นาที)	ปริมาณของแข็งที่สูญเสียระหว่างการต้ม(ร้อยละ)	น้ำหนักที่ได้หลังการต้ม(ร้อยละ)^{ns}
Control	4.0	$5.00^{ab} \pm 0.20$	221.13 ± 8.96
0.15% MSP	4.0	$5.00^{ab} \pm 0.53$	275.66 ± 14.50
0.30% MSP	3.5	$4.40^{b} \pm 0.00$	231.49 ± 7.04
0.45% MSP	3.5	$4.40^{b} \pm 0.72$	232.27 ± 11.14
0.15% DSP	3.5	$5.47^{a} \pm 0.81$	246.91 ± 7.31
0.30% DSP	3.5	$4.47^{b} \pm 0.58$	246.00 ± 21.71
0.45% DSP	3.0	$4.00^{b} \pm 0.35$	239.07 ± 8.36

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

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

3.2 ผลการวัดสี

เมื่อ**นำ**บะหมี่กึ่งสำเร็จรูปแบบไม่ทอดเสริมสาหร่ายเกลียวทองผงที่เติมโมโนโซเดียมฟอสเฟตและไดโซเดียมฟอสเฟตปริมาณต่างๆ ที่ผ่านการอบแห้งและผ่านการต้มสุกได้ผลดังตารางที่ 4-36 และ 4-37

ตารางที่ 4-36 ค่าสีของบะหมี่กึ่งสำเร็จรูปเสริมสาหร่ายเกลียวทองผงที่เติมโมโนโซเดียมฟอสเฟต (MSP) และไดโซเดียมฟอสเฟต (DSP) ปริมาณต่างๆ ที่ผ่านการอบแห้ง

ชนิดและปริมาณเกลือฟอสเฟต	ค่าสีบะหมี่หลังอบแห้ง				
	L*	a^{*ns}	b*	$h^{\circ\ ns}$	C*
Control	$37.22^{a} \pm 0.52$	-0.76±0.21	$29.31^{ab}\pm0.43$	91.48 ± 0.46	$29.31^{ab}\pm0.43$
0.15% MSP	$36.60^{a} \pm 0.53$	-0.96±0.25	$30.37^{a}\pm0.40$	91.82 ± 0.49	$30.39^{a}\pm0.39$
0.30% MSP	$36.30^{a} \pm 0.54$	-0.67±0.56	$27.24^{d}\pm0.19$	91.40 ± 1.16	$27.25^{d}\pm0.21$
0.45% MSP	$36.55^{a} \pm 0.30$	-0.13±0.10	$27.72^{d}\pm0.63$	90.27 ± 0.21	$27.72^{d}\pm0.63$
0.15% DSP	$36.42^{a} \pm 2.49$	-0.76±0.09	$28.89^{bc}\pm1.08$	91.52 ± 0.23	$28.90^{bc}\pm1.08$
0.30% DSP	$37.60^{a} \pm 2.98$	-0.74±0.12	$29.67^{ab}\pm0.81$	91.42 ± 0.24	$29.68^{ab}\pm0.81$
0.45% DSP	$31.08^{b} \pm 1.00$	-0.96±0.57	$27.84^{cd}\pm0.37$	91.99 ± 1.20	$27.86^{cd}\pm0.35$

[a,b,c…] หมายถึง ตัวเลขที่มีตัวอักษรกำกับแตกต่างกันตามแนวตั้งมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)
[ns] หมายถึง ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \geq 0.05$)

ตารางที่ 4-37 ค่าสีของบะหมี่กึ่งสำเร็จรูปแบบไม่ทอดเสริมสาหร่ายเกลียวทองผงที่เติมโมโนโซเดียมฟอสเฟต (MSP) และไดโซเดียมฟอสเฟต (DSP) ที่ผ่านการต้มสุก

ชนิดและปริมาณเกลือฟอสเฟต	ค่าสีบะหมี่หลังต้มสุก				
	L^{*ns}	a*	b^{*ns}	h°	C^{*ns}
Control	33.20±0.64	$-2.87^{b}\pm0.15$	23.70±1.66	$96.91^{bc}\pm0.39$	23.88±1.85
0.15% MSP	34.47±0.33	$-3.42^{a}\pm 0.06$	22.87±2.54	$98.58^{ab}\pm1.15$	23.13±2.50
0.30% MSP	34.96±1.44	$-2.41^{c}\pm0.05$	22.40±1.24	$96.14^{c}\pm0.22$	22.52±1.24
0.45% MSP	35.07±0.60	$-2.35^{c}\pm0.15$	19.78±2.49	$96.82^{bc}\pm0.65$	19.92±2.49
0.15% DSP	35.14±1.88	$-2.31^{b}\pm0.12$	20.94±2.51	$96.36^{c}\pm0.74$	21.06±2.50
0.30% DSP	34.82±2.65	$-2.68^{c}\pm0.05$	21.28±4.78	$97.45^{abc}\pm1.87$	21.46±4.74
0.45% DSP	35.20±1.77	$-3.55^{a}\pm0.19$	22.15±3.49	$99.27^{a}\pm1.69$	22.44±3.45

[a,b,c] หมายถึง ตัวเลขที่มีตัวอักษรกำกับแตกต่างกันตามแนวตั้งมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)
[ns] หมายถึง ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \geq 0.05$)

จากผลการทดลอง พบว่า บะหมี่ที่ผ่านการอบแห้งที่เติมเกลือฟอสเฟตทั้งสองชนิดมีค่าความสว่าง (L*) ความเป็นสีเหลือง (b*) และค่าความเข้มสี (C*) แตกต่างกัน แต่มีค่าความเป็นสีแดง (a*) และค่าเฉดสี (h°) ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \geq 0.05$) ในขณะที่บะหมี่ต้มสุกมีค่าความเป็นสีแดง (a*) และค่าเฉดสี (h°) แตกต่างกัน แต่มีค่าความสว่าง (L*) ความเป็นสีเหลือง (b*) และค่าความเข้มสี (C*) ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \geq 0.05$) อย่างไรก็ตาม ทั้งบะหมี่อบแห้งและบะหมี่ต้มสุกที่เติมเกลือฟอสเฟตทั้งสองชนิดในปริมาณร้อยละ 0.15-0.30 มีค่า h° อยู่ในช่วง 90.27-99.27 แสดงถึงบะหมี่อยู่ในโทนสีเหลืองเขียว โดยมีรายงานว่า มุมที่อยู่ในช่วง 90-135 องศา แสดงถึงตัวอย่างมีสีเหลืองถึงเหลืองเขียว (McGuire, 1992)

3.3 ผลการวิเคราะห์ลักษณะเนื้อสัมผัส

จากการวิเคราะห์ลักษณะเนื้อสัมผัสของบะหมี่กึ่งสำเร็จรูปแบบไม่ทอดเสริมสาหร่ายเกลียวทองผงที่เติมโมโนโซเดียมฟอสเฟต (MSP) และไดโซเดียมฟอสเฟต (DSP) ปริมาณต่างๆ ได้ผลดังตาราง 4-38 พบว่า เมื่อปริมาณเกลือฟอสเฟตทั้งสองชนิดเพิ่มขึ้น ค่าความต้านทานต่อการดึงขาด ค่าความแน่นเนื้อ และค่าการยึดเกาะที่ผิวหน้ามีแนวโน้มลดลง ซึ่งอาจเป็นผลมาจากเกลือฟอสเฟตมีสมบัติในการอุ้มน้ำและกักเก็บน้ำ ทำให้เส้นบะหมี่ดูดซับน้ำได้มากมีผลให้ค่าความแน่นเนื้อลดลง นอกจากนี้เกลือฟอสเฟตสามารถจับกับสตาร์ช ทำให้สตาร์ชพองตัวได้น้อยและทำให้อะไมโลสที่ผิวหน้าหลุดออกได้น้อยลง (Fu, 2008) ค่าการยึดเกาะที่ผิวหน้าจึงลดลง

ตารางที่ 4-38 ลักษณะเนื้อสัมผัสของบะหมี่กึ่งสำเร็จรูปแบบไม่ทอดแบบเสริมสาหร่ายเกลียวทองผงที่เติมโมโนโซเดียมฟอสเฟต (MSP) และไดโซเดียมฟอสเฟต (DSP) ปริมาณต่างๆ

ชนิดและปริมาณเกลือฟอสเฟต	ลักษณะเนื้อสัมผัส		
	ค่าความต้านทานต่อการดึงขาด (gf)	ค่าความแน่นเนื้อ (g f)	ค่าการยึดเกาะที่ผิวหน้า (g f.s)
Control	$11.94^{abc} \pm 0.63$	$247.40^{a} \pm 13.43$	$111.47^{a} \pm 9.17$
0.15% MSP	$12.36^{abc} \pm 2.25$	$156.91^{e} \pm 14.82$	$55.94^{d} \pm 5.90$
0.30% MSP	$10.79^{bc} \pm 2.37$	$172.32^{cde} \pm 9.39$	$68.01^{cd} \pm 8.48$
0.45% MSP	$9.71^{c} \pm 2.22$	$164.67^{de} \pm 15.66$	$81.02^{bc} \pm 20.55$
0.15% DSP	$13.10^{ab} \pm 0.39$	$221.30^{ab} \pm 10.54$	$102.08^{a} \pm 4.59$
0.30% DSP	$13.83^{a} \pm 0.77$	$196.13^{bc} \pm 26.41$	$96.98^{ab} \pm 1.05$
0.45% DSP	$14.54^{a} \pm 0.62$	$191.01^{cd} \pm 13.39$	$96.69^{ab} \pm 0.83$

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

3.4 ผลการทดสอบทางประสาทสัมผัส

จากการทดสอบทางประสาทสัมผัสของบะหมี่กึ่งสำเร็จรูปแบบไม่ทอดเสริมสาหร่ายเกลียวทองผงที่เติมโมโนโซเดียมฟอสเฟต และไดโซเดียมฟอสเฟตปริมาณต่างๆ โดยใช้ scoring test ได้ผลดังตารางที่ 4-39 และการทดสอบด้านประสาทสัมผัสโดยใช้ 9-point hedonic scale ได้ผลดังตารางที่ 4-40

ตารางที่ 4-39 คะแนนการทดสอบทางประสาทสัมผัสของบะหมี่กึ่งสำเร็จรูปแบบไม่ทอดเสริมสาหร่ายเกลียวทองผงที่เติมโมโนโซเดียมฟอสเฟต (MSP) และไดโซเดียมฟอสเฟต (DSP) ปริมาณต่างๆ โดยใช้วิธี scoring test

ชนิดและปริมาณเกลือฟอสเฟต	คะแนนการทดสอบทางประสาทสัมผัส				
	สีเขียว[ns]	กลิ่นรสสาหร่าย[ns]	ความแน่นเนื้อ	ความเหนียว	การเกาะติดกัน
Control	3.58 ± 0.51	2.92 ± 0.79	3.33[c] ± 0.65	3.00[bc] ± 0.60	2.92[de] ± 0.67
0.15% MSP	3.75 ± 0.45	3.17 ± 0.72	3.17[c] ± 0.58	3.25[bc] ± 0.62	2.75[e] ± 0.45
0.30% MSP	4.08 ± 0.67	3.33 ± 0.49	4.00[ab] ± 0.60	3.83[a] ± 0.58	3.50[bc] ± 0.52
0.45% MSP	3.83 ± 0.39	3.42 ± 0.67	4.17[a] ± 0.39	3.75[a] ± 0.75	4.25[a] ± 0.62
0.15% DSP	3.58 ± 0.51	3.00±0.74	3.17[c]±0.58	2.83[c] ± 0.83	3.25[cd] ± 0.62
0.30% DSP	3.83 ± 0.72	3.58 ± 0.67	3.58[bc]±0.51	3.42[ab] ± 0.79	3.92[ab] ± 0.90
0.45% DSP	3.67 ± 0.65	3.58 ± 1.00	3.25[c]±0.62	3.17[bc] ± 0.58	3.75[b] ± 0.62

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

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

เกณฑ์การให้คะแนน : 5=มากที่สุด, 4=มาก, 3=ปานกลาง, 2=น้อย, 1=น้อยที่สุด

จากผลการทดสอบด้านประสาทสัมผัสโดยใช้ scoring test พบว่า เมื่อใช้เกลือฟอสเฟตทั้งสองชนิดในปริมาณที่เพิ่มขึ้น (ร้อยละ 0.15-0.45) คะแนนด้านความแน่นเนื้อ ความเหนียว และการเกาะติดกันแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) โดยมีคะแนนด้านความแน่นเนื้อและความเหนียวอยู่ในระดับปานกลางถึงมาก (3.58-4.17 คะแนน และ 3.00-3.83 คะแนน ตามลำดับ) และคะแนนด้านการเกาะติดในระดับน้อยถึงมาก (2.75-4.25 คะแนน) โดยบะหมี่ทุกตัวอย่างได้คะแนนความเข้มด้านสีเขียว และกลิ่นรสสาหร่ายไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \geq 0.05$)

โดยมีคะแนนด้านสีเขียวอยู่ในเกณฑ์ระดับปานกลางถึงมาก (3.58-4.08 คะแนน) และคะแนนด้านกลิ่นรสสาหร่ายอยู่ในระดับปานกลาง (2.92-3.58 คะแนน)

ตารางที่ 4-40 คะแนนการทดสอบทางประสาทสัมผัสของบะหมี่กึ่งสำเร็จรูปแบบไม่ทอดเสริมสาหร่ายเกลียวทองผงที่เติมโมโนโซเดียมฟอสเฟต (MSP) และไดโซเดียมฟอสเฟต (DSP) ปริมาณต่างๆ โดยใช้วิธี 9-point hedonic scale

