

เอกสารวิชาการฉบับที่ ๑/๒๕๖๘



Technical Paper No. 1/2025

การสกัดใยอาหารจากสาหร่ายผักกาดทะเล (*Ulva rigida* C. Agardh, 1823) และ
ศึกษาสมบัติเชิงหน้าที่เพื่อนำไปใช้ในการพัฒนาผลิตภัณฑ์

The Fiber Extraction from Sea Lettuce (*Ulva rigida* C. Agardh, 1823) and
Study on Its Functional Properties for Application in Product Development

จารุวรรณ วิชัยพรหม

Jaruwan Vichaiprom

นิชกานต์ ศรีทอง

Nichakant Srithong

พิสิฐ วงศ์สง่าศรี

Pisit Wongsangasri

กองวิจัยและพัฒนาเทคโนโลยีอุตสาหกรรมสัตว์น้ำ

Fisheries Industrial Technology Research
and Development Division

กรมประมง

Department of Fisheries

กระทรวงเกษตรและสหกรณ์

Ministry of Agriculture and Cooperatives

เอกสารวิชาการฉบับที่ ๑/๒๕๖๘



Technical Paper No. 1/2025

การสกัดใยอาหารจากสาหร่ายผักกาดทะเล (*Ulva rigida* C. Agardh, 1823) และ
ศึกษาสมบัติเชิงหน้าที่เพื่อนำไปใช้ในการพัฒนาผลิตภัณฑ์

The Fiber Extraction from Sea Lettuce (*Ulva rigida* C. Agardh, 1823) and
Study on Its Functional Properties for Application in Product Development

จารุวรรณ วิชัยพรหม

Jaruwan Vichaiprom

ณิกานต์ ศรีทอง

Nichakant Srithong

พิสิฐ วงศ์สง่าศรี

Pisit Wongsa-Ngasri

กองวิจัยและพัฒนาเทคโนโลยีอุตสาหกรรมสัตว์น้ำ

Fisheries Industrial Technology Research
and Development Division

กรมประมง

Department of Fisheries

๒๕๖๘

2025

รหัสทะเบียนวิจัย 66 1 2 0703 66009 01

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ	1
Abstract	2
คำนำ	3
วัตถุประสงค์	6
วิธีการดำเนินการ	7
ผลการทดลองและวิจารณ์ผล	12
สรุปผลการทดลอง	22
เอกสารอ้างอิง	23
ภาคผนวก	28

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
1 สูตรการผลิตเยลลี่เสริมใยอาหาร	10
2 องค์ประกอบทางเคมีของสาหร่ายผักกาดทะเล	12
3 ผลของความชื้น ร้อยละผลผลิตและคุณภาพทางเคมีของใยอาหารที่สกัดจากสาหร่ายผักกาดทะเลที่อุณหภูมิและเวลาต่างๆ	14
4 สมบัติเชิงหน้าที่ของใยอาหารจากสาหร่ายผักกาดทะเล	15
5 ลักษณะทางกายภาพ ค่าความเป็นกรด-ด่าง และ a_w ของเยลลี่เสริมใยอาหาร	17
6 ลักษณะเนื้อสัมผัสของเยลลี่เสริมใยอาหารที่แปรอัตราส่วนของคาราจีแนนและผงบุก	17
7 ผลการทดสอบทางประสาทสัมผัสของเยลลี่เสริมใยอาหาร	18
8 คุณค่าทางโภชนาการของเยลลี่เสริมใยอาหารจากสาหร่ายผักกาดทะเล	19
9 ต้นทุนวัตถุดิบโดยประมาณของผลิตภัณฑ์เยลลี่เสริมใยอาหารจากสาหร่ายผักกาดทะเลต่อการผลิตครั้งละ 100 กรัม	21

สารบัญภาพ

ภาพที่	หน้า
1 สาหร่ายผักกาดทะเล (<i>Ulva rigida</i> C. Agardh, 1823)	3
2 การเพาะเลี้ยงสาหร่ายผักกาดทะเลในรูปแบบต่าง ๆ	4
3 โครงสร้างทางเคมีของ Ulvan แบบ Type A ulvanobiuronic acid 3-sulfate (A_{3S}) และ Type B ulvanobiuronic acid 3-sulfate (B_{3S})	5
4 วิธีการผลิตเยลลี่เสริมใยอาหาร	10
5 สาหร่ายผักกาดทะเลรูปแบบต่าง ๆ	12
6 ใยอาหารที่สกัดจากสาหร่ายผักกาดทะเลที่สภาวะ 90 องศาเซลเซียส นาน 1 ชั่วโมง	16
7 FTIR Spectrum ของใยอาหารที่สกัดจากสาหร่ายผักกาดทะเล	16
8 ฉลาก GDA ของผลิตภัณฑ์เยลลี่เสริมใยอาหารจากสาหร่ายผักกาดทะเล	19
9 ฉลากโภชนาการของผลิตภัณฑ์เยลลี่เสริมใยอาหารจากสาหร่ายผักกาดทะเล	20
10 ตัวอย่างบรรจุภัณฑ์ผลิตภัณฑ์เยลลี่เสริมใยอาหารกลั่นแอมป์เปิดเขียว	21

การสกัดใยอาหารจากสาหร่ายผักกาดทะเล (*Ulva rigida* C. Agardh, 1823) และ ศึกษาสมบัติเชิงหน้าที่เพื่อนำไปใช้ในการพัฒนาผลิตภัณฑ์

จารุวรรณ วิชัยพรหม^{1*} นิชกานต์ ศรีทอง² และพิสิฐ วงศ์สง่าศรี¹

¹ กองวิจัยและพัฒนาเทคโนโลยีอุตสาหกรรมสัตว์น้ำ

² กองวิจัยและพัฒนาการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำชายฝั่ง

