

การพัฒนาการผลิตเนื้อเทียมผสมสาหร่าย  
DEVELOPMENT OF PLANT BASED MEAT MIXED  
WITH SEAWEED PRODUCTION



การศึกษาค้นคว้าอิสระนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาเทคโนโลยีการบริการอาหารและการจัดการ

คณะอุตสาหกรรมอาหาร

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ. 2568

KMITL-2025-FI-M-055-500

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

DEVELOPMENT OF PLANT BASED MEAT MIXED  
WITH SEAWEED PRODUCTION



TIPAYAPORN SAISOOK

AN INDEPENDENT STUDY SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT  
OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF  
MASTER OF SCIENCE IN FOODSERVICE TECHNOLOGY AND MANAGEMENT  
SCHOOL OF FOOD INDUSTRY  
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

2025

KMITL-2025-FI-M-055-500

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



COPYRIGHT 2025

SCHOOL OF FOOD INDUSTRY

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อการศึกษาค้นคว้าอิสระ	การพัฒนาการผลิตเนื้อเทียมผสมสาหร่าย
นักศึกษา	นางสาวทิพยาภรณ์ ชัยสุข
รหัสประจำตัว	66086010
ปริญญา	วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชา	เทคโนโลยีการบริการอาหารและการจัดการ
พ.ศ.	2568
อาจารย์ที่ปรึกษาการค้นคว้าอิสระหลัก	ดร.ณัฐพร โชติกาวิรินทร์
อาจารย์ที่ปรึกษาการค้นคว้าอิสระร่วม	ผศ.ดร.โสรยา เกิดพิบูลย์

### บทคัดย่อ

เนื้อเทียม คือ อาหารที่มีลักษณะคล้ายเนื้อสัตว์ ทั้งในส่วนของรูปร่างหน้าตา สี กลิ่น ไปจนถึงรสชาติ โดยมากเป็นการดัดแปลงนำพืชที่มีโปรตีนสูงมาพัฒนาให้มีลักษณะคล้ายเนื้อสัตว์ วัตถุดิบหลักที่ใช้ในการทำเนื้อเทียม ได้แก่ เห็ดนางรมหลวง ซึ่งมีเนื้อสัมผัสใกล้เคียงกับเนื้อสัตว์และมีคุณค่าทางโภชนาการสูง ได้แก่ โปรตีน แคลเซียม ฟอสฟอรัส เหล็ก ไม่มีคอเลสเตอรอล และมีไขมันต่ำกว่าผลิตภัณฑ์จากสัตว์ และแป้งวีทกลูเตน ซึ่งเป็นแหล่งโปรตีนจากพืชที่มีคุณสมบัติในการยืดหยุ่นและสร้างโครงสร้างให้ผลิตภัณฑ์ที่มีลักษณะคล้ายเนื้อสัตว์มากยิ่งขึ้น งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาสัดส่วนที่เหมาะสมของเห็ดนางรมหลวงต่อแป้งวีทกลูเตน และศึกษาการเติมสาหร่ายแดงในปริมาณต่างๆ เพื่อพัฒนาเนื้อเทียมผสมสาหร่ายแดงให้มีคุณสมบัติทางกายภาพที่ดี และเป็นที่ยอมรับของผู้บริโภค โดยใช้สาหร่ายแดงซึ่งมีคุณค่าทางโภชนาการและศักยภาพในการเพิ่มมูลค่าให้ผลิตภัณฑ์ จากการศึกษาพบว่า สูตรพื้นฐานที่เหมาะสมในการผลิตเนื้อเทียม คือ สูตรที่ 4 ซึ่งมีปริมาณเห็ดนางรมหลวง 110 กรัม และแป้งวีทกลูเตน 9 กรัม โดยมีความชอบโดยรวมจากการประเมินทางประสาทสัมผัสมากที่สุด และผลลัพธ์จากการวิเคราะห์ด้วย ANOVA แสดงว่า ปริมาณเห็ดนางรมหลวงและแป้งวีทกลูเตนมีผลอย่างมีนัยสำคัญ ( $p < 0.05$ ) ต่อเนื้อสัมผัส ความแน่น และความชุ่มฉ่ำของผลิตภัณฑ์ และปริมาณที่เหมาะสมของสาหร่ายแดงในการทำผลิตภัณฑ์เนื้อเทียมผสมสาหร่าย คือ 10 % ซึ่งมีความชอบโดยรวมจากการประเมินทางประสาทสัมผัสมากที่สุด และส่งผลให้ผลิตภัณฑ์มีเนื้อสัมผัสแน่น ฉ่ำ รุปรุนกระจายตัวดี และมีค่าทางกายภาพที่เหมาะสมอย่างมีนัยสำคัญ ( $p < 0.05$ )

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Independent Study Title	Development of plant based meat with seaweed production
Student	Miss Tipayaporn Saisook
Student ID.	66086010
Degree	Master of Science
Program	Foodservice Technology and Management
Year	2025
Independent Study Advisor	Dr.Natthaporn Chotigavin
Independent Study Co-advisor	Asst.Prof.Dr.Soraya Kerdpiboon

### ABSTRACT

Plant-based meat is a food product that mimics the appearance, color, aroma, and taste of animal meat, typically developed by modifying high-protein plants. The main ingredients used in this study were king oyster mushrooms, which offer a meat-like texture and high nutritional value, including protein, calcium, phosphorus, and iron—while being cholesterol-free and lower in fat than animal products, and vital wheat gluten, a plant-based protein that provides elasticity and structure. This research aimed to determine the optimal ratio of king oyster mushrooms to vital wheat gluten and to examine the effects of incorporating different levels of red seaweed to develop a product with desirable physical properties and consumer acceptance. The results showed that the most suitable formula was formula 4, containing 110 grams of king oyster mushrooms and 9 grams of vital wheat gluten, which received the highest overall liking in sensory evaluation. The optimal red seaweed level was 10%, which also received the highest sensory scores and resulted in a product with firm, juicy texture, well-distributed pores, and significantly improved physical characteristics ( $p < 0.05$ ).

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## กิตติกรรมประกาศ

การศึกษาค้นคว้าอิสระเรื่อง “การพัฒนาการผลิตเนื้อเทียมผสมสาหร่าย” สำเร็จลุล่วงด้วยดี ผู้จัดทำขอกราบขอบพระคุณ ดร.ณัฐพร โชติกาวิรินทร์ อาจารย์ที่ปรึกษา ที่ได้กรุณาให้คำแนะนำ คำปรึกษา และแนวทางในการแก้ไขปัญหาต่าง ๆ ด้วยความเอาใจใส่ ตลอดจนให้การสนับสนุนทั้งในด้านเครื่องมือ และงบประมาณที่ใช้ในการดำเนินการวิจัย

ขอขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.โสธยา เกิดพิบูลย์ อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม ที่ให้คำแนะนำ และคำปรึกษาอย่างใกล้ชิด รวมถึง ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ปจรรย์ อิงคะสุภัทร และ ดร.นิจจารีย์ มณีรัตน์ ที่ได้ช่วยตรวจสอบ แนะนำ และให้ข้อเสนอแนะอันมีคุณค่า จนผลงานการศึกษาค้นคว้าอิสระฉบับนี้เสร็จสมบูรณ์

ผู้จัดทำขอขอบคุณเจ้าหน้าที่วิทยาศาสตร์และเจ้าหน้าที่ของคณะอุตสาหกรรมอาหาร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่ให้ความอนุเคราะห์ในด้านสถานที่ อุปกรณ์ และเครื่องมือต่าง ๆ ตลอดจนให้ความช่วยเหลือและคำแนะนำในการดำเนินงานวิจัย

นอกจากนี้ ขอขอบคุณครอบครัว และเพื่อนนักศึกษาระดับบัณฑิตศึกษาทุกท่าน ที่เป็นแรงสนับสนุนและกำลังใจให้ตลอดระยะเวลาของการทำงานวิจัย

สุดท้ายนี้ ผู้จัดทำหวังเป็นอย่างยิ่งว่า ผลงานฉบับนี้จะเป็นประโยชน์ต่อผู้ที่สนใจศึกษาในหัวข้อที่เกี่ยวข้อง และหากมีข้อผิดพลาดประการใด ผู้จัดทำขอน้อมรับคำแนะนำและข้อเสนอแนะด้วยความยินดี

ทิพยาภรณ์ ชัยสุข

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย .....	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	II
กิตติกรรมประกาศ.....	III
สารบัญ.....	IV
สารบัญตาราง.....	VII
สารบัญภาพ.....	VIII
บทที่ 1 บทนำ	
1.1 ที่มาและความสำคัญ.....	1
1.2 วัตถุประสงค์.....	3
1.3 ขอบเขตงานวิจัย.....	4
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	4
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	
2.1 สาหรัย.....	5
2.2 สาหรัยแดง.....	9
2.3 การนำสาหรัยไปใช้ในงานวิจัย.....	12
2.4 เนื้อเทียม.....	14
2.5 เติตนางรมหลวง หรือเห็ดออริจินิ.....	18

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 3 อุปกรณ์และวิธีการทดลอง	
3.1 วัสดุดิบ.....	20
3.2 อุปกรณ์สำหรับเตรียมวัสดุดิบและการผลิต.....	20
3.3 อุปกรณ์สำหรับการวิเคราะห์.....	21
3.4 วิธีดำเนินงานวิจัย.....	22
3.4.1 การศึกษาคุณสมบัติเบื้องต้นของสาหร่ายแดงอบแห้ง.....	22
3.4.2 การศึกษาสูตรพื้นฐานที่เหมาะสมในการพัฒนาผลิตภัณฑ์เนื้อเทียม.....	23
3.4.3 การศึกษาการพัฒนาผลิตภัณฑ์เนื้อเทียมผสมสาหร่าย.....	28
3.5 การวิเคราะห์ผล.....	32
บทที่ 4 ผลการทดลองและวิจารณ์	
4.1 การศึกษาคุณสมบัติเบื้องต้นของสาหร่ายแดงอบแห้ง.....	33
4.2 การศึกษาสูตรพื้นฐานที่เหมาะสมในการพัฒนาผลิตภัณฑ์เนื้อเทียมจากเห็ด.....	35
4.2.1 การคัดเลือกสูตรพื้นฐานของเนื้อเทียมจากเห็ด.....	35
4.2.2 การประเมินทางประสาทสัมผัสของเนื้อเทียม.....	42
4.3 การศึกษาการพัฒนาผลิตภัณฑ์เนื้อเทียมผสมสาหร่าย.....	43
4.3.1 การตรวจสอบคุณลักษณะทางกายภาพของเนื้อเทียมผสมสาหร่าย.....	43
4.3.2 การประเมินทางประสาทสัมผัสของเนื้อเทียมผสมสาหร่าย.....	47

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 5 สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ	
5.1 สรุปผลการทดลอง.....	50
5.2 ข้อเสนอแนะ.....	51
บรรณานุกรม.....	52
ภาคผนวก.....	64
ภาคผนวก ก การพัฒนาการผลิตเนื้อเทียมผสมสาหร่าย.....	65
ภาคผนวก ข แบบประเมินการยอมรับทางประสาทสัมผัส (9-Point Hedonic Scale).....	69
ประวัติผู้เขียน.....	73

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 คุณค่าทางอาหารของเห็ดนางรมหลวงต่อน้ำหนัก 100 กรัม.....	19
3.1 สูตรพื้นฐานในการผลิตเนื้อเทียม.....	24
3.2 สิ่งทดลองที่ได้จากการแปรปริมาณเห็ดนางรมหลวงและปริมาณแป้งวีทกลูเตน.....	25
4.1 การศึกษาคุณสมบัติเบื้องต้นของสาหร่ายแดงอบแห้งและสาหร่ายแดงนึ่ง.....	33
4.2 ค่าปริมาณร้อยละผลผลิต (% Cooking yield) ร้อยละการสูญเสียน้ำหนัก (% Cooking loss) ค่าปริมาณน้ำอิสระ (Water Activity, aw) และคุณภาพทางด้านสีของเนื้อเทียม 4 สูตร.....	36
4.3 ตารางแสดงผลการวิเคราะห์หี้อธิพอลของปัจจัยต่างๆ.....	38
4.4 ผลการวิเคราะห์เนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์เนื้อเทียม 4 สูตร.....	39
4.5 อธิพอลของปัจจัยต่างๆต่อคุณลักษณะทางเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์เนื้อเทียม.....	41
4.6 ผลการประเมินทางประสาทสัมผัสของเนื้อเทียม.....	42
4.7 ค่าปริมาณร้อยละผลผลิต (% Cooking yield) ร้อยละการสูญเสียน้ำหนัก (% Cooking loss) ค่าปริมาณน้ำอิสระ (Water Activity, aw) และคุณภาพทางด้านสีของเนื้อเทียมผสมสาหร่าย.....	45
4.8 ผลการวิเคราะห์เนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์เนื้อเทียมผสมสาหร่าย.....	46
4.9 คะแนนการประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสด้วยการทดสอบชิมผลิตภัณฑ์เนื้อเทียม.....	47

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญภาพ

ภาพที่	หน้า
2.1 ส่วนประกอบของเซลล์สาหร่าย.....	5
2.2 สาหร่ายผมนาง (Gracilaria).....	10
4.1 เนื้อเยื่อจากเห็ดทั้ง 4 สัตว์.....	35
4.2 เนื้อเยื่อผสมสาหร่ายแดงทั้ง 3 สัตว์.....	43



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 1

### บทนำ

#### 1.1 ที่มาและความสำคัญ

เนื้อเทียมจากพืช หมายถึง ผลิตภัณฑ์อาหารที่ถูกพัฒนาขึ้นให้มีลักษณะใกล้เคียงเนื้อสัตว์ ทั้งรูปร่าง สี กลิ่น และรสชาติ โดยผลิตจากพืชที่มีโปรตีนสูง ผ่านกระบวนการแปรรูปและเทคโนโลยีอาหาร เพื่อเลียนแบบคุณลักษณะของเนื้อสัตว์จริง (ช่อลัดดา, 2021) วัตถุดิบที่นิยมใช้ เช่น ถั่วเหลือง ถั่วลันเตา เมล็ดข้าวสาลี ซึ่งอุดมไปด้วยโปรตีน แร่ธาตุ วิตามิน ไฟเบอร์ กรดอะมิโนจำเป็น และสารต้านอนุมูลอิสระ นอกจากนี้ เติดยังเป็นวัตถุดิบสำคัญ เนื่องจากมีเนื้อสัมผัสใกล้เคียงเนื้อสัตว์ รสชาติดี ไขมันต่ำ ปราศจากคอเลสเตอรอล แต่มีโปรตีนและแร่ธาตุสำคัญ เช่น แคลเซียม ฟอสฟอรัส และเหล็ก (มูลนิธิหัวใจแห่งประเทศไทยฯ, 2558) อย่างไรก็ตาม เนื้อเทียมจะมีคุณค่าทางโภชนาการสูงและประโยชน์ต่อสุขภาพ เช่น ช่วยลดความเสี่ยงโรคหัวใจ เบาหวาน และโรคหลอดเลือด รวมถึงมีบทบาทในการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากอุตสาหกรรมอาหาร (บริษัท ศูนย์ห้องปฏิบัติการฯ, 2023) แต่ยังมีข้อจำกัดด้านราคาและการยอมรับจากผู้บริโภค ซึ่งทำให้ไม่สามารถทดแทนเนื้อสัตว์ได้อย่างสมบูรณ์ในปัจจุบัน (สุณิญา, 2565) อย่างไรก็ตาม แนวโน้มของตลาดเนื้อเทียมยังคงเติบโตอย่างต่อเนื่อง และมีศักยภาพในการพัฒนาเพื่อเป็นทางเลือกในอนาคต

ในปัจจุบัน แนวโน้มการบริโภคอาหารจากพืช (Plant-based Food) มีการเติบโตเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องในหลายประเทศทั่วโลก โดยรายงานจาก Krungthai COMPASS (2563) ระบุว่า ผู้บริโภคชาวยุโรปราวร้อยละ 25 มีความตั้งใจลดการบริโภคเนื้อสัตว์ภายในระยะเวลา 5 ปี โดยเฉพาะในกลุ่มผู้สูงอายุที่ให้ความสำคัญกับสุขภาพเป็นลำดับต้น ๆ ขณะเดียวกัน ร้อยละ 62 ของผู้บริโภคชาวจีนแสดงแนวโน้มที่จะซื้อผลิตภัณฑ์เนื้อจากพืชเป็นประจำ สำหรับประเทศไทย มีรายงานว่า ร้อยละ 53 ของผู้บริโภคชาวไทยมีความต้องการลดการบริโภคเนื้อสัตว์ และร้อยละ 45 แสดงความสนใจในการเปลี่ยนแปลงพฤติกรรมการบริโภคไปสู่อาหารมังสวิรัต วิแกน หรืออาหารจากพืช ส่งผลให้ตลาดอาหารจากพืชมีแนวโน้มเติบโตอย่างต่อเนื่อง และได้รับความสนใจจากกลุ่มทุนและผู้ประกอบการจำนวนมาก ข้อมูลจาก Euromonitor (2566) ระบุว่า มูลค่าตลาดอาหารจากพืชทั่วโลกในปี พ.ศ. 2562 อยู่ที่ประมาณ 480,000 ล้านบาท และคาดว่าจะเติบโตเฉลี่ยปีละร้อยละ 10.5 โดยในปี พ.ศ. 2567 คาดว่ามูลค่าตลาดจะเพิ่มขึ้นเป็นประมาณ 750,000 ล้านบาท สำหรับประเทศไทยนั้น The Standard (2565) รายงานว่า ตลาดอาหารจากพืชมีมูลค่าประมาณ 28,000 ล้านบาท และคาดว่าจะเติบโตเฉลี่ยร้อยละ 10 ต่อปี โดยจะมีมูลค่าเพิ่มขึ้นเป็นประมาณ 45,000 ล้านบาทภายในปี พ.ศ. 2567

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กระแสนิยมของเนื้อจากพืชยังได้รับการส่งเสริมจากปัจจัยหลายประการ ไม่ว่าจะเป็นการที่ผู้บริโภคใส่ใจสุขภาพมากขึ้น การพัฒนาผลิตภัณฑ์ให้หลากหลายและใกล้เคียงเนื้อสัตว์จริงมากขึ้น ตลอดจนความตระหนักด้านสิ่งแวดล้อมของผู้บริโภคยุคใหม่ ซึ่งให้ความสำคัญกับผลกระทบจากอุตสาหกรรมเนื้อสัตว์แบบดั้งเดิม ส่งผลให้เนื้อจากพืชไม่ใช่เพียงกระแสนิยมชั่วคราว หากแต่มีแนวโน้มจะเป็นทางเลือกหลักในอนาคต ด้วยคุณลักษณะที่เป็นมิตรต่อสุขภาพและสิ่งแวดล้อม อีกทั้งยังให้คุณค่าทางโภชนาการไม่ด้อยกว่าเนื้อสัตว์จริง (กรรณิการ์, 2562)

สาหร่ายแดง เป็นพืชชั้นต่ำที่ไม่มีระบบท่อลำเลียงอาหารแบบพืชชั้นสูง แต่จะดูดซับน้ำและแร่ธาตุจากน้ำโดยตรงเข้าสู่เซลล์ (ยุวดี, 2549) พบว่าทั่วโลกมีสาหร่ายแดงประมาณ 3,900 สปีชีส์ สามารถเจริญเติบโตได้ทั้งในน้ำจืดและน้ำทะเล โดยในน้ำจืดมักพบในลำธารที่มีอุณหภูมิต่ำ ขณะที่ในน้ำทะเลสามารถเติบโตได้ทั้งในเขตหนาวและเขตอบอุ่น ในประเทศไทยมีการเพาะเลี้ยงสาหร่ายแดงสกุล *Gracilaria* ตั้งแต่ พ.ศ. 2526 ที่ทะเลสาบสงขลา ซึ่งถือเป็นสาหร่ายเศรษฐกิจที่สำคัญ เนื่องจากสามารถนำมาใช้บริโภคและมีคุณค่าทางโภชนาการ ได้แก่ โปรตีน ไขมัน แร่ธาตุต่าง ๆ โดยเฉพาะไอโอดีน และวิตามินเอ วิธีการบริโภคที่นิยม เช่น นำมาลวก รับประทานกับน้ำพริก หรือประกอบอาหารในรูปแบบซूप แกง สลัด และยำ (บริษัท พรีเม้า แคร้ อินเตอร์เนชั่นแนล จำกัด, 2021) สาหร่ายแดงยังเป็นแหล่งของสารสำคัญ เช่น สารแอสตาแซนธิน (Astaxanthin) ซึ่งเป็นรงควัตถุสีแดงในกลุ่มแคโรทีนอยด์ (Carotenoids) มีคุณสมบัติเป็นสารต้านอนุมูลอิสระที่มีประสิทธิภาพสูง โดยพบในสาหร่ายแดงบางสายพันธุ์ เช่น *Haematococcus pluvialis* สารดังกล่าวมีบทบาทในการป้องกันความเสียหายของเซลล์จากกระบวนการออกซิเดชัน ซึ่งอาจนำไปสู่ริ้วรอยและความเสื่อมของเซลล์ก่อนวัยอันควร (กาญจนภาชน์, 2527)

จากการศึกษาของพนา และคณะ (2564) ได้ทำการวิจัยเกี่ยวกับผลของปริมาณแป้งสาลีและเห็ดนางรมหลวงต่อคุณสมบัติด้านเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์เนื้อเทียม โดยใช้แป้งสาลีเป็นองค์ประกอบหลักในการสร้างโครงสร้างของเนื้อเทียมในระดับ 0%, 5%, 10%, 14%, 18%, 22% และ 25% โดยน้ำหนักต่อผลิตภัณฑ์ จากผลการวิเคราะห์เนื้อสัมผัสด้วยเครื่องวัด Texture Analyzer พบว่า เมื่อเพิ่มปริมาณแป้งสาลี ค่าความแน่น (Hardness) และความเหนียวเคี้ยวหนึบ (Chewiness) มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ ทำให้เลือกสูตรที่ใช้แป้งสาลี 18% สำหรับการพัฒนาเพิ่มเติม โดยเพิ่มเห็ดนางรมหลวงในระดับ 0%, 3%, 7%, 10%, 13% และ 16% ของน้ำหนักผลิตภัณฑ์ พบว่าเห็ดนางรมหลวงในระดับ 7% ให้ค่าความแน่นและความเหนียวเคี้ยวหนึบสูงที่สุด นอกจากนี้ สถาบันอาหารยังได้วิเคราะห์คุณค่าทางโภชนาการของเนื้อเทียมที่พัฒนาแล้ว โดยพบว่าในปริมาณบริโภค 50 กรัม ให้พลังงาน 130 กิโลแคลอรี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ไขมันรวม 5 กรัม โปรตีน 7 กรัม คาร์โบไฮเดรต 14 กรัม และโซเดียม 210 มิลลิกรัม ในด้านการใช้สำหรับ เป็นวัตถุดิบ Mamatha และคณะ (2007) ได้ศึกษาการแทนที่แป้งถั่วในผลิตภัณฑ์ Pakoda ด้วยผง สาหร่ายอบแห้งในสัดส่วน 5%, 7.5%, 10%, 12.5% และ 15% พบว่าการเติมสาหร่ายช่วยเพิ่มปริมาณ เถ้า โปรตีน และใยอาหารในผลิตภัณฑ์ นอกจากนี้ยังพบว่า ปริมาณธาตุเหล็กและแคลเซียมในผลิตภัณฑ์ เพิ่มขึ้นถึง 4 เท่าเมื่อเทียบกับสูตรควบคุมที่ไม่ได้เติมผงสาหร่าย

ดังนั้น ผู้วิจัยจึงมีความสนใจที่จะพัฒนาผลิตภัณฑ์เนื้อเทียมผสมสาหร่าย ที่ทำได้ทั้งคุณค่าทาง โภชนาการสูง ทำให้เป็นที่ยอมรับของผู้บริโภค ทำให้เกิดผลิตภัณฑ์ Plant based ใหม่ๆขึ้นมา ที่มีการใส่ สาหร่ายเป็นองค์ประกอบ นำสาหร่ายมาใช้ประโยชน์เพื่อเพิ่มมูลค่าให้กับผลิตภัณฑ์ โดยศึกษาทางด้าน กายภาพ และศึกษาผลของการยอมรับทางด้านประสาทสัมผัสของผู้บริโภคที่มีผลต่อผลิตภัณฑ์เนื้อเทียม ผสมสาหร่าย

## 1.2 วัตถุประสงค์

- 1.2.1 เพื่อศึกษาคุณสมบัติทางกายภาพเบื้องต้นของสาหร่ายแดง
- 1.2.2 เพื่อศึกษาสูตรที่เหมาะสม และคุณสมบัติทางกายภาพของเนื้อเทียมและเนื้อเทียมผสม สาหร่าย
- 1.2.3 เพื่อศึกษาการยอมรับทางด้านประสาทสัมผัสของผู้บริโภคที่มีต่อผลิตภัณฑ์เนื้อเทียมผสม สาหร่าย

## 1.3 ขอบเขตงานวิจัย

ศึกษาคุณสมบัติเบื้องต้นของสาหร่ายแดงอบแห้ง ได้แก่ การวัดความชื้น การวัด aw การคืนตัวของสาหร่าย และการวัดสี ศึกษาสูตร วิธีการการพัฒนาผลิตภัณฑ์เนื้อเทียม และผลิตภัณฑ์เนื้อเทียมผสม สาหร่าย โดยมีผลิตภัณฑ์เนื้อเทียม 4 สูตรที่แตกต่างกัน โดยศึกษาปริมาณของเห็ดนางรมหลวงต่อแป้ง วิกฤต 90 : 5, 90 : 9, 110 : 5 และ 110 : 9 กรัม ตามลำดับ ที่มีผลต่อเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์เนื้อ เทียม และเลือกสูตรที่ดีที่สุดเพื่อศึกษาปริมาณที่เหมาะสมของสาหร่ายในเนื้อเทียม โดยใส่สาหร่ายใน ปริมาณที่แตกต่างกัน 5, 10 และ 15 เปอร์เซ็นต์ ศึกษาคุณภาพผลิตภัณฑ์เนื้อเทียมและผลิตภัณฑ์เนื้อ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เทียมผสมสาหร่าย โดยทดสอบทางกายภาพ สี เนื้อสัมผัส ทดสอบทางประสาทสัมผัส เพื่อให้เป็นที่ยอมรับของผู้บริโภค และศึกษาแนวทางการใช้ประโยชน์จากสาหร่ายแดงในผลิตภัณฑ์ Plant Based

#### 1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.4.1 ได้ทราบคุณสมบัติเบื้องต้นของสาหร่ายแดง

1.4.2 ได้ทราบผลของปริมาณเห็ดนางรมหลวงและแป้งวีทกลูเตนต่อคุณลักษณะทางกายภาพของผลิตภัณฑ์เนื้อเทียม

1.4.3 ได้ทราบสูตรพื้นฐานและปริมาณที่เหมาะสมของส่วนผสมในผลิตภัณฑ์เนื้อเทียม

1.4.4 ได้ทราบปริมาณที่เหมาะสมของสาหร่ายในการทำผลิตภัณฑ์เนื้อเทียมผสมสาหร่าย



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 2

# ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

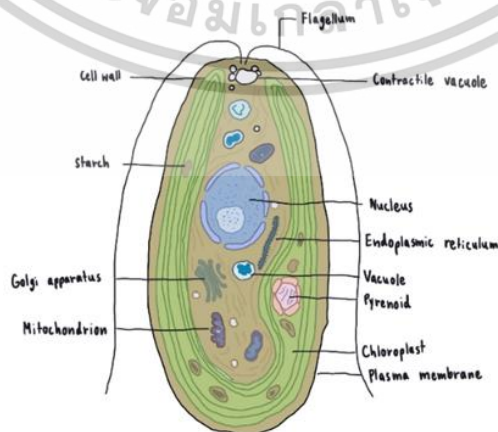
### 2.1 สาหร่าย

สาหร่าย (Algae) เป็นสิ่งมีชีวิตที่สามารถผลิตอาหารเองได้ผ่านกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสง เช่นเดียวกับพืช สาหร่ายมีหลายขนาด ตั้งแต่ระดับจุลินทรีย์ที่มองไม่เห็นด้วยตาเปล่า ไปจนถึงขนาดใหญ่หลายร้อยเมตร เช่น สาหร่ายทะเลบางชนิด ลักษณะรูปร่างของสาหร่ายมีความหลากหลาย บางชนิดมีเพียงเซลล์เดียว ขณะที่บางชนิดประกอบด้วยหลายเซลล์รวมกลุ่มกันเป็นโคโลนี มีทั้งรูปแบบเส้นสายที่แตกแขนง และไม่แตกแขนง ลักษณะโดยรวมของสาหร่ายอาจคล้ายพืชชั้นสูง โดยมีโครงสร้างคล้ายราก ลำต้น และใบ แต่ไม่มีระบบท่อลำเลียง โดยที่ทุกเซลล์สามารถสังเคราะห์ด้วยแสงเพื่อยังชีพได้ (ยูวดี, 2558)