ชนิดและปริมาณเกลือฟอสเฟต	คะแนนการทดสอบทางประสาทสัมผัส				
	สี[ns]	กลิ่น	รสชาติ[ns]	เนื้อสัมผัส[ns]	ความชอบโดยรวม
Control	7.10 ± 0.80	6.53[b] ± 0.68	6.73 ± 0.83	6.83 ± 0.79	6.93[c]±0.64
0.15% MSP	6.97 ± 0.76	6.83[ab] ± 0.87	6.89 ± 0.73	7.00 ± 0.87	7.03[c]±0.85
0.30% MSP	7.10 ± 0.71	7.17[a] ± 0.79	7.13 ± 0.78	6.80 ± 1.00	7.47[a]±0.63
0.45% MSP	6.93 ± 0.91	6.80[ab] ± 0.71	6.73 ± 0.69	7.03 ± 0.93	7.00[c]±0.69
0.15% DSP	7.10 ± 0.76	6.53[b] ± 0.77	6.97 ± 0.67	7.17 ± 0.70	7.10[bc]±0.71
0.30% DSP	7.30 ± 0.70	6.80[ab] ± 0.76	7.00 ± 0.64	7.13 ± 0.86	7.40[ab]±0.62
0.45% DSP	6.80 ± 0.92	6.67[b] ± 0.71	6.87 ± 0.68	7.13 ± 0.82	7.13[abc]±0.51

[a,b,c] หมายถึง ตัวเลขที่มีตัวอักษรกำกับแตกต่างกันตามแนวตั้งมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)
[ns] หมายถึง ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \geq 0.05$)

จากผลการทดสอบทางด้านประสาทสัมผัสโดยวิธี 9-point hedonic scale ของบะหมี่กึ่งสำเร็จรูปแบบไม่ทอดเสริมสาหร่ายเกลียวทองผงที่เติมโมโนโซเดียมฟอสเฟต และไดโซเดียมฟอสเฟตในปริมาณต่างๆ พบว่า คะแนนด้านกลิ่น และความชอบโดยรวมมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) ส่วนคะแนนด้านสี รสชาติ และเนื้อสัมผัสไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \geq 0.05$) โดยบะหมี่ที่เติมโมโนโซเดียมฟอสเฟตปริมาณร้อยละ 0.30 บะหมี่ที่เติมไดโซเดียมฟอสเฟตร้อยละ 0.30 และ 0.45 ได้คะแนนความชอบโดยรวมสูงที่สุดและไม่แตกต่างกัน ($p \geq 0.05$) โดยอยู่ในระดับชอบปานกลาง (7.13- 7.47 คะแนน)

เมื่อพิจารณาผลการทดสอบทางประสาทสัมผัสและคุณภาพของบะหมี่หลังการต้ม พบว่า บะหมี่เสริมสาหร่ายเกลียวทองผง และเติมโมโนโซเดียมฟอสเฟตร้อยละ 0.30 ได้คะแนนความชอบโดยรวมสูงที่สุด รวมทั้งมีคุณภาพหลังการต้มและลักษณะเนื้อสัมผัสใกล้เคียงกับบะหมี่ที่เติมไดโซเดียมฟอสเฟตร้อยละ 0.30 และ 0.45 อย่างไรก็ตาม โมโนโซเดียมฟอสเฟตมีราคาถูกกว่าไดโซเดียมฟอสเฟต ดังนั้นจึงเลือกบะหมี่ที่เติมโมโนโซเดียมฟอสเฟตร้อยละ 0.30 ไปศึกษาในขั้นตอนต่อไป

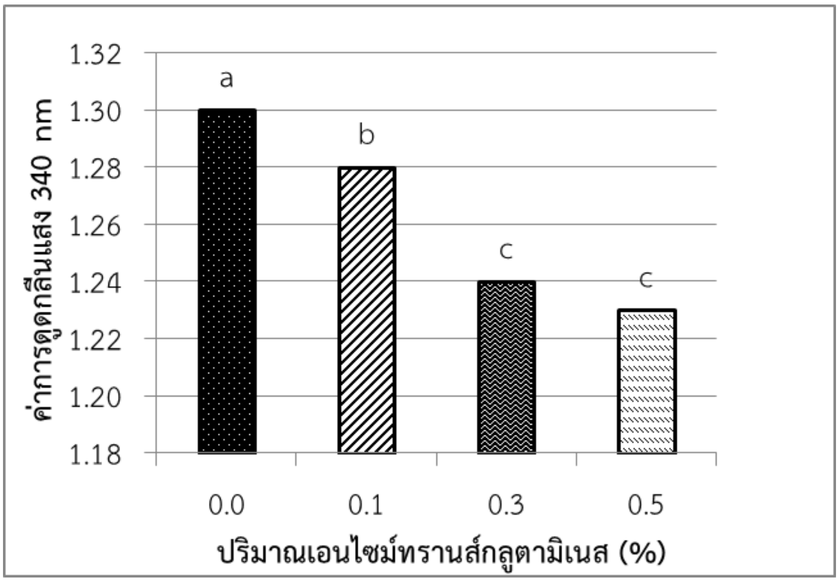
4. ผลการศึกษาปริมาณของเอนไซม์ทรานส์กลูตามิเนสที่เหมาะสมสำหรับเติมในผลิตภัณฑ์บะหมี่กึ่งสำเร็จรูปแบบไม่ทอดที่เสริมสาหร่ายเกลียวทองผง

จากการวิเคราะห์คุณภาพของบะหมี่กึ่งสำเร็จรูปแบบไม่ทอดที่เสริมสาหร่ายเกลียวทองผงร้อยละ 1.5 (โดยน้ำหนักแป้ง) โดยแปรปริมาณเอนไซม์ทรานส์กลูตามิเนสที่ใช้เติมในบะหมี่เป็นร้อยละ 0 0.1 0.3 และ 0.5 (โดยน้ำหนักแป้ง) ได้ผลการวิเคราะห์ดังนี้

จากการวิเคราะห์คุณภาพของบะหมี่กึ่งสำเร็จรูปแบบไม่ทอดที่เสริมสาหร่ายสาหร่ายเกลียวทองผง โดยใช้บะหมี่สูตรที่เลือกได้จากข้อ 2 ซึ่งเตรียมโดยเติมสาหร่ายเกลียวทองผงร้อยละ 1.5 และเติมโมโนโซเดียมฟอสเฟตร้อยละ 0.30 นำมาศึกษาหาปริมาณเอนไซม์ทรานส์กลูตามิเนสที่เหมาะสม โดยแปรปริมาณเอนไซม์เอนไซม์ทรานส์กลูตามิเนสที่ใช้เติมในบะหมี่เป็นร้อยละ 0 0.1 0.3 และ 0.5 (โดยน้ำหนักแป้ง) และได้มีการปรับขั้นตอนการผลิตบะหมี่จากวิธีเดิม โดยการเติมเอนไซม์ในขั้นตอนการผสมแป้งแล้วพักไว้ประมาณ 60 นาที ที่อุณหภูมิห้อง (30 ± 2 องศาเซลเซียส) เพื่อให้เกิดกิจกรรมของเอนไซม์ ได้ผลการวิเคราะห์ดังนี้

4.1 ผลวิเคราะห์ปริมาณของหมู่อะมิโนอิสระในโดบะหมี่

จากการวิเคราะห์ปริมาณของหมู่อะมิโนอิสระของโดบะหมี่ที่เสริมสาหร่ายเกลียวทองผงร้อยละ 1.5 (โดยน้ำหนักแป้ง) เมื่อเติมเอนไซม์ทรานส์กลูตามิเนสปริมาณต่าง ๆ แสดงดังภาพที่ 4-9 พบว่าเมื่อเติมเอนไซม์ทรานส์กลูตามิเนสเพิ่มขึ้นมีผลให้ปริมาณหมู่อะมิโนอิสระลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) โดยโดบะหมี่เสริมสาหร่ายเกลียวทองผงที่ไม่เติมเอนไซม์ทรานส์กลูตามิเนสมีค่าการดูดกลืนแสงเท่ากับ 1.30 และโดบะหมี่เสริมสาหร่ายเกลียวทองผงที่เติมเอนไซม์ทรานส์กลูตามิเนสร้อยละ 0.1 0.3 และ 0.5 โดยน้ำหนักแป้ง มีค่าการดูดกลืนแสงเท่ากับ 1.28, 1.24 และ 1.23 ตามลำดับ เนื่องจากเอนไซม์ทรานส์กลูตามิเนสทำหน้าที่ในการเร่งปฏิกิริยาการเชื่อมโยงสายโปรตีนระหว่างกลุ่มเอมีนอิสระ (Free Amine Group) ของไลซีนและกลุ่มแกมม่า - คาร์บอกซีเอไมด์ (Gamma - Carboxyaminde Group) ของกลูตามีน ส่งผลให้เกิดพันธะโควาเลนต์ที่แข็งแรงทั้งในโมเลกุล และระหว่างโมเลกุลของสายโปรตีน (Wu & Corke, 2005) ทำให้ปริมาณหมู่อะมิโนอิสระในโดบะหมี่ลดลง ซึ่งสอดคล้องกับผลการศึกษาของ Wang, Huang, Kim, Liu and Tilley (2011) ที่ศึกษาผลของการเติมเอนไซม์ทรานส์กลูตามิเนสต่อรีโอโลยี (Rheology) และคุณภาพของโดบะหมี่ทำจากข้าวโอ๊ตและมีการเติมกลูเตนจากข้าวสาลี (vital wheat gluten) และอัลบูมินจากไข่ พบว่า โดบะหมี่ที่ทำจากข้าวโอ๊ตและมีการเติมกลูเตนจากข้าวสาลีและอัลบูมินจากไข่ มีปริมาณหมู่อะมิโนอิสระลดลง เมื่อเติมเอนไซม์ทรานส์กลูตามิเนสเพิ่มขึ้น (ร้อยละ 0 0.5 1.0 และ 1.5 โดยน้ำหนักแป้ง) โดยมีรายงานว่ากลูเตนจากข้าวสาลีประกอบด้วยกรดอะมิโนกลูตามีนร้อยละ 4.98 และไลซีนร้อยละ 0.43 (Toepfer et al., 1972) ในขณะที่อัลบูมินจากไข่ประกอบด้วยกรดอะมิโนกลูตามีนร้อยละ 1.35 และไลซีนร้อยละ 0.69 (USDA Nutrient Database for Standard, 1999) ซึ่งเป็นสารตั้งต้นในการทำงานของเอนไซม์ทรานส์กลูตามิเนส ทำให้เกิดการเชื่อมสายโปรตีนและเกิดเป็นพันธะ ε - (γ - glutamyl) lysine (Bellido & Hatcher, 2011)



ภาพที่ 4-9 ค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 340 nm ของโดบะหมี่เสริมสาหร่ายเกลียวทองผง เมื่อเติมเอนไซม์ทรานส์กลูตามิเนสปริมาณต่าง ๆ

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

4.2 ผลการวิเคราะห์คุณภาพหลังการต้ม

จากการวิเคราะห์คุณภาพหลังการต้มของบะหมี่กึ่งสำเร็จรูปแบบไม่ทอดที่เสริมสาหร่ายเกลียวทองผง เมื่อเติมเอนไซม์ทรานส์กลูตามิเนสปริมาณต่าง ๆ ได้ผลดังตารางที่ 4-41 พบว่า เมื่อเติมเอนไซม์ทรานส์กลูตามิเนสในปริมาณเพิ่มขึ้น (ร้อยละ 0-0.5 โดยน้ำหนักแป้ง) ส่งผลให้ปริมาณของแข็งที่สูญเสียระหว่างการต้มมีค่าลดลง ($p<0.05$) โดยมีค่าลดลงจากร้อยละ 8.64 เป็นร้อยละ 7.35 ซึ่งบะหมี่เสริมสาหร่ายเกลียวทองผงที่เติมเอนไซม์ทรานส์กลูตามิเนสร้อยละ 0.5 มีปริมาณของแข็งที่สูญเสียระหว่างการต้มต่ำที่สุด (ร้อยละ 7.35) ทั้งนี้เนื่องจากการทำงานของเอนไซม์ทรานส์กลูตามิเนสทำให้เกิดการเชื่อมโยงสายโปรตีนระหว่างกรดอะมิโนกลูตามีนและไลซีนส่งผลให้เกิดการเชื่อมประสานของโปรตีนโดยพันธะโควาเลนต์ที่แข็งแรงทั้งในโมเลกุลและระหว่างโมเลกุลของสายโปรตีน ทำให้เกิดโปรตีนสายยาวเป็นร่างแหที่แน่นขึ้น (Autio et al., 2005) โครงสร้างกลูเตนที่แข็งแรงจะสามารถห่อหุ้มเม็ดแป้งไว้ได้ ในระหว่างการต้มเม็ดแป้งจึงหลุดออกมาได้น้อยกว่า ซึ่งสอดคล้องกับผลการศึกษาของ Basman, Koksel and Atli (2006) ที่ศึกษาผลของการเติมปริมาณเอนไซม์ทรานส์กลูตามิเนสต่อคุณภาพหลังการต้มของสปาเก็ตตี้เสริมรำข้าว พบว่า ปริมาณของแข็งที่สูญเสียในระหว่างการต้มลดลงเมื่อปริมาณเอนไซม์ทรานส์กลูตามิเนสเพิ่มขึ้น (ร้อยละ 0 0.2 และ 0.4 โดยน้ำหนักแป้ง) เนื่องจากในรำข้าวมีปริมาณของกรดอะมิโน กลูตามีนร้อยละ 15.3 (Wang, Hettiarachchy, Qi, Burks & Siebenmorgen, 1999) และกรดอะมิโนไลซีนร้อยละ 4.55 (Sung, Kyu & Seong, 2015) ซึ่งเป็นสารตั้งต้นในการทำงานของเอนไซม์ ทรานส์กลูตามิเนสในการเชื่อมสายโปรตีนเกิดเป็นโครงสร้างโปรตีนที่แข็งแรง อย่างไรก็ตามการเติมเอนไซม์ทรานส์กลูตามิเนสทุกระดับไม่มีผลต่อเวลาในการต้มสุกและน้ำหนักที่ได้หลังการต้ม โดยบะหมี่เสริมสาหร่ายเกลียวทองผง