บทคัดย่อ

การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาการสกัดใยอาหารจากสาหร่ายผักกาดทะเล และศึกษาสมบัติทางเคมีกายภาพ การต้านอนุมูลอิสระ และสมบัติเชิงหน้าที่ โดยศึกษาผลของอุณหภูมิและเวลาในการสกัดสาหร่ายผักกาดทะเลด้วยน้ำต่อคุณภาพของใยอาหารด้วยการแปรอุณหภูมิของน้ำที่ 80 และ 90 องศาเซลเซียส และเวลาในการสกัดที่ 1, 2 และ 3 ชั่วโมง ผลการทดลอง พบว่า สภาวะการสกัดด้วยน้ำที่อุณหภูมิที่ 90 องศาเซลเซียส มีปริมาณร้อยละผลผลิตของใยอาหารที่สกัดได้มากกว่า ($p \leq 0.05$) แต่ให้ปริมาณน้ำตาลทั้งหมด และปริมาณซัลเฟตไม่แตกต่างกัน ($p > 0.05$) การสกัดใยอาหารที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง เป็นสภาวะที่เหมาะสมในการนำไปพัฒนาผลิตภัณฑ์ เนื่องจากใยอาหารที่ได้มีความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ สมบัติเชิงหน้าที่ ได้แก่ ความสามารถในการอุ้มน้ำ และความสามารถในการพองตัวสูงที่สุด การพัฒนาเยลลี่เสริมใยอาหารโดยแปรอัตราส่วนของผงบุกและคาราจีแนน ดังนี้ สูตร A (90:10), สูตร B (70:30) และ สูตร C (50:50) โดยทดสอบทางประสาทสัมผัสด้วยผู้ทดสอบจำนวน 50 คน พบว่า สูตร B ผู้ทดสอบให้การยอมรับด้านเนื้อสัมผัสและความชอบรวมสูงที่สุด ($p \leq 0.05$) เมื่อนำเยลลี่เสริมใยอาหารสูตร B มีใยอาหารทั้งหมด 8 กรัม คิดเป็นร้อยละ 32 ของ Thai RDI ต่อหนึ่งหน่วยบริโภคที่ปริมาณ 25 กรัม บรรจุในถุงขนาด 3×15 เซนติเมตร ให้พลังงาน 25 กิโลแคลอรี มีราคาต้นทุนวัตถุดิบและบรรจุภัณฑ์ประมาณ 7.99 บาท

คำสำคัญ: สาหร่ายผักกาดทะเล, ใยอาหาร, อัลแวน, สมบัติเชิงหน้าที่

The Fiber Extraction from Sea Lettuce (*Ulva rigida* C. Agardh, 1823) and Study on Its Functional Properties for Application in Product Development

Jaruwan Vichai-prom^{1*}, Nichakant Srithong² and Pisit Wongsangasri¹

¹Fisheries Industrial Technology Research and Development Division

²Coastal Aquaculture Research and Development Division

Abstract

This study aimed to investigate the extraction condition of dietary fiber from sea lettuce and examine its physicochemical properties, antioxidant activity, and functional properties. The effects of temperatures and times of water extraction on the quality of dietary fiber were studied by varying the water temperatures at 80 and 90 °C and the extraction times at 1, 2, and 3 hours. The results showed that the water extraction condition at 90°C yielded a significantly higher percentage ($p \leq 0.05$). However, there was no significant difference ($p > 0.05$) in the total sugar and total sulfate content. The optimal condition for developing products was determined to be water extraction at 90°C for 1 hour, as the resulting dietary fiber exhibited the highest antioxidant activity and functional properties, including water holding capacity and swelling capacity. Dietary fiber-enriched jelly was developed by varying the ratios of konjac powder to carrageenan as follows: Formula A (90:10), Formula B (70:30), and Formula C (50:50). The sensory evaluation by 50 consumers revealed that Formula B received the highest for texture and overall acceptance ($p \leq 0.05$). A dietary fiber-enriched jelly, Formula B, contains a total of 8 grams of dietary fiber, representing 32% Thai RDI per 25-gram serving. The product is packaged in a 3×15 centimeters bag, providing 25 kilocalories of energy, with a raw material and packaging cost of approximately 7.99 baht per bag.

Key words: sea lettuce, dietary fiber, ulvan, functional properties

*Corresponding author: 50 Kaset-klang Chatuchak, Bangkok 10900 Tel: 0-2940-6130-45

E-mail: jaruwans@fisheries.go.th, jrwwon@gmail.com

คำนำ

สาหร่ายผักกาดทะเล (Sea lettuce : *Ulva* spp.) เป็นสาหร่ายสีเขียวอยู่ใน Division Chlorophyta Genus *Ulva* ลักษณะเป็นแผ่นใบบางแผ่กว้าง ขอบใบหยักคล้ายใบผักกาด มีขนาดเล็กตั้งแต่ไม่สามารถมองเห็นด้วยตาเปล่าไปจนถึงขนาดใหญ่มากกว่า 65 เซนติเมตร สำหรับสาหร่ายผักกาดทะเลที่พบมากในบริเวณชายฝั่งของประเทศไทย คือ *Ulva rigida* C. Agardh, 1823 แสดงดังภาพที่ 1 (สุวรรณ และคณะ, 2552) สามารถเติบโตและขยายพันธุ์ได้อย่างรวดเร็ว สาหร่ายผักกาดทะเลเป็นอาหารของสัตว์หลายชนิด เช่น พะยูน ทากทะเล รวมถึงมนุษย์โดยเฉพาะในแถบสแกนดิเนเวีย สหราชอาณาจักร ไอร์แลนด์ จีน เกาหลี และญี่ปุ่น นิยมนำมาบริโภคทั้งในรูปแบบสด หรือตากแห้ง ซึ่งพบว่า สาหร่ายผักกาดทะเลที่เก็บเกี่ยวในช่วงฤดูใบไม้ผลิมีรสชาติดีที่สุด (Kim *et al.*, 2011) สำหรับในประเทศญี่ปุ่นรู้จักกันในชื่อ Aosa nori เนื่องจากมีเนื้อสัมผัสใกล้เคียงกับ Nori จึงนิยมนำมาทำแห้งและโรยบนอาหารเพื่อให้ได้กลิ่นหอมเฉพาะ เช่น ยากิโซบะ ทาโกยากิ สาหร่ายผักกาดทะเลอุดมไปด้วยสารอาหารมากมายที่เป็นประโยชน์ต่อมนุษย์ ได้แก่ โปรตีน คาร์โบไฮเดรต ไขมัน วิตามิน รวมทั้งวิตามิน และแร่ธาตุ (เอนก และคณะ, 2558)