ในที่นี้ “สาหร่าย” หมายถึงสิ่งมีชีวิตชั้นต่ำ ซึ่งมีรากศัพท์จากภาษากรีกว่า Phykos และตรงกับคำในภาษาอังกฤษว่า Algae โดยมีตั้งแต่สาหร่ายขนาดเล็กมากที่ไม่สามารถมองเห็นได้ด้วยตาเปล่า (Microalgae) ซึ่งจำเป็นต้องใช้กล้องจุลทรรศน์ในการสังเกต ไปจนถึงสาหร่ายขนาดใหญ่ (Macroalgae) ที่สามารถมองเห็นได้ชัดเจน มีลักษณะคล้ายพืชชั้นสูง ได้แก่ ราก ลำต้น และใบ เรียกรวมกันว่า “ทาลัส” (Thallus) โดยทั่วไปแล้วสาหร่ายส่วนใหญ่มีคลอโรพิลล์ ซึ่งมีบทบาทสำคัญในการสังเคราะห์แสงเพื่อการดำรงชีวิต (ยูวดี, 2549)

#### 2.1.1 ส่วนประกอบของเซลล์

เซลล์ของสาหร่ายก็เหมือนเซลล์ของพืชทั่ว ๆ ไป คือ ประกอบด้วยเยื่อหุ้มเซลล์ (Cell membrane) ภายในเซลล์มีไซโทพลาซึม (Cytoplasm) ซึ่งประกอบด้วยออร์แกเนลล์ (Organelle) ชนิดต่าง ๆ นิวเคลียส (Nucleus) และแฟลเจลลัม (Flagellum) ส่วนประกอบของเซลล์สาหร่ายมีดังต่อไปนี้ (ยูวดี, 2549)



ภาพที่ 2.1 ส่วนประกอบของเซลล์สาหร่าย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ดัดแปลงจาก กาญจนภาชน (2527)

### 2.1.1.1 เยื่อหุ้มเซลล์ (Cell membrane)

เป็นเยื่อหุ้มที่ห่อหุ้มเซลล์เอาไว้ มีโครงสร้างประกอบด้วยชั้นไขมันเรียงตัวกัน 2 ชั้น (Lipid bilayer) มีโครงสร้าง 2 ส่วน คือ ส่วนหัวและส่วนหาง โดยชั้นไขมันจะเอาส่วนหัว (Polar head) ซึ่งมีคุณสมบัติชอบน้ำ (Hydrophilic) หันเข้าด้านใน ระหว่างชั้นไขมัน 2 ชั้นจะมีโมเลกุลอื่น ๆ เช่น โปรตีน คาร์โบไฮเดรตแทรกอยู่เป็นระยะๆ สำหรับหน้าที่ของเยื่อหุ้มเซลล์ คือ ห่อหุ้มเซลล์และป้องกันอันตรายให้แก่เซลล์ มีคุณสมบัติเป็นเยื่อเลือกผ่าน (Semipermeable membrane) โดยจะทำหน้าที่ควบคุมการเข้าออกของน้ำ แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ ( $CO_2$ ) สารอาหารและควบคุมการเข้าออกของไอออนของโลหะต่าง ๆ เช่น  $Na^+$   $K^+$  เป็นต้น เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาต่างๆที่เกี่ยวข้องกับโปรตีนที่อยู่ในเยื่อหุ้มเซลล์ มีคุณสมบัติเป็นตัวรับลิแกนด์ (Ligand) ที่มาตามกระแสโลหิต เมื่อจะเข้าสู่เซลล์จะจับกับตัวรับ (Receptor) ที่มีความจำเพาะซึ่งอยู่ที่ผิวของเยื่อหุ้มเซลล์ แล้วเหนี่ยวนำให้เกิดการตอบสนองทางชีวเคมีภายในเซลล์

### 2.1.1.2 ไซโทพลาสซึม (Cytoplasm)

เป็นส่วนที่อยู่ในเซลล์ทั้งหมดยกเว้นนิวเคลียส ไซโทพลาสซึมเป็นของเหลว มีความโปร่งแสง ประกอบด้วยน้ำประมาณ 75 - 90 เปอร์เซ็นต์ ที่เหลือเป็นสารชนิดอื่น เช่น โปรตีน คาร์โบไฮเดรต ไขมัน และสารอินทรีย์ที่อยู่ในรูปสารละลาย ส่วนสารอินทรีย์ มักอยู่ในรูปของคอลลอยด์ (Colloid) หน้าที่ของไซโทพลาสซึม คือ เป็นบริเวณที่เกิดปฏิกิริยาเคมีของเซลล์ สลายวัตถุดิบเพื่อให้ได้พลังงานและสิ่งที่จำเป็นสำหรับเซลล์ สังเคราะห์สารที่จำเป็นสำหรับเซลล์ เป็นที่เก็บสะสมวัตถุดิบสำหรับเซลล์ เกี่ยวข้องกับกระบวนการขับถ่ายของเสียของเซลล์

### 2.1.1.3 นิวเคลียส (Nucleus)

สาหร่ายสามารถจำแนกตามลักษณะของนิวเคลียสออกเป็นสองกลุ่ม ได้แก่ สาหร่ายในกลุ่มโพรคาริโอต (Prokaryote) ที่ไม่มีเยื่อหุ้มนิวเคลียส เช่น สาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงิน และกลุ่มยูคาริโอต (Eukaryote) ซึ่งมีนิวเคลียสแท้จริง พบในสาหร่ายทั่วไปส่วนใหญ่

โครงสร้างของนิวเคลียสประกอบด้วยองค์ประกอบหลัก 3 ส่วน ได้แก่

เยื่อหุ้มนิวเคลียส (Nuclear membrane) ซึ่งเป็นเยื่อบาง ๆ ล้อมรอบนิวเคลียส ประกอบด้วยฟอสโฟลิพิดเป็นส่วนสำคัญ ทำหน้าที่ควบคุมการผ่านเข้า-ออกของสารต่าง ๆ ระหว่างนิวเคลียสกับไซโทพลาสซึม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

นิวคลีโอลัส (Nucleolus) ซึ่งเป็นบริเวณภายในนิวเคลียสที่ไม่มีเยื่อหุ้ม ประกอบด้วยเส้นใยละเอียดและโครงสร้างแบบเม็ด (granule) ทำหน้าที่เป็นแหล่งสะสมสารอินทรีย์จำพวก RNA และเป็นจุดเริ่มต้นของกระบวนการสังเคราะห์ไรโบโซม

โครโมโซม (Chromosome) ที่ประกอบด้วยโครมาติน (Chromatin) หรือ DNA ซึ่งพันรอบโปรตีน โครโมโซมในสาหร่ายมีขนาดเล็ก และจำนวนอาจแตกต่างกันไป ตั้งแต่ 5–48 แห่ง หรือมากกว่าขึ้นอยู่กับชนิดของสาหร่าย

#### 2.1.1.4 แฟลกเจลลัม (Flagellum)

เป็นโครงสร้างที่ทำหน้าที่ในการเคลื่อนที่ของเซลล์ และยังสามารถใช้เป็นลักษณะทางสัณฐานวิทยาที่ช่วยในการจำแนกประเภทของสาหร่ายได้อีกด้วย โดยแฟลกเจลลัมอาจปรากฏในเซลล์ปกติ (vegetative cell) หรือในเซลล์สืบพันธุ์ (reproductive cell) ขึ้นอยู่กับชนิดของสาหร่าย

โดยทั่วไปแล้วสาหร่ายส่วนใหญ่จะมีแฟลกเจลลัม ยกเว้นสาหร่ายในกลุ่มสีแดงและสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงิน ซึ่งไม่พบโครงสร้างดังกล่าว จำนวนของแฟลกเจลลัมในแต่ละเซลล์มีตั้งแต่ 1–2 เส้น หรือมากกว่านั้น และอาจมีความยาวเท่ากันหรือไม่เท่ากันก็ได้ ตำแหน่งของแฟลกเจลลัมอาจอยู่บริเวณด้านหน้า ด้านข้าง หรือด้านหลังของเซลล์

#### 2.1.1.5 รงควัตถุ (Pigment)

รงควัตถุที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสงในสาหร่ายสามารถจำแนกออกได้เป็น 3 กลุ่มหลัก ได้แก่ คลอโรฟิลล์ (Chlorophyll), แคโรทีนอยด์ (Carotenoid) และไฟโคบิลิน (Phycobilin) โดยรงควัตถุแต่ละชนิดที่ปรากฏในสาหร่ายประเภทต่าง ๆ มีผลต่อการแสดงสีของสาหร่าย ซึ่งเป็นสาเหตุให้สาหร่ายแต่ละกลุ่ม เช่น สาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงิน สีเขียว สีน้ำตาล และสีแดง มีสีที่แตกต่างกัน

รงควัตถุเหล่านี้อาจพบกระจายอยู่ในไซโทพลาซึม เช่นในสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงิน หรืออยู่ในพลาสติกรูปแบบต่าง ๆ เช่น คลอโรพลาสต์หรือโครโมพลาสต์ ซึ่งพบในสาหร่ายกลุ่มอื่น

2.1.2 แหล่งที่อยู่อาศัยของสาหร่าย สาหร่ายมีแหล่งที่อยู่ต่าง ๆ กัน ได้แก่

##### 2.1.2.1 ในน้ำ

เป็นแหล่งที่อยู่ที่สาหร่ายสามารถเจริญได้ดีที่สุด มีทั้งน้ำจืดและน้ำเค็ม โดยอาจอยู่ในรูปแบบแพลงก์ตอนลอยอยู่ในมวลน้ำหรืออยู่ในรูปแบบยึดเกาะกับสิ่งต่างๆ เช่น หิน โคลน ทราช พืช สัตว์ ฯลฯ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.2.1.1 สาหร่ายที่เจริญในน้ำจืด (Freshwater algae) สภาพของแหล่งน้ำที่แตกต่างกัน อาจทำให้พบชนิดของสาหร่ายได้แตกต่างกัน ได้แก่ สาหร่ายที่ขึ้นในสภาพที่มีน้ำไหล เช่น แม่น้ำลำคลองต่าง ๆ มักมีโครงสร้างภายนอกไว้อึดเกาะได้ดี สำหรับแหล่งน้ำ ที่มีสภาพน้ำค่อนข้างนิ่ง เช่น ในบ่อน้ำและสระน้ำ จะพบสาหร่ายได้หลายชนิด ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับอุณหภูมิและความอุดมสมบูรณ์ของอินทรีย์สารในแหล่งน้ำนั้น ส่วนแหล่งน้ำขนาดใหญ่ เช่น ทะเลสาบ ปริมาณแสง อุณหภูมิ และลม จะทำให้สภาพน้ำในทะเลสาบแต่ละฤดูกาลแตกต่างกัน มีผลทำให้ประชากรสัตว์น้ำในทะเลสาบมีปริมาณเปลี่ยนแปลงในแต่ละฤดูกาลแตกต่างกันด้วย ในบางครั้งเราอาจสังเกตเห็นสาหร่ายรวมตัวกันลอยเป็นแพตามผิวน้ำ มีลักษณะเป็นเมือก ๆ เรียกปรากฏการณ์นี้ว่า วอเตอร์บลูม (Water bloom) หรือพอนด์สคัม (Pond scum) เกิดจากสาหร่ายหลาย ๆ ชนิดเจริญขึ้นมากมากภายใต้สภาวะที่เหมาะสม (จกกล, 2552)

2.1.2.1.2 สาหร่ายที่เจริญในน้ำทะเล (Seaweed) สาหร่ายที่เจริญในแต่ละบริเวณของทะเลจะแตกต่างกัน เช่น สาหร่ายที่เจริญเติบโตบริเวณชายฝั่ง อาจมีส่วนที่คล้ายรากฝังลงไปในพื้นที่ทราย ส่วนบริเวณกลางทะเลและมหาสมุทรจะมีพวกแพลงก์ตอนพืชล่องลอยอยู่เป็นจำนวนมาก ในทะเลจะมีปรากฏการณ์ที่เรียกว่า เรดดิชบลูม (Reddish bloom) จากการเจริญเติบโตจำนวนมากของสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินจำพวก *Oscillatoria* เนื่องจากสภาพแวดล้อมเหมาะสม ปรากฏการณ์อีกประเภทหนึ่งเรียกว่า เรอไทด์ (Red tide) หรือซีปลาวาฟ เกิดจากสาหร่ายไดโนแฟลกเจลเลต *Gonyaulax* และ *Gymnodinium* เจริญขึ้นจำนวนมากแล้วทำให้น้ำทะเลเปลี่ยนสีกลายเป็นสีแดง น้ำตาล หรือเขียว (จกกล, 2552; สรวิต, 2543)

ปรากฏการณ์ดังกล่าวได้ส่งผลกระทบต่อประมงและสภาวะแวดล้อมทางทะเล สำหรับประเทศไทยสามารถพบได้เป็นประจำในอ่าวไทย ซึ่งหากพิจารณาลักษณะของอ่าวไทยตอนบนจะเห็นได้ว่าเป็นแหล่งที่รับน้ำจากแม่น้ำหลักสี่สาย ได้แก่ แม่น้ำกลอง ท่าจีน เจ้าพระยา และบางปะกง โดยลักษณะการหมุนเวียนของกระแสน้ำในอ่าวไทยตอนบนมีผลทำให้ของเสียจากแม่น้ำคงอยู่บริเวณปากแม่น้ำและชายฝั่งเป็นเวลานาน เกิดการย่อยสลายของเสีย ซึ่งเป็นสารอินทรีย์ให้เป็นสารอนินทรีย์ที่เป็นสารอาหารสำหรับการเจริญของแพลงก์ตอนพืช เมื่อสารอาหารเพิ่มมากขึ้นทำให้แพลงก์ตอนพืชเพิ่มจำนวนขึ้นอย่างรวดเร็วและเกิดเป็นปรากฏการณ์ดังกล่าวได้ (สรวิต, 2543)

ปรากฏการณ์วอเตอร์บลูม เรดดิชบลูม และเรอไทด์ เรียกรวมว่า ยูโทรฟิเคชัน (Eutrophication) ซึ่งปรากฏการณ์ดังกล่าวนี้ทำให้เกิดปัญหาแหล่งน้ำ เช่น ทำให้สัตว์น้ำตายหรือลดไปอยู่ที่อื่น น้ำขาดออกซิเจน ทำให้กลิ่น รส และสีของน้ำเปลี่ยนแปลงไป แหล่งน้ำตื้นเขินทำให้สูญเสียทัศนียภาพ และเป็นการเพิ่ม มลพิษของสิ่งแวดล้อมบริเวณนั้นด้วย (สรวิต, 2543)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 2.1.2.2 แหล่งอื่นๆ

สาหร่ายที่เจริญเติบโตในแหล่งอื่นๆ เช่น ในอากาศ ส่วนมากเป็นสาหร่ายเซลล์เดี่ยว หรือกลุ่มเซลล์ที่แห้งและถูกลมพัดปลิวมาในอากาศ ในที่ชื้นมักเป็นสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงิน ในดิน ทั้งผิวดินและใต้ดิน มีหลายชนิดด้วยกันทั้งสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงิน สาหร่ายสีแดง ฯลฯ สาหร่ายบางชนิดสามารถเจริญเติบโตได้ในสภาพอากาศเย็นจัด เช่น บนหิมะ บางชนิดอยู่ร่วมกับพืชพาราอิตกับสิ่งมีชีวิตชนิดอื่น เช่น ไลเคน อยู่ร่วมกับรา แต่สาหร่ายบางชนิดเมื่ออยู่ร่วมกับสิ่งมีชีวิตชนิดอื่นแล้วกลับทำให้เกิดโรคกับสิ่งมีชีวิตชนิดนั้น (สรวิศ, 2543)

## 2.2 สาหร่ายแดง (Red Algae)

สาหร่ายแดง (Red Algae) เป็นกลุ่มของสาหร่ายชนิดหนึ่งที่มีความหลากหลายมากในท้องทะเล และมีความสำคัญทางท้องถิ่นและในอุตสาหกรรมอาหาร ลักษณะของสาหร่ายแดง มีลักษณะสีแดงถึงสีน้ำเงินเข้ม โดยสีแดงของสาหร่ายนี้มาจากสารชีวภาพที่เรียกว่า "ซี-ไฟโคอีริทริน" (C-phycoerythrin) และ "ไฟโคไซยานิน" (phycocyanin) ที่สร้างสี สาหร่ายแดงมีโครงสร้างเซลล์และแลกตินในตัว ซึ่งทำให้มีความนุ่มและยืดหยุ่น (Lee, 2008) กลุ่มสาหร่ายสีแดง (Rhodophyta, Red Algae) เช่น

### 2.2.1 กราซิลาริเรีย (*Gracilaria* spp.)

สาหร่ายพมนางกราซิลาริเรีย พืชเซอไร เป็นชื่อเรียกตามท้องถิ่น เป็นสาหร่ายสีแดงสกุลกราซิลาริเรีย อยู่ในดิวิชันโรโดไปตา คลาสโรโดไปซี มีอยู่หลายสกุล สาหร่ายที่มีความสำคัญต่ออุตสาหกรรมการผลิตวุ้นสกุลกราซิลาริเรียมีอยู่หลายสายพันธุ์ และมีชื่อเรียกตามท้องถิ่น เช่น ในประเทศไทยเรียกสาหร่ายพมนาง, สาย, สาหร่ายข้อ, สาหร่ายเขากวาง หรือสาหร่ายวุ้น แพร่กระจายอยู่ตามชายฝั่งของอ่าวไทยและฝั่งมหาสมุทรอินเดีย เช่น จังหวัดตราด จันทบุรี ระยอง ชลบุรี ประจวบคีรีขันธ์ ชุมพร สุราษฎร์ธานี พัทลุง สงขลา ระนอง ปัตตานี และ นราธิวาส สาหร่ายพมนางกราซิลาริเรียส่วนมากจะขึ้นในบริเวณดินปนทราย

สาหร่ายพมนางจัดเป็นสาหร่ายสีแดงที่มีการกระจายพันธุ์อย่างกว้างขวางทั่วโลก ลักษณะที่ลึกลับโดยทั่วไปตั้งตรง มีรูปทรงกระบอก เรียวยาว ซึ่งอาจเป็นลักษณะกลมหรือแบน และมักมีเนื้อสัมผัสสอวบน้ำ ลักษณะของที่ลึกลับมีความหลากหลาย ตั้งแต่บาง อ่อนนุ่ม หักง่าย ไปจนถึงมีความเหนียวคล้ายเยื่อบางหรือกระดุกอ่อน การเจริญเติบโตของสาหร่ายพมนางเกิดได้ทั้งที่บริเวณเซลล์ยอดปลาย และโดยการแตกแขนงจากด้านข้าง

เนื่องจากการกระจายตัวในหลายพื้นที่ จึงพบว่าสาหร่ายพมนางมีรูปร่าง ขนาด และสีที่หลากหลาย เช่น สีแดงอมดำ, แดงสด, แดงน้ำตาล, ชมพู, ม่วงเข้ม, แดงม่วง, เขียว, เหลือง, เทา หรือเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยามให้นำไปใช้

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แม้แต่ใส และเมื่อผ่านกระบวนการทำแห้ง สีของสาหร่ายจะเปลี่ยนเป็นสีน้ำตาลไหม้ ดำ หรือน้ำตาลเข้ม ความยาวของทลัสมีตั้งแต่ 4 เซนติเมตรจนถึง 3.5 เมตร และเส้นผ่านศูนย์กลางอยู่ในช่วง 0.5–4.0 มิลลิเมตร

ในด้านองค์ประกอบของรงควัตถุ สาหร่ายผสมนางมีคลอโรฟิลล์ชนิดเอและดี รวมถึงไฟโคบิลิน เช่น อาร์-ไฟโคอิริทริน (R-phycoerythrin), อาร์-ไฟโคไซยานิน (R-phycoerythrin), ซี-อัลโลไฟโคไซยานิน (C-allophycoerythrin) และกลุ่มคาโรทีนอยด์ เช่น เบต้า-คาโรทีน ( $\beta$ -carotene) และแอนเทอราแซนทิน (Antheraxanthin)



ภาพที่ 2.2 สาหร่ายผสมนาง (Gracilaria)

ที่มา : Direktorat (2023)

สาหร่ายผสมนาง มีกระจายอยู่ทั่วโลก ทั้งในเขตร้อนและเขตอบอุ่น มีประมาณไม่น้อยกว่า 160 ชนิด ในธรรมชาติสาหร่ายผสมนาง มักพบในบริเวณน้ำทะเลที่มีการเปลี่ยนแปลงระดับ เช่น เขตน้ำขึ้นน้ำลง หรือบริเวณที่มีน้ำท่วมขังตลอดเวลา โดยอาจเกาะติดกับวัสดุต่าง ๆ ในน้ำ เช่น เปลือกหอย กรวด หรืออาจลอยอยู่อย่างอิสระโดยไม่ยึดเกาะกับวัตถุใดเลย สาหร่ายผสมนางบางชนิด เช่น กราซิลารีเย พิชเชอไร จะเจริญอยู่บริเวณป่าชายเลน ซึ่งเป็นน้ำกร่อยและน้ำเค็ม มักพบเกาะกับรากไม้ หรือบางส่วนจมอยู่ในโคลนเลน สาหร่ายผสมนาง สามารถอยู่ในน้ำลึกถึง 110 เมตร ในประเทศไทยจะพบสาหร่ายผสมนาง ได้ทั่วไปบริเวณน้ำตื้นหรือชายฝั่งที่ลมพัดไม่แรงมากนัก สาหร่ายผสมนางพวกนี้อาจขึ้นร่วมกับสาหร่ายชนิดอื่น หรือขึ้นตามลำพังชนิดเดียว ก็ได้โดยอิสระหรือยึดเกาะกับก้อนกรวด หิน เปลือกหอย โดยใช้ไฮลด์ฟาสาที่เป็นที่ยึดเกาะ นอกจากนี้ยังสามารถพบได้ตามบริเวณป่าชายเลนโดยจะอยู่บริเวณน้ำตื้น พื้นเป็นทรายปนโคลน ความลึกของน้ำทะเลไม่เกิน 1 ถึง 2 เมตร

การเพาะเลี้ยงสาหร่ายผสมนาง มีพฤติกรรมของการสืบพันธุ์แบบมีเพศเป็น 3 ลักษณะ ประกอบด้วย gametophyte, sporophyte และ carposporophyte stages โดยสลับกันไป สามารถรวบรวมสปอร์ได้จากการวางวัสดุสปอร์ในแหล่งน้ำที่มีสาหร่ายชุกชุม กับผลิตพันธุ์สาหร่ายอ่อนได้จากเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การเลือกคัดต้นพันธุ์ที่สมบูรณ์มาใช้ขยาย พันธุ์ในถังเพาะ โดยวางวัสดุรองรับสปอร์ภายใต้ต้นพันธุ์ซึ่งต้องใช้เวลานาน 2-3 วัน เพื่อให้สปอร์เริ่มเจริญพันธุ์และเกาะบนวัสดุได้อย่างมั่นคงแล้วจึงเคลื่อน ย้ายไปยังถังอนุบาลและแหล่งเลี้ยงสาหร่ายต่อไป สปอร์จะตกและเคลื่อนออกจากกระเปาะหุ้มสปอร์สู่ภายนอกได้ดีในน้ำเค็ม 30 ppt มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 17-30 ไมครอน เมื่อมีอายุ 3-4 วัน จะยึดเกาะบนวัสดุและเจริญพันธุ์เป็นสาหร่ายอ่อนภายใน 33-40 วันในน้ำที่มีความเค็ม 10-15 ppt อุณหภูมิ 27-30 องศาเซลเซียส, pH 7.2-8.1 ในความเข้มของแสง 800-2,000 Lux.

ความสำคัญของสาหร่ายผสมนาง 1) ด้านอาหาร ใช้เป็นอาหารมนุษย์ ประเทศที่นิยมนำสาหร่ายผสมนางสกุลกรากซิลลาเรียกว่าบรีโกลเป็นอาหารได้แก่ จีน ญี่ปุ่น อินเดีย Philip ปีนส์ ไทย และ เวียดนาม คุณค่าทางอาหารที่ได้จากสาหร่ายผสมนาง ได้แก่ โปรตีน คาร์โบไฮเดรต เกลือแร่ โดยเฉพาะธาตุไอโอดีน และวิตามิน ใช้เป็นอาหารสัตว์ใช้เลี้ยง สุนัข วัว ม้า ฯลฯ โดยให้กินสดๆ โดยเก็บมาวางกองหรือลงไปกินบริเวณชายฝั่งทะเลสาบหรืออาจจะนำไปสับให้เป็น ท่อนเล็กๆผสมกับอาหารสุกรต้มให้สุก นำไปเลี้ยงสุกร จะช่วยเพิ่มน้ำหนักตัว 2) ด้านเกษตรกรรม สาหร่ายถูกนำมาใช้เป็นปุ๋ยพืชสดเนื่องจากมีปริมาณไนโตรเจน และโพแทสเซียมสูง รวมทั้งยังอุดมไปด้วยแร่ธาตุในปริมาณเล็กน้อย (trace elements) ที่จำเป็นต่อการเจริญเติบโตของพืช เช่น ไอโอดีน ไบรอน และทองแดง เป็นต้น นอกจากนี้ สาหร่ายยังสามารถนำมาผลิตเป็นปุ๋ยน้ำได้โดยการบดละเอียดผสมกับน้ำในอัตราส่วน 1:500 ลิตร เพื่อนำไปรดต้นไม้ น้ำสกัดจากสาหร่ายทะเลยังมีคุณสมบัติช่วยป้องกันแมลงศัตรูพืช โดยเฉพาะเมื่อนำไปฉีดพ่นบนพืชตระกูลหัวผักกาดหวาน พบว่าสามารถลดปัญหาเพลี้ยและเชื้อราได้ นอกจากนี้ยังช่วยลดการสูญเสียของผลไม้ในช่วงที่อากาศหนาวจัดได้อย่างมีประสิทธิภาพ 3) ด้านการแพทย์ นิยมใช้สาหร่ายมาทำยารักษาโรค โดยใช้รักษาโรคกระเพาะ ยาระบาย และยาแก้โรคคอกพอกและยังนำวุ้นมาทำเป็นแคปซูลสำหรับหุ้มยา นอกจากนี้ผู้ป่วยที่เป็นโรคกระเพาะหย่อน ลำไส้ใหญ่อักเสบ ริดสีดวงทวาร ใจสั่น ความดันโลหิตสูง หลอดเลือดแข็ง ข้ออักเสบ โรคอ้วนต่างๆ ถ้าได้รับประทานสาหร่ายเป็นประจำ จะช่วยทำให้อาการทุเลาลงได้ 4) ด้านเศรษฐกิจและอุตสาหกรรม สาหร่ายผสมนางใช้เป็นวัตถุดิบสำหรับผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมที่มีประโยชน์ เช่น วุ้น ซึ่งสกัดได้จากสาหร่ายทะเลสีแดงโดยเฉพาะสาหร่ายผสมนาง มีวุ้นมากที่สุด เป็นผลิตภัณฑ์ชนิดแรกที่มนุษย์รู้จักนำมาใช้ประโยชน์อย่างกว้างขวาง เช่น ทำวุ้นชนิดเส้น แผ่น หรือ ผง ประโยชน์ของสาหร่าย (สะตอพอริยู มัลติมีเดีย คอร์ป. 2011)

ประโยชน์ของสาหร่ายแดง คือ มีคุณค่าโภชนาการสูง โดยมีโปรตีน ไฟเบอร์ วิตามิน และแร่ธาตุ เช่น เหล็ก แคลเซียม การใช้สาหร่ายแดงในอาหารและอาหารเสริมมีความนิยมในหลายประเทศ เช่น การใช้สาหร่ายแดงในซูชิและซาซิมิในอาหารญี่ปุ่น และในแบบอื่น ๆ ในอาหารตะวันตก สาหร่ายแดงใช้ในเทคโนโลยีอาหาร เพื่อผลิตผงวุ้น (Agar-Agar powder) ที่มักใช้เป็นสารกำจัดความหนืดและในการทำเจล และความหนืดในอาหารและขนมปัง บางชนิดของสาหร่ายแดงมีสารต้านอนุมูลอิสระและสารสร้างเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภูมิคุ้มกันที่มีคุณสมบัติในการส่งเสริมสุขภาพ ปัจจุบันมีงานวิจัยที่กำลังดำเนินการเพื่อศึกษาประโยชน์ทางการแพทย์จากสาหร่ายแดงเหล่านี้ สาหร่ายแดงมีบทบาทสำคัญในเทคโนโลยีอาหาร และมีคุณสมบัติทางโภชนาการที่สำคัญสำหรับการรักษาสุขภาพและการปรุงอาหารในหลายประเทศทั่วโลก (ยวดี, 2549)

การนำสาหร่ายแดงไปใช้ในงานวิจัยอาหารมีความหลากหลายและเป็นที่ยอมรับในวงการวิทยาศาสตร์อาหาร นี่คือนวัตกรรมที่สาหร่ายแดงถูกนำมาใช้ในงานวิจัยอาหาร ได้แก่ สาหร่ายแดงมีความสำคัญในการศึกษาคุณค่าทางโภชนาการ เนื่องจากมีโปรตีน ไฟเบอร์ วิตามิน แร่ธาตุ และสารอาหารอื่น ๆ ที่มีประโยชน์ การวิจัยคุณค่าทางโภชนาการของสาหร่ายแดง สามารถช่วยให้เข้าใจคุณค่าทางโภชนาการของสาหร่ายแดงและนำไปใช้ในการพัฒนาอาหารที่มีประโยชน์สำหรับมนุษย์ สาหร่ายแดงมีสารอาหารและสารชีวภาพที่น่าสนใจ การใช้เทคโนโลยีอาหารเพื่อสกัดสารอาหารหรือสร้างผลิตภัณฑ์อาหารใหม่จากสาหร่ายแดงมีความสำคัญในการพัฒนาอาหารและผลิตภัณฑ์ที่มีคุณค่าทางโภชนาการสูง สาหร่ายแดงมักถูกนำมาใช้ในการศึกษาเรื่องความปลอดภัยของอาหาร โดยการทดสอบการต้านทานต่อเชื้อสายพันธุ์ การควบคุมการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ หรือการวิจัยวิธีการทำให้อาหารปลอดภัยตลอดระยะเวลาการจัดเก็บ สาหร่ายแดงมักถูกนำมาใช้ในการผลิตอาหารเสริมและอาหารฟังก์ชันที่มีประโยชน์สำหรับสุขภาพ เช่น การผลิตสารสกัดจากสาหร่ายแดงเพื่อใช้ในอาหารเสริมที่ส่งเสริมสุขภาพหรือใช้ในอาหารที่เป็นมิตรต่อสุขภาพ (ยวดี, 2549)