ที่เติมเอนไซม์ทรานส์กลูตามิเนสและไม่เติมเอนไซม์ทรานส์กลูตามิเนสใช้เวลาในการต้มสุก 4.0 นาที และน้ำหนักที่ได้หลังการต้มไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \geq 0.05$) โดยมีค่าอยู่ในช่วงร้อยละ 254.98-263.10

ตารางที่ 4-41 คุณภาพหลังการต้มของบะหมี่เสริมสาหร่ายเกลียวทองผงที่เติมเอนไซม์ทรานส์กลูตามิเนสในปริมาณต่าง ๆ

ปริมาณเอนไซม์ทรานส์กลูตามิเนส (ร้อยละโดยน้ำหนักแป้ง)	คุณภาพหลังการต้ม		
	เวลาที่เหมาะสมในการต้ม (นาที)	ปริมาณของแข็งที่สูญเสียระหว่างการต้ม (ร้อยละ)	น้ำหนักที่ได้หลังการต้ม (ร้อยละ)^{ns}
0	4.0	$8.64^{a} \pm 0.08$	254.98 ± 0.56
0.1	4.0	$8.48^{ab} \pm 0.18$	262.09 ± 1.22
0.3	4.0	$7.80^{bc} \pm 0.46$	256.77 ± 2.12
0.5	4.0	$7.35^{c} \pm 0.60$	263.10 ± 1.94

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

4.3 ผลการวิเคราะห์ลักษณะเนื้อสัมผัส

จากการวิเคราะห์ลักษณะเนื้อสัมผัสของบะหมี่กึ่งสำเร็จรูปแบบไม่ทอดเสริมสาหร่ายเกลียวทองผง เมื่อเติมเอนไซม์ทรานส์กลูตามิเนสในปริมาณต่าง ๆ ได้ผลดังตารางที่ 4-42 พบว่า เมื่อเติมเอนไซม์ทรานส์กลูตามิเนสเพิ่มขึ้น ค่าความต้านทานต่อการดึงขาด และค่าความแน่นเนื้อมีค่าเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) โดยค่าความต้านทานต่อการดึงขาดเพิ่มขึ้นจาก 9.99 เป็น 12.95 g_f ค่าความแน่นเนื้อเพิ่มขึ้นจาก 132.12 เป็น 161.41 g_f ในขณะที่ค่าการยึดเกาะที่ผิวหน้ามีค่าลดลงจาก 166.40 เป็น 149.80 $g_f.s$ ซึ่งสอดคล้องกับผลการศึกษาของ กุลยา ลิ้มรุ่งเรืองรัตน์ และอโนชา สุขสมบูรณ์ (2555) ที่ศึกษาผลของเอนไซม์ทรานส์กลูตามิเนสต่อคุณภาพของบะหมี่เสริมใบมะรุมผง พบว่า ค่าความต้านทานต่อการดึงขาด และค่าความแน่นเนื้อของบะหมี่ต้มสุกเพิ่มขึ้นเมื่อปริมาณเอนไซม์ทรานส์กลูตามิเนสเพิ่มขึ้น (ร้อยละ 0-0.3 โดยน้ำหนักแป้ง) และโครงสร้างของกลูเตนที่แข็งแรงนี้ทำให้สตาร์ชที่ผิวหน้าหลุดออกมาน้อยลงค่าการยึดเกาะที่ผิวหน้าจึงลดลง และสอดคล้องกับผลการวิเคราะห์คุณภาพหลังการต้มของบะหมี่เสริมสาหร่ายเกลียวทองผงที่พบว่า เมื่อเติมเอนไซม์ทรานส์กลูตามิเนสเพิ่มขึ้น ทำให้ปริมาณของแข็งที่สูญเสียระหว่างการต้มลดลง

ตารางที่ 4-42 ลักษณะเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์บะหมี่เสริมสาหร่ายเกลียวทองผงที่เติมเอนไซม์ทรานส์กลูตามิเนสในปริมาณต่าง ๆ

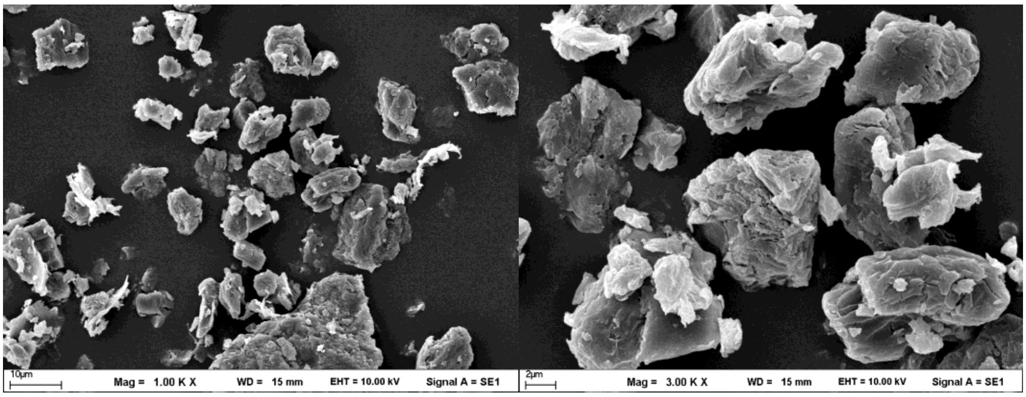
ปริมาณเอนไซม์ทรานส์กลูตามิเนส (ร้อยละโดยน้ำหนักแป้ง)	ลักษณะเนื้อสัมผัส		
	ค่าความต้านทานต่อการดึงขาด (g_f)	ค่าความแน่นเนื้อ (g_f)	ค่าการยึดเกาะที่ผิวหน้า (g_f.s)
0	$9.99^{c} \pm 0.20$	$132.12^{c} \pm 3.89$	$166.40^{a} \pm 1.61$
0.1	$11.14^{b} \pm 0.55$	$143.94^{b} \pm 1.26$	$162.27^{ab} \pm 1.65$
0.3	$12.95^{a} \pm 0.82$	$157.56^{a} \pm 0.33$	$158.30^{b} \pm 0.56$
0.5	$12.51^{a} \pm 0.41$	$161.41^{a} \pm 0.96$	$149.80^{c} \pm 0.82$

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

4.4 ผลการวิเคราะห์โครงสร้างระดับจุลภาคของบะหมี่ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning electron microscope, SEM)

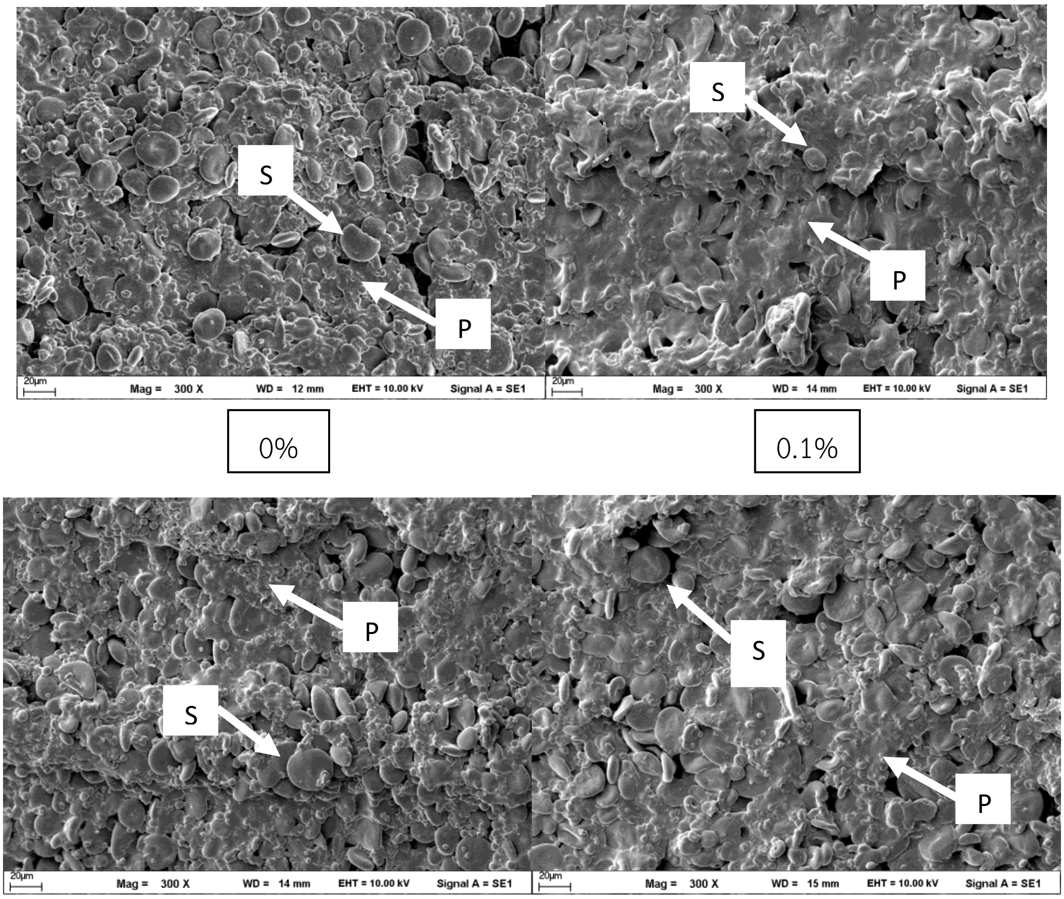
จากการวิเคราะห์ลักษณะและรูปร่างของสาหร่ายเกลียวทองผงด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) ที่กำลังขยาย 1000 และ 3000 เท่า แสดงดังภาพที่ 4-10 พบว่าสาหร่ายเกลียวทองผงมีลักษณะเกาะกันเป็นก้อน มีรูปร่างไม่สม่ำเสมอ มีขนาดอยู่ในช่วง 0.58-0.64 ไมครอน และมีขนาดเฉลี่ย 0.61 ไมครอน เนื่องจากสาหร่ายเกลียวทองที่นำมาวิเคราะห์เป็นชีวมวล (Biomass) ที่ผ่านกระบวนการทำแห้ง จึงมีลักษณะเกาะกันเป็นก้อนและมีรูปร่างไม่สม่ำเสมอ ซึ่งแตกต่างจากลักษณะรูปร่างของเซลล์สาหร่ายเกลียวทองที่มีรูปร่างเป็นเกลียว

ผลการวิเคราะห์โครงสร้างพื้นผิวระดับจุลภาคของเส้นบะหมี่เสริมสาหร่ายเกลียวทองผงที่เติมเอนไซม์ทรานส์กลูตามิเนสร้อยละ 0 0.1 0.3 และ 0.5 (โดยน้ำหนักแป้ง) ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) ที่กำลังขยาย 300 เท่า โดยวิเคราะห์แบบพื้นผิว (Surface) และแบบตัดขวาง (Cross section) แสดงดังภาพที่ 4-11 และ 4-12



1000X	3000X

ภาพที่ 4-10 ลักษณะและรูปร่างของสาหร่ายเกลียวทองผงที่กำลังขยาย 1000 และ 3000 เท่า



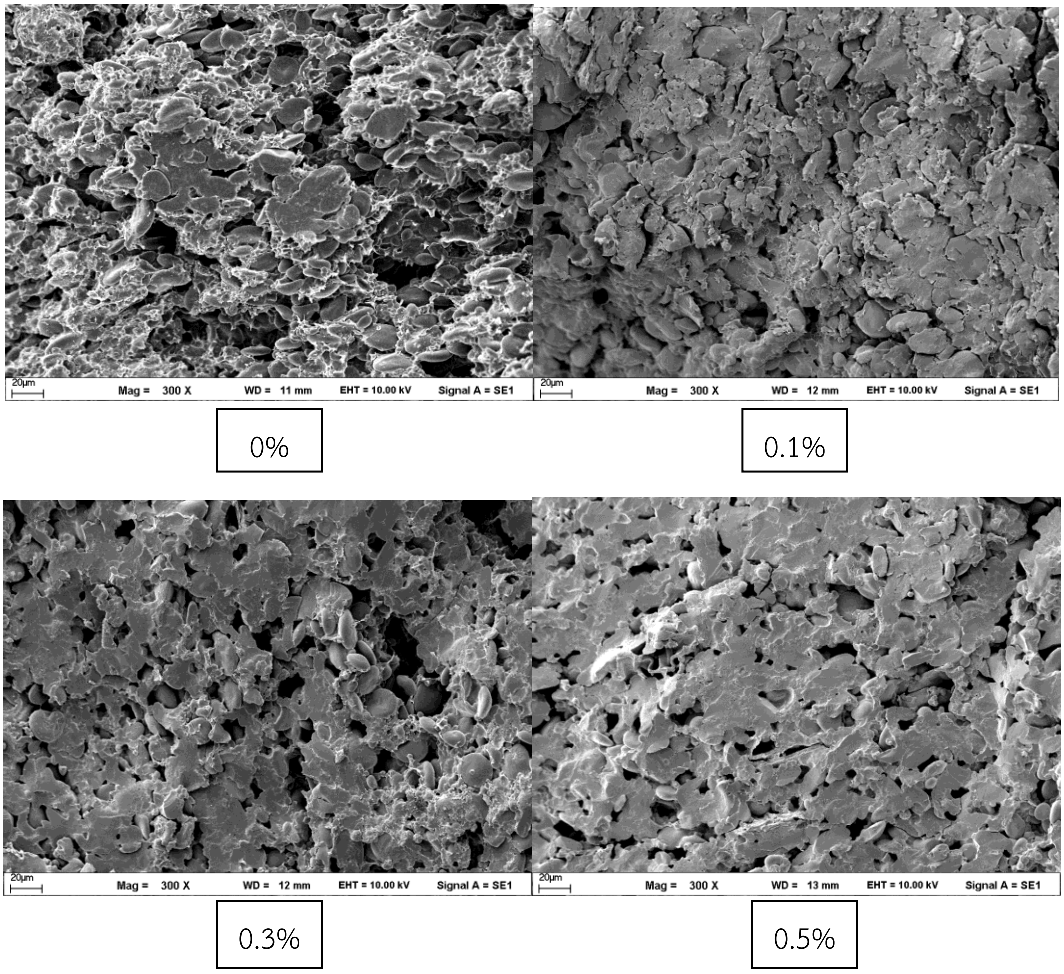
0.3%	0.5%

ภาพที่ 4-11 โครงสร้างพื้นผิวระดับจุลภาคของบะหมี่เสริมสาหร่ายเกลียวทองผงที่เติมเอนไซม์ทรานส์กลูตามิเนสปริมาณต่าง ๆ