ภาพที่ 1 สาหร่ายผักกาดทะเล (*Ulva rigida* C. Agardh, 1823)

ประเทศไทยมีการนำสาหร่ายผักกาดทะเลจากแหล่งธรรมชาติมาเพาะเลี้ยงขยายพันธุ์ตั้งแต่ปี 2544 โดยพบว่า สามารถเพาะขยายพันธุ์ได้ง่ายทั้งแบบการใช้ต้นอ่อนหรือการแบ่งส่วนของใบไปขยายพันธุ์ สภาพแวดล้อมที่เหมาะสมในการเพาะเลี้ยงสาหร่ายผักกาดทะเล คือ ความเค็ม 27-33 ppm อุณหภูมิ 25-30 องศาเซลเซียส และค่าความเป็นกรดต่าง (pH) 8-9 (ศุภวิทย์ชัยและพัฒนการเพาะเลี้ยงสาหร่ายน้ำจืดเพชบุรี, 2566) สาหร่ายผักกาดทะเลสามารถเพาะเลี้ยงได้ทั้งแบบเดี่ยวและเลี้ยงรวมกับการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำชนิดอื่น ในบ่อซีเมนต์ บ่อดิน ถังไฟเบอร์กลาส แบบแขวน หรือบ่อผ้าใบแบบตะกร้า (ภาพที่ 2) การเพาะเลี้ยงสาหร่ายแบบเดี่ยวจำเป็นต้องมีการเพิ่มแร่ธาตุอาหารให้กับสาหร่าย ในขณะที่การเพาะเลี้ยงร่วมกับสัตว์น้ำชนิดอื่นไม่จำเป็นต้องเพิ่มแร่ธาตุอาหาร สาหร่ายผักกาดทะเลสามารถดูดซับแร่ธาตุจากน้ำเป็นการช่วยปรับปรุงคุณภาพน้ำและสามารถนำน้ำมาหมุนเวียนใช้ใหม่ได้ (เอนก และคณะ, 2558)



แบบถัง



แบบแขวน



แบบตะกร้า

ภาพที่ 2 การเพาะเลี้ยงสาหร่ายผักกาดทะเลในรูปแบบต่าง ๆ

คุณค่าทางโภชนาการของสาหร่ายผักกาดทะเล (*Ulva rigida*) ประกอบด้วยคาร์โบไฮเดรต โปรตีน ใยอาหาร และไขมันร้อยละ 25.35, 23.0, 9.79 และ 2.76 โดยน้ำหนักแห้ง (db) ตามลำดับ และแร่ธาตุต่าง ๆ (แคลเซียม 388.8 มิลลิกรัม/100 กรัม โซเดียม 1,021.8 มิลลิกรัม/100 กรัม และไอโอดีน 22.77 มิลลิกรัม/100 กรัม) ให้พลังงาน 218.2 กิโลแคลอรี/100 กรัม (db) (สุวรรณ และคณะ, 2552) นอกจากนี้ยังมีใยอาหารที่เป็นประโยชน์ต่อร่างกาย 3.8 กรัมต่อ 100 กรัม (Mahadevan, 2015)

ใยอาหาร (Dietary fiber) คือ ส่วนผนังเซลล์ของพืช เช่น ผัก ผลไม้ เมล็ดธัญพืช สาหร่าย ไม่สามารถถูกย่อยด้วยเอนไซม์ในลำไส้ของมนุษย์ แต่จุลินทรีย์บางชนิดสามารถย่อยได้บางส่วนจึงไม่ให้พลังงาน แก่ร่างกาย มีองค์ประกอบส่วนใหญ่เป็นสารประกอบน้ำตาลโมเลกุลใหญ่เชิงซ้อน หรือที่เรียกว่า “พอลิแซ็กคาไรด์ (Polysaccharide)” มีบทบาทสำคัญต่อร่างกายมนุษย์ โดยมีส่วนช่วยกระตุ้นการทำงานของระบบขับถ่าย ซึ่งใยอาหารเหล่านี้ถูกดูดซึมเข้าสู่ร่างกายได้น้อยมากหรือไม่สามารถดูดซึมได้ และถูกขับออกมาทางอุจจาระ ภายหลังและยังช่วยให้ขับถ่ายได้ง่ายขึ้น ใยอาหารสามารถออกเป็น 2 ชนิด ดังนี้

1) ใยอาหารที่ไม่ละลายน้ำ (Insoluble dietary fiber) เช่น เซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส และลิกนิน ส่วนใหญ่เป็นส่วนของโครงสร้างผนังเซลล์ของพืช จัดเป็นสารประกอบคาร์โบไฮเดรตเชิงซ้อน สามารถอุ้มน้ำได้ดี ซึ่งช่วยเพิ่มปริมาณกากใยทำให้ระบบขับถ่ายดีขึ้น