สาหร่ายแดงสกุล *Gracilaria* มีคุณค่าทางโภชนาการสูง โดยมีโปรตีนในปริมาณมาก เช่น *Gracilaria corticata* มีโปรตีนประมาณ 22.8 กรัม และ *G. edulis* มีประมาณ 25.3 กรัม ต่อ 100 กรัม น้ำหนักแห้ง (Pereira & Critchley, 2011) ไขมันมีในปริมาณต่ำ โดย *G. corticata* มีประมาณ 7.07 กรัม และ *G. edulis* มีประมาณ 4.76 กรัม ต่อ 100 กรัม น้ำหนักแห้ง (Pereira & Critchley, 2011) นอกจากนี้ยังมีคาร์โบไฮเดรตสูง โดย *Gracilaria gracilis* มีประมาณ 63.13 กรัม และใยอาหารประมาณ 27.5 กรัม ต่อ 100 กรัม น้ำหนักแห้ง (Abdullah et al., 2019) ในด้านแร่ธาตุ สาหร่ายแดงมีแคลเซียม (~429 มก.), โพแทสเซียม (~1,380 มก.) และธาตุเหล็ก (~15.2 มก.) ต่อ 100 กรัม น้ำหนักแห้ง (Abdullah et al., 2019) ซึ่งแสดงให้เห็นว่าสาหร่ายแดงสกุล *Gracilaria* เป็นแหล่งวัตถุดิบธรรมชาติที่มีศักยภาพสูงในการนำมาใช้เป็นส่วนประกอบในผลิตภัณฑ์อาหารเพื่อสุขภาพ

## 2.3 การนำสาหร่ายไปใช้ในงานวิจัย

การนำสาหร่ายมาใช้ในงานวิจัยด้านอาหารมีบทบาทสำคัญและแสดงให้เห็นถึงศักยภาพที่หลากหลาย ทั้งในเชิงโภชนาการและเทคโนโลยีการแปรรูปอาหาร โดยสาหร่ายถือเป็นวัตถุดิบที่มีคุณสมบัติพิเศษ ซึ่งช่วยยกระดับคุณภาพของผลิตภัณฑ์อาหารในหลายด้าน (กาญจนภาพน์, 2557) หนึ่งในคุณลักษณะเด่นคือ สาหร่ายเป็นแหล่งโปรตีนที่มีคุณค่าทางโภชนาการสูง โดยให้กรดอะมิโนจำเป็น เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อย่างครบถ้วน เหมาะสำหรับผู้บริโภคที่เน้นอาหารเจ (Vegetarian) และวีแกน (Vegan) ซึ่งมักมีข้อจำกัดด้านแหล่งโปรตีน ในด้านการพัฒนาอาหารเพื่อสุขภาพ สาหร่ายได้รับความนิยมนำมาใช้ในการเพิ่มคุณค่าทางอาหาร เนื่องจากมีรสชาติอ่อนโยน สามารถใช้เป็นส่วนประกอบของผลิตภัณฑ์เสริมอาหาร ตัวอย่างเช่น สาหร่าย *Ulva lactuca* เป็นแหล่งที่ดีของใยอาหาร ส่วนสาหร่ายโนริ (Nori) เป็นหนึ่งในแหล่งของวิตามินบี 12 ซึ่งจำเป็นสำหรับผู้ที่ได้รับประทานอาหารจากพืชเท่านั้น นอกจากนี้ประโยชน์ทางโภชนาการแล้ว สาหร่ายยังถูกใช้เพื่อเพิ่มคุณลักษณะทางประสาทสัมผัสในอาหาร เช่น สี กลิ่น และรสเค็ม โดยเฉพาะในอาหารญี่ปุ่น เช่น ซูชิ ซึ่งมีการใช้สาหร่ายเป็นส่วนประกอบหลัก หรือแปรงสาหร่ายที่นำมาใช้ในการผลิตขนมปังและซอส อีกทั้งสาหร่ายยังอุดมไปด้วยสารต้านอนุมูลอิสระ ซึ่งมีบทบาทในการลดความเสี่ยงของโรคไม่ติดต่อเรื้อรัง อาทิ โรคหัวใจ เบาหวาน และมะเร็ง การเติมสารสกัดจากสาหร่ายในผลิตภัณฑ์อาหารจึงเป็นแนวทางหนึ่งในการเพิ่มปริมาณสารต้านอนุมูลอิสระให้กับผู้บริโภค ในเชิงเทคโนโลยี สาหร่ายยังสามารถนำไปแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์ที่มีฟังก์ชันเฉพาะ เช่น ผงวุ้น (Agar-Agar Powder) ซึ่งนิยมใช้เป็นสารก่อเจลในผลิตภัณฑ์อาหารหลายชนิด ทำหน้าที่สร้างโครงสร้างหรือช่วยให้อาหารแข็งตัวตามต้องการ (กาญจนภาชน์, 2557)

Mamatha และคณะ (2007) ศึกษาคุณค่าทางโภชนาการของสาหร่ายทะเลซึ่งถือเป็นแหล่งของสารอาหารสำคัญ อาทิ วิตามิน แร่ธาตุ และใยอาหาร ทั้งนี้ยังให้พลังงานต่ำ สาหร่ายสีเขียวชนิด *Enteromorpha compressa* (Linnaeus) ซึ่งอยู่ในกลุ่ม Chlorophyta มีสารคลอโรฟิลล์ b รวมถึงแร่ธาตุจำเป็น เช่น แคลเซียม แมกนีเซียม เหล็ก และใยอาหารในปริมาณที่ดี นักวิจัยได้นำสาหร่ายชนิดนี้มาใช้แทนแป้งถั่วในกระบวนการผลิต Pakoda ซึ่งเป็นขนมทอดพื้นเมืองของอินเดีย โดยทดลองเติมผงสาหร่ายอบแห้งในสัดส่วน 5%, 7.5%, 10%, 12.5% และ 15% ของปริมาณแป้งทั้งหมด พบว่าการเติมสาหร่ายในระดับต่าง ๆ ส่งผลให้ค่าเถ้า (Ash content) ปริมาณโปรตีน และใยอาหารในผลิตภัณฑ์เพิ่มขึ้นตามปริมาณที่ใช้ นอกจากนี้ยังพบว่า ปริมาณธาตุเหล็กเพิ่มขึ้นเกือบห้าเท่า (จาก 26.4 เป็น 126 มก./100 กรัม) และปริมาณแคลเซียมเพิ่มขึ้นสี่เท่า (จาก 30.1 เป็น 124 มก./100 กรัม) อย่างไรก็ตาม การเติมสาหร่ายยังมีผลต่อคุณสมบัติด้านสารต้านอนุมูลอิสระ โดย Free-radical scavenging activity และปริมาณฟีนอลรวมลดลงเมื่อปริมาณผงสาหร่ายเพิ่มขึ้น ในการประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสพบว่า Pakoda ที่เติมผงสาหร่ายในระดับ 7.5% ยังคงมีรสชาติและคุณภาพใกล้เคียงกับผลิตภัณฑ์ต้นแบบที่ไม่ได้เติมสาหร่าย จึงสามารถสรุปได้ว่าการใช้ผงสาหร่ายเป็นแนวทางหนึ่งในการเพิ่มคุณค่าทางโภชนาการให้กับขนมขบเคี้ยวได้อย่างเหมาะสม

จากการศึกษาของ Cofrades และคณะ (2008) ได้ทดลองใช้งานสาหร่ายทะเลรับประทานได้ 3 ชนิด ได้แก่ สาหร่ายสีน้ำตาลสายพันธุ์ *Himantalia elongata* (เรียกกันทั่วไปว่าสาหร่ายสปาเกตตี้), *Undaria pinnatifida* หรือสาหร่ายวากาเมะ และ *Porphyra umbilicalis* หรือสาหร่ายโนริ โดยใช้ในรูปแบบของผงแห้ง เพื่อประเมินผลต่อคุณสมบัติทางเนื้อสัมผัสในผลิตภัณฑ์ประเภทเจลเนื้อสัตว์ ผลการทดลองพบว่า การเติมสาหร่ายโนริในระดับ 2.5% ช่วยเพิ่มค่าความแน่น (Hardness) และความเหนียว (Chewiness) ของเจลได้อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p < 0.05$ ) ขณะเดียวกัน ค่าเต็งกลับ (Springiness) เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

และความยืดหยุ่นในการยึดเกาะกันของเนื้อเจล (Cohesiveness) กลับลดลงอย่างชัดเจนเมื่อเทียบกับกลุ่มควบคุม นอกจากนี้ ยังพบว่า การเปลี่ยนแปลงของค่าความแตกต่างด้านสีของผลิตภัณฑ์มีความสัมพันธ์กับชนิดของสาหร่ายที่ใช้ โดยสาหร่ายสีน้ำตาลทั้งสองชนิด (สไปเกตดีและวากาเมะ) ส่งผลให้ผลิตภัณฑ์มีลักษณะทางกายภาพที่คล้ายคลึงกัน ในขณะที่การเติมสาหร่ายโนริ ซึ่งจัดเป็นสาหร่ายสีแดง ส่งผลให้เกิดความแตกต่างทางลักษณะทางกายภาพของอิมัลชันอย่างชัดเจน

## 2.4 เนื้อเทียม

เนื้อเทียมเป็นผลิตภัณฑ์ที่ผลิตจากโปรตีนจากพืชหลากหลายชนิด เช่น ถั่ว เห็ด สาหร่าย ข้าวโอ๊ต และอัลมอนต์ โดยผ่านการพัฒนาให้มีรสชาติ กลิ่น และสีที่คล้ายคลึงกับเนื้อสัตว์จริง พร้อมกับมีเนื้อสัมผัสและรูปลักษณ์ภายนอกที่ใกล้เคียงกับเนื้อสัตว์ (Meat-like Texture Product) เนื้อเทียมจัดเป็นอาหารเพื่อสุขภาพที่ให้โปรตีนและสารอาหารอื่น ๆ ที่สำคัญ โปรตีนเกษตรซึ่งเป็นส่วนหนึ่งของอาหารจากพืช (Plant-based Food) มีความนิยมอย่างแพร่หลายโดยเฉพาะในกลุ่มผู้บริโภคอาหารมังสวิรัตติ อย่างไรก็ตาม ด้วยความก้าวหน้าทางวิทยาศาสตร์การอาหารในปัจจุบัน ผลิตภัณฑ์เนื้อเทียมจึงมีความหลากหลายมากขึ้น ทั้งในแง่ของรสชาติ กลิ่น และสีที่ใกล้เคียงกับเนื้อสัตว์อย่างมาก (Krungthai COMPASS, 2020) โปรตีนจากพืชได้รับการยอมรับว่าเป็นโปรตีนทางเลือก (alternative protein) ซึ่งสามารถทดแทนโปรตีนจากสัตว์ได้ เนื่องจากการบริโภคเนื้อสัตว์นั้นก่อให้เกิดผลกระทบต่อหลายด้าน ไม่ว่าจะเป็นเรื่องจริยธรรมเกี่ยวกับการทรมานสัตว์ ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมจากการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในฟาร์มปศุสัตว์ รวมถึงผลกระทบต่อสุขภาพผู้บริโภคจากการใช้สารเคมีและยาปฏิชีวนะในการเลี้ยงสัตว์ อีกทั้งเนื้อสัตว์ยังมีไขมันที่อุดมไปด้วยคอเลสเตอรอลสูง โปรตีนจากพืชจึงเข้ามามีบทบาทเป็นทางเลือกใหม่ที่ตอบโจทย์ทั้งเรื่องรสชาติ เนื้อสัมผัส และคุณค่าทางโภชนาการที่ใกล้เคียงกับเนื้อสัตว์จริง แต่ผลิตจากวัตถุดิบที่มาจากพืชแทน (Rubio et al., 2020) โปรตีนจากพืชมีแหล่งที่มาหลากหลาย สามารถแบ่งออกเป็น 5 กลุ่มหลัก ได้แก่ 1) ธัญพืช ซึ่งได้จากพืชในวงศ์หญ้าที่บริโภคได้ เช่น ข้าวโพด ข้าวสาลี ข้าวฟ่าง และข้าวบาร์เลย์ 2) ถั่วหลากหลายชนิด ทั้งถั่วฝักเมล็ดเรียวยาว ถั่วเมล็ดกลม และถั่วเมล็ดแบน เช่น ถั่วดำ ถั่วเหลือง และถั่วเขียว 3) เมล็ดพืชและผลไม้แห้งที่มีเปลือกแข็ง เช่น เมล็ดทานตะวัน ฟักทอง งา และถั่วลิสง 4) โปรตีนจากพืชในกลุ่มหญ้าที่ไม่ใช่ธัญพืช ได้แก่ ควินัว บักวีท และอะมารันต์ และ 5) โปรตีนที่มาจากผักต่างๆ เช่น บร็อกโคลี เคล และกะหล่ำดอก (นักสิทธิ์, 2563) ในบรรดาพืชเหล่านี้ พืชตระกูลถั่วได้รับความนิยมสูงสุดในอุตสาหกรรมโปรตีนจากพืช เนื่องจากมีปริมาณโปรตีนสูง ในอดีต ผลิตภัณฑ์จากโปรตีนพืชมักจำกัดอยู่ในกลุ่มผู้บริโภคเฉพาะ เช่น ผู้ที่รับประทานอาหารเจในช่วงเทศกาล ตัวอย่างเช่น โปรตีนเกษตร เต้าหู้ และฟองเต้าหู้ อย่างไรก็ตาม ปัจจุบันมีการพัฒนาผลิตภัณฑ์จากโปรตีนพืชให้หลากหลายและมีรสชาติ เนื้อสัมผัสที่ใกล้เคียงกับเนื้อสัตว์มากขึ้น ส่งผลให้ผลิตภัณฑ์เหล่านี้เป็นที่นิยมในกลุ่มผู้บริโภควงกว้างมากขึ้น ผลการวิจัยระบุว่า การบริโภคอาหารที่มีพืชเป็นส่วนประกอบหลักจะช่วยเพิ่มเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เส้นใยอาหาร ซึ่งมีบทบาทสำคัญในการป้องกันโรคเรื้อรัง เช่น โรคอ้วน มะเร็งลำไส้ เบาหวาน และโรคหัวใจ นอกจากนี้ เนื้อเทียมจากพืชผักจะให้พลังงานและไขมันอิ่มตัวต่ำกว่าเนื้อสัตว์ แต่มีเส้นใยอาหารสูงกว่า (Curtain and Grafenauer, 2019) โดยองค์การอนามัยโลกรายงานว่า ผู้ป่วยโรคไม่ติดต่อเรื้อรัง (NCDs) ที่ติดเชื้อไวรัสโควิด-19 มีอาการรุนแรงกว่าผู้ที่ไม่ได้มีโรค NCDs ถึงเกือบ 4 เท่า และมีอัตราการเสียชีวิตสูงกว่าถึง 3.5 เท่า (มณัญญา, 2564) ทำให้ผู้บริโภคตระหนักถึงความสำคัญของการดูแลสุขภาพ และหันมาบริโภคโปรตีนจากพืชมากขึ้น เพื่อลดความเสี่ยงจากการบริโภคเนื้อสัตว์แปรรูปซึ่งมีผลเสียต่อสุขภาพ การเลือกรับประทานอาหารจากพืชยังเป็นแนวทางที่ช่วยในการลดน้ำหนักและควบคุมโรคเบาหวาน อีกทั้งใยอาหารในพืชยังส่งเสริมการเจริญเติบโตของแบคทีเรียชนิดดีในลำไส้ และเส้นใยที่ละลายน้ำช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการย่อยอาหาร รวมถึงเสริมสร้างสุขภาพหัวใจด้วย โปรตีนจากพืชบางชนิดยังช่วยเพิ่มระดับกลูตาไธโอน ซึ่งเป็นสารต้านอนุมูลอิสระสำคัญในร่างกาย ช่วยเสริมสร้างภูมิคุ้มกันให้แข็งแรงขึ้น (Gaucher et al., 2018) นอกจากนี้ การบริโภคโปรตีนจากพืชยังมีส่วนช่วยส่งเสริมความมั่นคงทางอาหาร ซึ่งถือเป็นประเด็นเร่งด่วนของโลก โดยเฉพาะในสถานการณ์การแพร่ระบาดของโควิด-19 และวิถีชีวิตแบบใหม่ (new normal) ที่ทำให้ผู้คนตื่นตัวในการเลือกบริโภคอาหารเพื่อสุขภาพมากขึ้น (เรไร, 2564) ในตลาดปัจจุบัน ผลิตภัณฑ์โปรตีนจากพืชที่ได้รับความนิยมและมีโอกาสทางธุรกิจสามารถแบ่งออกเป็น 4 กลุ่มใหญ่ ได้แก่ 1) เนื้อเทียมจากพืช (plant-based meat) ซึ่งมีส่วนผสมจากพืชประมาณ 95% และส่วนอื่นที่ไม่ใช่พืชประมาณ 5% ผลิตในรูปแบบต่าง ๆ เช่น เบอร์เกอร์ ไส้กรอก หรือเนื้อหมูและอาหารทะเลจากพืช 2) นมและผลิตภัณฑ์นมจากพืช (plant-based milk & dairy) ซึ่งทำจากถั่วหรือธัญพืช เช่น นมมะพร้าว นมถั่วเหลือง นมอัลมอนด์ รวมถึงโยเกิร์ต ชีส และไอศกรีมจากพืช 3) อาหารปรุงสำเร็จจากพืช (plant-based meal) ทั้งในรูปแบบแช่เย็น แช่แข็ง และอาหารที่เก็บได้ในอุณหภูมิห้องโดยไม่ต้องแช่เย็น และ 4) ไข่เทียมจากพืช (plant-based egg) ซึ่งใช้ถั่วเขียวเป็นวัตถุดิบหลักเพื่อสร้างเนื้อสัมผัสและปรับแต่งสี กลิ่นให้คล้ายไข่ เหมาะสำหรับผู้ที่แพ้ไข่หรือกลุ่มดูแลสุขภาพ

ในประเทศไทย กระแสความนิยมในการบริโภคผลิตภัณฑ์เนื้อสัตว์จากพืชเป็นที่รู้จักมาอย่างยาวนาน โดยเฉพาะในช่วงเทศกาลถือศีลกินเจ อีกทั้งทั่วโลกรวมถึงประเทศไทยต้องเจอกับสถานการณ์การระบาดของไวรัสโควิด-19 ผู้บริโภคให้ความสำคัญและใส่ใจสุขภาพ จึงเลือกรับประทานอาหารมากขึ้น ผู้บริโภคเลือกรับประทานอาหารที่สะอาด มีคุณภาพ และปลอดภัย รวมถึงการลดการบริโภคเนื้อสัตว์ลง เพื่อลดความเสี่ยงที่อาจเกิดการปนเปื้อนของจุลินทรีย์ที่ก่อโรค ในขณะที่เดียวกันคนไทยเริ่มมีความเข้าใจเรื่องโปรตีนจากพืชมากขึ้นในช่วงเทศกาลถือศีลกินเจที่ผ่านมา ร้านอาหารนำเสนอเมนูอาหารจากพืชในรูปแบบที่หลากหลายมากขึ้น ผู้บริโภคเริ่มรับรู้ข้อมูลเกี่ยวกับอาหารจากพืชที่มีความแตกต่างจากอาหารเจที่ส่วนมากทำมาจากแป้งหรือถั่วเหลืองอย่างเดียว ซึ่งผลิตภัณฑ์มีการนำพืชชนิดอื่นมาใช้เป็นวัตถุดิบด้วย ซึ่งพิจารณาแล้วว่าอาหารจากพืชไม่ใช่แนวโน้มแต่เป็นแนวทางการแก้ไขปัญหาที่ตอบโจทย์ทั้งเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในเรื่องของสุขภาพและสิ่งแวดล้อม ซึ่งกลุ่มผู้บริโภคในประเทศไทยที่เป็นกลุ่มรับประทานอาหารมังสวิรัต แบบยืดหยุ่น (Flexitarian, กลุ่มผู้บริโภคที่พยายามลดการบริโภคเนื้อสัตว์ให้น้อยลง ในลักษณะการรับประทานบางอย่าง ไม่รับประทานบางอย่าง หรือรับประทานบ้าง ไม่รับประทานบ้าง) มีอยู่ราว 1 ใน 4 ของประชากรทั้งประเทศ หรือประมาณ 17-18 ล้านคน (จากประชากรไทย 67-68 ล้านคน) โดยวิถีชีวิตของ Flexitarian แบ่งเป็น 2 กลุ่ม คือ กลุ่มบริโภคมังสวิรัตเป็นครั้งคราวเพราะต้องการดูแลสุขภาพ และ บริโภคมังสวิรัต เป็นครั้งคราวเพราะต้องการควบคุมน้ำหนัก จึงเห็นได้ว่าโอกาสเติบโตของตลาดอาหารประเภทนี้ค่อนข้างสูง (เรไร, 2564)

#### 2.4.1 วัตถุดิบที่มีบทบาทต่อคุณภาพของเนื้อเทียม (ประชา, 2539)

##### 2.4.1.1 โปรตีน

โปรตีนที่นิยมใช้ในผลิตภัณฑ์เนื้อเทียมคือโปรตีนถั่วเหลือง โดยเฉพาะอย่างยิ่งในเนื้อเทียม ส่วนในขนมขบเคี้ยวและอาหารเข้าชนิดกรอบ โปรตีนจะช่วยลดการพองตัวและขนาดของโพรงอากาศ เพิ่มความหนาแน่น และทำให้ผลิตภัณฑ์มีเนื้อสัมผัสกรอบและแข็งขึ้น คุณภาพของโปรตีนถั่วเหลืองมีผลต่อคุณสมบัติทางกายภาพ พันธะเคมี และสมบัติการทำงานของเนื้อเทียม

โครงสร้างเส้นใยหลัก (Fiber) และเลเยอร์ (Layer) ที่ทำให้เนื้อเทียมมีลักษณะคล้ายเนื้อสัตว์ เกิดจากปฏิกิริยาระหว่างโปรตีนกับโปรตีน และโปรตีนกับองค์ประกอบอื่น ๆ นอกจากนี้ ปริมาณโปรตีนในวัตถุดิบยังส่งผลต่อโครงสร้างและเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์ ทำให้เกิดโครงสร้างเส้นใยที่คล้ายเนื้อสัตว์ (Fibrous Meat-like Texture) อย่างชัดเจน

##### 2.4.1.2 คาร์โบไฮเดรต

คาร์โบไฮเดรตมีผลต่อเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์ โดยคาร์โบไฮเดรตชนิดละลายน้ำได้ (Soluble Carbohydrate) แม้จะไม่มีบทบาทสำคัญต่อโครงสร้างผลิตภัณฑ์ แต่สามารถทำให้เกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาลแบบไม่มีเอนไซม์ (Non-Enzymatic Reaction) ซึ่งส่งผลต่อคุณภาพสีของผลิตภัณฑ์ ส่วนคาร์โบไฮเดรตที่ไม่ละลายน้ำ (Insoluble Carbohydrate) เช่น ใยอาหาร (Dietary Fiber) จะมีอิทธิพลต่อโครงสร้างภายในของผลิตภัณฑ์ในลักษณะของโพรงอากาศ (Air Cell)

##### 2.4.1.3 ไขมัน

ไขมันทำหน้าที่เหมือนสารหล่อลื่น ช่วยลดความเหนียวหนืดของส่วนผสม ทำให้ส่วนผสมเคลื่อนตัวได้ง่ายขึ้น หากมีไขมันสูง ผลิตภัณฑ์จะมีเนื้อแน่น ดังนั้นสำหรับผลิตภัณฑ์ที่ต้องการความพอง ไขมันควรมีปริมาณต่ำกว่า 2% ไขมันยังช่วยลดความหนืดของโดด้วย ในการผลิตเนื้อเทียมที่ใช้วัตถุดิบมีไขมัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

0.5–6.5% น้ำหนัก จำเป็นต้องเพิ่มแรงเฉือนและปรับอุณหภูมิในกระบวนการผลิตให้สูงขึ้น รวมถึงใช้สกรูที่มีการจัดเรียงเพื่อเพิ่มแรงเฉือน เพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีคุณภาพสมบูรณ์

#### 2.4.1.4 น้ำ

ในการผลิตเนื้อเทียม จะต้องเติมน้ำเพื่อเพิ่มความชื้นในส่วนผสม ซึ่งช่วยลดอุณหภูมิและทำหน้าที่เป็นสารหล่อลื่นช่วยให้ผลิตภัณฑ์ไหลผ่านเครื่องได้ดี น้ำยังมีบทบาทสำคัญในการเกิดเจล เมื่อแปรงดูดซับน้ำจะพองตัว ทำให้น้ำซึมเข้าไปได้มากขึ้น หากมีการกวนและอุณหภูมิที่เหมาะสม ความชื้นที่สม่ำเสมอเป็นสิ่งจำเป็น หากไม่สม่ำเสมอจะทำให้ปฏิกิริยาเจลไม่สม่ำเสมอ ส่งผลให้ผลิตภัณฑ์ไม่ได้คุณภาพ น้ำยังทำหน้าที่เป็นตัวถ่ายเทความร้อนและสารหล่อลื่นในเครื่องเอกซ์ทรูเดอร์

น้ำส่งผลต่อการสุกของเนื้อเทียม โดยเฉพาะในกระบวนการเอกซ์ทรูชันที่มีปริมาณน้ำน้อย น้ำทำหน้าที่เป็นพลาสติกไซเซอร์ (Plasticizer) ช่วยเปลี่ยนคุณสมบัติการไหลของโพลีเมอร์ ลดความหนืดของโพลีเมอร์ ทำให้เกิดโครงสร้างเชื่อมโยงภายในไม่สมบูรณ์ แต่เมื่อเพิ่มความชื้นในวัตถุดิบ จะทำให้อัตราการพองตัวลดลง ความหนาแน่นเพิ่มขึ้น เนื่องจากความชื้นที่สูงขึ้นทำให้ความดันและแรงบิด (ทอร์ค) ภายในเอกซ์ทรูเดอร์ลดลง ส่งผลให้แรงเฉือนต่อวัตถุดิบลดลง การผสมและการสร้างเนื้อสัมผัสจึงเกิดขึ้นน้อยลง

สอดคล้องกับผลการทดลองของ Lin (2020) ที่พบว่า เมื่อความชื้นลดลงจาก 70% เป็น 60% จะทำให้น้ำเนื้อเทียมมีโครงสร้างภายในที่ชัดเจนขึ้น เนื่องจากแรงเฉือนและแรงเสียดทานบริเวณหัวแบบสูงชันทำให้ผลิตภัณฑ์มีโครงสร้างเส้นใยละเอียดและเป็นไปตามทิศทางที่เหมาะสม

นันทวรรณ (2558) ศึกษาการพัฒนาผลิตภัณฑ์นักเก็ตเนื้อเทียมแช่แข็ง โดยมุ่งเน้นให้นักเก็ตเนื้อเทียมมีลักษณะปรากฏ รสชาติ และเนื้อสัมผัสคล้ายนักเก็ตที่ทำจากเนื้อสัตว์ เพื่อเป็นทางเลือกสำหรับผู้บริโภคที่ใส่ใจสุขภาพและผู้บริโภคมังสวิรัติ จากการสำรวจพบว่าผู้บริโภคต้องการผลิตภัณฑ์ที่ดูน่ารับประทาน รสชาติอร่อย และเนื้อสัมผัสใกล้เคียงเนื้อสัตว์ ในการพัฒนาสูตรผลิตภัณฑ์ พบว่าการเติมโปรตีนเกษตรคีนรูป ร้อยละ 75 ได้รับคะแนนความชอบสูงสุดในทุกด้าน จึงศึกษาผลของสารยัดเกาะ ได้แก่ เอนไซม์ทรานส์กลูตามิเนสร้อยละ 0, 1 และ 2 และแซนแทนกัมร้อยละ 0, 0.25 และ 0.50 พบว่าสารทั้งสองมีผลต่อสมบัติเนื้อสัมผัส สูตรนักเก็ตเนื้อเทียมแช่แข็งที่ได้ประกอบด้วย ส่วนเนื้อเทียม: โปรตีนเกษตรคีนรูป 75% น้ำ 10.6% โปรตีนถั่วเหลืองสกัด 4.1% กลูเตน 4.1% น้ำมันถั่วเหลือง 2.7% เอนไซม์ทรานส์กลูตามิเนส 2% สารแต่งกลิ่น 1.0% และสารปรุงแต่งรส 0.8% ส่วนแป้งชุปทอด: แป้งสาลี 88% แป้งมัน 4% แป้งดัดแปร 4% ผงฟู 2% เกลือ 2% ผลการทดสอบพบว่าผู้บริโภคให้คะแนนความชอบเฉลี่ยในระดับปานกลาง (6.9-7.3) โดยร้อยละ 88 ยอมรับและสนใจซื้อผลิตภัณฑ์นักเก็ตเนื้อเทียมแช่แข็งดังกล่าว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