*S คือ เม็ดสตาร์ช และ P คือ ร่างแหโปรตีน

จากการวิเคราะห์โครงสร้างพื้นผิวระดับจุลภาคของบะหมี่เสริมสาหร่ายเกลียวทองผงที่เติมเอนไซม์ทรานส์กลูตามิเนสปริมาณต่างๆ (ภาพที่ 4-11) พบว่า พื้นผิวของเส้นบะหมี่ดิบเสริมสาหร่ายเกลียวทองผงที่เติมเอนไซม์ทรานส์กลูตามิเนสปริมาณต่าง ๆ มีพื้นผิวขรุขระ ไม่เรียบเนียนและพบเม็ดแป้งกระจัดกระจายอยู่ตามพื้นผิวของเส้นบะหมี่ โดยโครงสร้างของบะหมี่ที่ได้แตกต่างจากการศึกษาของ Chewangkul et al. (2001) ที่พบว่าพื้นผิวของบะหมี่มีความเรียบเนียนและไม่พบเม็ดแป้งที่ผิวหน้า ทั้งนี้อาจเกิดจากขั้นตอนการผลิตบะหมี่ที่แตกต่างกัน โดยเฉพาะขั้นตอนการนึ่งบะหมี่ด้วยไอน้ำเพื่อทำให้เกิดพรีเจลาติไนซ์หรือเกิดเจล ซึ่งอาจใช้สภาวะในการผลิตที่แตกต่างกัน เช่น อุณหภูมิของไอน้ำ เวลาที่ใช้นึ่งบะหมี่ เป็นต้น โดย Chewangkul, Garnjanagoonchorn and Naivikul (2002) ได้ทำการศึกษาถึงเวลาที่ใช้ในกระบวนการนึ่งด้วยไอน้ำแบบอิ่มตัวต่อโครงสร้างระดับจุลภาคของบะหมี่กึ่งสำเร็จรูป โดยแปรเวลาในการนึ่งเป็น 0 1 และ 3 นาที พบว่า บะหมี่สดที่ผ่านการนึ่งด้วยอุโมงค์ไอน้ำแบบอิ่มตัวที่เวลา 3 นาที เมื่อนำมาส่องด้วย CLSM มีปริมาณเม็ดแป้งที่เกิดการพองตัวสูงกว่าและร่างแหโปรตีนมีความต่อเนื่องมากกว่าตัวอย่างอื่น จะเห็นได้ว่าการกระบวนการนึ่งมีผลต่อการพองตัวของเม็ดแป้ง เกิดเป็นโครงร่างแหของโปรตีนมีความต่อเนื่องและสามารถห่อหุ้มเม็ดแป้งเอาไว้ในโครงสร้างได้มากขึ้น ส่งผลให้พื้นผิวของเส้นบะหมี่มีความเรียบเนียน นอกจากนี้อาจเป็นผลมาจากการเติมเกลือฟอสเฟต (โมโนโซเดียมฟอสเฟต) ลงไปในส่วนผสมของบะหมี่ ซึ่งเกลือฟอสเฟตมีคุณสมบัติในการดูดซึมน้ำจึงอาจส่งผลให้เม็ดแป้งจับกับน้ำได้น้อยลง ทำให้เม็ดแป้งเกิดเจลได้น้อยเนื่องจากมีน้ำไม่เพียงพอในการดูดซึม อย่างไรก็ตามไม่สามารถสังเกตเห็นสาหร่ายเกลียวทองผงในโครงสร้างของบะหมี่ได้ อาจเนื่องจากสาหร่ายเกลียวทองผงมีขนาดเล็กมากจึงไปรวมกับร่างแหโปรตีนทำให้ไม่สามารถแยกความแตกต่างระหว่างสาหร่ายเกลียวทองผงในโครงสร้างของบะหมี่ได้

จากการวิเคราะห์โครงสร้างระดับจุลภาคของบะหมี่เสริมสาหร่ายเกลียวทองผงที่เติมเอนไซม์ทรานส์กลูตามิเนสร้อยละ 0 0.1 0.3 และ 0.5 (โดยน้ำหนักแป้ง) แบบตัดขวาง (ภาพที่ 4-12) พบว่า การเติมเอนไซม์ทรานส์กลูตามิเนสในปริมาณเพิ่มขึ้น ทำให้โครงสร้างของโปรตีนจับตัวกันอย่างหนาแน่นมากขึ้นและมีรูพรุนน้อยลง เนื่องจากการเติมเอนไซม์ทรานส์กลูตามิเนสช่วยทำให้โครงสร้างของโปรตีนแข็งแรงขึ้น (Alami & Leelarathi, 2008) และห่อหุ้มเม็ดสตาร์ชเอาไว้ภายในโครงสร้าง



ภาพที่ 4-12 โครงสร้างระดับจุลภาคแบบตัดขวางของบะหมี่เสริมสาหร่ายเกลียวทองผงที่เติมเอนไซม์ทรานส์กลูตามิเนสปริมาณต่าง ๆ

4.5 ผลการทดสอบทางประสาทสัมผัส

จากการทดสอบทางประสาทสัมผัสของบะหมี่กึ่งสำเร็จรูปแบบไม่ทอดเสริมสาหร่ายเกลียวทองผง เมื่อเติมเอนไซม์ทรานส์กลูตามิเนสในปริมาณต่าง ๆ โดยใช้ scoring test ได้ผลดังตารางที่ 4-43 และการทดสอบทางด้านประสาทสัมผัสโดยใช้ 9-point hedonic scale ได้ผลดังตารางที่ 4-44

จากผลการทดสอบคุณภาพทางประสาทสัมผัสแบบ Scoring Test พบว่า บะหมี่เสริมสาหร่ายเกลียวทองผงที่เติมเอนไซม์ทรานส์กลูตามิเนสปริมาณต่าง ๆ มีคะแนนความเข้มด้านสีเขียวและกลิ่นรสสาหร่ายไม่แตกต่างกัน ($p \geq 0.05$) แสดงว่า เอนไซม์ทรานส์กลูตามิเนสไม่มีผลต่อสีและกลิ่นรสของบะหมี่ ส่วนคะแนนด้านความแน่นเนื้อ ความเหนียว และการเกาะติดกันมีค่าที่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) ซึ่งสอดคล้องกับผลการวิเคราะห์ลักษณะเนื้อสัมผัส โดยบะหมี่เสริมสาหร่ายเกลียวทองผงที่เติมเอนไซม์ทรานส์กลูตามิเนสในปริมาณที่สูงขึ้น มีค่าความแน่นเนื้อและความเหนียวมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น ในขณะที่การเกาะติดกันมีค่าลดลง (ตารางที่ 4-42) โดยมีคะแนนด้านความ

แน่นเนื้อ ความเหนียว และการเกาะติดกันในช่วง 2.42-4.17, 2.17–3.85 และ 2.76–3.83 คะแนนตามลำดับ

ตารางที่ 4-43 คะแนนการทดสอบทางประสาทสัมผัสของบะหมี่เสริมสาหร่ายเกลียวทองผงที่เติมเอนไซม์ทรานส์กลูตามิเนสในปริมาณต่าง ๆ โดยใช้วิธี scoring test

ปริมาณเอนไซม์ทรานส์กลูตามิเนส (ร้อยละโดยน้ำหนักแป้ง)	คะแนนการทดสอบทางประสาทสัมผัส				
	สีเขียว^{ns}	กลิ่นรสสาหร่าย^{ns}	ความแน่นเนื้อ	ความเหนียว	การเกาะติดกัน
0	3.17 ± 0.84	2.83 ± 0.84	2.42^{c} ± 0.79	2.17^{c} ± 0.54	3.83^{a} ± 0.84
0.1	3.75 ± 1.05	2.58 ± 0.79	3.08^{b} ± 0.67	2.83^{b} ± 0.81	3.50^{a} ± 0.52
0.3	3.25 ± 0.87	2.58 ± 0.43	4.16^{a} ± 0.58	4.08^{a} ± 0.36	2.83^{b} ± 0.38
0.5	3.58 ± 0.67	3.00 ± 0.74	4.17^{a} ± 0.72	3.85^{a} ± 0.47	2.76^{b} ± 0.45

$^{a,b,c...}$หมายถึง ตัวเลขที่มีตัวอักษรกำกับแตกต่างกันตามแนวตั้งมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)
^{ns}หมายถึง ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\geq0.05$)
เกณฑ์การให้คะแนน : 5=มากที่สุด, 4=มาก, 3=ปานกลาง, 2=น้อย, 1=น้อยที่สุด

ตารางที่ 4-44 คะแนนการทดสอบทางประสาทสัมผัสของบะหมี่เสริมสาหร่ายเกลียวทองผงที่เติมเอนไซม์ทรานส์กลูตามิเนสในปริมาณต่าง ๆ โดยใช้วิธี 9-point hedonic scale

ปริมาณเอนไซม์ทรานส์กลูตามิเนส (ร้อยละโดยน้ำหนักแป้ง)	คะแนนการทดสอบทางประสาทสัมผัส				
	สี^{ns}	กลิ่น^{ns}	รสชาติ^{ns}	เนื้อสัมผัส	ความชอบโดยรวม
0	6.63 ± 1.35	6.03 ± 1.40	6.50 ± 1.23	6.90^{c} ± 1.13	6.60^{b} ± 1.16
0.1	6.73 ± 1.47	6.10 ± 0.87	6.80 ± 1.56	7.03^{ab} ± 1.10	6.77^{b} ± 0.90
0.3	6.60 ± 1.54	6.33 ± 0.79	6.80 ± 1.13	7.10^{ab} ± 0.92	7.00^{ab} ± 1.02
0.5	6.80 ± 1.47	6.15 ± 0.71	6.83 ± 1.29	7.47^{a} ± 0.97	7.30^{a} ± 1.12

^{a,b,c} หมายถึง ตัวเลขที่มีตัวอักษรกำกับแตกต่างกันตามแนวตั้งมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)
^{ns} หมายถึง ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\geq0.05$)

จากผลการทดสอบทางประสาทสัมผัสด้วยวิธี 9-point hedonic scale พบว่า บะหมี่เสริมสาหร่ายเกลียวทองผงเมื่อเติมเอนไซม์ทรานส์กลูตามิเนสในปริมาณต่าง ๆ มีคะแนนความชอบด้านสี กลิ่น และรสชาติ ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \geq 0.05$) แสดงว่า เอนไซม์ทรานส์กลูตามิเนสไม่มีผลต่อสี กลิ่น และรสชาติของบะหมี่ ส่วนคะแนนความชอบด้านเนื้อสัมผัสและความชอบโดยรวม มีคะแนนที่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) โดยมีคะแนนด้านเนื้อสัมผัสอยู่ในช่วง 6.90–7.47 และคะแนนความชอบโดยรวมอยู่ในช่วง 6.60–7.30

เมื่อพิจารณาจากผลการทดสอบทางประสาทสัมผัส ด้านคะแนนความชอบโดยรวม และผลการวัดลักษณะเนื้อสัมผัส พบว่า บะหมี่เสริมสาหร่ายเกลียวทองผงที่เติมเอนไซม์ทรานส์กลูตามิเนสร้อยละ 0.3 และ 0.5 (โดยน้ำหนักแป้ง) ได้คะแนนความชอบโดยรวมสูงสุด และมีค่าความต้านทานต่อการดึงขาดและความแน่นเนื้อสูงสุด นอกจากนี้ยังมีปริมาณของแข็งที่สูญเสียระหว่างการต้มน้อยสุด ซึ่งเป็นคุณลักษณะที่ต้องการของบะหมี่กึ่งสำเร็จรูป ดังนั้นจึงเลือกบะหมี่กึ่งสำเร็จรูปแบบไม่ทอดเสริมสาหร่ายเกลียวทองผงที่เติมเอนไซม์ทรานส์กลูตามิเนสปริมาณร้อยละ 0.3 (โดยน้ำหนักแป้ง) ซึ่งใช้เอนไซม์ทรานส์กลูตามิเนสในปริมาณที่น้อยกว่าและผลการทดลองที่ได้ไม่แตกต่างกัน นำไปเปรียบเทียบกับบะหมี่กึ่งสำเร็จรูปแบบไม่ทอดทางการค้า

<u>ตอนที่ 3</u> เปรียบเทียบคุณภาพทางเคมี กายภาพ และลักษณะทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์บะหมี่กึ่งสำเร็จรูปแบบไม่ทอดเสริมสาหร่ายผักกาดทะเลผงและสาหร่ายเกลียวทองผงกับผลิตภัณฑ์บะหมี่ทางการค้า

จากการวิเคราะห์คุณภาพของบะหมี่กึ่งสำเร็จรูปแบบไม่ทอดเสริมสาหร่ายเกลียวทองผงร้อยละ 1.5 (โดยน้ำหนักแป้ง) ที่เติมเอนไซม์ทรานส์กลูตามิเนสร้อยละ 0.3 (โดยน้ำหนักแป้ง) ที่เลือกได้จากการทดลองตอนที่ 1 และบะหมี่กึ่งสำเร็จรูปแบบไม่ทอดเสริมสาหร่ายผักกาดทะเลผงร้อยละ 4 (โดยน้ำหนักแป้ง) ที่เติมเอนไซม์ทรานส์กลูตามิเนสร้อยละ 0.3 (โดยน้ำหนักแป้ง) ที่เลือกได้จากการทดลองตอนที่ 2 โดยเปรียบเทียบกับบะหมี่กึ่งสำเร็จรูปแบบไม่ทอดทางการค้าที่เสริมสาหร่ายเกลียวทอง และบะหมี่กึ่งสำเร็จรูปแบบไม่ทอดทางการค้าที่ไม่เสริมสาหร่าย ได้ผลการวิเคราะห์ดังนี้