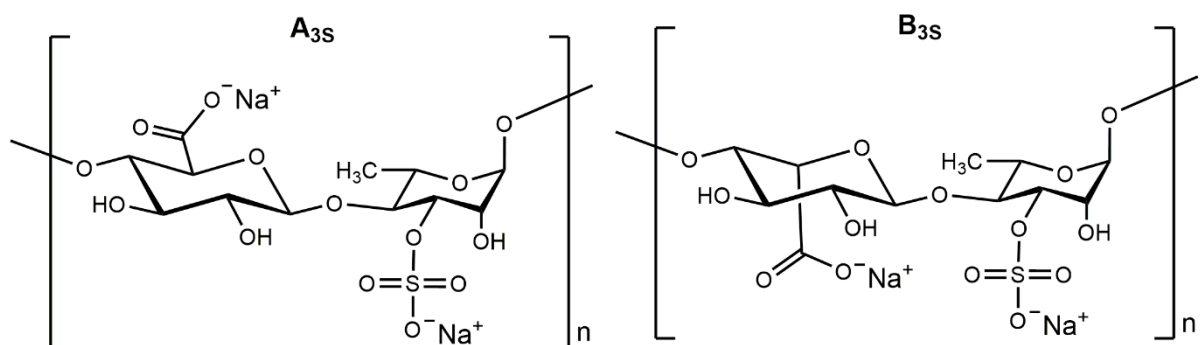
2) ใยอาหารที่ละลายน้ำ (Soluble dietary fiber) เช่น เพคติน กัม และคาราจีแนนเป็นใยอาหารที่อยู่ในเซลล์พืช มักพบปะปนกับพวกแป้ง มีคุณสมบัติในการสร้างความหนืด เมื่อรวมตัวกับน้ำจะเกิดการกระจาย โครงสร้างที่อัดแน่น และอาจเปลี่ยนไปให้อยู่ในรูปของเจล ทำให้ลำไส้ดูดซับสารที่มีประจุได้ช้าลง เช่น น้ำตาล คอเลสเตอรอล และเกลือแร่บางชนิด

ใยอาหารนอกจากจะมีประโยชน์ต่อร่างกายแล้วยังมีสมบัติเชิงหน้าที่ที่สามารถนำมาใช้ในอุตสาหกรรมอาหาร โดยใช้เป็นสารช่วยให้ความข้นหนืด (Thickener) อิมัลซิไฟเออร์ (Emulsifier) สารให้ความคงตัว (Stabilizer) สารทดแทนไขมัน (Fat replacer) สารช่วยแขวนตะกอน (Suspending agent) และสารช่วยทำให้เกิดเจล (Gelling agent) (Cui *et al.*, 2013) สาหร่ายทะเลเป็นแหล่งของใยอาหารที่เป็นซัลเฟตพอลิแซ็กคาไรด์ พบได้ในส่วนของผนังเซลล์ของสาหร่ายและมีโครงสร้างแตกต่างกันออกไปตามชนิดของสาหร่าย โดยซัลเฟตพอลิแซ็กคาไรด์สามารถพบในสาหร่ายทะเล และสังเคราะห์ได้โดยแบคทีเรียบางชนิดเท่านั้น (Silva *et al.*, 2012)

ในกระบวนการสกัดใยอาหารจากพืช เพื่อแยกใยอาหารที่ต้องการออกจากส่วนประกอบอื่น มีวิธีการที่หลากหลายและส่งผลต่อคุณสมบัติของใยอาหารที่สกัดได้ Ulvan เป็นซัลเฟตพอลิแซ็กคาไรด์ชนิดหนึ่งที่พบในสาหร่ายสีเขียวที่ประกอบด้วยกลุ่มน้ำตาลที่หายาก ได้แก่ Sulfated rhamnose และ Iduronic acid

ที่มีความสามารถในการสमानแผล และรักษาการอักเสบของผิวหนังต่าง ๆ (Statha *et al.*, 2024) คาราจีแนน (Carrageenan) พบในสาหร่ายสีแดง มักใช้เป็นสารที่ทำให้เกิดเจล ความคงตัว และอิมัลชันในด้านเภสัชกรรม เครื่องสำอาง และอุตสาหกรรมอาหาร เนื่องจากมีราคาไม่แพง (Cunha and Ghenha, 2016) การเลือกวิธีในการสกัดใยอาหารขึ้นอยู่กับองค์ประกอบของใยอาหาร และความซับซ้อนทางเคมีของโครงสร้างพอลิเมอร์ (Maphosa and Jideani, 2016) ซึ่งสมบัติทางเคมีกายภาพ (Physicochemical properties) ของใยอาหารที่สกัดได้ ส่งผลต่อสมบัติเชิงหน้าที่ เช่น การละลายน้ำ การพองตัว และความหนืด ขึ้นอยู่กับวิธีการสกัด (Cindana Mo'o *et al.*, 2020) จากงานวิจัยของ Yaich *et al.* (2013) ทำการสกัดใยอาหารจากสาหร่าย *Ulva lactuca* ที่อุณหภูมิ 80 และ 90 องศาเซลเซียส ที่ pH 1.5 และ 2 เป็นเวลา 1-3 ชั่วโมง พบว่า การสกัดที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส pH 1.5 นาน 3 ชั่วโมง ให้ร้อยละผลผลิตสูงที่สุด แต่สารสกัดที่ได้เกิดการสลายตัวของพอลิเมอร์ (Depolymerization) มากกว่าที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส pH 2 นาน 1 ชั่วโมง Chi *et al.* (2018) ศึกษาวิธีการสกัดใยอาหารจากสาหร่าย *Enteromorpha prolifera* ด้วยตัวทำละลายที่แตกต่างกัน ได้แก่ น้ำ กรด ต่าง และเอนไซม์ พบว่า สารละลายกรดไฮโดรคลอริกเป็นตัวทำละลายที่ดีที่สุดส่งผลให้ร้อยละผลผลิตของสารสกัดสูงที่สุด เนื่องจากกรดมีความสามารถในการทำลายพันธะไกลโคซิดิกระหว่างเซลลูโลส และเฮมิเซลลูโลสจนเกิดการปลดปล่อยสารประกอบพอลิแซ็กคาไรด์ อย่างไรก็ตาม การสกัดด้วยตัวทำละลายน้ำ และเอนไซม์ มีปริมาณคาร์โบไฮเดรตของสารสกัดพอลิแซ็กคาไรด์ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ในขณะที่ปริมาณซัลเฟตที่สกัดด้วยต่างมากกว่าน้ำและกรด ตามลำดับ จากการทดลองของอรณิข (2563) พบว่า การสกัดพอลิแซ็กคาไรด์จากสาหร่ายพวงองุ่นด้วย pH และเวลาที่แตกต่างกัน ส่งผลต่อร้อยละของผลผลิตและองค์ประกอบทางเคมีของสารสกัดจากสาหร่ายพวงองุ่น โดยวิธีการสกัดด้วยน้ำเป็นวิธีที่เหมาะสมที่สุด เนื่องจากต้นทุนต่ำและปลอดภัยกว่าการสกัดด้วยกรดหรือด่าง