พนา และคณะ (2564) ศึกษาผลของปริมาณแป้งสาลีและเห็ดนางรมหลวงต่อลักษณะเนื้อสัมผัสของเนื้อเทียม โดยใช้วัตถุดิบหลัก ได้แก่ เต้าหู้จากการตกตะกอนโปรตีนถั่วเหลืองและถั่วลันเตา กากถั่วเหลืองและถั่วลันเตา วิกอตต้าชีส แป้งสาลี และเห็ดนางรมหลวง ในการขึ้นรูปเนื้อเทียม โดยทดลองใช้แป้งสาลีในปริมาณ 0, 5, 10, 14, 18, 22 และ 25% (w/w) พบว่าการเพิ่มปริมาณแป้งสาลีส่งผลให้ค่า Hardness และ Chewiness เพิ่มขึ้น จึงเลือกใช้แป้งสาลี 18% ในการปรับปรุงเนื้อสัมผัสด้วยการเติมเห็ดนางรมหลวงในปริมาณ 0, 3, 7, 10, 13 และ 16% (w/w) ผลการวัดค่า Hardness และ Chewiness พบว่าที่เห็ดนางรมหลวง 7% ให้ค่าที่สูงที่สุด ทางสถาบันอาหารได้ศึกษาคุณค่าทางโภชนาการของเนื้อเทียม พบว่า เนื้อเทียม 50 กรัม ให้พลังงาน 130 กิโลแคลอรี ไขมัน 5 กรัม โปรตีน 7 กรัม คาร์โบไฮเดรต 14 กรัม และโซเดียม 210 มิลลิกรัม

## 2.5 เห็ดนางรมหลวง หรือเห็ดออริจินิ

เห็ดนางรมหลวง (*Pleurotus eryngii*) หรือที่รู้จักกันว่า “King Oyster Mushroom” เป็นเห็ดที่มีรูปร่างและขนาดใหญ่มากที่สุดในสกุลเห็ดนางรม มีรูปร่างคล้ายกรวย ลำต้นใหญ่และค่อนข้างอวบหนา มีดอกใหญ่สีน้ำตาลอ่อนแกรมเทา มีก้านดอกขนาดใหญ่สีขาว ส่วนบนของหมวกดอกมีสีเทาอ่อน ๆ สามารถเพาะได้ง่ายบนท่อนไม้ ขี้เลื่อยและฟางข้าว (พัชรวิรรณ และคณะ, 2559) มีลักษณะเนื้อแน่น มีลักษณะเด่นคือเนื้อสัมผัสที่เหนียวนุ่มคล้ายเนื้อสัตว์ เมื่อนำมาปรุงสุกจะให้ความรู้สึกเคี้ยวคล้ายเนื้อไก่หรือเนื้อสัตว์บางชนิด จึงได้รับความนิยมในการนำมาใช้ในอาหารประเภท Plant based

สรรพคุณเห็ดนางรมหลวง ช่วยให้ร่างกายสร้างภูมิคุ้มกัน เห็ดนางรมมีสารฟีนอลิก ที่สามารถต้านอนุมูลอิสระได้ (Yildirim et al., 2012) ช่วยลดอาการปวดตามส่วนต่างๆของร่างกาย ช่วยลดปริมาณน้ำตาลในเลือด เหมาะกับผู้ที่กำลังลดน้ำหนัก หรือเป็นโรคเบาหวาน (Alam et al., 2008)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.1 คุณค่าทางอาหารของเห็ดนางรมหลวงต่อน้ำหนัก 100 กรัม

คุณค่าทางอาหาร	ปริมาณ
พลังงาน (แคลอรี)	24
โปรตีน (กรัม)	3.6
คาร์โบไฮเดรต (กรัม)	7.4
ไฟเบอร์ (กรัม)	4.3
ไขมันไลโนเลอิก (มิลลิกรัม)	170
แคลเซียม (มิลลิกรัม)	1
ธาตุเหล็ก (มิลลิกรัม)	0.3
แมกนีเซียม (มิลลิกรัม)	15
ฟอสฟอรัส (มิลลิกรัม)	120
โพแทสเซียม (มิลลิกรัม)	460
โซเดียม (มิลลิกรัม)	2
วิตามินดี (ไมโครกรัม)	1.8
ไนอะซิน (มิลลิกรัม)	8.1
โฟเลต (ไมโครกรัม)	80
กรดแพนโทเทนิค (มิลลิกรัม)	1.61
วิตามินบี 2 (มิลลิกรัม)	0.28
สังกะสี (มิลลิกรัม)	0.15
เซลเนียม (ไมโครกรัม)	3

ที่มา : ดีพร้อม (2523)

งานวิจัยของ Ketnawa และ Rawdkuen (2023) ได้พัฒนาโปรตีนพืชที่มีเนื้อสัมผัสคล้ายเนื้อสัตว์ (Texturized Vegetable Protein: TVP) จากเห็ดนางรมหลวงและเห็ดฟีนิกซ์ โดยใช้กระบวนการเอ็กซ์ทรูชัน (extrusion) พบว่า TVP ที่ได้มีลักษณะภายนอกเป็นสีน้ำตาลแดงและมีโครงสร้างที่คล้ายเนื้อสัตว์ ซึ่งแสดงถึงศักยภาพของเห็ดนางรมหลวงในการเป็นวัตถุดิบสำหรับผลิตภัณฑ์เนื้อเทียม และงานวิจัยของ Yildirim et al. (2012) ได้แสดงให้เห็นว่าเห็ดนางรมหลวงมีสารฟีนอลิกที่สามารถต้านอนุมูลอิสระได้ ซึ่งเป็นประโยชน์ต่อสุขภาพและเพิ่มมูลค่าให้กับผลิตภัณฑ์เนื้อเทียมที่ใช้เห็ดชนิดนี้เป็นส่วนประกอบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 3

### อุปกรณ์และวิธีการทดลอง

#### 3.1 วัตถุดิบ

- 3.1.1 เห็ดนางรมหลวง (แหล่งที่มา: บจก. ฟาร์มเห็ดระยองแอนด์วีวีไปโอเทค)
- 3.1.2 แป้งวิทกลูเตนท์ (แหล่งที่มา: บริษัท พีทีเค โชลูชั่น แอนด์ ซัพพลายส์ จำกัด)
- 3.1.3 แป้งถั่วเขียว (แหล่งที่มา: บริษัท พีทีเค โชลูชั่น แอนด์ ซัพพลายส์ จำกัด)
- 3.1.4 แป้งโมดิฟายด์ (แหล่งที่มา: บริษัท พีทีเค โชลูชั่น แอนด์ ซัพพลายส์ จำกัด)
- 3.1.5 เกลือ (แหล่งที่มา: ยี่ห้อปรุงทิพย์)
- 3.1.6 พริกไทยขาวป่น (แหล่งที่มา: ยี่ห้อไร่ทิพย์)
- 3.1.7 น้ำตาล (แหล่งที่มา: ยี่ห้อมิตรผล)
- 3.1.8 ผงกระเทียม (แหล่งที่มา: ยี่ห้อง่วนสุน)
- 3.1.9 น้ำมันรำข้าว (แหล่งที่มา: ยี่ห้อมายซ้อยส์)
- 3.1.10 สาหร่ายแดง

#### 3.2 อุปกรณ์สำหรับเตรียมวัตถุดิบและการผลิต

- 3.2.1 เครื่องปั่นผสม (ยี่ห้อ Cuizimate)
- 3.2.2 เตามแม่เหล็กไฟฟ้า (ยี่ห้อ Electrolux)
- 3.2.3 หม้อนึ่งไฟฟ้า (ยี่ห้อ Tefal)
- 3.2.4 ซามผสมสแตนเลส
- 3.2.5 ผ้าขาวบาง
- 3.2.6 ที่ร่อนแป้ง
- 3.2.7 เขียง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- 3.2.8 มีด
- 3.2.9 ช้อน
- 3.2.10 กระจก
- 3.2.11 ทัพพี
- 3.2.12 ที่คีบของร้อน
- 3.2.13 ฟอยล์อะลูมิเนียมห่ออาหาร
- 3.2.14 พิมพ์สี่เหลี่ยมผืนผ้าขนาด 3.5x6.5x2 ซม.

### 3.3 อุปกรณ์สำหรับการวิเคราะห์

- 3.3.1 เครื่องชั่งทศนิยม 4 ตำแหน่ง (ยี่ห้อ Metter Toledo ประเทศสวิสเซอร์แลนด์)
- 3.3.2 Texture Analyzer (ยี่ห้อ Stable Micro รุ่นTA-XT plus ประเทศอังกฤษ)
- 3.3.3 Chroma Meter (ยี่ห้อ Konika Minolta รุ่นCR400 ประเทศญี่ปุ่น)
- 3.3.4 Water Activity Meter (ยี่ห้อ Aqua Lab รุ่น4TE ประเทศสหรัฐอเมริกา)
- 3.3.5 กระดาษกรอง Whatman No.1
- 3.3.6 ปีกเกอร์
- 3.3.7 น้ำกลั่นไร้ไอออน (DI water)
- 3.3.8 ตู้อบลมร้อน (Hot air oven) (Memmert, Germany)
- 3.3.9 โถดูดความชื้น (Desiccator)
- 3.3.10 ภาชนะอะลูมิเนียมสำหรับหาคความชื้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.4 วิธีการดำเนินงานวิจัย

#### 3.4.1 การศึกษาคุณสมบัติเบื้องต้นของสาหร่ายแดงอบแห้ง

จากคุณลักษณะของสาหร่ายแดงอบแห้ง ซึ่งเป็นวัตถุดิบหลักสำหรับใช้ในการทดลองและพัฒนาผลิตภัณฑ์ จึงมีการตรวจสอบคุณลักษณะทางกายภาพ โดยทำการเตรียมตัวอย่างสาหร่ายแดงทั้ง 2 แบบ คือ สาหร่ายแดงแห้ง และสาหร่ายแดงนึ่ง รายละเอียดดังนี้

1) การวัดความชื้น ตามวิธีการของ AOAC (1990) ทำการเตรียมตัวอย่างสาหร่ายแดง 2 ลักษณะ ได้แก่ สาหร่ายแดงแห้ง: ใช้สาหร่ายแดงแห้งที่ยังไม่ผ่านการแช่น้ำ สาหร่ายแดงนึ่ง: นำสาหร่ายแดงแห้งมาทำการแช่น้ำกรองสะอาดเป็นเวลา 1 ชั่วโมง เพื่อให้สาหร่ายดูดน้ำกลับคืน กรองน้ำออก แล้วนำไปนึ่งด้วยไอน้ำที่อุณหภูมิ 100 °C เป็นเวลา 10 นาที (ตามขั้นตอนการเตรียมวัตถุดิบก่อนใช้ในผลิตภัณฑ์เนื้อเทียม) จากนั้นพักให้เย็นก่อนนำไปวิเคราะห์หาความชื้น วิธีการวัดความชื้น ได้แก่ อบภาชนะอลูมิเนียมในตู้อบลมร้อนอุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 ชั่วโมง แล้วนำออกจากตู้อบทิ้งให้เย็นจนกระทั่งอุณหภูมิของภาชนะลดลงเท่ากับอุณหภูมิห้องในโถดูดความชื้น และชั่งน้ำหนัก (ทศนิยม 4 ตำแหน่ง) นำภาชนะอลูมิเนียมไปอบซ้ำ ชั่งน้ำหนักอีกครั้งจนได้น้ำหนักที่แน่นอนแตกต่างกันไม่เกิน 0.05 กรัม ชั่งตัวอย่างสาหร่ายที่ต้องการหาความชื้น ให้ได้น้ำหนัก 3 กรัม บันทึกน้ำหนักของตัวอย่างที่ชั่งได้ ใส่ตัวอย่างลงในภาชนะอลูมิเนียม จนได้น้ำหนักคงที่แล้ว นำไปอบในตู้อบลมร้อน ที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส นาน 5 ชั่วโมง นำออกจากตู้อบทิ้งให้เย็นในโถดูดความชื้นแล้วชั่งน้ำหนักของภาชนะพร้อมตัวอย่าง จากนั้นนำไปอบซ้ำในตู้อบลมร้อนจนได้น้ำหนักคงที่ โดยผลต่างของน้ำหนักที่ชั่งไม่เกิน 0.05 กรัม และคำนวณหาปริมาณความชื้นจากสูตร

$$\text{ปริมาณความชื้นฐานเปียก (\%)} = \frac{(\text{น้ำหนักตัวอย่างก่อนอบ} - \text{น้ำหนักตัวอย่างหลังอบ})(\text{กรัม})}{\text{น้ำหนักตัวอย่างก่อนอบ (กรัม)}} \times 100$$

2) วัดค่าปริมาณน้ำอิสระ (Water Activity,  $a_w$ ) ด้วยเครื่องวัดค่า  $a_w$  (Aqua Lab ,4TE ,USA) ดัดแปลงวิธีจากวิชมันน์ และคณะ (2558) โดยใช้ น้ำกลั่นไร้ไอออน (Deionized water;  $a_w = 1.000$ ) เป็นสารละลายมาตรฐานสำหรับสอบเทียบเครื่อง ก่อนการวัดค่า  $a_w$  ของตัวอย่าง นำตัวอย่างประมาณ 1 ใน 3 ของภาชนะบรรจุตัวอย่าง ใส่ในภาชนะวัด  $a_w$  และนำเข้าเครื่องจนกระทั่งเครื่องแสดงค่าคงที่ จากนั้นจึงบันทึกค่า  $a_w$  ที่อ่านได้ ทำการวัดซ้ำจำนวน 5 ซ้ำต่อหนึ่งตัวอย่าง โดยทำการเตรียมตัวอย่าง 2 ลักษณะ ได้แก่ สาหร่ายแดงแห้ง: ตัดสาหร่ายให้มีขนาดสม่ำเสมอ และนำตัวอย่างโดยตรงไปใช้ในการวัดค่า  $a_w$  โดยไม่ผ่านการแช่น้ำ สาหร่ายแดงนึ่ง: แช่สาหร่ายแห้งในน้ำกรองสะอาด เป็นเวลา 1 ชั่วโมง สะเด็ดน้ำออกแล้วนึ่งด้วยไอน้ำ ที่อุณหภูมิประมาณ 100 °C เป็นเวลา 10 นาที พักให้เย็นที่อุณหภูมิห้องก่อนนำไปวัดค่า  $a_w$  เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3) การศึกษาการคืนตัวของสาหร่ายอบแห้ง ดัดแปลงวิธีจากนัฐฐา และคณะ (2563) ซึ่งตัวอย่างสาหร่ายอบแห้งมา 3 กรัม ใส่ในปีกเกอร์ เติมน้ำอุณหภูมิห้อง (ประมาณ 20 องศาเซลเซียส) ที่ทราบน้ำหนักแน่นอน 20 กรัม ต้ม 5 นาที เริ่มจับเวลาตั้งแต่ตอนเริ่มต้ม เมื่อครบเวลาจึงนำมากรองด้วยกระดาษกรอง Whatman เบอร์ 1 ทิ้งให้สะเด็ดน้ำ 5 นาที นำส่วนที่กรองได้ไปชั่งน้ำหนัก ทดลอง 5 ซ้ำ คำนวณปริมาณน้ำที่ขึ้นของสาหร่าย สามารถดูดซับไว้ได้ (กรัมต่อตัวอย่าง)

$$\text{ปริมาณน้ำที่ถูกดูดซับ (ก./ก. ของตัวอย่าง)} = \frac{\text{น้ำหนักสุดท้าย (กรัม)}}{\text{น้ำหนักตัวอย่างเริ่มต้น (กรัม)}}$$

4) การวัดสี ด้วยเครื่องวัดสี (Minolta chroma meter, CR400) ในระบบ CIE แสดงเป็นค่า  $L^*, a^*, b^*$  ดัดแปลงวิธีจากวิชมณี และคณะ (2558) นำตัวอย่างใส่ภาชนะสำหรับวัดค่าสีโดยใส่ให้เต็ม ภาชนะไม่มีช่องที่แสงผ่านได้ขณะวัดตัวอย่างให้ใช้แผ่นสีดำปิดตัวอย่าง โดยเตรียมตัวอย่างสาหร่ายแห้ง: ตัดสาหร่ายแห้งให้มีขนาดสม่ำเสมอ และนำตัวอย่างมาใส่ในภาชนะสำหรับวัดค่าสี โดยใส่ให้เต็ม ภาชนะ เพื่อไม่ให้มีช่องว่างที่แสงสามารถลอดผ่านได้ สาหร่ายแห้งนี้: แช่สาหร่ายแห้งในน้ำกรองสะอาดเป็นเวลา 1 ชั่วโมง สะเด็ดน้ำออก จากนั้น นึ่งด้วยไอน้ำ ที่อุณหภูมิประมาณ 100 °C เป็นเวลา 10 นาที พักให้เย็นจนถึงอุณหภูมิห้อง ตัดให้เป็นชิ้นขนาดใกล้เคียงกับตัวอย่างแห้ง ใส่ตัวอย่างในภาชนะสำหรับวัดค่าสีให้แน่น ไม่มีช่องว่าง ทดลอง 5 ซ้ำ

### 3.4.2 การศึกษาสูตรพื้นฐานที่เหมาะสมในการพัฒนาผลิตภัณฑ์เนื้อเทียม

การศึกษาสูตรพื้นฐานที่จะใช้ในการพัฒนาเนื้อเทียม โดยศึกษาปริมาณของเห็ดนางรมหลวงต่อ แป้งวีทกลูเตนที่เหมาะสม ขั้นตอนนี้แปรปัจจัยที่ศึกษาเป็น 2 ปัจจัย ปัจจัยละ 2 ระดับ จัดสิ่งทดลองแบบ Factorial in CRD ขนาด 2x2 แสดงดังตารางที่ 3.2 โดยการเตรียมเนื้อเทียมตามสูตรที่แตกต่างกันจำนวน 4 สูตรจากแหล่งอ้างอิง (ตารางที่ 3.1) ที่มีผลต่อเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์เนื้อเทียม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.1 สูตรพื้นฐานในการผลิตเนื้อเทียม

วัตถุดิบ	ปริมาณส่วนผสม (กรัม)			
	สูตรที่ 1	สูตรที่ 2	สูตรที่ 3	สูตรที่ 4
เห็ดนางรมหลวง	90	90	110	110
แป้งวีกากูเตน	5	9	5	9
แป้งโมดิฟายด์	8	8	8	8
แป้งถั่วเขียว	4	4	4	4
น้ำมันรำข้าว	5	5	5	5
น้ำตาล	1.7	1.7	1.7	1.7
เกลือ	1.2	1.2	1.2	1.2
พริกไทยขาวป่น	1	1	1	1
ผงกระเทียม	1	1	1	1

ที่มาดัดแปลงสูตรจาก: พัชรวิพรรณ และคณะ (2559)

1) ขั้นตอนการเตรียมเห็ดนางรมหลวง

หั่นหมวกเห็ดนางรมหลวงออก และหั่นครึ่งของเห็ดนางรมหลวง

นำไปล้างในน้ำสะอาด 3 นาที

จากนั้นนำเห็ดไปต้มในน้ำเดือดเป็นเวลา 2 นาที

นำเห็ดไปปั่นในเครื่องปั่นผสม ความเร็วระดับเบอร์ 1 ปั่น 10 วินาที

ปั่นน้ำเห็ดด้วยผ้าขาวบางจนน้ำออกหมด จากนั้นนำเห็ดไปชั่งตามปริมาณที่ต้องการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2) ขั้นตอนการผลิตเนื้อเทียมจากเห็ด

นำเห็ดที่ซั่งตามปริมาณที่ต้องการไปปั่นด้วยเครื่องปั่นผสม ความเร็วระดับเบอร์ 1 ปั่น 60 วินาที



ร่อนแป้งโมดิไฟด์และแป้งถั่วเขียวใส่ลงไป ความเร็วระดับเบอร์ 1 ปั่น 60 วินาที



ร่อนแป้งวืทกลูเตนใส่เข้าไป ความเร็วระดับเบอร์ 1 ปั่น 30 วินาที



ใส่เครื่องปรุง (เกลือ น้ำตาล พริกไทย ผงกระเทียม) ตามลำดับ ความเร็วระดับเบอร์ 1 ปั่น 60 วินาที



โดยเมื่อครบ 30 วินาที ให้ทยอยใส่น้ำมันรำข้าว



จากนั้นแบ่งชั่งน้ำหนัก 50 กรัม อัดใส่พิมพ์ขนาด  $3.5 \times 6.5 \times 2$  ซม.



ห่อด้วยฟอยด์อะลูมิเนียม และนำไปนึ่งในน้ำเดือดเป็นเวลา 20 นาที

ตารางที่ 3.2 สิ่งทดลองที่ได้จากการแปรปริมาณเห็ดนางรมหลวงและปริมาณแป้งวืทกลูเตน

สิ่งทดลองที่	ปริมาณเห็ดนางรมหลวง (กรัม)	ปริมาณแป้งวืทกลูเตน (กรัม)
1	90	5
2	90	9
3	110	5
4	110	9

เมื่อได้ผลิตภัณฑ์เนื้อเทียม นำผลิตภัณฑ์เนื้อเทียมมาพักไว้ในอุณหภูมิห้อง จากนั้นนำมาประเมินคุณลักษณะทางกายภาพ และประเมินประสาทสัมผัส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3) การคัดเลือกสูตรพื้นฐานของเนื้อเทียมจากเห็ดนางรมหลวง

เป็นการนำผลิตภัณฑ์เนื้อเทียมที่ผลิตจากสูตรจำนวน 4 สูตร และขั้นตอนการผลิตเนื้อเทียมจากเห็ด มาคัดเลือกโดยการประเมินคุณลักษณะทางกายภาพ และการประเมินทางประสาทสัมผัส ดังนี้

#### 3.1 การประเมินคุณลักษณะทางกายภาพ ได้แก่

3.1.1 การสังเกตจากภาพถ่าย เพื่อสังเกตลักษณะภายนอกและภายในของผลิตภัณฑ์เนื้อเทียมจากเห็ดนางรมหลวง โดยพิจารณาจากลักษณะภาพรวมของผลิตภัณฑ์ ลักษณะภายในหลังจากหั่นครึ่ง และคุณลักษณะอื่น ๆ เช่น สี ลักษณะโครงสร้าง ความชุ่มฉ่ำ ความแน่น และรูพรุน ภาพถ่ายโดยใช้กล้องโทรศัพท์มือถือ (iPhone 15 Pro Max; 24 mm; f/1.78) ภายใต้กล้องถ่ายภาพสตูดิโอ (PULUZ รุ่น PU5021; ขนาด 20 × 20 × 20 ซม.) โดยใช้แสงไฟสีขาวและพื้นหลังสีขาว

3.1.2 การวัดค่าปริมาณร้อยละผลผลิต (% Cooking yield) และร้อยละการสูญเสียน้ำหนัก (% Cooking loss) เป็นการวิเคราะห์คุณภาพของผลิตภัณฑ์หลังผ่านกระบวนการให้ความร้อน เพื่อประเมินความสามารถในการกักเก็บน้ำและปริมาณของผลิตภัณฑ์ที่คงเหลือหลังการปรุงสุก โดยใช้วิธีการชั่งน้ำหนักผลิตภัณฑ์ก่อนและหลังผ่านความร้อน แล้วนำมาคำนวณตามสูตรที่กำหนด ดังนี้

$$\% \text{ Cooking yield} = \frac{(w_2)}{w_1} \times 100$$

$$\% \text{ Cooking loss} = \frac{(w_1 - w_2)}{w_1} \times 100$$

โดย  $W_1$  = น้ำหนักตัวอย่างก่อนกระบวนการให้ความร้อน (กรัม)

$W_2$  = น้ำหนักตัวอย่างหลังกระบวนการให้ความร้อน (กรัม)

ก่อนทำการวัดค่าดังกล่าว ตัวอย่างเนื้อเทียมที่เตรียมไว้จะถูกนำออกจากการแช่เย็นและวางทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้อง (ประมาณ  $25 \pm 2$  °C) จนกระทั่งอุณหภูมิของตัวอย่างคงที่ จากนั้นทำการชั่งน้ำหนักตัวอย่างก่อนการให้ความร้อน (น้ำหนักก่อนปรุงสุก) ต่อมา ทำการให้ความร้อนโดยใช้วิธีการนึ่งในหม้อนึ่งไฟฟ้า โดยตั้งอุณหภูมิไว้ที่ประมาณ 100 °C เป็นระยะเวลา 20 นาที เพื่อให้เนื้อเทียมสุกทั่วถึงและใกล้เคียงกับการปรุงจริงในกระบวนการผลิต หลังจากครบเวลา นำตัวอย่างออกจากหม้อนึ่งและปล่อยให้เย็นลงที่อุณหภูมิห้อง จากนั้นชั่งน้ำหนักส่วนเกินที่ผิวผลิตภัณฑ์เบา ๆ ด้วยกระดาษทิชชูสะอาด แล้วทำการชั่งน้ำหนักอีกครั้ง (น้ำหนักหลังปรุงสุก) ทำการวิเคราะห์ทำซ้ำทั้งหมด 5 ครั้ง เพื่อความแม่นยำและลดความคลาดเคลื่อนของข้อมูล

3.1.3 การวิเคราะห์ค่าปริมาณน้ำอิสระ (Water Activity, aw) ดัดแปลงวิธีการวิเคราะห์จาก Waterhouse et al. (2010) โดยใช้น้ำกลั่นไร้ไอออน (DI water, ค่า aw = 1.000) เป็นสารละลายมาตรฐานในการสอบเทียบเครื่องก่อนทำการวัดตัวอย่าง ทำการวัดค่า aw ด้วยเครื่องวัดค่า Water Activity (Aqua Lab รุ่น 4TE, USA) โดยนำตัวอย่างบดละเอียดจำนวน 10 กรัม บรรจุลงในภาชนะ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำหรับวัดค่า  $a_w$  ประมาณ 1 ใน 3 ของปริมาตรภาชนะ แล้วทำการวัดจนค่าคงที่ บันทึกผลการวัด โดยวิเคราะห์ตัวอย่างละ 5 ซ้ำ

3.1.4 การวัดสี ด้วยเครื่องวัดสี (Minolta chroma meter, CR400) ในระบบ CIE แสดงเป็นค่า  $L^*$ ,  $a^*$ ,  $b^*$  ดัดแปลงจากวิธีของ CIE (1986) โดยการวัดสีที่ผิวบนของผลิตภัณฑ์ จำนวนตัวอย่างละ 5 ซ้ำ

3.1.5 การวัดลักษณะเนื้อสัมผัสทำโดยใช้การวิเคราะห์แบบ Texture Profile Analysis (TPA) ซึ่งเป็นวิธีที่จำลองกระบวนการเคี้ยวของมนุษย์ ดัดแปลงวิธีการวิเคราะห์จาก เปรมฤดี และคณะ (2545) โดยใช้เครื่องวิเคราะห์เนื้อสัมผัส (Texture Analyzer, รุ่น TA-XT Plus) ตัวอย่างมีขนาด กว้าง × ยาว × สูง เท่ากับ  $3 \times 1 \times 1.5$  เซนติเมตร ใช้หัววัดชนิด P/50 ทำการกดตัวอย่าง 2 ครั้ง ด้วยความเร็ว Pre-test Speed 2 mm/s, Test Speed 2 mm/s และ Post-test Speed 10 mm/s โดยกดให้ตัวอย่างยุบลง 50% ของความสูงเริ่มต้น แล้วบันทึกค่าลักษณะเนื้อสัมผัส ได้แก่ ค่าความแข็ง (Hardness), ความเป็นสปริง (Springiness), ความสามารถยึดเกาะ (Cohesiveness), ความหยุ่นตัว (Gumminess), และความคงทนเมื่อถูกเคี้ยว (Chewiness) ทำการวิเคราะห์จำนวน 15 ซ้ำ

3.1.6 การวัดลักษณะเนื้อสัมผัสโดยวิธีการวัดแรงเฉือน (Shear Force) ซึ่งเป็นการจำลองแรงที่ใช้ในการตัดผ่านเนื้อผลิตภัณฑ์ขณะเคี้ยว ตัวอย่างมีขนาดเท่ากันคือ  $3 \times 1 \times 1.5$  เซนติเมตร ใช้ใบมีดชนิด Warner-Bratzler ในการวัด โดยตั้งค่าความเร็ว Pre-test Speed 2 mm/s, Test Speed 2 mm/s, Post-test Speed 10 mm/s และระยะการกด 20 มิลลิเมตร บันทึกค่าแรงเฉือนในรูปของ Firmness และ Toughness โดยทำการวิเคราะห์จำนวน 15 ซ้ำ

### 3.2 การประเมินทางประสาทสัมผัส

ใช้ทดสอบหรือประเมินผลทางประสาทสัมผัส จำนวน 40 คน ซึ่งประกอบด้วยเพศชายและเพศหญิง อายุระหว่าง 20–35 ปี โดยส่วนใหญ่เป็นนักศึกษาระดับปริญญาตรีและบุคคลทั่วไปที่สนใจผลิตภัณฑ์อาหารเพื่อสุขภาพ ทำการประเมินคุณลักษณะด้านลักษณะปรากฏ สี กลิ่น รสชาติ เนื้อสัมผัส และความชอบโดยรวม ด้วยวิธีการประเมินแบบให้คะแนนความชอบ 9 ระดับ (9-point Hedonic Scale) ทำการวางแผนการทดลองแบบ RCBD วิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติ (ANOVA) และเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างค่าเฉลี่ยของตัวอย่างด้วยวิธี Duncan's new multiple range test (Duncan, D.B., 1995) ที่ระดับความเชื่อมั่นทางสถิติร้อยละ 95 โดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป (SPSS Statistics V.24) เพื่อเป็นข้อมูลในการปรับปรุงคุณภาพด้านต่างๆ สำหรับสูตรพื้นฐานของผลิตภัณฑ์เนื้อเทียม โดยกำหนดให้คะแนนความชอบมากกว่า 7 คะแนน ซึ่งอยู่ในระดับชอบปานกลางถึงชอบมาก โดยจะนำสูตรที่ได้ระดับความชอบสูงที่สุดมาใช้ในการพัฒนาผลิตภัณฑ์เนื้อเทียมผสมสาหร่ายต่อไป ดัดแปลงวิธีมาจากนรินทร์ และคณะ (2018)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.4.3 การศึกษาการพัฒนาผลิตภัณฑ์เนื้อเทียมผสมสาหร่าย

นำสูตรที่ได้จากสูตรที่เหมาะสมของผลิตภัณฑ์เนื้อเทียมมาพัฒนาโดยการใส่สาหร่ายแดง โดยใส่ปริมาณสาหร่ายแดงที่แตกต่างกัน 3 ระดับ คือ 5%, 10% และ 15%

#### 1) ขั้นตอนการเตรียมเห็ดนางรมหลวง

หั่นหมวกเห็ดนางรมหลวงออก และหั่นครึ่งของเห็ดนางรมหลวง

นำไปล้างในน้ำสะอาด 3 นาที

จากนั้นนำเห็ดไปต้มในน้ำเดือดเป็นเวลา 2 นาที

นำเห็ดไปปั่นในเครื่องปั่นผสม ความเร็วระดับเบอร์ 1 ปั่น 10 วินาที

บีบน้ำเห็ดด้วยผ้าขาวบางจนน้ำออกหมด จากนั้นนำเห็ดไปชั่งตามปริมาณที่ต้องการ

#### 2) ขั้นตอนการเตรียมสาหร่ายแดง

นำสาหร่ายแดงอบแห้งไปล้างน้ำสะอาดเป็นเวลา 5 นาที

นำสาหร่ายแดงไปแช่น้ำกรองเป็นเวลา 1 ชั่วโมง

นำไปนึ่งในน้ำเดือดเป็นเวลา 10 นาที จากนั้นพักไว้ให้เย็น

ชั่งน้ำหนักสาหร่ายแดงตามปริมาณที่แตกต่างกัน 3 ระดับ คือ 5%, 10% และ 15%

หั่นสาหร่ายแดงเป็นท่อน ขนาดความยาว 1 ซม.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3) ขั้นตอนการผลิตเนื้อเทียมผสมสาหร่าย

นำเห็ดที่ซั่งตามปริมาณที่ต้องการไปปั่นด้วยเครื่องปั่นผสม ความเร็วระดับเบอร์ 1 ปั่น 60 วินาที



ร่อนแป้งโมดิฟายด์และแป้งถั่วเขียวใส่ลงไป ความเร็วระดับเบอร์ 1 ปั่น 60 วินาที



ร่อนแป้งวืทกลูเตนใส่เข้าไป ความเร็วระดับเบอร์ 1 ปั่น 30 วินาที



ใส่เครื่องปรุง (เกลือ น้ำตาล พริกไทย ผงกระเทียม) ตามลำดับ ความเร็วระดับเบอร์ 1 ปั่น 60 วินาที



โดยเมื่อครบ 30 วินาที ให้ทยอยใส่น้ำมันรำข้าว



นำสาหร่ายแดงปริมาณที่แตกต่างกัน 3 ระดับ คือ 5%, 10% และ 15% นำไปผสมในเครื่องปั่นผสม ความเร็วระดับเบอร์ 1 ใช้ใบมีดพลาสติก เป็นเวลา 10 วินาที



จากนั้นแบ่งชั่งน้ำหนัก 50 กรัม อัดใส่พิมพ์ขนาด  $3.5 \times 6.5 \times 2$  ซม.