1. ผลการวิเคราะห์คุณภาพหลังการต้ม

จากการวิเคราะห์คุณภาพหลังการต้มของบะหมี่เสริมสาหร่ายเกลียวทองผง บะหมี่เสริมสาหร่ายผักกาดทะเลผง บะหมี่ทางการค้าที่เสริมสาหร่าย และบะหมี่ทางการค้าที่ไม่เสริมสาหร่าย ได้ผลดังตารางที่ 4-45 พบว่า บะหมี่ทุกตัวอย่างใช้เวลาที่เหมาะสมในการต้มเท่ากัน (4 นาที) และน้ำหนักที่ได้หลังการต้มไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \geq 0.05$) แต่มีปริมาณของแข็งที่สูญเสียระหว่างการต้มแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) โดยมีปริมาณของแข็งที่สูญเสียในระหว่างการต้มอยู่ในช่วงร้อยละ 6.50-8.28 โดยบะหมี่ทางการค้าที่ไม่เสริมสาหร่ายมีปริมาณของแข็งที่สูญเสียระหว่างการต้มต่ำกว่าตัวอย่างอื่นๆ

ตารางที่ 4-45 คุณภาพหลังการต้มของบะหมี่เสริมสาหร่ายและบะหมี่ทางการค้า

ตัวอย่างบะหมี่	คุณภาพหลังการต้ม		
	เวลาที่เหมาะสมในการต้ม (นาที)	ปริมาณของแข็งที่สูญเสียระหว่างการต้ม (ร้อยละ)	น้ำหนักที่ได้หลังการต้ม[ns] (ร้อยละ)
บะหมี่เสริมสาหร่ายเกลียวทองผง	4	$7.80^{b} \pm 0.46$	256.77 ± 2.12
บะหมี่เสริมสาหร่ายผักกาดทะเลผง	4	$8.28^{a} \pm 0.06$	255.82 ± 1.56
บะหมี่ทางการค้าเสริมสาหร่าย	4	$7.79^{b} \pm 0.01$	258.64 ± 2.00
บะหมี่ทางการค้าที่ไม่เสริมสาหร่าย	4	$6.50^{c} \pm 0.08$	259.97 ± 0.43

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

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

2. ผลการวิเคราะห์ลักษณะเนื้อสัมผัส

จากการวิเคราะห์ลักษณะเนื้อสัมผัสของคุณภาพหลังการต้มของบะหมี่เสริมสาหร่ายเกลียว

ทองผงและสาหร่ายผักกาดทะเลผง เปรียบเทียบกับบะหมี่ทางการค้าที่เสริมและไม่เสริมสาหร่าย ได้ผลดังตารางที่ 4-46 พบว่า ตัวอย่างบะหมี่ทั้ง 4 ชนิด มีค่าความต้านทานต่อการดึงขาด ค่าความแน่นเนื้อและค่าการยึดเกาะที่ผิวหน้าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) โดยบะหมี่เสริมสาหร่ายทั้ง 2 ชนิด มีค่าความต้านทานต่อการดึงขาด ค่าความแน่นเนื้อมากกว่าบะหมี่ทางการค้าทั้งที่เสริมและไม่เสริมสาหร่าย อาจเป็นผลมาจากการเติมเอนไซม์ทรานส์กลูตามิเนสในสูตรบะหมี่เสริมสาหร่ายทั้ง 2 ชนิด ทำให้เกิดการเชื่อมโยงสายโปรตีนและเกิดเป็นโครงสร้างบะหมี่ที่แข็งแรงขึ้น นอกจากนี้ยังมีค่าการยึดเกาะที่ผิวหน้าใกล้เคียงกับบะหมี่ทางการค้าทั้งสองตัวอย่าง

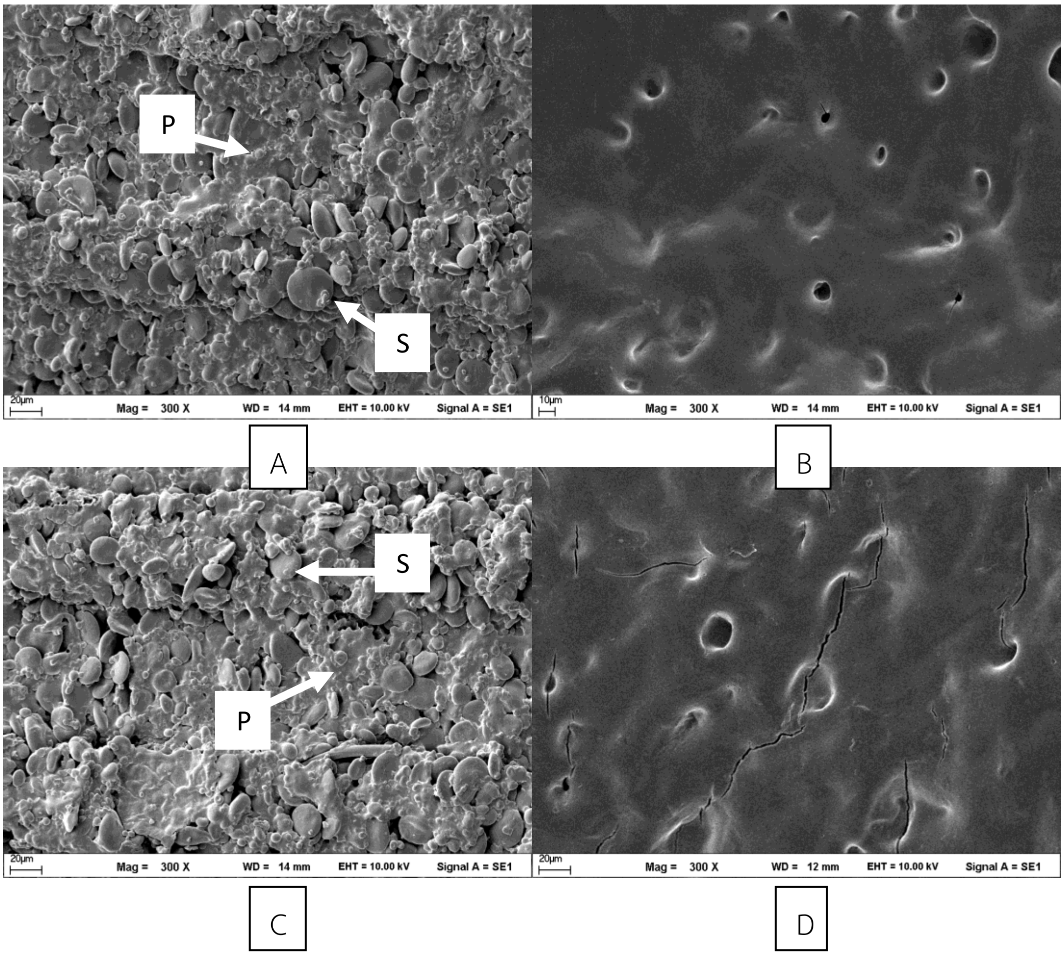
ตารางที่ 4-46 ลักษณะเนื้อสัมผัสของบะหมี่เสริมสาหร่ายและบะหมี่ทางการค้า

ตัวอย่างบะหมี่	ลักษณะเนื้อสัมผัส		
	ค่าความต้านทานต่อการดึงขาด (g_f)	ค่าความแน่นเนื้อ (g_f)	ค่าการยึดเกาะที่ผิวหน้า (g_f.s)
บะหมี่เสริมสาหร่ายเกลียวทองผง	$12.95^{ab} \pm 0.82$	$157.56^{ab} \pm 0.33$	$158.30^{a} \pm 0.56$
บะหมี่เสริมสาหร่ายผักกาดทะเลผง	$13.31^{a} \pm 0.97$	$162.64^{ab} \pm 1.22$	$144.69^{b} \pm 0.72$
บะหมี่ทางการค้าเสริมสาหร่าย	$11.60^{c} \pm 0.32$	$154.86^{b} \pm 0.74$	$152.14^{a} \pm 0.95$
บะหมี่ทางการค้าที่ไม่เสริมสาหร่าย	$12.13^{bc} \pm 0.54$	$164.36^{a} \pm 0.72$	$154.53^{a} \pm 0.58$

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

3. ผลการวิเคราะห์โครงสร้างระดับจุลภาคของบะหมี่ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning electron microscope, SEM)

จากการวิเคราะห์โครงสร้างพื้นผิวระดับจุลภาคของเส้นบะหมี่กึ่งสำเร็จรูปก่อนต้มในตัวอย่างบะหมี่เสริมสาหร่ายเกลียวทองผง บะหมี่เสริมสาหร่ายผักกาดทะเลผง บะหมี่ทางการค้าที่เสริมสาหร่าย และบะหมี่ทางการค้าที่ไม่เสริมสาหร่ายด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) ที่กำลังขยาย 300 X ได้ผลแสดงดังภาพที่ 4-13 พบว่า บะหมี่เสริมสาหร่ายเสริมสาหร่ายทั้งสองชนิดมีโครงสร้างของโปรตีนที่รวมตัวกันอย่างหนาแน่นและพบเม็ดสตาร์ชที่ยังเกิดเจลาติไนซ์ไม่สมบูรณ์ และเม็ดสตาร์ชที่มีการพองตัว รวมทั้งมีลักษณะของพื้นผิวที่ไม่เรียบและมีรูพรุนน้อย ในขณะที่บะหมี่ทางการค้ามีลักษณะพื้นผิวที่มีความเรียบเนียนและมีรูพรุนมากกว่า ซึ่งอาจเป็นผลมาจากส่วนผสมที่ใช้ในสูตรบะหมี่และกระบวนการผลิตตั้งแต่ขั้นการผสม การนึ่ง และการทำแห้งที่แตกต่างกัน อย่างไรก็ตาม ผลการวิเคราะห์คุณภาพหลังการต้มของบะหมี่เสริมสาหร่ายทั้งสองชนิด พบว่ามีคุณภาพใกล้เคียงกับบะหมี่ทางการค้า



ภาพที่ 4-13 โครงสร้างพื้นผิวระดับจุลภาคของบะหมี่เสริมสาหร่ายและบะหมี่ทางการค้า
(A) บะหมี่เสริมสาหร่ายเกลียวทองผง (B) บะหมี่ทางการค้าเสริมสาหร่าย (C) บะหมี่เสริมสาหร่ายผักกาดทะเลผง (D) บะหมี่ทางการค้าที่ไม่เติมสาหร่าย เมื่อใช้กำลังขยาย 300 X โดยที่ S คือ เม็ดสตาร์ช และ P คือ ร่างแหโปรตีน

4. ผลทดสอบทางด้านประสาทสัมผัส

จากทดสอบทางประสาทสัมผัสของบะหมี่เสริมสาหร่ายเกลียวทองผง บะหมี่เสริมสาหร่ายผักกาดทะเลผง บะหมี่ทางการค้าที่เสริมสาหร่าย และบะหมี่ทางการค้าที่ไม่เสริมสาหร่ายที่ผ่านการต้มสุกโดยใช้วิธี scoring test ได้ผลดังตารางที่ 4-47 และการทดสอบทางประสาทสัมผัสโดยใช้วิธี 9-point hedonic scale ได้ผลดังตารางที่ 4-48

ตารางที่ 4-47 คะแนนการทดสอบทางประสาทสัมผัสของบะหมี่เสริมสาหร่ายและบะหมี่ทางการค้า โดยใช้วิธี scoring test

ตัวอย่างบะหมี่	คะแนนการทดสอบทางประสาทสัมผัส				
	สีเขียว	กลิ่นรสสาหร่าย	ความแน่นเนื้อ	ความเหนียว	การเกาะติดกัน
บะหมี่เสริมสาหร่ายเกลียวทองผง	$3.35^{b} \pm 0.69$	$2.83^{b} \pm 0.61$	$4.03^{c} \pm 0.25$	$4.02^{b} \pm 0.24$	$2.66^{c} \pm 0.51$
บะหมี่เสริมสาหร่ายผักกาดทะเลผง	$3.87^{a} \pm 0.48$	$3.21^{a} \pm 0.53$	$4.25^{b} \pm 0.13$	$4.14^{a} \pm 0.37$	$2.21^{d} \pm 0.11$
บะหมี่ทางการค้าเสริมสาหร่าย	$1.92^{c} \pm 0.87$	$2.25^{c} \pm 0.67$	$3.85^{d} \pm 0.58$	$3.77^{d} \pm 0.67$	$2.89^{a} \pm 0.35$
บะหมี่ทางการค้าที่ไม่เสริมสาหร่าย	$1.00^{d} \pm 0.00$	$1.00^{d} \pm 0.00$	$4.50^{a} \pm 0.52$	$3.92^{c} \pm 0.45$	$2.73^{b} \pm 0.49$

$^{a,b,c,...}$หมายถึง ตัวเลขที่มีอักษรกำกับแตกต่างกันตามแนวตั้งมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p<0.05)
เกณฑ์การให้คะแนน : 5=มากที่สุด, 4=มาก, 3=ปานกลาง, 2=น้อย, 1=น้อยที่สุด