อัลวาน (Ulvan) เป็นซัลเฟตพอลิแซ็กคาไรด์ชนิดหนึ่งที่พบในสาหร่ายประกอบด้วยกลุ่มน้ำตาลที่หายาก ประมาณร้อยละ 9-36 ส่วนใหญ่ประกอบด้วยน้ำตาล Rhamnose, Iduronic acid, Xylose, Glucuronic acid และ Galactose โปรตีนร้อยละ 1-3 และไขมันน้อยกว่าร้อยละ 1 สามารถแบ่งออกเป็น 2 แบบ คือ Type A: ulvanobiuronic acid 3-sulfate (A_{3S}) และ Type B: ulvanobiuronic acid 3-sulfate (B_{3S}) (ภาพที่ 3) ซึ่งสมบัติทางเคมีกายภาพขึ้นอยู่กับโครงสร้างของ Ulvan ที่มีผลจากกระบวนการสกัด (Cindana Mo'o *et al.*, 2020)



ภาพที่ 3 โครงสร้างทางเคมีของ Ulvan แบบ Type A ulvanobiuronic acid 3-sulfate (A_{3S}) และ Type B ulvanobiuronic acid 3-sulfate (B_{3S})

ที่มา: Cindana Mo'o *et al.*, 2020

ปัจจุบันมีการนำ Ulvan มาใช้ในอุตสาหกรรมอาหารและเครื่องสำอางจากสมบัติในการเป็นอิมัลซิไฟเออร์ประเภทอิมัลชันชนิดน้ำมันในน้ำ (Oil in water (O/W) emulsions) ความสามารถเป็นสารให้ความข้นหนืด สารที่ให้ความคงตัว เก็บกักกลืนในผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มและเครื่องสำอาง (Morelli *et al.*, 2019) นอกจากนี้ Ulvan ยังมีฤทธิ์ทางชีวภาพที่สามารถนำมาพัฒนาใช้ในอาหารและการแพทย์ได้อย่างหลากหลาย เช่น ฟิล์มบริโอคได้ (Edible film) สำหรับห่อหุ้มอาหาร วัสดุตกแต่งแผลไบโอฟิล์ม (Biofilm) ตัวนำส่งยาเข้าสู่ร่างกาย (Gomaa *et al.*, 2022; Tran *et al.*, 2023) จากงานวิจัยของ Shalaby and Hadear (2019) รายงานว่า การเติมสารสกัด Ulvan จากสาหร่ายผักกาดทะเล (*Ulva lactuca*) ในผลิตภัณฑ์โยเกิร์ต ร้อยละ 1-2 ส่งผลให้สมบัติทางเคมีและกายภาพของโยเกิร์ตมีความพร้อมในการกระตุ้นการเจริญเติบโตและการทำงานของแบคทีเรียโพรไบโอติก อีกทั้งมีฤทธิ์ทางชีวภาพ เช่น สมบัติในการป้องกันการเกิดลิ้มเลือด การต้านไวรัส การต้านอนุมูลอิสระ การต้านการก่อภูมิแพ้ การต้านมะเร็ง และการต้านการอักเสบ รวมถึงสมบัติเชิงหน้าที่ในด้านต่าง ๆ เช่น สมบัติการจับน้ำ ความสามารถในการจับน้ำมัน ความสามารถในการดูดซึมน้ำตาลและการชะลอการจับกับกรดน้ำดี (Mahadevan, 2015)

เยลลี่เป็นผลิตภัณฑ์ที่ผลิตจากน้ำผลไม้ที่ได้จากการคั้นสดหรือน้ำผลไม้เข้มข้นกับสารที่ให้ความหวานและสารที่ทำให้เกิดเจล เช่น เจลาติน (Gelatin) คาราจีแนน (Carrageenan) เพคติน (Pectin) และผงบุก (Konjac powder) นำมาให้ความร้อนเพื่อให้ส่วนผสมละลาย แล้วทิ้งให้เย็นจนเนื้อเจลมีลักษณะโปร่งใส เยลลี่ที่ดีต้องมีลักษณะใส เนื้อสัมผัสอ่อนนุ่ม มีความหยุ่นตัว ไม่เหนียวจนหนืด และไม่เหลว ต้องแข็งพอที่จะคงรูปเดิม เมื่อตัดด้วยมีด (จิรนนท์ และพัชรี, 2561; ภาดาร์ชช, 2562) ผลิตภัณฑ์เยลลี่ในท้องตลาดได้รับความนิยมเพิ่มมากขึ้น เนื่องจากรับประทานง่าย เป็นที่ชื่นชอบของทุกเพศ ทุกวัย และสะดวกในการรับประทาน (ชิดชนก และธัญชนก, 2554)

การพัฒนาเยลลี่เสริมใยอาหาร จึงสามารถตอบโจทย์ความต้องการของตลาด ในการส่งเสริมให้ผู้บริโภคได้รับใยอาหารตามที่กำหนด แต่ไม่ได้มีวัตถุประสงค์เพื่อทดแทนการบริโภคใยอาหารประจำวัน ดังนั้น งานวิจัยนี้จึงมุ่งเน้นศึกษาการสกัดใยอาหารจากสาหร่ายผักกาดทะเลด้วยการใช้น้ำกลั่นเป็นตัวทำละลายที่อุณหภูมิและเวลาที่แตกต่างกัน เพื่อให้ทราบสมบัติเชิงเคมี กายภาพ และสมบัติเชิงหน้าที่ของใยอาหารที่สกัดได้ และนำไปใช้ในการพัฒนาผลิตภัณฑ์เพื่อเพิ่มมูลค่าและเพิ่มรูปแบบการบริโภคอื่นนอกเหนือจากการบริโภคสด โดยพัฒนาผลิตภัณฑ์เยลลี่เพื่อเสริมใยอาหารเพื่อเป็นผลิตภัณฑ์ต้นแบบในการใช้ประโยชน์สารสกัดใยอาหารจากสาหร่ายผักกาดทะเล และเป็นอีกทางเลือกหนึ่งให้กับผู้บริโภค

วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาการสกัดใยอาหารจากสาหร่ายผักกาดทะเล
2. เพื่อศึกษาสมบัติทางเคมี กายภาพ การต้านอนุมูลอิสระ และสมบัติเชิงหน้าที่ของใยอาหาร

วิธีดำเนินการ

1. วัสดุ อุปกรณ์ และเครื่องมือ

1.1 วัตถุดิบ

1.1.1 สำหรับฝึกกาดทะเล อายุ 12 สัปดาห์ ที่ได้จากการเพาะเลี้ยง จากศูนย์ศึกษาการพัฒนาอ่าวคุ้งกระเบน อันเนื่องมาจากพระราชดำริ จังหวัดจันทบุรี บรรจุในถังฉนวนขนส่งมายังกองวิจัยและพัฒนาเทคโนโลยีอุตสาหกรรมสัตว์น้ำ กรมประมง

1.1.2 น้ำแอปเปิ้ลเข้มข้น

1.1.3 ซอร์บิทอล

1.1.4 คาราจีแนน

1.1.5 ผงบุก

1.1.6 พอลิเด็กซ์โทส

1.1.7 กรดซิตริก

1.2 สารเคมี และอาหารเลี้ยงเชื้อ

1.2.1 กรดซัลฟิวริก (H_2SO_4) ยี่ห้อ Sigma-Aldrich

1.2.2 กรดไฮโดรคลอริก (HCl) ยี่ห้อ Ajax finechem

1.2.3 โซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) ยี่ห้อ Ajax finechem

1.2.4 เอทิลแอลกอฮอล์ 99% ยี่ห้อ Ajax finechem

1.2.5 แอนไฮไดรส์โซเดียมซัลเฟต (Anhydrous Na_2SO_4) ยี่ห้อ Sigma-aldrich

1.2.6 กรดไตรไฮโดรคลอโรอะเซติก ($C_2HCl_2O_3$) ยี่ห้อ Fisher scientific

1.2.7 แบเรียมคลอไรด์ ($BaCl_2$) ยี่ห้อ Alfa aesar

1.2.8 เจลาตินผง (Gelatin powder) ยี่ห้อ Kemaus

1.2.9 โซเดียมซัลเฟต (Na_2SO_4) ยี่ห้อ Sigma-aldrich

1.2.10 ฟีนอล ($C_6H_6O_6$) ยี่ห้อ Thermo scientific

1.2.11 กลูโคสมาตรฐาน ($C_6H_{12}O_6$) ยี่ห้อ Sigma-aldrich

1.2.12 ดีพีพีเอช (DPPH) ยี่ห้อ Sigma-Aldrich

1.2.13 กรดแอสคอร์บิก ($C_6H_8O_6$) ยี่ห้อ Thermo scientific

1.2.14 เอทานอล ร้อยละ 95 (C_2H_6O) ยี่ห้อ L pure

1.3 อุปกรณ์เครื่องมือ

1.3.1 เครื่องชั่งสารทศนิยม 2 ตำแหน่ง ยี่ห้อ Sartorius รุ่น CP3202S

1.3.2 เครื่องชั่งสารทศนิยม 4 ตำแหน่ง ยี่ห้อ Sartorius รุ่น LA2305

1.3.3 ขวดปรับปริมาตรสีขาขนาด 10 มิลลิลิตร ยี่ห้อ Duran

1.3.4 ขวดแก้วใสฝาเกลียว ขนาด 1 ลิตร ยี่ห้อ Duran

1.3.5 ตู้อบควบคุมอุณหภูมิ ยี่ห้อ Binder รุ่น BD53

1.3.6 ตู้อบลมร้อน ยี่ห้อกล้วยน้ำไท

1.3.7 เครื่องให้ความร้อนแบบหลุม (Heating block) ยี่ห้อ Labnet รุ่น D1200

1.3.8 เครื่องปั่นเหวี่ยง ยี่ห้อ Tomy รุ่น Suprema 21

- 1.3.9 อ่างน้ำควบคุมอุณหภูมิ ยี่ห้อ Lab companion รุ่น CW-20G
- 1.3.10 กระดาษกรอง Whatmans' เบอร์ 1
- 1.3.11 เครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ ยี่ห้อ Shimadzu รุ่น UV1800
- 1.3.12 เครื่องบดสมุนไพร ยี่ห้อ Herb grider รุ่น WF-04
- 1.3.13 ตะแกรงขนาด 80 เมช

2. วิธีดำเนินงาน

2.1 ศึกษาองค์ประกอบทางเคมีของสาหร่ายผักกาดทะเล

นำสาหร่ายผักกาดทะเล มาล้างทำความสะอาด และสะเด็ดน้ำบนตะแกรง ใส่ลงในภาชนะ 200 กรัม เกลี่ยให้กระจายตัว แล้วนำไปอบแห้งในตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 70 ± 5 องศาเซลเซียส (Robic *et al.*, 2008) จนความชื้นน้อยกว่าร้อยละ 12 หรือเป็นเวลาประมาณ 8 ชั่วโมง นำสาหร่ายมาบดเป็นผงละเอียดด้วยเครื่องบดสมุนไพร ร่อนด้วยตะแกรง 80 เมช (mesh) เก็บในถุงอะลูมิเนียมฟอยด์ เพื่อนำมาเป็นวัตถุดิบในการสกัดใยอาหาร จากนั้นนำไปวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี ดังนี้

2.1.1 ความชื้น (AOAC, 2023a)

2.1.2 โปรตีน (ISO, 1978)

2.1.3 เส้นใยหยาบ (AOAC, 2023b)

2.1.4 เถ้า (ISO, 1998)