ห่อด้วยฟอยด์อะลูมิเนียม และนำไปนึ่งในน้ำเดือดเป็นเวลา 20 นาที

เมื่อได้ผลิตภัณฑ์เนื้อเทียมผสมสาหร่าย นำมาพักไว้ในอุณหภูมิห้อง จากนั้นนำมาตรวจสอบคุณภาพทางกายภาพ และประเมินประสาทสัมผัส

### 4) การคัดเลือกสูตรเนื้อเทียมผสมสาหร่าย

เป็นการนำผลิตภัณฑ์เนื้อเทียมผสมสาหร่าย โดยใส่ปริมาณสาหร่ายแดงที่แตกต่างกัน 3 ระดับ คือ 5%, 10% และ 15% มาคัดเลือกโดยการประเมินคุณลักษณะทางกายภาพ และการประเมินทางประสาทสัมผัส ดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 4.1 การประเมินคุณลักษณะทางกายภาพ ได้แก่

4.1.1 การสังเกตจากภาพถ่าย เพื่อสังเกตลักษณะภายนอกและภายในของผลิตภัณฑ์เนื้อเทียมผสมสาหร่าย โดยพิจารณาจากลักษณะภาพรวมของผลิตภัณฑ์ ลักษณะภายในหลังจากหั่นครึ่ง และคุณลักษณะอื่น ๆ เช่น สี ลักษณะโครงสร้าง ความชุ่มฉ่ำ ความแน่น และรูพรุน ภาพถ่ายโดยใช้กล้องโทรศัพท์มือถือ (iPhone 15 Pro Max; 24 mm; f/1.78) ภายใต้กล้องถ่ายภาพสตูดิโอ (PULUZ รุ่น PU5021; ขนาด 20 × 20 × 20 ซม.) โดยใช้แสงไฟสีขาวและพื้นหลังสีขาว

4.1.2 การวัดค่าปริมาณร้อยละผลผลิต (% Cooking yield) และร้อยละการสูญเสียน้ำหนัก (% Cooking loss) เป็นการวิเคราะห์คุณภาพของผลิตภัณฑ์หลังผ่านกระบวนการให้ความร้อน เพื่อประเมินความสามารถในการกักเก็บน้ำและปริมาณของผลิตภัณฑ์ที่คงเหลือหลังการปรุงสุก โดยใช้วิธีการชั่งน้ำหนักผลิตภัณฑ์ก่อนและหลังผ่านความร้อน แล้วนำมาคำนวณตามสูตรที่กำหนด ดังนี้

$$\% \text{ Cooking yield} = \frac{(w_2)}{w_1} \times 100$$

$$\% \text{ Cooking loss} = \frac{(w_1 - w_2)}{w_1} \times 100$$

โดย  $W_1$  = น้ำหนักตัวอย่างก่อนกระบวนการให้ความร้อน (กรัม)

$W_2$  = น้ำหนักตัวอย่างหลังกระบวนการให้ความร้อน (กรัม)

ก่อนทำการวัดค่าดังกล่าว ตัวอย่างเนื้อเทียมที่เตรียมไว้จะถูกนำออกจากการแช่เย็นและวางทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้อง (ประมาณ  $25 \pm 2$  °C) จนกระทั่งอุณหภูมิของตัวอย่างคงที่ จากนั้นทำการชั่งน้ำหนักตัวอย่างก่อนการให้ความร้อน (น้ำหนักก่อนปรุงสุก) ต่อมา ทำการให้ความร้อนโดยใช้วิธีการนึ่งในหม้อนึ่งไฟฟ้า โดยตั้งอุณหภูมิไว้ที่ประมาณ 100 °C เป็นระยะเวลา 20 นาที เพื่อให้เนื้อเทียมสุกทั่วถึงและใกล้เคียงกับการปรุงจริงในกระบวนการผลิต หลังจากครบเวลา นำตัวอย่างออกจากหม้อนึ่งและปล่อยให้เย็นลงที่อุณหภูมิห้อง จากนั้นชั่งน้ำหนักส่วนเกินที่ผิวผลิตภัณฑ์เบา ๆ ด้วยกระดาษทิชชูสะอาด แล้วทำการชั่งน้ำหนักอีกครั้ง (น้ำหนักหลังปรุงสุก) ทำการวิเคราะห์ซ้ำซ้ำทั้งหมด 5 ครั้ง เพื่อความแม่นยำและลดความคลาดเคลื่อนของข้อมูล

4.1.3 การวิเคราะห์ค่าปริมาณน้ำอิสระ (Water Activity,  $a_w$ ) ตัดแปลงวิธีการวิเคราะห์จาก Waterhouse et al. (2010) โดยใช้ น้ำกลั่นไร้ไอออน (DI water, ค่า  $a_w = 1.000$ ) เป็นสารละลายมาตรฐานในการสอบเทียบเครื่องก่อนทำการวัดตัวอย่าง ทำการวัดค่า  $a_w$  ด้วยเครื่องวัดค่า Water Activity (Aqua Lab รุ่น 4TE, USA) โดยนำตัวอย่างบดละเอียดจำนวน 10 กรัม บรรจุลงในภาชนะสำหรับวัดค่า  $a_w$  ประมาณ 1 ใน 3 ของปริมาตรภาชนะ แล้วทำการวัดจนค่าคงที่ บันทึกผลการวัด โดยวิเคราะห์ตัวอย่างละ 5 ซ้ำ

4.1.4 การวัดสี ด้วยเครื่องวัดสี (Minolta chroma meter, CR400) ในระบบ CIE แสดงเป็นค่า  $L^*$ ,  $a^*$ ,  $b^*$  ตัดแปลงจากวิธีของ CIE (1986) โดยการวัดสีที่ผิวบนของผลิตภัณฑ์ จำนวนตัวอย่างละ 5 ซ้ำ เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.1.5 การวัดลักษณะเนื้อสัมผัสทำโดยใช้การวิเคราะห์แบบ Texture Profile Analysis (TPA) ซึ่งเป็นวิธีที่จำลองกระบวนการเคี้ยวของมนุษย์ ดัดแปลงวิธีการวิเคราะห์จาก เปรมฤดี และคณะ (2545) โดยใช้เครื่องวิเคราะห์เนื้อสัมผัส (Texture Analyzer, รุ่น TA-XT Plus) ตัวอย่างมีขนาด กว้าง × ยาว × สูง เท่ากับ 3 × 1 × 1.5 เซนติเมตร ใช้หัววัดชนิด P/50 ทำการกดตัวอย่าง 2 ครั้ง ด้วยความเร็ว Pre-test Speed 2 mm/s, Test Speed 2 mm/s และ Post-test Speed 10 mm/s โดยกดให้ตัวอย่างยุบลง 50% ของความสูงเริ่มต้น แล้วบันทึกค่าลักษณะเนื้อสัมผัส ได้แก่ ค่าความแข็ง (Hardness), ความเป็นสปริง (Springiness), ความสามารถยึดเกาะ (Cohesiveness), ความหยุ่นตัว (Gumminess), และความคงทนเมื่อถูกเคี้ยว (Chewiness) ทำการวิเคราะห์จำนวน 15 ซ้ำ

4.1.6 การวัดลักษณะเนื้อสัมผัสโดยวิธีการวัดแรงเฉือน (Shear Force) ซึ่งเป็นการจำลองแรงที่ใช้ในการตัดผ่านเนื้อผลิตภัณฑ์ขณะเคี้ยว ตัวอย่างมีขนาดเท่ากันคือ 3 × 1 × 1.5 เซนติเมตร ใช้ใบมีดชนิด Warner-Bratzler ในการวัด โดยตั้งค่าความเร็ว Pre-test Speed 2 mm/s, Test Speed 2 mm/s, Post-test Speed 10 mm/s และระยะการกด 20 มิลลิเมตร บันทึกค่าแรงเฉือนในรูปของ Firmness และ Toughness โดยทำการวิเคราะห์จำนวน 15 ซ้ำ

#### 4.2 การประเมินทางประสาทสัมผัส

ใช้ทดสอบหรือประเมินผลทางประสาทสัมผัส จำนวน 40 คน ซึ่งประกอบด้วยเพศชายและเพศหญิง อายุระหว่าง 20–35 ปี โดยส่วนใหญ่เป็นนักศึกษาระดับปริญญาตรีและบุคคลทั่วไปที่สนใจผลิตภัณฑ์อาหารเพื่อสุขภาพ ทำการประเมินคุณลักษณะด้านลักษณะปรากฏ สี กลิ่น รสชาติ เนื้อสัมผัส และความชอบโดยรวมของผลิตภัณฑ์เนื้อเทียมผสมสาหร่าย ด้วยวิธีการประเมินแบบให้คะแนนความชอบ 9 ระดับ (9-point Hedonic Scale) ทำการวางแผนการทดลองแบบ RCBD วิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติ (ANOVA) และเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างค่าเฉลี่ยของตัวอย่างด้วยวิธี Duncan's new multiple range test (Duncan, D.B., 1995) ที่ระดับความเชื่อมั่นทางสถิติร้อยละ 95 โดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป (SPSS Statistics V.24) ดัดแปลงวิธีมาจากนรินทร์ และคณะ (2018)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.5 การวิเคราะห์ผล

วิเคราะห์ผลการประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัส (9-point Hedonic Scale) โดยวางแผนการทดลองแบบสุ่มในบล็อกสมบูรณ์ (Randomized Complete Block Design, RCBD) และการประเมินคุณภาพทางกายภาพ โดยวางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (Completely Randomized Design, CRD) ทำการทดลอง 5 ซ้ำ โดยวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติ (Analysis of Variance, ANOVA) และเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างค่าเฉลี่ยด้วยวิธี Duncan's new multiple range test (DMRT) ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 โดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป SPSS Statistics Version 24



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 4

## ผลการทดลองและวิจารณ์

## 4.1 การศึกษาคุณสมบัติเบื้องต้นของสาหร่ายแดงอบแห้ง

การศึกษาคุณสมบัติเบื้องต้นของสาหร่ายแดงอบแห้ง ซึ่งเป็นวัตถุประสงค์หลักในการพัฒนาผลิตภัณฑ์เนื้อเทียมผสมสาหร่าย จึงมีการตรวจสอบคุณลักษณะทางกายภาพ รายละเอียดดังนี้

ตารางที่ 4.1 การศึกษาคุณสมบัติเบื้องต้นของสาหร่ายแดงอบแห้งและสาหร่ายแดงนึ่ง

คุณลักษณะทางกายภาพ	สาหร่ายแห้ง	สาหร่ายนึ่ง
ปริมาณความชื้น (%)	11.90±0.38 <sup>b</sup>	91.26±0.38 <sup>a</sup>
L*	33.28±0.74 <sup>a</sup>	31.19±0.56 <sup>b</sup>
a* <sup>NS</sup>	2.03±0.25	2.28±0.22
b*	1.32±0.26 <sup>b</sup>	5.96±0.46 <sup>a</sup>
aw	0.61±0.05 <sup>b</sup>	0.99±0.00 <sup>a</sup>
ปริมาณน้ำที่ถูกดูดซับ (ก./ก. ของตัวอย่าง)	3.59±0.07 <sup>a</sup>	-

หมายเหตุ <sup>a,b</sup> ตัวอักษรบนวอนที่แตกต่างกันแสดงถึงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p < 0.05$ )

<sup>NS</sup> ตัวอักษรที่ระบุในวอนอนแสดงว่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p > 0.05$ )

จากตารางที่ 4.1 แสดงถึงคุณสมบัติเบื้องต้นของสาหร่ายแดงอบแห้งและสาหร่ายแดงนึ่ง พบว่าสาหร่ายแดงนึ่ง มีปริมาณความชื้นมากกว่าสาหร่ายแดงแห้ง 7.67 เท่า และแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p < 0.05$ ) เนื่องจากสาหร่ายแดงแห้งผ่านการลดปริมาณความชื้นมาก่อนแล้ว ทำให้มีปริมาณความชื้นต่ำ ในขณะที่สาหร่ายแดงนึ่งดูดซับน้ำระหว่างการนึ่ง ทำให้มีปริมาณความชื้นสูงขึ้น (Ruangchuay, et al., 2006) ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ ภควรรณ เศรษฐมงคล และคณะ (2562) ศึกษาองค์ประกอบทางเคมีและคุณสมบัติในการกักเก็บน้ำของสาหร่ายแดง *Gracilaria changii* พบว่าสาหร่ายแดงชนิดนี้มีเส้นใยอาหารสูงและมีคุณสมบัติในการกักเก็บน้ำที่ดี

คุณภาพทางด้านสีของสาหร่ายแดงแห้งและสาหร่ายแดงนึ่ง สรุปได้ว่า สาหร่ายแดงนึ่งมีค่าเฉลี่ยของค่า L\* ลดลงเมื่อเทียบกับสาหร่ายแดงแห้ง และแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p < 0.05$ ) ซึ่งเกิดจากการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างและองค์ประกอบของรงควัตถุภายในเซลล์สาหร่าย เช่น คลอโรฟิลล์ หรือไฟโคบิลิโปรตีน ที่เสื่อมสลายเมื่อสัมผัสความร้อนในระหว่างการนึ่ง ทำให้สาหร่ายดูดซับแสงมากขึ้นและสะท้อนแสงน้อยลง (Vanitha et al., 2013) สาหร่ายแห้งและสาหร่ายนึ่ง ไม่มีผลกับการเปลี่ยนแปลงของค่า L\* อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p > 0.05$ ) ค่าเฉลี่ยของค่า b\* ของสาหร่ายแดงนึ่งมีค่ามากกว่าสาหร่ายแดงแห้ง และแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p < 0.05$ ) ซึ่งแสดงถึงความเข้มของสีเหลืองที่เพิ่มขึ้นใน

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สาหร่ายหนึ่ง เนื่องจากเกิดจากการเปลี่ยนแปลงของรงควัตถุภายในเซลล์ เช่น คลอโรฟิลล์ที่เสื่อมสลายเมื่อได้รับความร้อน ส่งผลให้รงควัตถุอื่น เช่น ไฟโคเอริทริน (phycoerythrin) ซึ่งมีสีเหลืองถึงส้ม มีความโดดเด่นมากขึ้น (Grossman, 1991) การเปลี่ยนแปลงทางกายภาพของโครงสร้างเซลล์จากการนี้ ส่งผลให้สีที่ปรากฏเปลี่ยนไป ทำให้ลักษณะการปรากฏในช่วงสีเหลืองเพิ่มขึ้น ผลการทดลองนี้สอดคล้องกับงานวิจัยของ Pereira, et al. (2016) ศึกษาผลกระทบของการต้มและอบสาหร่ายแดง *Gracilaria* spp. พบว่าการต้มส่งผลให้ค่า  $b^*$  ของสาหร่ายเพิ่มขึ้น ซึ่งอาจเกิดจากการเปลี่ยนแปลงทางเคมีของสารสีในสาหร่ายและการสลายตัวของคลอโรฟิลล์ในระหว่างกระบวนการทำความร้อน ทำให้สีเหลืองของสาหร่ายหนึ่งเพิ่มขึ้น

คุณภาพทางด้านปริมาณน้ำอิสระ (Water Activity,  $a_w$ ) ของสาหร่ายแดงแห้งและสาหร่ายแดงหนึ่ง พบว่า ค่า  $a_w$  ของสาหร่ายแดงหนึ่งมีค่ามากกว่าสาหร่ายแดงแห้ง และมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ ) เนื่องจากการนี้สาหร่าย ทำให้สาหร่ายดูดซับน้ำและมีความชื้นสูงขึ้น (Haug, 2002) ซึ่งส่งผลให้ค่า  $a_w$  ของสาหร่ายหนึ่งสูงกว่าสาหร่ายแห้ง การอบแห้งจะทำให้สาหร่ายลดปริมาณน้ำในตัวอย่าง ส่งผลให้ค่า  $a_w$  ลดลง การมีค่า  $a_w$  ที่สูงขึ้นของสาหร่ายหนึ่งบ่งชี้ว่าในสภาวะที่มีน้ำมากขึ้น จะมีสภาพที่เหมาะสมต่อการเกิดปฏิกิริยาเคมีและการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์มากกว่าสาหร่ายแห้ง (Leopold, et al., 2009) ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Fujita, et al. (2007) ศึกษาผลกระทบของวิธีการอบแห้งที่มีต่อค่า  $a_w$  ของสาหร่าย พบว่าการต้มและอบแห้ง ทำให้ค่า  $a_w$  ของสาหร่ายแตกต่างกัน โดยการต้มทำให้มีน้ำมากขึ้นและค่า  $a_w$  สูงกว่า ค่า  $a_w$  ของสาหร่ายแดงแห้งอยู่ในช่วงที่ต่ำกว่า 0.6 ซึ่งจัดเป็นอาหารแห้งที่มีความเสถียรและไม่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของเชื้อจุลินทรีย์ ทำให้อายุการเก็บรักษายาวนานและเสื่อมเสียง่ายต่ำ ขณะที่สาหร่ายแดงหนึ่งมีค่า  $a_w$  สูงกว่า 0.9 ซึ่งอยู่ในช่วงที่อาหารสดหรืออาหารที่มีความชื้นสูง จึงมีความเสี่ยงสูงต่อการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์และการเสื่อมสภาพ จึงควรเก็บรักษาในสภาพเย็นและมีการควบคุมสภาพแวดล้อมอย่างเหมาะสมเพื่อป้องกันการเสียหาย

การศึกษาคืนตัวของสาหร่ายแดงแห้ง พบว่าปริมาณน้ำที่สาหร่ายแห้งสามารถดูดซับ มีค่าเท่ากับ 3.59 กรัมต่อตัวอย่าง สรุปได้ว่า สาหร่ายแดงแห้งมีโครงสร้างที่สามารถดูดซับน้ำได้ดีในกระบวนการคืนตัว (rehydration) (Chauvatcharin, et al., 2015) เนื่องจากการอบแห้งทำให้โครงสร้างของเซลล์สาหร่ายเสียหายบางส่วนและเมื่อเพิ่มน้ำเข้าไป โครงสร้างที่เสียหายแล้วสามารถเปิดรับน้ำเข้าสู่ภายในได้ดีขึ้น กระบวนการนี้ช่วยให้สาหร่ายคืนสู่สภาพที่ใกล้เคียงกับสภาพสด ซึ่งทำให้สามารถดูดซับน้ำได้อย่างมีประสิทธิภาพ (Medina, et al., 2006) ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Matsumoto, et al. (2008) ศึกษาผลกระทบของวิธีการอบแห้งที่มีต่อคุณสมบัติการคืนตัวของสาหร่าย พบว่า การอบแห้งทำให้สาหร่ายสามารถดูดซับน้ำได้ในระดับที่สูงขึ้นเมื่อเทียบกับสาหร่ายสด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 4.2 การศึกษาสูตรพื้นฐานที่เหมาะสมในการผลิตเนื้อเทียมจากเห็ด

การศึกษาสูตรพื้นฐานที่ใช้ในการผลิตเนื้อเทียมจากเห็ด เพื่อนำไปใช้ในการพัฒนาผลิตภัณฑ์เนื้อเทียมผสมสาหร่าย โดยการเตรียมเนื้อเทียมตามสูตรที่แตกต่างกันจำนวน 4 สูตร (ตารางที่ 3.1)

### 4.2.1 การคัดเลือกสูตรพื้นฐานของเนื้อเทียมจากเห็ด

จากการตรวจสอบคุณลักษณะทางกายภาพ ได้แก่ ค่าปริมาณวิเคราะห์ค่าปริมาณร้อยละผลผลิต (% Cooking yield) และร้อยละการสูญเสียน้ำหนัก (% Cooking loss) ค่าสี (CIE L\*a\*b\*) ค่าปริมาณน้ำอิสระ (Water Activity, aw) ลักษณะเนื้อสัมผัส และการประเมินทางประสาทสัมผัสของเนื้อเทียมจำนวน 4 สูตรที่แตกต่างกัน แสดงลักษณะปรากฏของเนื้อเทียมได้ดังภาพที่ 4.1 มีผลการตรวจสอบคุณลักษณะทางกายภาพแสดงดังตารางที่ 4.2-4.3 และผลการประเมินความชอบทางประสาทสัมผัสแสดงดังตารางที่ 4.4



ภาพที่ 4.1 เนื้อเทียมจากเห็ดทั้ง 4 สูตร

จากภาพที่ 4.1 แสดงลักษณะปรากฏของเนื้อเทียมทั้ง 4 สูตร พบว่าเมื่อปริมาณแป้งวีทกลูเตนเพิ่มขึ้น (5 กรัมเป็น 9 กรัม) และปริมาณเห็ดนางรมหลวงเท่าเดิม (90 กรัม) (สูตรที่ 1 และ 2) พบว่าลักษณะเนื้อสัมผัสภายนอกของผลิตภัณฑ์มีความแน่นมากขึ้น รูพรุนขนาดใหญ่ในสูตรที่ 1 ลดลงในสูตรที่ 2 และโครงสร้างภายในมีความสม่ำเสมอขึ้นอย่างชัดเจน สีของผลิตภัณฑ์มีความเข้มขึ้นเล็กน้อยในสูตรที่ 2 แสดงให้เห็นว่า การเพิ่มแป้งวีทกลูเตนส่งผลโดยตรงต่อการสร้างโครงสร้างโปรตีน (protein network) ที่แข็งแรงขึ้น ช่วยให้เนื้อเทียมมีความแน่นและยึดหยุ่นมากขึ้น (Rosell et al., 2007) เมื่อเห็ดนางรมหลวงเพิ่มขึ้น (90 กรัมเป็น 110 กรัม) และแป้งวีทกลูเตนเท่าเดิม (5 กรัม) (สูตร 1 และ 3) พบว่าสูตรที่ 3 มีเนื้อสัมผัสที่ดูแน่นขึ้นเล็กน้อยเมื่อเทียบกับสูตรที่ 1 แต่ยังพบรูพรุนบางส่วน แต่มีความชุ่มฉ่ำมากกว่า และเนื้อภายในละเอียดกว่า ซึ่งสอดคล้องกับรายงานที่ว่า เห็ดนางรมหลวงมีเส้นใยอาหารและความสามารถในการกักเก็บความชื้น ทำให้ผลิตภัณฑ์มีความชุ่มฉ่ำและเนื้อสัมผัสละเอียดขึ้น (Kim et al., 2019; Lin & เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Huang, 2020) เมื่อเพิ่มแป้งวิทกลูเตนเพิ่มขึ้น (5 กรัมเป็น 9 กรัม) และเห็นดนางรมหลวงเท่าเดิม (110 กรัม) (สูตรที่ 3 และ 4) พบว่าสูตรที่ 4 มีโครงสร้างที่แน่นและสม่ำเสมอมากกว่าสูตรที่ 3 รูปทรงลดลง สีของผลิตภัณฑ์มีความน้ำตาลอ่อนขึ้น แสดงถึงการเกิดโครงสร้างโปรตีนที่มีความสมดุลระหว่างความชื้นและโปรตีน การเพิ่มกลูเตนในสัดส่วนที่มากขึ้น ช่วยเพิ่มแรงยึดเหนี่ยวระหว่างเส้นใยของเห็ดและโปรตีนอื่น ได้ดีขึ้น (Rosell et al., 2007; Kim et al., 2019) และการเปรียบเทียบระหว่างสูตรที่ 2 และ 4 ซึ่งมีปริมาณแป้งกลูเตนเท่ากัน แต่เพิ่มเห็ดนางรมหลวงจาก 90 เป็น 110 กรัม พบว่าสูตรที่ 4 มีโครงสร้างที่แน่นและสม่ำเสมอมากกว่าสูตรที่ 2 พร้อมทั้งมีความชุ่มฉ่ำและสีที่สวยงามมากกว่า แสดงว่าการเพิ่มเห็ดนางรมหลวงในสัดส่วนที่สูงขึ้นเมื่อมีปริมาณกลูเตนเพียงพอ จะช่วยเสริมความแน่น ความชุ่มฉ่ำ และเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์ได้อย่างสมดุล (Zhang et al., 2021) โดยสูตรที่มีทั้งแป้งวิทกลูเตนและเห็ดนางรมหลวงในปริมาณสูงสุด (สูตรที่ 4) ให้ผลลัพธ์ที่ดีที่สุดในแง่ความแน่น สี ความสม่ำเสมอ และความชุ่มฉ่ำของผลิตภัณฑ์

**ตารางที่ 4.2** ค่าปริมาณร้อยละผลผลิต (% Cooking yield) ร้อยละการสูญเสียน้ำหนัก (% Cooking loss) ค่าปริมาณน้ำอิสระ (Water Activity, aw) และคุณภาพทางด้านสีของเนื้อเห็ดเทียม 4 สูตร