จากผลการทดสอบทางประสาทสัมผัสโดยใช้วิธี scoring test พบว่า บะหมี่เสริมสาหร่ายและบะหมี่ทางการค้ามีคะแนนความเข้มในด้านสีเขียว กลิ่นรสสาหร่าย ความแน่นเนื้อ ความเหนียว และ การเกาะติดกันสูงแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p<0.05) โดยบะหมี่เสริมสาหร่ายเกลียวทองผงและบะหมี่เสริมสาหร่ายผักกาดทะเลผงได้คะแนนด้านสีเขียว (3.35-3.38 คะแนน) และคะแนนด้านกลิ่นรสสาหร่าย (2.83-3.21 คะแนน) แสดงว่าบะหมี่เสริมสาหร่ายทั้งสองชนิดมีความเข้มในด้านสีเขียวและกลิ่นรสสาหร่ายในระดับปานกลาง ซึ่งอาจเป็นผลมากจากบะหมี่เสริมสาหร่ายในงานวิจัยนี้มีการเติมสาหร่ายเกลียวทองผงร้อยละ 1.5 (โดยน้ำหนักแป้ง) และสาหร่ายผักกาดทะเลผงร้อยละ 4 (โดยน้ำหนักแป้ง) ซึ่งมีปริมาณสาหร่ายที่เติมสูงกว่าบะหมี่ทางการค้าที่เติมสาหร่ายเกลียวทองร้อยละ 0.45 (โดยน้ำหนักแป้ง) ในขณะที่บะหมี่ทางการค้าที่ไม่เสริมสาหร่ายมีคะแนนความเข้มในด้านสีเขียวและกลิ่นรสสาหร่ายน้อยที่สุด (1.00) ซึ่งพบว่าบะหมี่ทางการค้าที่ไม่เสริมสาหร่ายมีสีเหลืองและไม่มีกลิ่นรสสาหร่ายซึ่งเป็นลักษณะของบะหมี่ที่ทำจากแป้งสาลีล้วน

ในด้านความแน่นเนื้อและความเหนียว พบว่า บะหมี่เสริมสาหร่ายทั้งสองชนิดได้คะแนนความแน่นเนื้อและความเหนียวสูงกว่าบะหมี่ทางการค้าเสริมสาหร่าย แต่มีคะแนนความแน่นเนื้อต่ำกว่าบะหมี่ทางการค้าที่ไม่เสริมสาหร่าย ซึ่งอาจเป็นผลมาจากการเติมสาหร่ายทำให้ปริมาณแป้งในสูตรลดลงและมีผลทำให้โปรตีนกลูเตนที่ให้โครงสร้างแก่บะหมี่มีปริมาณลดลง บะหมี่ที่เติมสาหร่ายจึงมีคะแนนด้านความแน่นเนื้อต่ำกว่าบะหมี่ที่ไม่เติมสาหร่าย อย่างไรก็ตามบะหมี่เสริมสาหร่ายเกลียวทองผงและบะหมี่เสริมสาหร่ายผักกาดทะเลผงในงานวิจัยนี้ได้เติมเอนไซม์ทรานส์กลูตามิเนสเพื่อช่วย

ปรับปรุงลักษณะเนื้อสัมผัส โดยการเชื่อมสายของโปรตีนระหว่างกรดอะมิโนกลูตามีนในสายเปปไทด์กับสารประกอบเอมีนของไลซีนเกิดพันธะ ε - (γ - glutamyl) lysine ทำให้บะหมี่มีโครงสร้างที่แข็งแรงขึ้น (Bellido & Hatcher, 2011) จึงทำให้มีคะแนนด้านความแน่นเนื้อและความเหนียวสูงกว่าบะหมี่ทางการค้าเสริมสาหร่าย

ส่วนในด้านการเกาะติดกัน พบว่า บะหมี่เสริมสาหร่ายทั้งสองชนิดให้คะแนนด้านการเกาะติดกันต่ำกว่าบะหมี่ทางการค้า แสดงว่า บะหมี่เสริมสาหร่ายทั้งสองชนิดมีการเกาะติดกันต่ำกว่าบะหมี่ทางการค้า ซึ่งอาจเป็นผลมาจากกระบวนการผลิตที่แตกต่างกัน ทำให้ลักษณะพื้นผิวของบะหมี่มีเม็ดแป้งที่เกิดเจลน้อยกว่าบะหมี่ทางการค้าจึงมีการเกาะติดกันน้อยกว่า ซึ่งมีผลการทดลองสอดคล้องกับการวิเคราะห์โครงสร้างพื้นผิวระดับจุลภาคของบะหมี่

จากผลการทดสอบทางประสาทสัมผัสโดยใช้วิธี 9-point hedonic scale (ตารางที่ 4-48) พบว่า บะหมี่เสริมสาหร่ายและบะหมี่ทางการค้ามีคะแนนความชอบในด้านสี กลิ่น รสชาติ เนื้อสัมผัส และความชอบโดยรวมแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) โดยบะหมี่เสริมสาหร่ายได้คะแนนความชอบโดยรวมสูงกว่าบะหมี่ทางการค้า แต่อย่างไรก็ตาม บะหมี่ทุกตัวอย่างได้คะแนนความชอบโดยรวมอยู่ในช่วง 7.22–7.53 คะแนน แสดงถึง ระดับความชอบปานกลาง ส่วนคะแนนความชอบด้านอื่น ๆ พบว่า คะแนนความชอบด้านสีอยู่ในระดับความชอบเล็กน้อยถึงปานกลาง (5.97–7.00 คะแนน) คะแนนความชอบด้านกลิ่น รสชาติ และเนื้อสัมผัสอยู่ในระดับความชอบปานกลาง โดยมีคะแนนในช่วง 6.89–7.45 คะแนน 7.04–7.35 คะแนน และ 7.35–7.65 คะแนน ตามลำดับ

ตาราง 4-48 คะแนนการทดสอบทางประสาทสัมผัสของบะหมี่เสริมสาหร่ายและบะหมี่ทางการค้า โดยใช้วิธี 9-point hedonic scale

ตัวอย่างบะหมี่	คะแนนการทดสอบทางประสาทสัมผัส				
	สี	กลิ่น	รสชาติ	เนื้อสัมผัส	ความชอบโดยรวม
บะหมี่เสริมสาหร่ายเกลียวทองผง	$6.60^{b} \pm 0.54$	$7.11^{c} \pm 0.16$	$7.28^{b} \pm 0.52$	$7.55^{b} \pm 0.65$	$7.38^{b} \pm 0.58$
บะหมี่เสริมสาหร่ายผักกาดทะเลผง	$7.00^{a} \pm 0.31$	$6.89^{d} \pm 0.54$	$7.35^{a} \pm 0.35$	$7.65^{a} \pm 0.21$	$7.53^{a} \pm 0.63$
บะหมี่ทางการค้าเสริมสาหร่าย	$6.03^{c} \pm 0.89$	$7.26^{b} \pm 0.83$	$7.13^{c} \pm 0.66$	$7.35^{d} \pm 0.76$	$7.22^{d} \pm 0.68$
บะหมี่ทางการค้าที่ไม่เสริมสาหร่าย	$5.97^{d} \pm 0.76$	$7.45^{a} \pm 0.91$	$7.04^{d} \pm 0.87$	$7.48^{c} \pm 0.27$	$7.36^{c} \pm 0.89$

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

5. ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี

ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของบะหมี่กึ่งสำเร็จรูปแบบไม่ทอดเสริมสาหร่ายผักกาดทะเลผงและสาหร่ายเกลียวทองผง เปรียบเทียบกับผลิตภัณฑ์บะหมี่กึ่งสำเร็จรูปทางการค้าเสริมสาหร่ายเกลียวทองและไม่เสริมสาหร่ายแสดงดังตารางที่ 4-49 ผลการวิเคราะห์ชนิดและปริมาณของกรดอะมิโนในบะหมี่กึ่งสำเร็จรูปแบบไม่ทอดเสริมสาหร่ายแสดงดังตารางที่ 4-50 และผลการวิเคราะห์ชนิดและปริมาณของกรดไขมันในบะหมี่กึ่งสำเร็จรูปแบบไม่ทอดเสริมสาหร่ายแสดงดังตารางที่ 4-51

จากการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี พบว่าบะหมี่กึ่งสำเร็จรูปแบบไม่ทอดเสริมสาหร่ายผักกาดทะเลผงและสาหร่ายเกลียวทองผงมีปริมาณ โปรตีน เถ้า ไขมัน แคลเซียม และไอโอดีน สูงกว่าบะหมี่ทางการค้าที่ไม่เติมและเติมสาหร่ายเกลียวทองผง รวมทั้งยังประกอบด้วยสารประกอบฟีนอลิก เบต้า-แคโรทีน และความสามารถในการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระ นอกจากนี้บะหมี่ที่เสริมสาหร่ายผักกาดทะเลผงมีปริมาณใยอาหารรวมสูงที่สุด และมีปริมาณคาร์โบไฮเดรตต่ำที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับบะหมี่ตัวอย่างอื่นๆ

จากผลการวิเคราะห์ชนิดและปริมาณของกรดอะมิโนในบะหมี่กึ่งสำเร็จรูปแบบไม่ทอดเสริมสาหร่าย (ตารางที่ 4-50) พบว่า บะหมี่ที่เสริมสาหร่ายทั้งสองชนิดประกอบด้วยกรดอะมิโนทั้งชนิดที่จำเป็นและชนิดที่ไม่จำเป็น โดยกรดอะมิโนชนิดที่มีปริมาณสูงในบะหมี่เสริมสาหร่ายผักกาดทะเลผง คือ กรดกลูตามิก (74.57 มิลลิกรัม/กรัม) และลิวซีน (14.62 มิลลิกรัม/กรัม) ซึ่งสอดคล้องกับผลการวิเคราะห์ปริมาณของกรดอะมิโนในสาหร่ายผักกาดทะเลผงที่พบว่ากรดอะมิโนชนิดที่มีปริมาณสูงได้แก่ กรดแอสปาติก (31.29 มิลลิกรัม/กรัม) กรดกลูตามิก (27.03 มิลลิกรัม/กรัม) อะลานีน (20.23 มิลลิกรัม/กรัม) และลิวซีน (14.13 มิลลิกรัม/กรัม) นอกจากนี้ยังพบว่ากรดอะมิโนชนิดที่มีปริมาณสูงในบะหมี่เสริมสาหร่ายเกลียวทองผงเป็นชนิดเดียวกับที่พบในบะหมี่เสริมสาหร่ายผักกาดทะเลผง คือ กรดกลูตามิก (70.26 มิลลิกรัม/กรัม) และลิวซีน (13.88 มิลลิกรัม/กรัม) ซึ่งสอดคล้องกับผลการวิเคราะห์ปริมาณของกรดอะมิโนในสาหร่ายเกลียวทองผงที่พบว่ากรดอะมิโนชนิดที่มีปริมาณสูง ได้แก่ กรดกรดกลูตามิก (84.71 มิลลิกรัม/กรัม) กรดแอสปาติก (63.28 มิลลิกรัม/กรัม) และลิวซีน (61.65 มิลลิกรัม/กรัม)

จากผลการวิเคราะห์ชนิดและปริมาณกรดไขมันในบะหมี่กึ่งสำเร็จรูปแบบไม่ทอดเสริมสาหร่าย (ตารางที่ 4-51) พบว่า บะหมี่กึ่งสำเร็จรูปเสริมสาหร่ายผักกาดทะเลผงประกอบด้วยกรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัวร้อยละ 15.16 (0.059มิลลิกรัม/กรัม) ของกรดไขมันทั้งหมด โดยประกอบด้วยกรดไขมันไม่อิ่มตัวประเภท Monounsaturated fatty acid (MUFA) ร้อยละ 12.01 (0.047 มิลลิกรัม/กรัม) และกรดไขมันไม่อิ่มตัวประเภท Polyunsaturated fatty acid (PUFA) ร้อยละ 3.15 (0.012 มิลลิกรัม/กรัม) กรดไขมันไม่อิ่มตัว Omega-3 ร้อยละ 2.81 (0.011 มิลลิกรัม/กรัม) และ Omega-6 ร้อยละ 0.34 (0.001 มิลลิกรัม/กรัม) ส่วนบะหมี่กึ่งสำเร็จรูปที่เสริมสาหร่ายเกลียวทองผงประกอบด้วยกรดไขมันประเภทกรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัวร้อยละ 25.56 (0.069 มิลลิกรัม/กรัม) ของกรดไขมันทั้งหมด โดยประกอบด้วยกรดไขมันไม่อิ่มตัวประเภท Monounsaturated fatty acid (MUFA) ร้อยละ 17.86 (0.477 มิลลิกรัม/กรัม) และกรดไขมันไม่อิ่มตัวประเภท Polyunsaturated fatty acid (PUFA) ร้อยละ 7.70 (0.021 มิลลิกรัม/กรัม) กรดไขมันไม่อิ่มตัว Omega-3 ร้อยละ 4.79 (0.013 มิลลิกรัม/กรัม) และ Omega-6 ร้อยละ 2.91 (0.008 มิลลิกรัม/กรัม)

ดังนั้นการเติมสาหร่ายผักกาดทะเลผงและสาหร่ายเกลียวทองผงที่อุดมไปด้วยสารอาหารหลายชนิดในบะหมี่กึ่งสำเร็จรูปแบบไม่ทอดจึงช่วยเพิ่มคุณค่าทางโภชนาการของผลิตภัณฑ์ได้

ตารางที่ 4-49 องค์ประกอบทางเคมีของบะหมี่กึ่งสำเร็จรูปแบบไม่ทอดเสริมสาหร่ายและบะหมี่ทางการค้า