2.1.5 ใยอาหารทั้งหมด โดยห้องปฏิบัติการกลาง (ประเทศไทย) จำกัด กรุงเทพมหานคร

2.2 ศึกษาผลของอุณหภูมิและเวลาที่มีต่อการสกัดใยอาหารจากสาหร่ายผักกาดทะเล (ดัดแปลงจากวิธีของอรณิข, 2563)

สาหร่ายผักกาดทะเลผง 10 กรัม ผสมกับน้ำกลั่น 200 มิลลิลิตร (1:20 w/v) จากนั้นทำการสกัดตัวอย่างโดยแปรอุณหภูมิ 2 ระดับ คือ 80 และ 90 องศาเซลเซียส ระยะเวลา 3 ระดับ คือ 1, 2 และ 3 ชั่วโมง ตามลำดับ นำสารสกัดมาปั่นเหวี่ยงด้วยเครื่องปั่นเหวี่ยง ที่อุณหภูมิ 15 องศาเซลเซียส แรงเหวี่ยง 5,000 g เป็นเวลา 20 นาที นำสารสกัดไปกรองด้วยกระดาษกรอง Whatmans' เบอร์ 1 นำส่วนใสมาปรับ pH เป็น 3.5 ด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้น 1 โมลาร์ เติมเอทานอลความเข้มข้นร้อยละ 95 (w/w) ในอัตราส่วน 1:2 (V/V) เก็บที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 15 ชั่วโมง กรองใยอาหารที่ตกตะกอน นำส่วนใยอาหารไปอบแห้งที่อุณหภูมิ 50 ± 5 องศาเซลเซียส จนมีความชื้นไม่เกินร้อยละ 12 และนำไปบดเป็นผง นำไปวิเคราะห์ความชื้น (AOAC, 2023a) และคำนวณร้อยละของสารสกัดที่ได้ ดังสมการที่ (1)

$$\text{ร้อยละของสารสกัดได้ (dry basis)} = \frac{\text{น้ำหนักสารสกัดที่ได้หลังอบแห้ง (กรัม)}}{\text{น้ำหนักสาหร่ายผงอบแห้งเริ่มต้น (กรัม)}} \times 100 \quad (1)$$

2.2.1 ศึกษาสมบัติทางเคมีของสารสกัดใยอาหารจากสาหร่ายผักกาดทะเล

1) วิเคราะห์ปริมาณน้ำตาลทั้งหมด ด้วยวิธี Phenol-Sulfuric method (Dubois *et al.*, 1956)

เตรียมสารละลายตัวอย่างจากสารสกัดใยอาหารและน้ำกลั่นให้มีความเข้มข้น 1 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร ปริมาตร 1.0 มิลลิลิตร ใส่ในหลอดทดลอง เติมฟีนอลความเข้มข้น ร้อยละ 5 ลงไป 1.0 มิลลิลิตร แล้วเขย่าเติมกรดซัลฟิวริกเข้มข้น 1 โมลาร์ ปริมาตร 5 มิลลิลิตร จากนั้นเขย่าแล้วเก็บในที่มืดเป็นเวลา 30 นาที

นำไปวัดค่าการดูดกลืนแสง ที่ความยาวคลื่น 490 นาโนเมตร นำค่าการดูดกลืนแสงเทียบกับกราฟมาตรฐาน กลูโคส คำนวณค่าความเข้มข้นของความเข้มข้นของน้ำตาล และปริมาณน้ำตาลทั้งหมด (ภาพผนวก ก)

2) วิเคราะห์ปริมาณซัลเฟตทั้งหมด (Total sulfate) (อรณิข, 2563)

ชั่งตัวอย่างสารสกัดโยอาหาร 5 มิลลิกรัม เติมนอร์ไฮโดรคลอริกความเข้มข้น 1 โมลาร์ ปริมาตร 1 มิลลิลิตร นำตัวอย่างไปย่อยที่อุณหภูมิ 105 ± 5 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง ทิ้งไว้ให้เย็น นำตัวอย่างสารสกัดที่ย่อยแล้ว ปริมาตร 0.2 มิลลิลิตร ลงในขวดสีชา เติมนอร์ไฮโดรคลอริกไฮโดรคลอโรอะเซติก ร้อยละ 3 (w/v) ปริมาตร 3.8 มิลลิลิตร เขย่าให้เข้ากันเติมนอร์ไฮโดรคลอริก BaCl_2 Gelatin 1 มิลลิลิตร และตั้งไว้ที่อุณหภูมิ 28 ± 2 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 15 นาที นำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ 360 นาโนเมตร นำค่าการดูดกลืนแสงเทียบกับกราฟมาตรฐานโซเดียมซัลเฟต (Sodium sulfated) คำนวณความเข้มข้นของซัลเฟต และปริมาณซัลเฟตทั้งหมด (ภาคผนวก ข)

3) วิเคราะห์ฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระโดยวิธี DPPH radical scavenging (Hung *et al.*, 2021)

ทดสอบฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี DPPH radical scavenging โดยเตรียมสารละลาย DPPH ความเข้มข้น 0.1 มิลลิโมลาร์ ในเอทานอลเข้มข้นร้อยละ 95 (v/v) นำสารละลาย DPPH ปริมาตร 3.6 มิลลิลิตร และสารละลายจากสารสกัดโยอาหาร ความเข้มข้น 1 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร ปริมาตร 0.4 มิลลิลิตร ผสมกัน ตั้งไว้ในที่มืดที่อุณหภูมิ 28 ± 2 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที จากนั้นนำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ 517 นาโนเมตร ด้วยเครื่อง Spectrophotometer นำไปเปรียบเทียบกับกราฟมาตรฐาน Ascorbic acid รายงานเป็นสมบัตินิการต้านอนุมูลอิสระ DPPH แล้วคำนวณค่าร้อยละความสามารถในการทำลายอนุมูลอิสระ (% Radical Scavenging) (ภาคผนวก ค)

2.2.2 ศึกษาสมบัติเชิงหน้าที่ (Functional properties) ของสารสกัดโยอาหารจากสำหรับยักกัดทะเล ตามวิธีของวันเพ็ญ (2551)