คุณลักษณะทางกายภาพ	สูตร			
	สูตร 1	สูตร 2	สูตร 3	สูตร 4
% cooking yield <sup>NS</sup>	96.91±2.35	98.71±0.75	97.41±0.26	98.15±0.59
% cooking loss <sup>NS</sup>	3.08±2.35	1.28±0.75	2.58±0.26	1.84±0.59
aw	0.98±0.001 <sup>ab</sup>	0.98±0.004 <sup>b</sup>	0.98±0.005 <sup>a</sup>	0.98±0.002 <sup>ab</sup>
L*	52.17±0.98 <sup>ab</sup>	53.71±0.58 <sup>c</sup>	54.51±0.56 <sup>bc</sup>	55.69±0.42 <sup>a</sup>
a* <sup>NS</sup>	3.38±0.35	3.43±0.23	3.48±0.16	3.59±0.18
b*	14.44±0.3 <sup>b</sup>	15.33±0.63 <sup>a</sup>	15.35±0.70 <sup>a</sup>	15.60±0.63 <sup>a</sup>

หมายเหตุ <sup>a-c</sup>ตัวอักษรแนวนอนที่แตกต่างกันแสดงถึงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p<0.05)

<sup>NS</sup>ตัวอักษรที่ระบุในแนวนอนแสดงว่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p>0.05)

สูตร 1 : เห็ดนางรมหลวง 90 กรัม แป้งวิทกลูเตน 5 กรัม, สูตร 2 : เห็ดนางรมหลวง 90 กรัม แป้งวิทกลูเตน 9 กรัม,

สูตร 3 : เห็ดนางรมหลวง 110 กรัม แป้งวิทกลูเตน 5 กรัม, สูตร 4 : เห็ดนางรมหลวง 110 กรัม แป้งวิทกลูเตน 9 กรัม

จากตารางที่ 4.2 แสดงถึงค่าปริมาณร้อยละผลผลิต (% Cooking yield) ร้อยละการสูญเสีย น้ำหนัก (% Cooking loss) ค่าปริมาณน้ำอิสระ (Water Activity, aw) และคุณภาพทางด้านสีของเนื้อเห็ดเทียม 4 สูตร พบว่า เมื่อเพิ่มปริมาณเห็ดนางรมหลวงและปริมาณแป้งวิทกลูเตน ไม่มีผลกับการออกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เปลี่ยนแปลงของค่าเฉลี่ย % cooking yield, % cooking loss และค่า  $a^*$  อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p > 0.05$ )

ค่าปริมาณน้ำอิสระ (Water Activity,  $a_w$ ) คือ ค่าอัตราส่วนของน้ำอิสระ เป็นการวัดความชื้นในผลิตภัณฑ์ซึ่งมีผลต่อการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์และการเกิดปฏิกิริยาทางเคมี โดยทั่วไปค่า  $a_w$  ที่สูงกว่า 0.85 จะสามารถทำให้จุลินทรีย์เติบโตได้ (Kroger, M., et al., 2012) จากการทดลองพบว่า ทั้ง 4 สูตร มีค่า  $a_w$  ที่ใกล้เคียงกันที่ 0.98 เนื่องจากการดูดซับน้ำปริมาณใกล้เคียงกัน โดยค่า  $a_w$  สูงแสดงถึงความสามารถในการกักเก็บน้ำที่ดีของเนื้อเทียม (Chin, K. B., 2016)

คุณภาพทางด้านสีของเนื้อเทียมทั้ง 4 สูตร พบว่า เมื่อปริมาณเห็ดนางรมหลวงและปริมาณแป้งวิทกลูเตนเพิ่มขึ้น ส่งผลให้ค่า  $L^*$  มีค่าเพิ่มขึ้นและมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ ) เนื่องจากเห็ดนางรมหลวงมีองค์ประกอบของเซลล์ที่มีสารอาหารและสีที่มีคุณสมบัติในการดูดซับแสงและสะท้อนแสง ซึ่งมีผลต่อความสว่าง (ค่า  $L^*$ ) ของเนื้อเทียม (Patra, et al., 2020) และแป้งวิทกลูเตนมีคุณสมบัติในการดูดซับน้ำและช่วยให้ผลิตภัณฑ์มีความเหนียวและยืดหยุ่น ซึ่งสามารถปรับปรุงการจัดเรียงของโครงสร้างในผลิตภัณฑ์เนื้อเทียม ช่วยเพิ่มการดูดซับแสง ทำให้ค่า  $L^*$  สูงขึ้น (Varela, et al., 2019) ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Soto, et al., 2021. ศึกษาผลของส่วนผสมจากพืชที่ใช้ในการผลิตเนื้อเทียมพบว่าองค์ประกอบต่างๆ เช่น เห็ด และแป้งวิทกลูเตน สามารถมีผลต่อการดูดซับแสง และค่า  $L^*$  ซึ่งเป็นตัวชี้วัดความสว่างของผลิตภัณฑ์ และค่า  $b^*$  พบว่าเมื่อปริมาณเห็ดนางรมหลวงและแป้งวิทกลูเตนเพิ่มขึ้น ส่งผลให้ค่า  $b^*$  มีค่าเพิ่มขึ้นและมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ ) เนื่องจากปริมาณแป้งวิทกลูเตนและส่วนผสมเห็ดมีผลต่อการเพิ่มขึ้นของค่าดังกล่าว (Singh, et al., 2018; Hossain, et al., 2021; Fu, et al., 2017) เห็ดนางรมหลวง มีสารประกอบฟีนอลิกที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงสีในผลิตภัณฑ์ เช่น การสร้างสีเหลืองจากการทำปฏิกิริยากับน้ำตาลและโปรตีนในระหว่างการปรุงอาหาร หรือการต้ม (Xu, et al., 2020) ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Sulaiman, et al., 2018. ศึกษาผลของส่วนผสมต่างๆในอาหารที่มีสีเหลือง ซึ่งพบว่าการเพิ่มขึ้นของส่วนผสมที่มีแป้งและสารฟีนอลิกจากเห็ดนางรมหลวงสามารถส่งผลต่อการเพิ่มสีเหลืองในผลิตภัณฑ์อาหาร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.3 ตารางแสดงผลการวิเคราะห์อิทธิพลของปัจจัยต่าง ๆ

Source	Dependent Variable	Type III				
		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
เห็ดนางรมหลวง	% Cooking yield	.005	1	.005	.003	.957
	% Cooking loss	.005	1	.005	.003	.957
	aw	4.682	1	4.682	3.127	.096
	L*	2.171	1	2.171	4.813	.043
	a*	.634	1	.634	.554	.468
	b*	3.872	1	3.872	10.787	.005
แป้งวีกากูเตน	% Cooking yield	8.096	1	8.096	4.947	.041
	% Cooking loss	8.096	1	8.096	4.947	.041
	aw	5.848	1	5.848	3.906	.066
	L*	.099	1	.099	.220	.645
	a*	.006	1	.006	.095	.762
	b*	.392	1	.392	1.092	.312
เห็ดนางรมหลวง * แป้งวีกากูเตน	% Cooking yield	1.425	1	1.425	.871	.365
	% Cooking loss	1.425	1	1.425	.871	.365
	aw	1.378	1	1.378	.920	.352
	L*	8.699	1	8.699	19.281	.000
	a*	.087	1	.087	1.434	.248
	b*	1.972	1	1.972	5.494	.032

จากการออกแบบการทดลองแบบแฟคทอเรียล (Factorial in Completely Randomized Design; CRD) ได้ทำการวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) เพื่อศึกษาผลของปริมาณเห็ดนางรมหลวง ปริมาณแป้งวีกากูเตน และปฏิสัมพันธ์ระหว่างทั้งสองปัจจัย ต่อคุณสมบัติทางกายภาพของผลิตภัณฑ์ โดยผลการวิเคราะห์แสดงไว้ในตารางที่ 4.3 พบว่าปริมาณเห็ดนางรมหลวงมีค่าอิทธิพลต่อค่าเฉลี่ยค่า L\* และค่า b\* ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 ปริมาณแป้งวีกากูเตนมีค่าอิทธิพลต่อค่าเฉลี่ย % cooking yield และ % cooking loss ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 และตัวแปรอิทธิพลร่วมระหว่างปริมาณเห็ดนางรมหลวงและปริมาณแป้งวีกากูเตนมีปฏิสัมพันธ์ระหว่างปริมาณเห็ดนางรมหลวงและแป้งวีกากูเตนต่อค่า L\* และค่า b\* ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.4 ผลการวิเคราะห์เนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์เนื้อเทียม 4 สูตร

การวิเคราะห์เนื้อสัมผัส	สูตร 1	สูตร 2	สูตร 3	สูตร 4
Hardness (N)	22.85±0.90 <sup>c</sup>	24.19±1.55 <sup>bc</sup>	25.39±1.87 <sup>b</sup>	28.76±1.70 <sup>a</sup>
Springiness (mm)	0.68±0.01 <sup>d</sup>	0.70±0.03 <sup>c</sup>	0.72±0.01 <sup>b</sup>	0.74±0.01 <sup>a</sup>
Cohesiveness	0.33±0.02 <sup>c</sup>	0.35±0.03 <sup>b</sup>	0.42±0.02 <sup>a</sup>	0.44±0.01 <sup>a</sup>
Gumminess (N)	7.25±0.75 <sup>c</sup>	10.18±1.05 <sup>b</sup>	11.07±1.18 <sup>b</sup>	12.76±1.13 <sup>a</sup>
Chewiness (Nmm)	5.18±0.60 <sup>c</sup>	6.78±0.52 <sup>b</sup>	7.87±1.26 <sup>a</sup>	8.26±0.87 <sup>a</sup>
Firmness (N)	3.48±0.20 <sup>c</sup>	4.25±0.30 <sup>b</sup>	5.64±0.26 <sup>a</sup>	5.76±0.54 <sup>a</sup>
Toughness (N)	15.11±1.54 <sup>d</sup>	21.52±1.72 <sup>c</sup>	25.98±1.91 <sup>b</sup>	28.94±2.54 <sup>a</sup>

หมายเหตุ <sup>a-d</sup> ตัวอักษรเลขที่ต่างกันแสดงถึงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ )

สูตร 1 : เนื้อหนังรมหลวง 90 กรัม แป้งวีทกลูเตน 5 กรัม, สูตร 2 : เนื้อหนังรมหลวง 90 กรัม แป้งวีทกลูเตน 9 กรัม,

สูตร 3 : เนื้อหนังรมหลวง 110 กรัม แป้งวีทกลูเตน 5 กรัม, สูตร 4 : เนื้อหนังรมหลวง 110 กรัม แป้งวีทกลูเตน 9 กรัม

จากตารางที่ 4.4 แสดงผลการวิเคราะห์เนื้อสัมผัสของเนื้อเทียม 4 สูตร โดยใช้การวิเคราะห์ Texture Profile Analysis (TPA) และ Shear force พบว่า เมื่อปริมาณเนื้อหนังรมหลวงและแป้งวีทกลูเตนเพิ่มขึ้น ส่งผลให้ค่า Hardness, Springiness, Cohesiveness, Gumminess, Chewiness, Firmness และ Toughness เพิ่มขึ้นและมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ ) ซึ่งแสดงให้เห็นว่าการเพิ่มปริมาณของแป้งวีทกลูเตน และ เนื้อหนังรมหลวง มีผลต่อโครงสร้างและความแน่นของผลิตภัณฑ์อย่างชัดเจน เนื่องจาก แป้งวีทกลูเตน มีคุณสมบัติเป็นโปรตีนที่สามารถสร้างโครงสร้างตาข่ายโปรตีน (protein network) ได้ดีเมื่อได้รับน้ำและแรงกด ซึ่งช่วยเพิ่มความยืดหยุ่น ความเหนียว และความแข็งแรงของผลิตภัณฑ์ (Rosell et al., 2001; Rosell et al., 2014; Day et al., 2006) และส่งผลต่อความสามารถในการคืนรูปของผลิตภัณฑ์หลังถูกกด ทำให้เกิดโครงสร้างโปรตีนสามมิติที่แน่นหนาเมื่อได้รับความชื้นและความร้อน ส่งผลให้ผลิตภัณฑ์มีความยืดหยุ่นและสามารถคืนรูปได้ดี (Rosell et al., 2014; Wang et al., 2018) เนื้อหนังรมหลวง เป็นวัตถุดิบที่มีทั้งเส้นใยอาหารชนิดละลายน้ำและไม่ละลายน้ำ รวมถึงโปรตีนจากธรรมชาติ ซึ่งสามารถช่วยเสริมสร้างโครงสร้างของผลิตภัณฑ์ให้แน่นหนายิ่งขึ้น โดยเส้นใยจะทำหน้าที่ดูดซับน้ำและช่วยในการเชื่อมโครงสร้างของโปรตีน ทำให้ผลิตภัณฑ์มีลักษณะหนาแน่นและต้านทานแรงกดหรือแรงเฉือนได้ดีขึ้น (Pham et al., 2022; Khawla et al., 2020) เนื้อหนังรมหลวงสามารถกักเก็บน้ำและรักษาความชุ่มชื้นของผลิตภัณฑ์ไว้ได้ ช่วยให้ผลิตภัณฑ์มีความยืดหยุ่นมากขึ้น (Khawla et al., 2020; Zhang et al., 2021) โปรตีนจากเห็ดยังสามารถประสานกับโปรตีนจากแป้งวีทกลูเตน ทำให้เกิดโครงสร้างโปรตีนที่สมบูรณ์และมีแรงดึงในโครงสร้างที่มากขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

งานวิจัยของ Wang et al. (2018) ศึกษาเกี่ยวกับการใช้แป้งวิทกฤดูเตนในผลิตภัณฑ์เนื้อเทียม พบว่าการเพิ่มปริมาณฤดูเตนช่วยเสริมความแข็ง (hardness) และความยืดหยุ่น (elasticity) ของผลิตภัณฑ์ งานวิจัยของ Zhang, et al. (2021) ศึกษาเกี่ยวกับเห็ดนางรมหลวงในผลิตภัณฑ์โปรตีนจากพืช พบว่าเห็ดนางรมหลวงช่วยเพิ่มคุณสมบัติทางเนื้อสัมผัสของเนื้อเทียม โดยเส้นใยจากเห็ดช่วยเสริมโครงสร้างของผลิตภัณฑ์ งานวิจัยของ พนา โลหะทรัพย์ทวี และคณะ (2564) ศึกษาผลของปริมาณแป้งสาลีและเห็ดนางรมหลวงต่อเนื้อสัมผัสของเนื้อเทียมที่ผลิตจากเต้าหู้และส่วนผสมอื่นๆ โดยพบว่าเมื่อเพิ่มปริมาณแป้งสาลีและเห็ดนางรมหลวง จะส่งผลให้ค่า Hardness และ Chewiness เพิ่มขึ้น และงานวิจัยของ Wang, Zhang, & Bhandari, (2018) พบว่าการเพิ่มฤดูเตนในผลิตภัณฑ์เนื้อเทียมช่วยเพิ่มค่า springiness ได้อย่างมีนัยสำคัญ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.5 อิทธิพลของปัจจัยต่าง ๆ ต่อคุณลักษณะทางเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์เนื้อเทียม

Source	Dependent Variable	Type III				
		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
เห็นนางรมหลวง	Hardness	126.903	1	126.903	52.444	.000
	Springiness	.002	1	.002	5.385	.026
	Cohesiveness	3.063	1	3.063	.054	.817
	Gumminess	102.221	1	102.221	93.415	.000
	Chewiness	43.685	1	43.685	58.102	.000
	Firmness	33.537	1	33.537	265.699	.000
	Toughness	836.539	1	836.539	216.110	.000
แป้งวีทกลูเตน	Hardness	55.458	1	55.458	22.919	.000
	Springiness	.001	1	.001	1.864	.181
	Cohesiveness	.092	1	.092	163.882	.000
	Gumminess	53.269	1	53.269	48.680	.000
	Chewiness	9.864	1	9.864	13.120	.001
	Firmness	2.017	1	2.017	15.979	.000
	Toughness	219.694	1	219.694	56.755	.000
เห็นนางรมหลวง * แป้งวีทกลูเตน	Hardness	10.289	1	10.289	4.252	.046
	Springiness	.023	1	.023	51.844	.000
	Cohesiveness	.005	1	.005	9.337	.004
	Gumminess	3.797	1	3.797	3.470	.071
	Chewiness	3.665	1	3.665	4.875	.034
	Firmness	1.085	1	1.085	8.596	.006
	Toughness	29.979	1	29.979	7.745	.009

ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) แสดงให้เห็นว่า ปริมาณเห็นนางรมหลวง แป้งวีทกลูเตน และปฏิสัมพันธ์ระหว่างสองปัจจัย มีอิทธิพลแตกต่างกันต่อคุณลักษณะทางเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์เนื้อเทียม ดังแสดงในตารางที่ 4.5 พบว่า ปริมาณเห็นนางรมหลวงมีค่าอิทธิพลต่อค่าเฉลี่ย Hardness, Springiness, Gumminess, Chewiness, Firmness และ Toughness ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 ปริมาณแป้งวีทกลูเตนมีค่าอิทธิพลต่อค่าเฉลี่ย Hardness, Cohesiveness, Gumminess, Chewiness, Firmness และ Toughness ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 และตัวแปรอิทธิพลร่วมระหว่างปริมาณเห็นนางรมเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หลวงและปริมาณแป้งวิทกฤดูเตนมมีปฏิสัมพันธ์ระหว่างปริมาณเห็ดนางรมหลวงและปริมาณแป้งวิทกฤดูเตนม ต่อ Hardness, Springiness, Cohesiveness, Chewiness, Firmness และ Toughness ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

#### 4.2.2 การประเมินทางประสาทสัมผัสของเนื้อเทียม

ตารางที่ 4.6 ผลการประเมินทางประสาทสัมผัสของเนื้อเทียม

การประเมิน	สูตร 1	สูตร 2	สูตร 3	สูตร 4
ลักษณะปรากฏ	6.65±0.73 <sup>d</sup>	6.92±0.72 <sup>c</sup>	7.20±0.75 <sup>b</sup>	7.75±0.92 <sup>a</sup>
สี	6.50±0.78 <sup>c</sup>	6.62±0.70 <sup>c</sup>	7.00±0.67 <sup>b</sup>	7.40±0.74 <sup>a</sup>
กลิ่น	6.20±0.85 <sup>d</sup>	6.45±0.81 <sup>c</sup>	7.02±0.80 <sup>b</sup>	7.57±0.90 <sup>a</sup>
รสชาติ	6.50±0.75 <sup>c</sup>	6.67±0.79 <sup>c</sup>	7.32±0.65 <sup>b</sup>	7.97±0.89 <sup>a</sup>
เนื้อสัมผัส	6.47±0.78 <sup>d</sup>	6.75±0.63 <sup>c</sup>	7.40±0.63 <sup>b</sup>	8.05±0.90 <sup>a</sup>
ความชอบโดยรวม	6.40±0.70 <sup>d</sup>	6.75±0.74 <sup>c</sup>	7.15±0.62 <sup>b</sup>	7.95±0.67 <sup>a</sup>

หมายเหตุ <sup>a-d</sup> ตัวอักษรแนวนอนที่แตกต่างกันแสดงถึงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ )

สูตร 1 : เห็ดนางรมหลวง 90 กรัม แป้งวิทกฤดูเตนม 5 กรัม, สูตร 2 : เห็ดนางรมหลวง 90 กรัม แป้งวิทกฤดูเตนม 9 กรัม,

สูตร 3 : เห็ดนางรมหลวง 110 กรัม แป้งวิทกฤดูเตนม 5 กรัม, สูตร 4 : เห็ดนางรมหลวง 110 กรัม แป้งวิทกฤดูเตนม 9 กรัม

จากตารางที่ 4.6 แสดงผลการประเมินทางประสาทสัมผัส โดยใช้ผู้ทดสอบหรือประเมินผลทางประสาทสัมผัสจำนวน 40 คน ซึ่งประกอบด้วยเพศชายและเพศหญิง อายุระหว่าง 20–35 ปี โดยส่วนใหญ่เป็นนักศึกษาระดับปริญญาตรีและบุคคลทั่วไปที่สนใจผลิตภัณฑ์อาหารเพื่อสุขภาพ ทำการประเมินคุณลักษณะของเนื้อเทียมทั้ง 4 สูตร ด้วยวิธีการประเมินแบบให้คะแนนความชอบ 9 ระดับ (9-Point Hedonic Scale) พบว่าผู้บริโภครู้สึกว่าเนื้อเทียมสูตรที่ 4 มีคะแนนความชอบคุณลักษณะด้านลักษณะปรากฏ สี กลิ่น รสชาติ เนื้อสัมผัส ความชอบโดยรวมมากที่สุด และความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ ) ซึ่งสูตรที่ 4 สอดคล้องกับค่าทางกายภาพ สูตรที่ 4 มีค่า  $L^*$  มากที่สุด สัมพันธ์กับความสม่ำเสมอของสี และลักษณะภายนอกดูน่ารับประทานมากที่สุด เส้นใยจากเห็ดนางรมหลวง ช่วยสร้างลักษณะคล้ายเนื้อสัตว์ (Lin & Huang., 2020) เห็ดนางรมหลวงมีกรดอะมิโนอิสระ เช่น กรดกลูตามิก และกรดแอสพาร์ติก ซึ่งช่วยเสริมรสชาติให้ใกล้เคียงเนื้อสัตว์ (Walde et al., 2006) สูตรที่ 4 มีค่าทางกายภาพเหมาะสมที่สุด เช่น ค่า Springiness สูง ทำให้โครงสร้างมีความยืดหยุ่นคล้ายเนื้อสัตว์ ค่า Cohesiveness สูง เนื้อเทียมคงรูปและหนาแน่น ค่า Chewiness สูง การผสมเส้นใยจากเห็ดและเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยามให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โครงสร้างโปรตีนจากกลูเตนทำให้เกิดความสมดุลของความเหนียว (Rosell et al., 2007) จากการสอบถามความคิดเห็นเพิ่มเติมของกลุ่มผู้ชิม พบว่าผู้บริโภคร้อยส่วนใหญ่ชื่นชอบเนื้อสัมผัสที่แน่น เคี้ยวแล้วรู้สึกหนึบคล้ายเนื้อสัตว์ และมีรสชาติกลมกล่อม โดยแสดงความเห็นว่าสูตรที่ 4 ให้รสสัมผัสใกล้เคียงผลิตภัณฑ์เนื้อสัตว์มากที่สุด ทั้งยังให้ข้อเสนอแนะเพิ่มเติมว่า หากสามารถเพิ่มความฉ่ำหรือความชุ่มชื้นในเนื้อเทียมได้อีกเล็กน้อย จะช่วยเพิ่มความน่ารับประทานและทำให้สัมผัสโดยรวมดีขึ้น จึงสรุปได้ว่า สูตรที่ 4 มีความชอบสูงที่สุดที่จะนำไปพัฒนาผลิตภัณฑ์เนื้อเทียมผสมสาหร่ายต่อไป คือ สูตรที่ 4 ปริมาณเห็ดนางรมหลวง 110 กรัม และปริมาณแป้งวีทกลูเตนที่ 9 กรัม

### 4.3 การศึกษาการพัฒนาผลิตภัณฑ์เนื้อเทียมผสมสาหร่าย

นำสูตรจากสูตรที่เหมาะสมของผลิตภัณฑ์เนื้อเทียม ได้แก่ สูตรที่ 4 ปริมาณเห็ดนางรมหลวง 110 กรัม และปริมาณแป้งวีทกลูเตนที่ 9 กรัม ที่ได้คะแนนความชอบสูงสุด คือ 7.95 คะแนน มาพัฒนาโดยการใส่สาหร่ายแดง โดยใส่ปริมาณสาหร่ายแดงที่แตกต่างกัน 3 ระดับ คือ 5%, 10% และ 15% จากนั้นนำมาตรวจสอบคุณภาพทางกายภาพ ได้แก่ ค่า Cooking yield ค่า Cooking loss ค่าสี (CIE L\*a\*b\*) ค่าปริมาณน้ำอิสระ (Water Activity, aw) ลักษณะเนื้อสัมผัส และการประเมินทางประสาทสัมผัสของเนื้อเทียมผสมสาหร่าย แสดงลักษณะปรากฏของเนื้อเทียมได้ดังภาพที่ 4.2 มีผลการตรวจสอบคุณลักษณะทางกายภาพแสดงดังตารางที่ 4.5-4.6 และผลการประเมินความชอบทางประสาทสัมผัสแสดงดังตารางที่ 4.4

#### 4.3.1 การตรวจสอบคุณลักษณะทางกายภาพของเนื้อเทียมผสมสาหร่าย



ภาพที่ 4.2 เนื้อเทียมผสมสาหร่ายแดงทั้ง 3 สูตร

จากภาพที่ 4.2 แสดงลักษณะปรากฏของเนื้อเทียมผสมสาหร่ายทั้ง 3 สูตร โดยมีปริมาณสาหร่ายแดงที่แตกต่างกัน 5, 10 และ 15 % ตามลำดับ ลักษณะภายนอกของสูตรที่ 1 (สาหร่ายแดง 5 %) มีผิวเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เรียบ สีนํ้าตาลอ่อน สูตรที่ 2 (สาหร่ายแดง 10 %) ผิวเนียน ละเอียดมากขึ้น สีเข้มขึ้นเล็กน้อย ดูสม่ำเสมอ  
 นํ้ารับประทาน สูตรที่ 3 (สาหร่ายแดง 15 %) ผิวภายนอกเริ่มแสดงความหยาบเล็กน้อย สีเข้มเกินไปใน  
 บางจุด เนื่องจาก สารสี astaxanthin และ carotenoids ในนํ้ามันของสาหร่ายแดงทำให้สีภายนอก  
 เปลี่ยนแปลงตามปริมาณที่เพิ่มขึ้น งานวิจัยของ Kim et al. (2019) ยืนยันว่าสาหร่ายแดงสามารถ  
 ปรับปรุงลักษณะภายนอกและทำให้ผลิตภัณฑ์ดูมีสีธรรมชาติมากขึ้นเมื่อใช้ในปริมาณที่เหมาะสม ลักษณะ  
 ภายใน สูตรที่ 1 (สาหร่ายแดง 5 %) มีเนื้อเนียนแน่น มีความชุ่มฉ่ำพอสมควร รูพรุนเล็กน้อย แต่ยังคงเห็น  
 โครงสร้างของส่วนผสมแยกจากกัน สูตรที่ 2 (สาหร่ายแดง 10 %) เนื้อสัมผัสแน่นแต่ยังนุ่ม มีโครงสร้างที่  
 สม่ำเสมอ ความชุ่มฉ่ำสูงที่สุด รูพรุนกระจายตัวดี สูตรที่ 3 (สาหร่ายแดง 15 %) เนื้อแน่นมากขึ้นจนเริ่ม  
 แข็ง รูพรุนลดลงเล็กน้อย ความชุ่มฉ่ำลดลง เนื่องจาก เมื่อปริมาณสาหร่ายแดงเพิ่มขึ้น สาร  
 polysaccharides ในสาหร่าย เช่น agar และ carrageenan จะส่งผลต่อการกักเก็บนํ้าและสร้าง  
 โครงสร้างในเนื้อผลิตภัณฑ์ (ศิริกาญจน์ ทวีสุข., 2563) อย่างไรก็ตาม ปริมาณที่มากเกินไปในสูตรที่ 3 อาจ  
 ทำให้เนื้อผลิตภัณฑ์แน่นจนเกินไปและสูญเสียความชุ่มฉ่ำ งานวิจัยจาก Narayan et al. (2016) สนับสนุน  
 ว่าสาหร่ายมีศักยภาพในการพัฒนาโครงสร้างและการกักเก็บความชุ่มฉ่ำ สีแดงที่มาจาก astaxanthin ใน  
 นํ้ามันของสาหร่ายแดงเพิ่มขึ้นตามปริมาณที่เติม แต่ปริมาณที่มากเกินไป (สูตรที่ 3) อาจทำให้ผลิตภัณฑ์ดู  
 สีเข้มจนผิดธรรมชาติ งานวิจัยของ Tokusoglu & Unal (2021) ระบุว่า การเติมสาหร่ายแดงในระดับ 8-  
 12% ให้ผลดีต่อสีของผลิตภัณฑ์ โปรตีนในแป้งวีทกลูเตนและโพลีแซ็กคาไรด์ในสาหร่ายแดงทำงานร่วมกัน  
 ในการสร้างโครงสร้าง แต่การเพิ่มสาหร่ายแดงมากเกินไป (15%) อาจทำให้เกิดการกักตัวของโปรตีนมาก  
 เกินไป ส่งผลต่อการกระจายตัวของรูพรุนและทำให้ผลิตภัณฑ์แน่นขึ้น (Chalamaiah et al., 2018) โพลี  
 แซ็กคาไรด์ในสาหร่ายแดงช่วยกักเก็บนํ้าในโครงสร้าง แต่ในปริมาณสูงเกินไปจะดึงนํ้าออกจากโปรตีน ทำ  
 ให้ความชุ่มฉ่ำลดลง งานวิจัยของ Narayan et al. (2016) ระบุว่าความชุ่มฉ่ำของผลิตภัณฑ์ขึ้นอยู่กับ  
 ปริมาณสาหร่ายที่เหมาะสมในการสร้างโครงสร้าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.7 ค่าปริมาณร้อยละผลผลิต (% Cooking yield) ร้อยละการสูญเสียน้ำหนัก (% Cooking loss) ค่าปริมาณน้ำอิสระ (Water Activity, aw) และคุณภาพทางด้านสีของเนื้อเทียมผสมสาหร่าย