องค์ประกอบทางเคมี	ค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน			
	บะหมี่เสริมสาหร่ายผักกาดทะเลผง	บะหมี่เสริมสาหร่ายเกลียวทองผง	บะหมี่ทางการค้าที่ไม่เสริมสาหร่าย	บะหมี่ทางการค้าเสริมสาหร่ายเกลียวทองผง
ความชื้น (%)	10.92 ± 0.01	8.68 ± 0.18	12.24 ± 0.05	7.14 ± 0.67
โปรตีน (% db)	12.84 ± 0.25	13.02 ± 0.11	10.72 ± 0.34	11.40 ± 0.11
เถ้า (% db)	4.95 ± 0.01	4.70 ± 1.27	2.29 ± 0.05	3.24 ± 1.48
ไขมัน (% db)	0.17 ± 0.01	0.15 ± 0.05	0.04 ± 0.02	0.10 ± 0.02
ใยอาหารรวม (% db)	5.10 ± 0.47	nd	1.74 ± 0.37	nd
คาร์โบไฮเดรต (% db)	66.02 ± 0.25	82.16 ± 1.36	72.97 ± 0.83	85.26 ± 1.59
สารประกอบฟีนอลิก (g/100g)	7.90 ± 0.35	9.30 ± 0.36	4.11 ± 0.39	7.01 ± 0.38
ความสามารถในการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระ (%)	0.80 ± 0.02	1.60 ± 0.00	0.34 ± 0.00	0.34 ± 0.03
แคลเซียม (mg/100 g)	3.00 ± 0.00	5.50± 0.71	1.50 ± 0.00	2.50 ± 0.00
ไอโอดีน (mg/100 g)	12.04 ± 0.05	5.88 ± 0.00	2.76 ± 0.01	4.33 ± 0.01
โซเดียมคลอไรด์ (g/100 g)	0.94 ± 0.03	1.35 ± 0.06	1.32 ± 0.01	1.36 ± 0.02
เบต้า-แคโรทีน (mg/100 g)	4.53 ± 0.51	109.68 ± 2.59	-	-

% db หมายถึง ร้อยละโดยน้ำหนักแห้ง

nd หมายถึง วิเคราะห์แต่ไม่พบ

- หมายถึง ไม่ได้วิเคราะห์

ตารางที่ 4-50 ชนิดและปริมาณของกรดอะมิโนในบะหมี่กึ่งสำเร็จรูปแบบไม่ทอดเสริมสาหร่าย

ชนิดกรดอะมิโน	บะหมี่เสริมสาหร่ายผักกาดทะเลผง	บะหมี่เสริมสาหร่ายเกลียวทองผง
	ปริมาณ (mg/g)	ปริมาณ (mg/g)
Isoleucine	6.40 ± 0.66	6.78 ± 0.33
Leucine	14.62 ± 0.42	13.88 ± 0.63
Lysine	6.39 ± 0.65	4.77 ± 0.49
Methionine	2.58 ± 0.42	2.69 ± 0.19
Phenylalanine	8.90 ± 0.35	8.69 ± 0.49
Threonine	5.85 ± 0.84	5.83 ± 0.27
Valine	8.32 ± 0.88	8.45 ± 0.45
Alanine	8.13 ± 0.26	7.46 ± 0.54
Arginine	8.99 ± 0.36	7.51 ± 0.61
Aspartic acid	11.18 ± 0.63	9.73 ± 0.56
Cystine	2.34 ± 0.23	1.91 ± 0.05
Glutamic acid	74.57 ± 2.72	70.26 ± 0.84
Glycine	7.74 ± 0.67	7.35 ± 0.11
Histidine	4.12 ± 0.43	4.01 ± 0.33
Proline	3.66 ± 0.04	4.99 ± 0.04
Serine	11.68 ± 0.27	10.73 ± 0.44
Tyrosine	4.50 ± 0.28	4.28 ± 0.30

ตารางที่ 4-51 ชนิดและปริมาณของกรดไขมันในบะหมี่กึ่งสำเร็จรูปแบบไม่ทอดเสริมสาหร่าย

ชนิดของกรดไขมัน	ปริมาณกรดไขมัน*			
	บะหมี่เสริมสาหร่ายผักกาดทะเลผง		บะหมี่เสริมสาหร่ายเกลียวทองผง	
	มิลลิกรัม/กรัม	ร้อยละ	มิลลิกรัม/กรัม	ร้อยละ
C12:0	0.0003±0.0001	0.05±0.02	0.0002±0.0000	0.06±0.01
C13:0	0.0761±0.0063	17.82±8.73	0.0716±0.0034	27.06±2.01
C14:0	0.0019±0.0002	0.46±0.24	0.0016±0.0003	0.60±0.06
C14:1	0.0085±0.0010	2.39±1.19	0.0121±0.0021	4.52±0.58
C15:0	0.0009±0.0001	0.25±0.13	0.0009±0.0003	0.32±0.08
C16:0	0.0919±0.0014	23.19±11.40	0.0875±0.0089	32.70±1.64
C16:1	0.0015±0.0002	0.40±0.21	0.0018±0.0003	0.65±0.09
C17:0	0.0007±0.0000	0.18±0.08	0.0007±0.0001	0.26±0.02
C17:1	0.0010±0.0000	0.26±0.13	0.0008±0.0001	0.30±0.03
C18:0	0.0041±0.0001	1.01±0.50	0.0037±0.0004	1.37±0.04
C18:1	0.0356±0.0004	8.96±4.40	0.0330±0.0019	12.39±0.33
C18:3 n-6	0.0009±0.0005	0.29±0.20	0.0074±0.0014	2.71±0.32
C18:3 n-3	0.0101±0.0001	2.57±1.26	0.0092±0.0006	3.44±0.05
C20:0	0.0011±0.0001	0.29±0.15	0.0004±0.0001	0.16±0.01
C20:2 n-6	0.0001±0.0001	0.05±0.05	0.0006±0.0003	0.20±0.10
C20:3 n-6	nd	nd	nd	nd
C20:5 n-3	0.0001±0.0001	0.04±0.04	0.0002±0.0002	0.06±0.06
C24:0	nd	nd	nd	nd
C22:6 n-3	0.0012±0.0005	0.20±0.10	0.0035±0.0006	1.29±0.15
อื่นๆ	7.6471±7.6131	41.62±28.66	0.0321±0.0051	11.86±1.02

* รายงานเป็น ค่าเฉลี่ย ± Standard error

nd หมายถึง วิเคราะห์แต่ไม่พบ

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 2.78 และ Omega-6 ร้อยละ 0.38 ของปริมาณกรดไขมันทั้งหมด และมีกรดอะมิโนทั้งชนิดที่จำเป็นและไม่จำเป็นต่อร่างกาย โดยเฉพาะเป็นแหล่งของกรดแอสปาติก (31.29 มิลลิกรัม/กรัม) กรดกลูตามิก (27.03 มิลลิกรัม/กรัม) อะลานีน (20.23 มิลลิกรัม/กรัม) และลิวซีน (14.13 มิลลิกรัม/กรัม)

2. ผลการพัฒนาสูตรบะหมี่กึ่งสำเร็จรูปแบบไม่ทอดเสริมสาหร่ายผักกาดทะเลผงโดยศึกษาหาปริมาณสาหร่ายผักกาดทะเลผงและปริมาณความชื้นของส่วนผสมที่เหมาะสม พบว่า สูตรที่ใช้ปริมาณสาหร่ายสาหร่ายผักกาดทะเลผงร้อยละ 4 และปริมาณความชื้นส่วนผสมร้อยละ 37 เป็นสูตรที่เหมาะสมสำหรับเตรียมผลิตภัณฑ์บะหมี่กึ่งสำเร็จรูปแบบไม่ทอด โดยได้คะแนนความชอบโดยรวมสูงที่สุด ซึ่งผลิตภัณฑ์ที่ได้มีความต้านทานต่อการดึงขาดสูงกว่าบะหมี่กึ่งสำเร็จรูปแบบไม่ทอดที่ไม่เติมสาหร่ายผักกาดทะเลผง แต่มีค่าความแน่นเนื้อ ค่าการยึดเกาะที่ผิวหน้า และปริมาณของแข็งที่สูญเสียระหว่างการต้มไม่แตกต่างกัน ($p \geq 0.05$)

3. ผลการศึกษาชนิดและปริมาณเกลือฟอสเฟตที่เหมาะสมในการผลิตบะหมี่กึ่งสำเร็จรูปแบบไม่ทอดเสริมสาหร่ายผักกาดทะเลผง พบว่า บะหมี่เสริมสาหร่ายผักกาดทะเลผงที่เตรียมโดยใช้ไดโซเดียมฟอสเฟตร้อยละ 0.3 ได้คะแนนความชอบโดยรวมสูงที่สุด โดยผลิตภัณฑ์ที่ได้ใช้เวลาในการต้มสุกน้อยกว่าบะหมี่กึ่งสำเร็จรูปแบบไม่ทอดที่ไม่เติมเกลือฟอสเฟต รวมทั้งมีปริมาณของแข็งที่สูญระหว่างการต้มและค่าการยึดเกาะที่ผิวหน้าต่ำกว่าด้วย

4. ผลการศึกษาปริมาณเอนไซม์ทรานส์กลูตามิเนสที่เหมาะสมในการปรับปรุงคุณภาพของบะหมี่กึ่งสำเร็จรูปแบบไม่ทอดเสริมสาหร่ายผักกาดทะเลผง พบว่า เมื่อเติมปริมาณเอนไซม์ทรานส์กลูตามิเนสเพิ่มขึ้น หมู่อะมิโนอิสระของโดบะหมี่ ปริมาณของแข็งที่สูญเสียระหว่างการต้ม และค่าการยึดเกาะที่ผิวหน้าของเส้นบะหมี่ลดลง ในขณะที่ค่าความแน่นเนื้อและความต้านทานต่อการดึงขาดเพิ่มขึ้น จากภาพโครงสร้างระดับจุลภาคของผลิตภัณฑ์แสดงให้เห็นว่าโครงสร้างของบะหมี่มีความต่อเนื่องและจับกันแน่นมากขึ้น โดยบะหมี่ที่เติมเอนไซม์ทรานส์กลูตามิเนสร้อยละ 0.3 ได้คะแนนความชอบโดยรวมสูงสุด

สรุปผลการทดลอง ตอนที่ 2

1. ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีและสารสำคัญบางชนิดของสาหร่ายเกลียวทองผง 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-6 ร้อยละ 14.69 ของปริมาณกรดไขมันทั้งหมด และมีกรดอะมิโนทั้งชนิดที่จำเป็นและไม่จำเป็นต่อร่างกาย โดยเฉพาะเป็นแหล่งของกรดกลูตามิก (84.71 มิลลิกรัม/กรัม) กรดแอสปาติก (63.28 มิลลิกรัม/กรัม) และลิวซีน (61.65 มิลลิกรัม/กรัม)

2. ผลการพัฒนาสูตรบะหมี่กึ่งสำเร็จรูปแบบไม่ทอดเสริมสาหร่ายเกลียวทองผง พบว่า สูตรที่ใช้ปริมาณสาหร่ายสาหร่ายผักกาดทะเลผงร้อยละ 1.5 เป็นสูตรที่เหมาะสมสำหรับเตรียมผลิตภัณฑ์บะหมี่กึ่งสำเร็จรูปแบบไม่ทอด โดยได้คะแนนความชอบโดยรวมสูงที่สุด ซึ่งผลิตภัณฑ์ที่ได้มีค่าความต้านทานต่อการดึงขาดและความแน่นเนื้อสูงกว่าบะหมี่กึ่งสำเร็จรูปแบบไม่ทอดที่ไม่เติมสาหร่ายผักกาดทะเลผง

3. ผลการศึกษาชนิดและปริมาณเกลือฟอสเฟตที่เหมาะสมในการผลิตบะหมี่กึ่งสำเร็จรูปแบบไม่ทอดเสริมสาหร่ายเกลียวทองผง พบว่า บะหมี่เสริมสาหร่ายเกลียวทองผงที่เตรียมโดยใช้โมโนโซเดียมฟอสเฟตร้อยละ 0.3 ได้คะแนนความชอบโดยรวมสูงที่สุด โดยใช้เวลาในการต้มสุกน้อยกว่าบะหมี่กึ่งสำเร็จรูปแบบไม่ทอดที่ไม่เติมเกลือฟอสเฟต รวมทั้งมีปริมาณของแข็งที่สูญเสียระหว่างการต้ม ค่าความต้านทานต่อการดึงขาด ค่าความแน่นเนื้อ และค่าการยึดเกาะที่ผิวหน้าต่ำกว่า

4. ผลการศึกษาปริมาณเอนไซม์ทรานส์กลูตามิเนสที่เหมาะสมในการปรับปรุงคุณภาพของบะหมี่กึ่งสำเร็จรูปแบบไม่ทอดเสริมสาหร่ายเกลียวทองผง พบว่า เมื่อเติมปริมาณเอนไซม์ทรานส์กลูตามิเนสเพิ่มขึ้น หมู่อะมิโนอิสระของโดบะหมี่ ปริมาณของแข็งที่สูญเสียระหว่างการต้ม และค่าการยึดเกาะที่ผิวหน้าของเส้นบะหมี่ลดลง ในขณะที่ค่าความแน่นเนื้อและความต้านทานต่อการดึงขาดเพิ่มขึ้น จากภาพโครงสร้างระดับจุลภาคของผลิตภัณฑ์แสดงให้เห็นว่าโครงสร้างของบะหมี่มีความต่อเนื่องและจับกันแน่นมากขึ้น โดยบะหมี่ที่เติมเอนไซม์ทรานส์กลูตามิเนสร้อยละ 0.3 ได้คะแนนความชอบโดยรวมสูงสุด

สรุปผลการทดลอง ตอนที่ 3

ผลการศึกษาคุณภาพทางเคมี กายภาพ และลักษณะทางประสาทสัมผัสของบะหมี่กึ่งสำเร็จรูปแบบไม่ทอดเสริมสาหร่ายผักกาดทะเลผงและสาหร่ายเกลียวทองผง เปรียบเทียบกับผลิตภัณฑ์บะหมี่กึ่งสำเร็จรูปทางการค้าที่เสริมสาหร่ายเกลียวทองผง และไม่เสริมสาหร่าย พบว่า บะหมี่กึ่งสำเร็จรูปเสริมสาหร่ายทั้งสองชนิดมีมีค่าความต้านทานต่อการดึงขาดและคะแนนความชอบโดยรวมสูงกว่าบะหมี่ทางการค้า รวมทั้งมีปริมาณโปรตีนและเถ้าสูงกว่าผลิตภัณฑ์ทางการค้า

นอกจากนี้ บะหมี่กึ่งสำเร็จรูปที่เติมสาหร่ายทั้งสองชนิดยังประกอบด้วยแร่ธาตุ กรดไขมันไม่อิ่มตัวที่จำเป็นต่อร่างกาย และสารต้านอนุมูลอิสระ จึงอาจเป็นทางเลือกใหม่ในการบริโภคอาหารเพื่อสุขภาพ

ข้อเสนอแนะ

1. ควรศึกษาการนำสาหร่ายผักกาดทะเลผงและสาหร่ายเกลียวทองผงไปประยุกต์ใช้ผลิตภัณฑ์อาหารอื่นๆ ที่มีลักษณะใกล้เคียงกันเพื่อเพิ่มคุณค่าทางอาหาร และเพิ่มความหลากหลายให้กับผู้บริโภค
2. ควรศึกษาการพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหารจากสาหร่ายชนิดอื่นๆ ที่มีการผลิตในเชิงพาณิชย์

รายการอ้างอิง

กมลรัตน์ รักกิจศิริ. (2549). *การศึกษาคุณภาพและการยืดอายุการเก็บรักษาบะหมี่สดไทย*. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต, สาขาวิชาเทคโนโลยีอาหาร, บัณฑิตวิทยาลัย, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

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

กุลยา ลิ้มรุ่งเรืองรัตน์, นภาลัย ประสิทธิ์เขตร์กิจ และอโนชา สุขสมบูรณ์. 2554. ผลของเอนไซม์ทรานส์กลูตามิเนสต่อคุณภาพของบะหมี่เสริมใบมะรุมผง. *วารสารวิทยาศาสตร์เกษตร*, 42(2) (พิเศษ): 497-500.