คุณลักษณะทางกายภาพ	สาหร่าย			
	0%	5%	10%	15%
% cooking yield <sup>NS</sup>	98.15±0.59	98.20±0.52	98.33±0.87	98.54±0.66
% cooking loss <sup>NS</sup>	1.84±0.59	1.79±0.52	1.66±0.87	1.45±0.66
aw <sup>NS</sup>	0.98±0.002	0.98±0.001	0.98±0.001	0.98±0.002
L*	55.69±0.42 <sup>a</sup>	55.58±1.14 <sup>a</sup>	52.52±2.32 <sup>b</sup>	51.87±1.91 <sup>b</sup>
a* <sup>NS</sup>	3.43±0.23	3.32±0.27	3.27±0.23	3.21±0.46
b*	15.95±0.63 <sup>a</sup>	15.49±0.45 <sup>ab</sup>	14.69±0.69 <sup>bc</sup>	14.60±1.11 <sup>c</sup>

หมายเหตุ <sup>a-c</sup>ตัวอักษรแนวอนที่แตกต่างกันแสดงถึงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ )

<sup>NS</sup>ตัวอักษรที่ระบุในแนวอนแสดงว่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p > 0.05$ )

จากตารางที่ 4.7 แสดงถึงค่าปริมาณร้อยละผลผลิต (% Cooking yield) ร้อยละการสูญเสีย น้ำหนัก (% Cooking loss) ค่าปริมาณน้ำอิสระ (Water Activity, aw) และคุณภาพทางด้านสีของเนื้อเทียม 3 สูตรที่มีปริมาณสาหร่ายแดงที่แตกต่างกัน 0, 5, 10 และ 15 % ตามลำดับ พบว่าเมื่อปริมาณสาหร่ายเพิ่มขึ้น ไม่มีผลกับการเปลี่ยนแปลงของค่าเฉลี่ย % cooking yield, % cooking loss ค่า aw และค่า a\* อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p > 0.05$ )

คุณภาพทางด้านสีของเนื้อเทียมผสมสาหร่าย พบว่า ค่า L\* มีแนวโน้มลดลงเมื่อเพิ่มปริมาณสาหร่ายแดง และมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ ) เนื่องจากสาหร่ายแดงมีสีเข้มกว่าเนื้อเห็ดนางรมหลวงและแป้งวีกาลูเตน เมื่อปริมาณสาหร่ายแดงเพิ่มขึ้น ความสว่างของผลิตภัณฑ์จึงลดลง สีของสาหร่ายแดงมีบทบาทสำคัญในการเปลี่ยนสีของเนื้อเทียม (Gupta et al., 2021) สารสีในสาหร่ายแดง เช่น ไฟโคไซยานิน (Phycocyanin) และแคโรทีนอยด์ (Carotenoids) มีความเข้มของสีที่สูง ทำให้เกิดการดูดซับแสงและลดความสว่างในตัวอย่าง และค่า b\* มีแนวโน้มลดลง เมื่อเพิ่มปริมาณสาหร่ายแดง และมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ ) เนื่องจากส่วนประกอบของสาหร่ายแดงมีโทนสีแดงน้ำตาลมากกว่าสีเหลือง จึงทำให้ค่าความเหลืองลดลง เมื่อปริมาณสาหร่ายแดงเพิ่มขึ้น (Pham et al., 2018). เห็ดนางรมหลวงช่วยคงโครงสร้างของผลิตภัณฑ์ แต่มีผลเพียงเล็กน้อยต่อสีของเนื้อเทียม ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Kim, et al., 2019. พบว่าการเพิ่มวัตถุดิบที่มีสีเข้ม เช่น สาหร่าย สามารถปรับเปลี่ยนค่าความสว่างของผลิตภัณฑ์เนื้อเทียม งานวิจัยของ Wang, et al., 2020. ศึกษาการเพิ่ม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริมาณของสารสกัดจากสาหร่ายแดงในเนื้อเทียมช่วยเพิ่มคุณค่าทางโภชนาการและปรับปรุงคุณสมบัติทางประสาทสัมผัส เช่น สีและเนื้อสัมผัส

ตารางที่ 4.8 ผลการวิเคราะห์เนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์เนื้อเทียมผสมสาหร่าย

การวิเคราะห์เนื้อสัมผัส	สาหร่าย			
	0%	5%	10%	15%
Hardness (N)	28.76±1.70 <sup>a</sup>	27.62±1.40 <sup>ab</sup>	26.31±1.87 <sup>bc</sup>	24.75±1.85 <sup>c</sup>
Springiness (mm)	0.74±0.01 <sup>a</sup>	0.70±0.03 <sup>b</sup>	0.69±0.01 <sup>bc</sup>	0.68±0.02 <sup>c</sup>
Cohesiveness	0.44±0.01 <sup>a</sup>	0.45±0.02 <sup>a</sup>	0.39±0.02 <sup>b</sup>	0.38±0.03 <sup>b</sup>
Gumminess (N)	12.76±1.13 <sup>b</sup>	13.76±0.95 <sup>a</sup>	10.74±1.50 <sup>c</sup>	10.69±0.44 <sup>c</sup>
Chewiness (Nmm)	8.26±0.87 <sup>b</sup>	9.29±1.04 <sup>a</sup>	7.22±0.42 <sup>c</sup>	6.51±0.86 <sup>c</sup>
Firmness (N)	5.76±0.54 <sup>a</sup>	4.45±0.35 <sup>b</sup>	4.25±0.60 <sup>b</sup>	4.10±0.28 <sup>b</sup>
Toughness (N)	28.94±2.54 <sup>a</sup>	28.73±2.77 <sup>b</sup>	24.28±1.41 <sup>a</sup>	23.01±2.30 <sup>b</sup>

หมายเหตุ <sup>a-c</sup>ตัวอักษรแนวอนที่แตกต่างกันแสดงถึงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p < 0.05$ )

จากตารางที่ 4.8 แสดงผลการวิเคราะห์เนื้อสัมผัสของเนื้อเทียมผสมสาหร่าย ที่มีปริมาณสาหร่ายแดง 0, 5, 10 และ 15 % ตามลำดับ พบว่า การเพิ่มปริมาณสาหร่ายแดงส่งผลต่อค่า Hardness, Firmness และ Toughness ของผลิตภัณฑ์ เมื่อปริมาณสาหร่ายแดงเพิ่มขึ้น ค่า Hardness และค่า Toughness ของเนื้อเทียมมีแนวโน้มลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p < 0.05$ ) ขณะที่ค่า Firmness มีแนวโน้มลดลงเช่นกัน แต่ไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p > 0.05$ ) ซึ่งผลการทดลองทั้งหมดนี้สอดคล้องกัน กล่าวคือ สาหร่ายแดงมีโครงสร้างที่อ่อนนุ่ม มีความชุ่มชื้นสูง และมีปริมาณเส้นใยสูง ซึ่งส่งผลลดแรงยึดเหนี่ยวในโครงสร้างของโปรตีนและแป้งกลูเตนในเนื้อเทียม ทำให้ผลิตภัณฑ์มีเนื้อสัมผัสที่นุ่มขึ้น แน่นน้อยลง และเคี้ยวได้ง่ายขึ้น (Gupta et al., 2021; Rosell, 2007) นอกจากนี้ สารไฮโดรคอลลอยด์ในสาหร่ายแดง เช่น คาราจีแนน (Carrageenan) และโพลีแซ็กคาไรด์บางชนิด ช่วยเพิ่มความชุ่มชื้นและความยืดหยุ่นในผลิตภัณฑ์ ทำให้เนื้อเทียมมีความนุ่มและลดความแน่นได้อย่างเหมาะสม (ลาภทวี และคณะ, 2016; ศิริภัทร, 2018) ขณะเดียวกัน แป้งวิทกลูเตนที่ใช้ในสูตรทำหน้าที่เสริมโครงสร้างให้ผลิตภัณฑ์มีเนื้อสัมผัสที่เหนียวแน่น แต่ไม่แข็งกระด้างเกินไป ซึ่งสามารถควบคุมความเหนียวให้เหมาะสมเมื่อนำมารวมกับโปรตีนจากเห็ดนางรมหลวง (วงศ์เสถียร และคณะ, 2020; บรรณารักษ์ และคณะ, 2019)

ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าเมื่อเพิ่มปริมาณสาหร่ายแดง ในสูตรผลิตภัณฑ์เนื้อเทียม ค่า Springiness, Gumminess และ Chewiness มีแนวโน้มลดลง โดยค่า Gumminess และ Chewiness มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p < 0.05$ ) ส่วนค่า Springiness แม้ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แต่ค่า Springiness เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนำมาใช้ในการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

นัยสำคัญ ( $p > 0.05$ ) แต่ยังคงแสดงทิศทางที่ลดลงอย่างชัดเจน การลดลงของค่า Gumminess และ Chewiness อาจเกิดจากองค์ประกอบของสาหร่ายแดง ที่มีสารไฮโดรคอลลอยด์ เช่น คาราจีแนน และ เส้นใยอาหาร ซึ่งสามารถแทรกตัวเข้าไปในโครงสร้างโปรตีนจากแป้งกลูเตนและเห็นด่างรุมหลวง ส่งผลให้โครงสร้างของโปรตีนอ่อนตัวลง ลดแรงยึดเหนี่ยว และทำให้ผลิตภัณฑ์มีเนื้อสัมผัสที่นุ่มขึ้นแต่เหนียว น้อยลง (Rosell, 2007; Gupta et al., 2021; Kim et al., 2019) นอกจากนี้ ไฮโดรคอลลอยด์ยังมีความสามารถในการกักเก็บน้ำ ซึ่งแม้จะช่วยเพิ่มความชุ่มชื้นในผลิตภัณฑ์ แต่อาจส่งผลให้เนื้อสัมผัสสูญเสียความแน่นและความยืดหยุ่นในปริมาณที่มากเกินไป (Barbut, 2017) งานวิจัยของ Chandini (2008) และ พงษ์ และคณะ (2020) ยังสนับสนุนว่าการเพิ่มสาหร่ายในระดับที่เหมาะสมสามารถปรับปรุงคุณค่าทางโภชนาการและความนุ่มของผลิตภัณฑ์ได้ แต่หากใช้มากเกินไปจะทำให้เนื้อสัมผัสสูญเสียโครงสร้างที่แข็งแรง ดังนั้น การใช้สาหร่ายแดงควรคำนึงถึงปริมาณที่เหมาะสม เพื่อไม่ให้กระทบต่อเนื้อสัมผัสที่ต้องการในผลิตภัณฑ์เนื้อเทียม

ค่า Cohesiveness พบว่า มีค่า Cohesiveness ลดลงตามปริมาณสาหร่ายแดงที่เพิ่มขึ้น และมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ ) เนื่องจากสาหร่ายแดงมีส่วนประกอบหลัก เช่น คาราจีแนน (carrageenan) และเส้นใยอาหาร ซึ่งสามารถรบกวนโครงสร้างโปรตีนที่เกิดจากแป้งวีทกลูเตนและลดแรงยึดเหนี่ยวภายในเนื้อเทียม ส่งผลให้ค่า Cohesiveness ลดลง (Gupta, et al., 2021) สาหร่ายแดงสามารถจับน้ำในปริมาณมาก ซึ่งทำให้โครงสร้างภายในเนื้อเทียมมีความอ่อนตัวมากขึ้นเมื่อมีการเพิ่มปริมาณสาหร่ายแดง (Barbut, 2017) ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Rosell, 2007. พบว่าการลดลงของค่า Cohesiveness เกี่ยวข้องกับการแทรกตัวของไฮโดรคอลลอยด์ในโครงสร้างโปรตีน ทำให้แรงยึดเหนี่ยวลดลง

#### 4.3.2 การประเมินทางประสาทสัมผัสของเนื้อเทียมผสมสาหร่าย

ตารางที่ 4.9 คะแนนการประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสด้วยการทดสอบชิมผลิตภัณฑ์เนื้อเทียม

การประเมิน	5%	10%	15%
ลักษณะปรากฏ	6.60±2.01 <sup>b</sup>	7.80±0.85 <sup>a</sup>	6.52±0.55 <sup>b</sup>
สี	6.42±0.74 <sup>b</sup>	7.42±1.15 <sup>a</sup>	6.07±1.30 <sup>b</sup>
กลิ่น	6.55 ±0.74 <sup>b</sup>	7.12±0.93 <sup>a</sup>	6.30±1.04 <sup>b</sup>
รสชาติ	6.87±1.36 <sup>ab</sup>	7.25±1.49 <sup>a</sup>	6.55±1.31 <sup>b</sup>
เนื้อสัมผัส	6.85±1.14 <sup>b</sup>	7.32±0.57 <sup>a</sup>	6.72±0.67 <sup>b</sup>
ความชอบโดยรวม	7.17±1.23 <sup>b</sup>	7.70±0.46 <sup>a</sup>	6.70±0.88 <sup>c</sup>

หมายเหตุ <sup>a-c</sup> ตัวอักษรแนวอนที่แตกต่างกันแสดงถึงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ )

ไม่ว่าการณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากตารางที่ 4.9 แสดงผลการประเมินทางประสาทสัมผัส โดยใช้ผู้ทดสอบหรือประเมินผลทางประสาทสัมผัสจำนวน 40 คน ซึ่งประกอบด้วยเพศชายและเพศหญิง อายุระหว่าง 20–35 ปี โดยส่วนใหญ่เป็นนักศึกษาระดับปริญญาตรีและบุคคลทั่วไปที่สนใจผลิตภัณฑ์อาหารเพื่อสุขภาพ ทำการประเมินคุณลักษณะของเนื้อเทียมผสมสาหร่ายทั้ง 3 สูตร โดยมีปริมาณสาหร่ายแดงที่แตกต่างกัน 5, 10 และ 15 % ตามลำดับ ด้วยวิธีการประเมินแบบให้คะแนนความชอบ 9 ระดับ (9-Point Hedonic Scale) พบว่าผู้บริโภคให้คะแนนความชอบในแต่ละคุณลักษณะของเนื้อเทียมผสมสาหร่าย แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติในทุกคุณลักษณะ โดยพบว่าเนื้อเทียมสูตรที่มีปริมาณสาหร่ายแดง 10 % มีคะแนนความชอบคุณลักษณะด้านลักษณะปรากฏ สี กลิ่น รสชาติ เนื้อสัมผัส ความชอบโดยรวมมากที่สุด และความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ ) ได้รับการยอมรับจากผู้บริโภคที่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ ) ซึ่งสูตรที่มีปริมาณสาหร่าย 10 % สอดคล้องกับค่าทางกายภาพ เนื่องจากการเติมสาหร่ายแดง 10 % มีปริมาณที่เหมาะสมในการเพิ่มความเข้มข้นของสีโดยไม่ทำให้ผลิตภัณฑ์ดูเข้มเกินไป (ศิริกาญจน์ ทวีสุข., 2563). สีแดงจากสาร astaxanthin และ carotenoids ในน้ำมันของสาหร่ายแดงช่วยเพิ่มความสวยงามของผลิตภัณฑ์โดยยังคงลักษณะเป็นธรรมชาติ งานวิจัยของ การวิจัยจาก Kim et al. (2019) ระบุว่าปริมาณ astaxanthin ในผลิตภัณฑ์อาหารที่เหมาะสมช่วยเสริมภาพลักษณ์และความน่ารับประทานได้อย่างมีประสิทธิภาพ สาหร่ายแดงให้รสชาติอูมามิจากกรดอะมิโน เช่น กรดกลูตามิก และ กรดแอสพาร์ติก ซึ่งช่วยเพิ่มความกลมกล่อมในรสชาติ ในปริมาณที่เหมาะสม (10 %) จะไม่ทำให้กลิ่นของสาหร่ายเด่นจนเกินไป ที่พบในปริมาณสาหร่าย 15 % งานวิจัยของ Chalamaiah et al. (2018) ระบุว่าสาหร่ายมีศักยภาพในการพัฒนารสชาติและกลิ่นเมื่อใช้ในสัดส่วนที่เหมาะสม สูตรที่มีปริมาณสาหร่าย 10 % มีค่ากายภาพ เช่น firmness, gumminess, springiness ที่เหมาะสม โดยมีความแข็ง ความเหนียว และความยืดหยุ่นที่สมดุล ทำให้ผู้บริโภครู้สึกว่ามันนุ่มเคี้ยวง่าย และไม่แฉะหรือแข็งจนเกินไป การเติมสาหร่ายแดงในปริมาณที่เหมาะสมช่วยปรับโครงสร้างของผลิตภัณฑ์ โดย polysaccharides ในสาหร่ายแดง เช่น agar หรือ carrageenan ทำหน้าที่เป็นตัวเสริมสร้างโครงสร้าง ทำให้เนื้อสัมผัสแน่นแต่นุ่ม งานวิจัยของ Narayan et al. (2016) ชี้ให้เห็นว่า polysaccharides จากสาหร่ายช่วยเพิ่มความคงตัวและปรับปรุงเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์โปรตีนพืช สูตรที่มีปริมาณสาหร่าย 10 % มีปริมาณสาหร่ายที่เพิ่มสารอาหาร เช่น ไฟเบอร์ วิตามิน และแร่ธาตุจากธรรมชาติที่ช่วยเพิ่มคุณค่าทางโภชนาการ โดยยังรักษาคุณสมบัติทางประสาทสัมผัสในระดับสูงไว้ได้ งานวิจัยจาก Tokusoglu & Unal (2021) พบว่าสาหร่ายแดงในปริมาณ 10-12 % ในผลิตภัณฑ์อาหารช่วยเพิ่มทั้งคุณค่าทางโภชนาการและความชอบจากผู้บริโภค จึงสรุปได้ว่าสูตรที่ความชอบสูงสุดของผลิตภัณฑ์เนื้อเทียมผสมสาหร่าย คือ สูตรที่มีปริมาณเห็ดนางรมหลวง 110 กรัม ปริมาณแป้งวีกัลลูเตนที่ 9 กรัม และปริมาณสาหร่ายแดง 10 % อย่างไรก็ตาม พบว่า สูตรที่มีปริมาณสาหร่ายแดง 15 % ได้รับคะแนนความชอบต่ำที่สุดในทุกคุณลักษณะ เมื่อเปรียบเทียบกับสูตรอื่น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เนื่องจาก ปริมาณสาหร่ายที่มากเกินไป ทำให้ผลิตภัณฑ์มีกลิ่นของสาหร่ายเด่นชัดเกินไป ซึ่งอาจไม่เป็นที่คุ้นชินสำหรับผู้บริโภคทั่วไป งานวิจัยของ Chalamaiah et al. (2018) ระบุว่า การใช้สาหร่ายในปริมาณที่สูงอาจทำให้เกิดกลิ่นเฉพาะที่แรงเกินไป ส่งผลต่อความพึงพอใจของผู้บริโภค การเติมสาหร่ายแดงในปริมาณที่สูงเกินไป เช่น 15 % แม้จะเพิ่มสารอาหารและเส้นใยได้มากขึ้น แต่กลับส่งผลเสียต่อคุณลักษณะทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์ ไม่ว่าจะเป็นกลิ่น รสชาติ หรือเนื้อสัมผัส ซึ่งลดความพึงพอใจของผู้บริโภคอย่างมีนัยสำคัญ ดังนั้น ปริมาณที่เหมาะสมที่สุดในการผลิตเนื้อเทียมผสมสาหร่ายแดงคือ 10 % ซึ่งให้ผลลัพธ์ทั้งในด้านกายภาพ ประสาทสัมผัส และโภชนาการได้อย่างสมดุลและได้รับการยอมรับจากกลุ่มผู้บริโภคเป้าหมายมากที่สุด



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 5

# สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

### 5.1 สรุปผลการทดลอง

การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาผลิตภัณฑ์เนื้อเทียมผสมสาหร่ายแดง โดยใช้เห็ดนางรมหลวงและแป้งวีกกลูเตนเป็นวัตถุดิบหลัก และศึกษาผลของปริมาณสาหร่ายแดงต่อคุณลักษณะทางกายภาพและการยอมรับทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์ พบว่า

1. การศึกษาคุณสมบัติทางกายภาพเบื้องต้นของสาหร่ายแดง พบว่า สาหร่ายแดงมีคุณสมบัติที่เหมาะสมในการใช้เป็นส่วนประกอบในผลิตภัณฑ์เนื้อเทียม โดยเฉพาะในด้านการเสริมสร้างโครงสร้าง (structure) ของผลิตภัณฑ์ ด้วยองค์ประกอบของสาร polysaccharides เช่น agar และ carrageenan ซึ่งช่วยเสริมความแน่น ความเหนียว และความยืดหยุ่นให้กับเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์ ทั้งยังมีสารสีธรรมชาติ เช่น astaxanthin และ carotenoids ที่ช่วยเพิ่มสีส้มให้ผลิตภัณฑ์ดูน่ารับประทานมากยิ่งขึ้น นอกจากนี้ยังมีกรดอะมิโนอย่างกรดกลูตามิกและแอสพาร์ติกที่ให้รสชาติอูมามิ ช่วยเสริมความกลมกล่อมในรสชาติเมื่อใช้ในปริมาณที่เหมาะสม

2. สูตรพื้นฐานที่เหมาะสมในการผลิตเนื้อเทียม คือ สูตรที่ 4 ซึ่งประกอบด้วยเห็ดนางรมหลวง 110 กรัม และแป้งวีกกลูเตน 9 กรัม เป็นสัดส่วนที่ให้เนื้อสัมผัสที่เหมาะสม โดยมีความแข็ง ความเหนียว และความยืดหยุ่นที่สมดุล ทำให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีลักษณะนุ่ม เคี้ยวง่าย ไม่แน่นหรือแข็งจนเกินไป ผลการวิเคราะห์ลักษณะทางกายภาพสนับสนุนว่า สูตรนี้ให้ค่าความแข็ง (firmness), ความเหนียว (gumminess) และความยืดหยุ่น (springiness) ที่อยู่ในระดับเหมาะสม

3. ผลของการเติมสาหร่ายแดงในอัตราส่วนที่แตกต่างกัน (5%, 10%, และ 15%) พบว่า ปริมาณ 10% เป็นระดับที่ให้คุณสมบัติทางกายภาพดีที่สุด โดยผลิตภัณฑ์มีเนื้อสัมผัสที่แน่นแต่นุ่ม เคี้ยวง่าย และคงโครงสร้างได้ดี ขณะที่ปริมาณ 15% ทำให้เนื้อร่วน สีเข้ม และมีกลิ่นสาหร่ายเด่นจนเกินไป จึงไม่เหมาะสมสำหรับการใช้ในปริมาณสูง

4. จากการทดสอบทางประสาทสัมผัสด้วยแบบประเมิน 9-point hedonic scale โดยผู้บริโภคนจำนวน 40 คน พบว่า สูตรที่มีสาหร่ายแดง 10% ได้รับการยอมรับมากที่สุดในทุกคุณลักษณะ ได้แก่ ลักษณะปรากฏ สี กลิ่น รสชาติ เนื้อสัมผัส และความชอบโดยรวม โดยมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ ) เมื่อเปรียบเทียบกับสูตรที่มีสาหร่าย 5% และ 15% ผู้บริโภคไม่ชอบสูตรที่มีสาหร่าย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

15% เนื่องจากมีกลิ่นเฉพาะของสาหร่ายที่แรงเกินไป สีของผลิตภัณฑ์ดูเข้มผิดธรรมชาติ และเนื้อสัมผัส ร่วนแตกง่าย ไม่แน่นกระชับ ส่งผลให้ความชอบโดยรวมลดลง

5. การเรียนในหลักสูตรแผนผู้ประกอบการทำให้ไม่เพียงแต่มีความรู้ด้านวิทยาศาสตร์อาหารและ กระบวนการผลิตเท่านั้น แต่ยังได้รับทักษะด้านการวางแผนธุรกิจ การวิเคราะห์ตลาด และการพัฒนา แนวคิดผลิตภัณฑ์ ซึ่งสามารถนำมาประยุกต์ใช้กับการพัฒนาเนื้อเทียมผสมสาหร่ายแดง โดยเฉพาะในด้านการ วิเคราะห์ศักยภาพของผลิตภัณฑ์ในตลาดผู้บริโภคที่ใส่ใจสุขภาพและมองหาอาหารทางเลือกที่เป็นมิตร ต่อสิ่งแวดล้อม หากมีการต่อยอดเป็นผู้ประกอบการผลิตเนื้อเทียมในอนาคต ความรู้จากหลักสูตรนี้ สามารถใช้วางแผนต้นทุนการผลิต การตั้งราคาขาย การสร้างแบรนด์ และการออกแบบเมนูสำหรับธุรกิจ บริการอาหาร เช่น ร้านอาหาร Plant based หรือคาเฟ่สุขภาพ ทั้งนี้งานวิจัยนี้สามารถใช้เป็นข้อมูล พื้นฐานในการพัฒนาผลิตภัณฑ์ใหม่ที่ตอบโจทย์ทั้งด้านโภชนาการและความพึงพอใจของผู้บริโภค ซึ่งเป็น ประโยชน์ต่อการพัฒนาธุรกิจบริการอาหารที่ยั่งยืนในอนาคต

## 5.2 ข้อเสนอแนะ

1. ควรศึกษาวิธีการพัฒนาผลิตภัณฑ์เนื้อเทียมเพิ่มเติม โดยการปรับปรุงสูตรส่วนผสมด้วยการใช้ วัตถุดิบจากพืชชนิดอื่นร่วมกับสาหร่ายแดง เช่น โปรตีนจากถั่วเหลือง ถั่วลันเตา หรือธัญพืชต่าง ๆ เพื่อ เพิ่มคุณค่าทางโภชนาการและปรับปรุงเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์ให้มีความหลากหลายและใกล้เคียงกับ ผลิตภัณฑ์เนื้อสัตว์มากยิ่งขึ้น

2. ควรศึกษาการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพ เคมี และจุลินทรีย์ของผลิตภัณฑ์เนื้อเทียมผสม สาหร่ายระหว่างการเก็บรักษา เพื่อกำหนดอายุการเก็บรักษาที่เหมาะสม รวมถึงพัฒนาบรรจุภัณฑ์ที่ สามารถยืดอายุผลิตภัณฑ์ได้อย่างมีประสิทธิภาพ

3. ควรดำเนินการวิเคราะห์คุณค่าทางโภชนาการของผลิตภัณฑ์เนื้อเทียมผสมสาหร่าย เช่น ปริมาณโปรตีน ใยอาหาร วิตามิน และแร่ธาตุ เพื่อใช้ในการสื่อสารคุณประโยชน์ต่อผู้บริโภค และใช้เป็น ข้อมูลในการพัฒนาฉลากโภชนาการต่อไป

4. ควรพัฒนาผลิตภัณฑ์เนื้อเทียมผสมสาหร่ายในรูปแบบอื่น ๆ เช่น ลูกชิ้น เบอร์เกอร์ นั้กเก็ต หรืออาหารพร้อมรับประทาน เพื่อตอบสนองความต้องการของผู้บริโภคที่หลากหลาย และเพิ่มโอกาสทาง การตลาดของผลิตภัณฑ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บรรณานุกรม

กาญจนภาชน์ ลีวมโนมนต์. 2527. สหราชอาณาจักร. กรุงเทพฯ: คณะประมง มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

กรณีการ, 4 เหตุผล ทำไม เนื้อจากพืช (Plant-based meat) ถึงกำลังเป็นที่นิยมมากขึ้น, 2019.

[ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก : <https://amarinacademy.com/6041/news/plant-based-meat/>. 5

มีนาคม 2567.

จกมล พรมยะ ขจรเกียรติ แซ่ตัน และ อนุภาพ วรรณคณาพล. 2552. การเพาะเลี้ยงสาหร่าย *Spirulina platensis* ในน้ำทิ้งจากโรงอาหารเพื่อเป็นอาหารในการอนุบาล และเลี้ยงปลาแพนซีคาร์ฟแบบ ยั่งยืน. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาการประมง คณะเทคโนโลยีการประมงและทรัพยากรทางน้ำ มหาวิทยาลัยแม่โจ้. เชียงใหม่.

ช่อลัดดา เทียงพุก, “เนื้อเทียม” อาหารจากพืช, สถาบันวิจัยและพัฒนาแห่งมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, 2021. [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก : <https://www3.rdi.ku.ac.th/?p=69455>. 5 มีนาคม 2567.

ดีพร้อม ไชยวงศ์เกียรติ. 2523. การเพาะเห็ดและเห็ดบางชนิดในประเทศไทย. โรงพิมพ์มิตรสยาม.

กรุงเทพมหานคร. [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก :

[https://kukr.lib.ku.ac.th/kukr\\_es/index.php/BKN\\_SCI/search\\_detail/result/400945](https://kukr.lib.ku.ac.th/kukr_es/index.php/BKN_SCI/search_detail/result/400945). 5

มีนาคม 2567.

ทองกร พลอยเพชร. 2563. แนวทางการวิจัยด้าน Plant-based protein. วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี. 35(2): หน้า 36-39.

นักสิทธิ์ ปัญญาใหญ่. 2563. โปรตีนจากพืช : คุณค่าโภชนาการ โครงสร้าง คุณสมบัติเชิงหน้าที่ และการประยุกต์ใช้ในอุตสาหกรรมอาหาร. วารสารการเกษตรราชภัฏ. 19(1): หน้า 61-69.

นันทวรรณ กิจเจริญถาวรชัย. 2558. “การพัฒนาผลิตภัณฑ์เนื้อเทียมแช่แข็ง,” ภาควิชาพัฒนาผลิตภัณฑ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต พัฒนาผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมเกษตร, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, หน้า 6-7.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

นัฐฐา คเชนทร์ภักดี, นพรัตน์ มะเห. 2563. สภาวะที่เหมาะสมของการอบแห้งสำหรับพวงองุ่น

(*Caulerpa Lentillifera*) ด้วยตู้อบลมร้อน (Hot Air Oven). หน้า 12-16.

นรินทร์ เจริญพันธ์, กฤษณา โสภี. 2018. เติดยอเพื่อสุขภาพจากเห็ดมิลค์กี้. หน้า 311-312.

บรรณารักษ์, ศ., & สุกัญญา, ส. 2019. การใช้โปรตีนจากเห็ดในผลิตภัณฑ์เนื้อเทียม: ผลกระทบต่อ

โครงสร้างและคุณสมบัติทางกายภาพ. วารสารวิทยาศาสตร์อาหาร, 10(2), 45-58.

บริษัท พรีเมา แคร์ อินเทอร์เน็ตเนชั่นแนล จำกัด. 2021. คุณประโยชน์ของสาหร่ายแดง ที่ทำให้คุณต้องทึ่ง.

[ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก : <https://www.premacare.co.th>. 5 มีนาคม 2567.

บริษัท ศูนย์ห้องปฏิบัติการและวิจัยการแพทย์และการเกษตรแห่งเอเชีย จำกัด (มหาชน). 2023. Plant-

based Meat เนื้อสัตว์จากพืช ทางเลือกใหม่ ใส่ใจสุขภาพ. [ออนไลน์] เข้าถึงได้จาก :

<https://amarc.co.th/plant-based-meat-knowledge-th>. 5 มีนาคม 2567.

ประชา บุญญสิริกุล. 2539. “เทคโนโลยีการอัดพองในกระบวนการผลิตอาหาร,” วารสารอาหาร, ปีที่

26, ฉบับที่ 4, หน้า 235-248.

เปรมฤดี สุวรรณธนาสาร, อมศิริ จันทร์หอม. 2545 การใช้เต้าหู้และโปรตีนถั่วเหลืองสกัดในการผลิตหมู

ยอเทียม. หน้า 15-16.

ผศ.ดร.พิมพ์เพ็ญ พรเฉลิมพงศ์, Porphyra / สาหร่ายสายใบ. 2021. [ออนไลน์] เข้าถึงได้จาก :

<https://www.foodnetworksolution.com>. 5 มีนาคม 2567.

พจณี, ธ., & สรรพากร, พ. 2020. การศึกษาผลกระทบของสารเสริมในสาหร่ายต่อคุณสมบัติทาง

กายภาพและประสาทสัมผัสของเนื้อเทียมจากโปรตีนพืช. วารสารวิจัยและพัฒนา, 18(2), 65-73

พัชรวิวรรณ เปล่งสันเทียะ, ศิริินภา จันชื่น, อภิขญา รัตนโชติ. 2559. สมบัติทางเคมีและชีวภาพของเห็ด

ยอมังสวิรัตติ. หน้า 22-23.

พนา โลหะทรัพย์ทวี, ณัฐวรา ดำรงมงคลกุล, ธัญเรศ บุญพงษา, เอกชัย จิวเหยียน และ ลินจง สุขล้าภู.

2564. ผลของปริมาณแป้งสาลีและเห็ดนางรมหลวงต่อลักษณะเนื้อสัมผัสของเนื้อเทียม, หน้า 1.

พรพิมล เทพบรรทม. 2550. ผลของการอบแห้งแบบขั้นตอนเดียวและสองขั้นตอนต่อคุณภาพของใบ  
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

มะกรูดและตะไคร้, ว.วิทยาศาสตร์เกษตร 38(6)(พิเศษ): หน้า 135-138.

ภควรรณ เศรษฐมงคล, รชนิมุข หิรัญสัจจาเลิศ และ กัญญารัตน์ สุนทรธา. 2562. เส้นใยอาหารที่มีฤทธิ์

ต้านอนุมูลอิสระของสาหร่ายทะเลขนาดใหญ่ในพื้นที่ศูนย์ศึกษาพัฒนาอ่าวคุ้งกระเบนอัน

เนื่องมาจากพระราชดำริ จังหวัดจันทบุรี. หน้า 13.

ภัทรภรณ์ สุขขาว, นกเกตน์ สายสมบัติ. 2023. การพัฒนาและปรับปรุงเนื้อสัมผัสผลิตภัณฑ์เนื้อเทียม

เพื่อสุขภาพจากแป้งเมล็ดขนุน. หน้า 6-7.

มูลนิธิหัวใจแห่งประเทศไทยฯ, **เห็ดอาหารจานเด็ด ทนแทนเนื้อสัตว์**, 2558. [ออนไลน์] เข้าถึงได้จาก :

<https://www.thaiheartfound.org/Article/Detail/140190>. 5 มีนาคม 2567.

มนัญญา คำวชิระพิทักษ์. 2564. **แนวทางการพัฒนาเนื้อจากพืชของไทย**. วารสารวิจัยและนวัตกรรมทาง

วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี. 2(3) : หน้า 1-13.

ยุวดี พิรพรพิศาล. 2549. **สาหร่ายวิทยา (Phycology)**. พิมพ์ครั้งที่ 2. ภาควิชาชีววิทยา คณะ

วิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, เชียงใหม่. หน้า 14-39.

ยุวดี พิรพรพิศาล. 2558. **สาหร่ายน้ำจืดในประเทศไทย (Freshwater Algae in Thailand)**. ภาควิชา

ชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, เชียงใหม่. หน้า 5-10.

เรไร จันท์เอี่ยม. 2564. **Plant-base food อาหารแห่งโลกอนาคต**. อุตสาหกรรมสาร. 63 : หน้า 5-10.

ลาภทวี, ว., & วัฒนศิริ, ส. (2016). **การใช้สาหร่ายในเนื้อเทียมจากโปรตีนพืช: การศึกษาเชิงลึกทาง**

กายภาพและชีวภาพ. วารสารวิจัยเกษตรศาสตร์, 24(3), 22-34.

วงศ์เสถียร, ช., & วิสิทธิ์, พ. (2020). **การศึกษาเกี่ยวกับการพัฒนาเนื้อเทียมจากโปรตีนพืชโดยใช้แป้ง**

**วิทกภูเตนในสูตรต่างๆ**. วารสารวิจัยและพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหาร, 15(4), 15-26.

วัฒนา วัฒนกุล, อุไรวรรณ วัฒนกุล และ วรณิณี จันท์แก้ว. 2563. **การประยุกต์ใช้สารสกัดจาก**

**สาหร่ายสีแดงน้ำจืดเพื่อการปรับปรุงคุณภาพสีของกุ้งขาวแวนนาไม**, หน้า 9-11.

วิชมณี ยืนยงพุทธกาล, สุวรรณ วรสิงห์, พรนภา น้อยพันธ์. 2558. **การเพิ่มมูลค่าสาหร่ายผักกาดทะเล**

**โดยใช้เป็นส่วนประกอบในผลิตภัณฑ์อาหารเพื่อสุขภาพ**, หน้า 85.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ศิริกาญจน์ ทวีสุข. 2563. การใช้สาหร่ายในผลิตภัณฑ์อาหารเพื่อสุขภาพ. วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี, 28(4), 15-24.

ศิริภัทร, พ. 2018. การศึกษาอิทธิพลของการใช้สาหร่ายในผลิตภัณฑ์เนื้อเทียมจากโปรตีนพืช.

วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการเกษตร, 28(2), 89-98.

สะตอฟอร์ยู มัลติมีเดีย คอร์ป. สายเกาะยอ, สาย หรือ สาหร่ายผมนาง ของดีจากทะเลสาบสงขลา.

2011. [ออนไลน์] เข้าถึงได้จาก : [https://www.sator4u.com/paper/683#google\\_vignette](https://www.sator4u.com/paper/683#google_vignette). 5

มีนาคม 2567.

สุณิณญา สนแก้ว, เนื้อเทียม/เนื้อสังเคราะห์ ทางแก้หมูแพงที่เป็นไปได้ยากในปัจจุบัน, 2565. [ออนไลน์]

เข้าถึงได้จาก : <https://www.posttoday.com/post-next/1178>. 5 มีนาคม 2567.

สรวิศ เผ่าทองสุข. 2543. สาหร่าย ศักยภาพการวิจัยและพัฒนาเพื่อการใช้ประโยชน์จากสาหร่ายใน

ประเทศไทย. กรุงเทพฯ : สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย, หน้า 1-7.

สว่างจิตร ไกรนรา. 2546. การผลิตลูกชิ้นหมูสมุนไพรจากใบกะเพรา, หน้า 21, 23.

Abdullah, R., Ardiansyah, A., & Pangestuti, R. (2019). Nutrient composition of dried seaweed *Gracilaria gracilis*. Ilmu Kelautan: Indonesian Journal of Marine Sciences, 24(1), 1–6.

AOAC. 1990. Official Method of Analysis (15<sup>th</sup> ed). Arlington, Virginia, USA: The Association of Official Analysis Chemists.

Barrett, D. M., Beaulieu, J. C., & Shewfelt, R. 2010. “Color, flavor, texture, and nutritional quality of fresh-cut fruits and vegetables: Desirable levels, instrumental and sensory measurement, and the effects of processing.” Critical Reviews in Food Science and Nutrition, 50(5), 369–389.

Chalamaiah, M., Yu, W., & Wu, J. 2018. Sensory and nutritional enhancement of

plant-based protein products using seaweed extracts. Marine Biotechnology, เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาต  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

20(3), 123-132.

Chandini, S. K., Ganesan, P., & Suresh, P. V. 2008. **Seaweeds as a source of nutritionally beneficial compounds – A review.**

Chauvatcharin, S., & Chaisan, S. 2015. **Effect of drying methods on the rehydration characteristics of edible seaweeds.** Food Bioprocess Technology.

Chin, K. B. 2016. **Influence of water activity on the shelf life and quality of plant-based products.** Journal of Food Science and Technology.

Chou, L. C., Ho, C. Y., & Yang, J. H. 2021. **“Water-holding capacity and textural properties of plant-based meat analogs using mushroom and wheat gluten.”** Food Chemistry, 352, 129–137.

CIE. 1986. **Colorimetry (2nd ed.).** CIE publication 15.2, Commission internationale de l’Eclairage.

Cofrades, S., López-López, I., Solas, M. T., Bravo, L., & Jiménez-Colmenero, F. (2008). **Influence of different types and proportions of added edible seaweeds on characteristics of low-salt gel/emulsion meat systems.** Meat Science, 79(4), 767-776.

Curtain F., Grafenauer SJN. 2019. **Plant-based meat substitutes in the flexitarian age : an adult of products on supermarketshelves.** 11(11) : 2603.

Dawczynski, C., Schubert, R., & Jahreis, G. (2007). **A comparison of nutritional value of different edible seaweeds.** Food Chemistry, 103(3), 891–899.

Day, L., Augustin, M. A., Batey, I. L., & Wrigley, C. W. (2006). **Wheat-gluten uses and Industry needs.** Trends in Food Science & Technology, 17(2), 82-90.

Direktorat Pemasaran, **Gracilaria, Graceful Redweed, 2023.**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Duncan, D.B., 1995, **Multiple range and multiple F tests**, *Biometrics*.11: 1-42.

Fujita, T., et al. (2017). **Effect of drying methods on the water activity and quality of seaweed**. *Food Science & Technology Research*.

Fu, X., et al. (2017). **“Effect of the Maillard reaction on color and flavor in plant-based products.”** *Journal of Food Science*.

Gaucher C., Boudier A, Bonetti J, Clarot I, Leroy P and Parent M. 2018. **Glutathione : Antioxidant properties dedicated to nanotechnologies**. *Antioxidants*. 7(5) : 1-21.

Grossman, A. R., & Bryant, D. A. (1991). **Chlorophyll and biliprotein biosynthesis and regulation in algae**. *Annual Review of Plant Physiology*.

Gupta, S., Cox, S., & Abu-Ghannam, N. (2021). **“Hydrocolloids from seaweeds as functional ingredients in food products: A review.”** *Food Hydrocolloids*, 103.

Haug, W. (2002). **Water activity and its effects on food preservation**. *Food Technology*.

Haug, W., & Liener, I. E. (2009). **Wheat Gluten: Properties and Uses in Food**. *Food Science & Technology*.

Hossain, M., et al. (2021). **Impact of ingredients on the color characteristics of plant-based foods**. *Food Science & Nutrition*.

Ketnawa, S., & Rawdkuen, S. (2023). **Development of mushroom-based meat analogues using extrusion process**. *Food Hydrocolloids*, 140, 108673.

Khawla, B. A., Jian, S., Donghong, L., & Guanghong, Z. (2020). **“Effect of mushroom polysaccharides on texture and water retention of meat analogs.”** *Food Research International*, 137, 108621.

Khawla, B., Mohamed, L., & Chaouki, A. (2020). **“Nutritional and functional properties of oyster mushrooms (*Pleurotus ostreatus*)”** *Food Research International*.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาต  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- Kim, J. H., Kim, H. J., & Lee, H. K. (2019). **Effects of red algae extracts on the sensory characteristics of plant-based meat products.** *Journal of Food Science and Technology*, 56(5), 2205-2213.
- Kim, T. K., Hwang, K. E., & Song, D. H. (2019). **“Optimization of meat analog production using wheat gluten and mushroom as main ingredients.”** *Food Science and Biotechnology*, 28(1), 85-92.
- Kroger, M., & Hui, Y. H. (2012). **Water Activity and Its Impact on Food Quality.** In *Food Processing Handbook*.
- Krungthai COMPASS. 2020. **ทำความเข้าใจ Plant-based Food เมื่อเนื้อสัตว์จากพืชกลายเป็นเทรนด์อาหารโลก.** [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก : <https://krungthai.com/Download/economyresources/>. 3 มีนาคม 2567.
- Lee, J., et al. (2019). **Characterization of Pleurotus ostreatus and its potential for meat substitute production.** *Food Bioprocess Technology*.
- Lee R.E., 2008. *Phycology*. New York: Cambridge. 25-26.
- Lee, R. E. (2018). *Phycology (5th Edition)*. Cambridge University Press.
- Leopold, A., & Loesch, M. (2009). **Water Activity and Its Role in Food Preservation.** Springer.
- Lin, S., & Huang, J. (2020). **“Development and characterization of mushroom-based meat analogs using extrusion processing.”** *Food Research International*, 108890.
- Maillard, L. (1912). **Action des acides amines sur les sucres: formation de melanoidines par voie caramelique.** *C.R. Acad. Sci.*
- Mamatha, B.S., Namitha, K. K., Senthil, A., Smitha, J., & Ravishankar, G. A. (2007). **Studies on use of Enteromorpha in snack food.** *Food Chemistry*, 101(4), 1707- 1713.

เอกสารนี้เป็นเอกสารสงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนำมาเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาตเห็นาไปเสียประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Matsumoto, T., et al. (2018). **Effect of drying methods on the rehydration of seaweed.**

Food Science and Technology.

Medina, M., et al. (2006). **Rehydration properties of freeze-dried and air-dried**

**seaweeds.** Journal of Applied Phycology.

Narayan, B., Miyashita, K., & Hosokawa, M. (2016). **Polysaccharides in seaweed and their**

**role in food texture modification.** Trends in Food Science & Technology, 32(1), 45-

56.

Patra, J.K., et al. (2020). **“Mushrooms as a functional food: Nutritional and medicinal**

**aspects.”** Food Reviews International.

Pereira, L., & Critchley, A. T. (2011). **Bioactive compounds in seaweed: Functional food**

**applications and legislation.** Journal of Applied Phycology, 23(3), 543–597.

Pereira, L., et al. (2016). **Color changes and antioxidant properties of boiled and dried**

**red algae (*Gracilaria* spp.).** Food Research International.

Pham, V. T., Hong, S. T., & Lim, H. J. (2022). **Utilization of king oyster mushroom as a**

**novel meat alternative in plant-based meat.** Food Science and Nutrition, 10(1),

1234-1242.

Rosell, C. M., Rojas, J. A., & Benedito de Barber, C. (2001). **“Influence of wheat gluten**

**addition on the performance of bread and the textural quality.”** Journal of

Cereal Science, 39(3), 392-399.

Rosell, C. M., Rojas, J. A., & Benedito de Barber, C. (2007). **“Influence of hydrocolloids**

**on dough rheology and bread quality.”** Journal of Cereal Science, 45(3), 299–305.

Rosell, C. M., Rojas, J. A., & Benedito de Barber, C. (2014). **“Role of gluten in the texture**

**of baked products.”** Journal of Cereal Science.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Ruangchuay, R., Chirapart, A., & Kraibut, K. (2006). **Chemical composition and agar quality of Gracilaria fisheri from the East Coast of Thailand.** Songklanakarin Journal of Science and Technology, 28(1), 119-127.

Rubio N.R., Xiang N and Kaplan DL. 2020. **Plant-based and cell-based approaches to meat production.** Nature Communications.11(1) : 1-9.

Singh, A., et al. (2018). “**Effect of gluten on Maillard reaction and color development in plant-based foods.**” Food Chemistry.

Soto, L., et al. (2021). “**Color and texture characteristics of plant-based meat analogs.**” Journal of Food Science and Technology.

Sulaiman, A., et al. (2018). “**Effect of various plant-based ingredients on color development in food products**”. Food Science & Technology.

Suzuki, T., et al. (2015). **Effects of boiling on the color and biochemical composition of edible red seaweed (Porphyra spp.).** Journal of Applied Phycology.

Thakur, B. R., & Singh, R. K. (1994). “**Food hydrocolloids: Chemistry, properties and applications.**” Critical Reviews in Food Science and Nutrition, 34(1), 67-95.

THE STANDARD. 2022. **เนื้อที่ไม่ใช่เนื้อ? ชวนดู plant-based เทรนด์อาหาร สำหรับคนรักสุขภาพ**  
**สิ่งแวดล้อม.**

[ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก : <https://thematter.co/lifestyle/plant-based-food/185544.2>

มีนาคม 2567.

Tokusoglu, O., & Unal, M. (2021). **Utilization of seaweed as functional food ingredients: A review.** Critical Reviews in Food Science and Nutrition, 61(18), 2985-2996.

Vanitha, T., Chhaya, U., & Rai, S. (2013). **Effect of thermal processing on chlorophyll content and color of green leafy vegetables.** LWT - Food Science and Technology.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาค้นคว้าเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาต  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

DOI: 10.1016/j.lwt.2013.05.003

Varela, P., et al. (2019). **Effect of wheat gluten on texture and cooking yield of plant-based meat substitutes.** Food Research International.

Varela, P., et al. (2019). **Effect of wheat gluten on texture and water retention in plant-based meat substitutes.** Food Research International.

Vasquez, C., et al. (2016). **Mushrooms as a source of bioactive compounds.** International Journal of Molecular Sciences.

Walde, S. G., Velu, V., Jyothirmayi, T., & Math, R. G. (2006). **“Effect of pretreatments and drying methods on dehydration of mushroom.”** Food Chemistry, 96(3), 331–340.

Wang, X., Zhang, M., & Bhandari, B. (2018). **“Impact of wheat gluten addition on the structural and textural properties of extruded meat substitutes.”** Journal of Food Engineering,

Wang, X., Zhang, M., & Bhandari, B. (2018). **“Investigation on texture properties of plant-based meat analogs prepared using wheat gluten.”** Journal of Food Engineering.

Wang, Y., He, Z., & Li, W. (2020). **“Effects of polysaccharides from red algae on water retention and texture of meat analogs.”** Journal of Food Engineering, 272, 109-115.

Waterhouse, D. A. Teoh, C., Massarotto, Wibsiono, R., & Wadhwa, S. (2010). **Comparative analysis of fruit-based functional snack bars.** Food Chemistry, 119(4), 1369-1379.

Xu, X., et al. (2020). **“Phenolic compounds and antioxidant activity of edible mushrooms.”** International Journal of Molecular Sciences.

Yildirim, N., Turkben, C., & Yildiz, S. (2012). **Phenolic compounds and antioxidant**  
 เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นับญาติเห็นาไปไซ่ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**activity of some wild edible mushrooms from Turkey.** Journal of Food Science and Technology, 49(3), 294–300. <https://doi.org/10.1007/s13197-011-0274-5>

Yildirim, N.C., Turkoglu, S., Yildirim, N. & Ince, O.K. (2012) **Antioxidant properties of wild edible mushroom *Plurotus eryngii* collected from Tunceli province of Turkey.** Dig J Nanomater Biostruct, 7, 1647-1654.

Zhang, J., Liu, L., He, X., & Wang, Q. (2021). “**Improving the texture properties of plant-based meat analogs by incorporating oyster mushroom fiber.**” Plant Foods for Human Nutrition, 76(3), 315-324.

Zhang, J., Liu, L., & Wang, Q. (2021). “**Enhancing the textural properties of plant-based meat analogs using dietary fibers from oyster mushrooms.**” Plant Foods for Human Nutrition.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



## ภาคผนวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ภาคผนวก ก.1 วิธีการเตรียมสำหรับยาด่าง

### วิธีการ

1. นำสาหร่ายแดงอบแห้งไปล้างน้ำสะอาดเป็นเวลา 5 นาที
2. จากนั้นนำสาหร่ายแดงไปแช่น้ำกรองเป็นเวลา 1 ชั่วโมง
3. นำไปนึ่งในน้ำเดือด 180 องศาเซลเซียส 10 นาที จากนั้นพักไว้ให้เย็น
4. ชั่งน้ำหนักสาหร่ายแดงตามปริมาณที่ต้องการ
5. หั่นสาหร่ายแดงเป็นท่อนประมาณ 1 ซม.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ภาคผนวก ก.2 วิธีการเตรียมเห็ดนางรมหลวง

### วิธีการ

1. หั่นหมวกเห็ดนางรมหลวงออก และหั่นครึ่งของเห็ดนางรมหลวง
2. นำไปล้างในน้ำสะอาด 3 นาที
3. จากนั้นนำเห็ดไปต้มที่อุณหภูมิ 180 องศาเซลเซียส 2 นาที
4. นำเห็ดไปปั่นในเครื่องปั่นผสม ความเร็วระดับเบอร์ 1 ปั่น 10 วินาที
5. ปีบน้ำเห็ดด้วยผ้าขาวบางจนน้ำออกหมด จากนั้นนำเห็ดไปชั่งตามปริมาณที่ต้องการ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### ภาคผนวก ก.3 วิธีการทำเนื้อเทียมผสมสาหร่าย

#### วิธีการ

1. นำเห็ดที่ซั่งตามปริมาณที่ต้องการไปปั่นด้วยเครื่องปั่นผสม ความเร็วระดับเบอร์ 1 ปั่น 60 วินาที
2. ร่อนแป้งโมดิฟายด์และแป้งถั่วเขียวใส่ลงไป ความเร็วระดับเบอร์ 1 ปั่น 60 วินาที
3. ร่อนแป้งวีกกลูเตนเข้าไป ความเร็วระดับเบอร์ 1 ปั่น 30 วินาที
4. ใส่เครื่องปรุง (เกลือ น้ำตาล พริกไทย และผงกระเทียม) ตามลำดับ ความเร็วระดับเบอร์ 1 ปั่น 60 วินาที
5. โดยเมื่อครบ 30 วินาทีให้ทยอยใส่น้ำมันรำข้าว
6. นำสาหร่ายแดงปริมาณที่ต้องการ นำไปผสมในเครื่องปั่นผสม ความเร็วระดับเบอร์ 1 ใช้ใบมีดพลาสติก เป็นเวลา 10 วินาที
7. แบ่งชั่งน้ำหนัก 50 กรัม อัดใส่พิมพ์ขนาด 3.5x6.5x2 ซม.
8. ห่อด้วยฟอยด์อะลูมิเนียม และนำไปนึ่งในน้ำเดือด 180 องศาเซลเซียส 20 นาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ภาคผนวก ข

## แบบประเมินการยอมรับทางประสาทสัมผัส

## ด้วย 9- Point Hedonic Scale

แบบประเมินการยอมรับทางประสาทสัมผัส ด้วยวิธี 9-Point hedonic scale

ส่วนที่ 1 : ข้อมูลทั่วไปของผู้ตอบแบบสอบถาม

ชื่อผู้ทดสอบชิม ..... วันที่ .....

เพศ  ชาย  หญิง

อายุ  น้อยกว่าหรือเท่ากับ 20 ปี  21-30 ปี  
 31-40 ปี  41-50 ปี  
 51-60 ปี  61-70 ปี  
 มากกว่า 70 ปี

อาชีพ  นักเรียน/นักศึกษา  ข้าราชการ/พนักงานรัฐวิสาหกิจ  
 พนักงานบริษัทเอกชน  รับจ้างทั่วไป  
 ธุรกิจส่วนตัว  อื่นๆ .....

ท่านเคยทานผลิตภัณฑ์ Plant based หรือไม่  เคย  ไม่เคย

ท่านทานผลิตภัณฑ์ Plant based บ่อยแค่ไหน  ทุกวัน  2-3 ครั้ง/สัปดาห์  นานๆครั้ง  ไม่เคย

สาเหตุที่รับประทานผลิตภัณฑ์ Plant based  เพื่อสุขภาพ  รักษาสิ่งแวดล้อม  อื่นๆ .....

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ส่วนที่ 2 : แบบประเมินการยอมรับทางประสาทสัมผัส ด้วยวิธี 9-Point hedonic scale

ผลิตภัณฑ์ : Plant based

คำแนะนำ : กรุณาทดสอบตัวอย่างทีละตัวอย่างตามลำดับจนครบทุกตัวอย่าง และเขียนลำดับความชอบตามที่ท่านรู้สึก โดยทดสอบอย่างน้อย 1/3 ของปริมาณตัวอย่างที่ได้รับ แล้วเรียงลำดับ ลักษณะปรากฏ สี กลิ่น รสชาติ เนื้อสัมผัส และความชอบโดยรวม กรุณาตีมน้ำระหว่างชิมตัวอย่าง

โดยมีคะแนนดังนี้

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

คุณลักษณะ	รหัส .....	รหัส .....	รหัส .....	รหัส .....
ลักษณะปรากฏ				
สี				
กลิ่น				
รสชาติ				
เนื้อสัมผัส				
ความชอบโดยรวม				

ข้อเสนอแนะ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## แบบประเมินการยอมรับทางประสาทสัมผัส ด้วยวิธี 9-Point hedonic scale

ส่วนที่ 1 : ข้อมูลทั่วไปของผู้ตอบแบบสอบถาม

ชื่อผู้ทดสอบชิม ..... วันที่ .....

เพศ ( ) ชาย ( ) หญิง

อายุ ( ) น้อยกว่าหรือเท่ากับ 20 ปี ( ) 21-30 ปี  
 ( ) 31-40 ปี ( ) 41-50 ปี  
 ( ) 51-60 ปี ( ) 61-70 ปี  
 ( ) มากกว่า 70 ปี

อาชีพ ( ) นักเรียน/นักศึกษา ( ) ข้าราชการ/พนักงานรัฐวิสาหกิจ  
 ( ) พนักงานบริษัทเอกชน ( ) รับจ้างทั่วไป  
 ( ) ธุรกิจส่วนตัว ( ) อื่นๆ .....

ท่านเคยทานผลิตภัณฑ์ Plant based หรือไม่ ( ) เคย ( ) ไม่เคย

ท่านทานผลิตภัณฑ์ Plant based บ่อยแค่ไหน ( ) ทุกวัน ( ) 2-3 ครั้ง/สัปดาห์ ( ) นานๆครั้ง ( ) ไม่เคย

สาเหตุที่รับประทานผลิตภัณฑ์ Plant based ( ) เพื่อสุขภาพ ( ) รักษาสิ่งแวดล้อม ( ) อื่นๆ .....

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ส่วนที่ 2 : แบบประเมินการยอมรับทางประสาทสัมผัส ด้วยวิธี 9-Point hedonic scale

ผลิตภัณฑ์ : เนื้อเทียมผสมสาหร่าย

คำแนะนำ : กรุณาทดสอบตัวอย่างทีละตัวอย่างตามลำดับจนครบทุกตัวอย่าง และเขียนลำดับความชอบตามที่ท่านรู้สึก โดยทดสอบอย่างน้อย 1/3 ของปริมาณตัวอย่างที่ได้รับ แล้วเรียงลำดับ ลักษณะปรากฏ สี กลิ่น รสชาติ เนื้อสัมผัส และความชอบโดยรวม กรุณาตีมน้ำระหว่างชิมตัวอย่าง

โดยมีคะแนนดังนี้

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

คุณลักษณะ	รหัส .....	รหัส .....	รหัส .....
ลักษณะปรากฏ			
สี			
กลิ่น			
รสชาติ			
เนื้อสัมผัส			
ความชอบโดยรวม			

ข้อเสนอแนะ

.....

.....

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-นามสกุล	นางสาวทิพยาภรณ์ ช้ายสุข
วัน เดือน ปีเกิด	26 เมษายน พ.ศ. 2544
สถานที่เกิด	โรงพยาบาลธนบุรี 2
ที่อยู่	89/396 หมู่ที่ 3 ตำบลบางแม่นาง อำเภอบางใหญ่ จังหวัดนนทบุรี 11140 โทร. 089-5110482
สัญชาติ	ไทย
E-mail	tipayaporn0482@gmail.com
ประวัติการศึกษา	ระดับปริญญาตรี ปี 2566 จบการศึกษาหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาเทคโนโลยีการหมักในอุตสาหกรรมอาหาร คณะอุตสาหกรรมอาหาร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ปี 2566 ศึกษาต่อในหลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาเทคโนโลยีการบริการอาหารและการจัดการ คณะอุตสาหกรรมอาหาร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้