กุลยา ลิ้มรุ่งเรืองรัตน์ และอโนชา สุขสมบูรณ์. (2555). *การพัฒนาผลิตภัณฑ์บะหมี่เพื่อสุขภาพเสริมใบมะรุมผง*. รายงานวิจัย, ภาควิชาวิทยาศาสตร์การอาหาร, คณะวิทยาศาสตร์, มหาวิทยาลัยบูรพา.

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

ประสาร สวัสดิ์ซิตัง. (2538). การปรับปรุงคุณภาพอาหาร. *วารสารวิทยาศาสตร์มหาวิทยาลัยขอนแก่น, 23*(2), เมษายน-มิถุนายน 2538.

ปราณี อ่านเปรื่อง. (2543). *เอนไซม์ทางอาหาร*. จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, กรุงเทพ, หน้า 440.

เปรมวดี ฉายาปัญจะ. (2543). *การเสริมแป้งถั่วในบะหมี่อบแห้ง*. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีการอาหาร, ภาควิชาเทคโนโลยีการอาหาร, คณะวิทยาศาสตร์, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

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

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

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

ราเชนทร์ ดวงศรี. (2552). การสกัดและความคงตัวของไฟโคไซยานินจากสาหร่ายสไปรูไลนา. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีอาหาร, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี.

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). *สัณฐานวิทยาการเลี้ยงและการนำมาใช้ประโยชน์ของสาหร่ายผักกาดทะเล*. สำนักวิจัยและพัฒนาประมงชายฝั่งกรมประมง.

อรอนงค์ นัยวิกุล. (2540) . *ข้าวสาลี : วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี*. กรุงเทพฯ: ภาควิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีอาหาร คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

Alami, M., & Leelarathi, K. (2008). Effect of microbial transglutaminase on spaghetti quality. *Journal of Food Science*, *73*, 306-310.

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.

Autio, K., Kruus, K., Knnapila, A., Gerber, N., Flander, L., & Buchert, J. (2005). Kinetics of transglutaminase-induced cross-linking of wheat proteins in dough. *Journal of Agricultural and Food Chemistry, 53*, 1039-1045.

Basman, A., Kosel, H., & Atil, A. (2006). Effects of increasing levels of transglutaminase on cooking quality of bran supplemented spaghetti. *European Food Research and Technology*, *223*, 547-822.

Becker, E.W. (2007). Micro-algae as a source of protein. *Biotechnology Advances*, 25: 207-210.

Bellido, G.G., & Hatcher, D.W. (2011). Effect of a cross-linking enzyme on the protein composition, mechanical properties, and microstructure of Chiness-style noodles. *Food Chemistry*, *125*, 813-822.

Chewangkul, L., Naivikul, N., Garnjanagoonchorn, W., Oates, C.G., Siroth, K., & Suwonsichon, T. (2001). *Microstructural Changes in Instant Noodles During Production via Triple Staining and Confocal Laser Scanning Microscopy and Scanning Electron Microscopy. Kasetsart J. (Nat. Sci.), 35,* 311 – 317.

Chewangkul, L., Garnjanagoonchorn, W., & Naivikul, O. (2002). The Effect of Steaming Time on Microstructural Changes of Instant Noodles. *Kasetsart J. (Nat. Sci.), 36*, 420 – 425.

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.

Eyidermir, E. & Hayta, M. (2009). The effect of apricot kernel flour incorporation on the physicochemical and sensory properties of noodle. *Journal of Biotechnology, 8*(1), 85-90.

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.

Fu, B .X. (2008). Asian noodles: History ,classification, raw materials, and processing. *Journal of Food Research Internation*, *41*(9), 888-902.

Gan, C.-Y., Ong, W.-H., Wong, L.-M., & Easa, A.-M. (2009). Effects of ribose, microbial transglutaminase and soy protein isolate on physical properties and in-vitro starch digestibility of yellow noodles. LWT - *Food Science and Technology*, *42*, 174-179.

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.

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.

Lee, R.E. (1995). Phycology. Cambridge University Press, USA. 645.

McGuire, R.G. (1992). Reporting of objective color measurement. *Hort-Science*, 27, 1254-1255.

Motoki, M., & Seguro, K. (1998). Transglutaminase and its use for food Processing. *Trends in Food Science & Technology, 9*, 204-210.

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

Oh, N.H., Seib, P.A., Deyoe, C.W., & Ward, A.B. (1983). Measuring the textural characteristics of cooked noodle. *Cereal Chemistry, 60*(6), 433-438.

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.

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*.

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*.

Schrödter, K., Bettermann, G., Staffel T., Wahl F., Klein T., & Hofmann, T. (2008). Phosphoric acid and phosphates. *Ullmann's Encyclopedia of Industrial Chemistry*, Wiley-VCH: Weinheim.

Shimizu, S., Kawashima, H., Shinmen, Y., Akitomo, K., & Yamada, H. (1989). Production of eicosapentaenoic acid by Mortierella fungi. Journal of the American Oil Chemists Society, 65, 1455-1459.

Takacs, K. Gelencser, E., & Kovacs, E.T. (2008). Effect of transglutaminase on the guality of wheat-based pasta products. *European Food Research and Technology*, *226*, 603-611.

Tang C., Heymann, H., & Hsieh, F. (2000). Alternatives to data averaging of consumer preference data. *Food quality and preference, 11*, 99-104.

Toepfer, E.W., Polansky, M.M., Eheart, J.F., Slover H.T., Morris, E.R., Hepburn, F.N., & Quackenbush, F.W. (1972). Nutrient composition of selected wheats and wheat products. XI Summary, *Cereal Chem, 49,* 173–86.

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.

USDA Nutrient Database for Standard. (1999). *Egg products reference guide.* Retrieved June 2, 2015, from http://www.aeb.org/images/website/documents/food-manufacturers/order-resources/Egg_Products_Reference _Guide.pdf

Wang, F., Huang, W., Kim, Y., Liu, R., & Tilley, M. (2011). Effects of transglutaminase on the rheological and noodle making characteristics of oat dough containing vital wheat gluten or egg albumin. *Journal of Cereal Science, 54*, 53-59.

Wang, L., Hoc, G., Hsu, Y.H., & Zhou, L.R. (2011a). Effect of phosphate salts on the Korean non-fried instant noodle quality. *Cereal Chemistry, 54,* 506-512.

Wang, L., Hoc, G., Hsu, Y.H., & Zhou, L.R. (2011b). Effect of phosphate salts on the pasting properties of Korean instant-fried noodle. *Cereal Chemistry, 88 (2),* 142-146.

Wang, M., Hettiarachchy, N.S., Qi, M., Burks, W., & Siebenmorgen, T. (1999). Preparation and Functional Properties of Rice Bran Protein Isolate. *Journal of Agricultural and Food Chemistry, 47*(2), *411-416.*

World Instant Noodle Association (WINA). (2015). *Global Demand for Instant Noodles*. Retrieved May 16, 2015, from http://instantnoodle.org/noodles/expanding-market.html

Wu, J., & Corke, H. (2005). Quality of dried white salted noodles affected by microbial transglutaminase. *Journal of the Science of Food and Agriculture, 85*, 2587-2594.

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.

Zhou, Y., & Hou, G.G. (2012). Effect of phosphate salts on the pH values and rapid visco analyser (RVA) pasting parameters of wheat flour suspension. *Cereal Chemistry, 89*(1), 38-43.

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 ทิ้งไว้ให้เย็นใน โถดูดความชื้น

2. เผาถ้วยคูซิเบิ้ลในเตาเผาที่อุณหภูมิ 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

<u>สารเคมี</u>

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)

<u>วิธีวิเคราะห์</u>

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) และใส่ลงใน soxhlet 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 $^{\circ}$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 $^{\circ}$C จนแห้ง

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

3. นำเถ้าที่ได้มาเติมน้ำกลั่นที่ต้มจนร้อน 50 มิลลิลิตร คนให้เข้ากันถ่ายใส่หลอดเซนตริฟิวส์ นำไปปั่นที่ความเร็ว 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

<u>สารเคมี</u>

1. สารละลายโพแทสเซียมโครเมตความเข้มข้นร้อยละ 5
2. สารละลายซิลเวอร์ไนเตรท 0.1 โมลาร์

<u>วิธีวิเคราะห์</u>

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)

<u>การคำนวณ</u>

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

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

<u>อุปกรณ์และสารเคมี</u>

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)

การเตรียมตัวอย่างสารสกัด

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

การเตรียมสารเคมี

1. เตรียมสารละลายโซเดียมคาร์บอเนตความเข้มข้น 7 เปอร์เซ็นต์ โดยชั่งโซเดียมคาร์บอเนต 7 กรัม ละลายในน้ำกลั่นและปรับปริมาตรให้ได้ 100 มิลลิลิตรด้วยน้ำกลั่น

2. การเตรียมสารละลายมาตรฐานกรดแกลลิก ชั่งกรดแกลลิก 0.01 กรัม นำมาละลายด้วยเอทานอลเล็กน้อยและปรับปริมาตรให้ได้ 100 มิลลิลิตรด้วยน้ำกลั่น

การทำกราฟมาตรฐานกรดแกลลิก

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)

<u>วิธีวิเคราะห์</u>

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)

<u>การเตรียมสารละลาย Blank</u>

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

<u>วิธีวิเคราะห์</u>

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

<u>วิธีวิเคราะห์</u>

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)

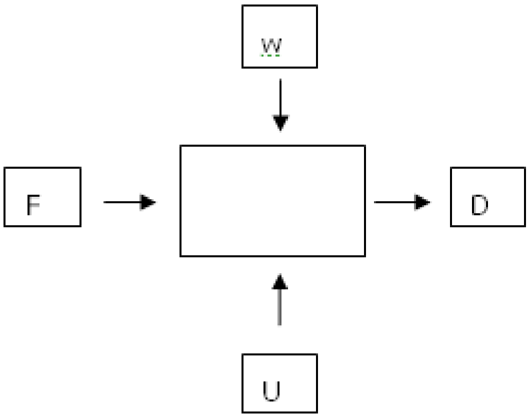
3. โซเดียมฟอสเฟสบัฟเฟอร์ (0.01 โมลาร์, pH 7.0) (เตรียมฟอสเฟตบัฟเฟอร์ โดยนำ Na_2HPO_4 15.60 กรัม และ NaH_2PO4 14.19 กรัมละลายในน้ำ 500 มิลลิลิตรแล้วปรับปริมาตรให้เป็น 1,000 มิลลิลิตร)

วิธีวิเคราะห์

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 นำเส้นพาสต้าใส่กล่องพลาสติก ปิดฝา 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

<u>กรณีอ่านค่า Tensile Strength</u>

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

<u>กรณีอ่านค่า Adhesiveness</u>

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

<u>กรณีวัดค่า Firmness</u>

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

ภาคผนวก ง
แบบประเมินผลที่ใช้ในการทดสอบทางประสาทสัมผัส

ง.1 แบบทดสอบคุณภาพทางประสาทสัมผัสโดยวิธี Scoring test

คำแนะนำ กรุณาทดสอบบะหมี่กึ่งสำเร็จรูปแบบไม่ทอดผสมสาหร่ายผักกาดทะเลผงจากซ้ายไปขวา และให้คะแนนแต่ละปัจจัยคุณภาพและบ้วนปากระหว่างตัวอย่าง

เกณฑ์การให้คะแนนลักษณะทางประสาทสัมผัส

5 หมายถึง มีความเข้มมากที่สุด
4 หมายถึง มีความเข้มมาก
3 หมายถึง มีความเข้มปานกลาง
2 หมายถึง มีความเข้มน้อย
1 หมายถึง มีความเข้มน้อยที่สุด

รหัสตัวอย่าง	....	....	....	....	....
สีเขียว	....	....	....	....	....
กลิ่นรสสาหร่าย	....	....	....	....	....
ความแน่นเนื้อ	....	....	....	....	....
ความเหนียว	....	....	....	....	....
การเกาะติด	....	....	....	....	....

ข้อเสนอแนะ...
....

ง.2 แบบประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสโดยวิธี 9-point hedonic scale

คำแนะนำ 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...

....