1) ความสามารถในการอุ้มน้ำ (Water Holding Capacity; WHC) นำตัวอย่างสารสกัด 0.5 กรัม ใส่ในหลอดทดลองเติมน้ำ 10 มิลลิลิตร ตั้งไว้เป็นเวลา 18 ชั่วโมง นำไปกรองด้วยกระดาษกรอง Whatman เบอร์ 1 ซึ่งน้ำหนักกากส่วนที่กรองได้ แล้วนำไปทำแห้งที่ 105 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง นำมาชั่งน้ำหนัก คำนวณค่าความสามารถในการอุ้มน้ำ (ภาคผนวก ง)

2) ความสามารถในการพองตัว (Swelling Capacity; SWC) ตัวอย่างสารสกัด 0.5 กรัม ใส่ในกระบอกตวง 50 มิลลิลิตร เติมน้ำ 10 มิลลิลิตร ตั้งไว้เป็นเวลา 18 ชั่วโมง คำนวณความสามารถในการพองตัว (ภาคผนวก ง)

2.2.3 วิเคราะห์ปริมาณโยอาหาร และโครงสร้างของโยอาหารที่สกัดได้

นำสารสกัดที่มีสมบัติทางเคมีจากความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระและสมบัติเชิงหน้าที่ที่มีค่าสูงสุดจากข้อ 2.2.1 และ 2.2.2 มาวิเคราะห์ปริมาณโยอาหารทั้งหมด โยอาหารที่ละลายน้ำและโยอาหารที่ไม่ละลายน้ำ โดยห้องปฏิบัติการกลาง (ประเทศไทย) จำกัด กรุงเทพฯ และการวิเคราะห์โครงสร้างของโยอาหารด้วยเทคนิค Fourier Transform Infrared Spectrophotometer (FTIR) ทำการวิเคราะห์ในช่วงความยาวคลื่น $4,000\text{--}400\text{ cm}^{-1}$, resolution 4 cm^{-1} โดยห้องปฏิบัติการภาควิชาวิศวกรรมวัสดุ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

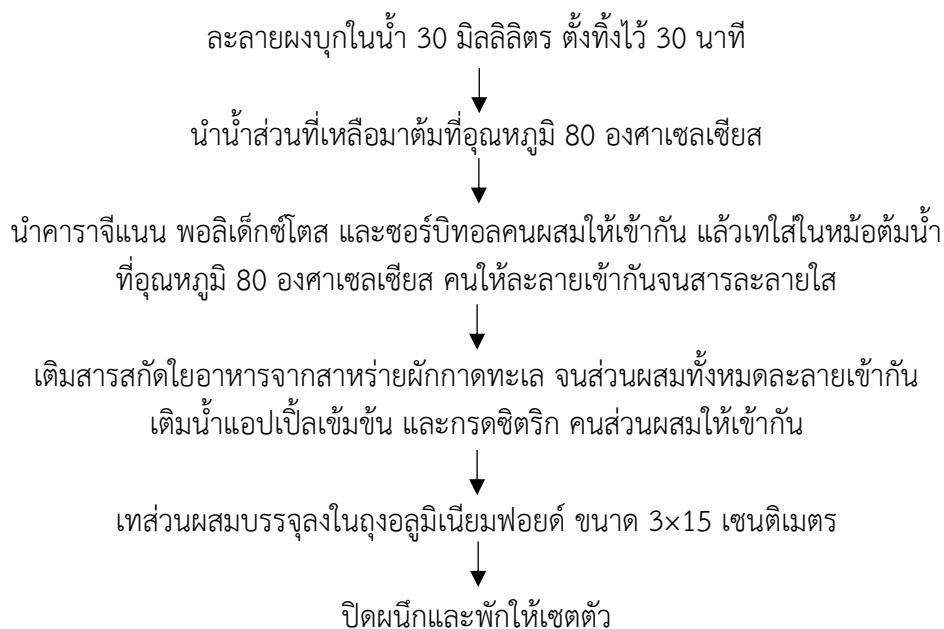
2.3 ศึกษาการพัฒนาเยลลี่เสริมใยอาหารจากสาหร่ายผักกาดทะเล

2.3.1 ศึกษาผลของการปรับและผงบุกที่มีต่อเยลลี่เสริมใยอาหาร

นำสูตรเยลลี่พื้นฐานที่ดัดแปลงจากจุฬามาศ และคณะ (2554) ที่ประกอบด้วยน้ำแอปเปิ้ล ซอร์บิทอล สารก่อเจล (คาราจีแนนและผงบุก) น้ำ สารสกัดใยอาหารจากสาหร่ายผักกาดทะเล พอลิเด็กซ์โทส และกรดซิตริก เท่ากับร้อยละ 15, 9, 1, 65.6, 1, 8.3 และ 0.1 ตามลำดับ มาศึกษาอัตราส่วนของสารก่อเจลที่เหมาะสม โดยแปรอัตราส่วนของร้อยละของสารก่อเจล (คาราจีแนนต่อผงบุก) 3 สูตร คือ สูตร A (90:10), สูตร B (70:30) และ สูตร C (50:50) (ตารางที่ 1) ขั้นตอนในการผลิตเยลลี่เสริมใยอาหาร ดังภาพที่ 4

ตารางที่ 1 สูตรการผลิตเยลลี่เสริมใยอาหาร

ส่วนประกอบ (กรัม)	สูตร A (90:10)	สูตร B (70:30)	สูตร C (50:50)
น้ำแอปเปิ้ลเข้มข้น	30	30	30
ซอร์บิทอล	18	18	18
คาราจีแนน	1.8	1.4	1
ผงบุก	0.2	0.6	1
น้ำ	131.2	131.2	131.2
สารสกัดใยอาหารจากสาหร่ายผักกาดทะเล	2	2	2
พอลิเด็กซ์โทส	16.6	16.6	16.6
กรดซิตริก	0.2	0.2	0.2



ภาพที่ 4 วิธีการผลิตเยลลี่เสริมใยอาหาร

จากนั้นนำผลิตภัณฑ์เยลลี่เสริมใยอาหารทั้ง 3 สูตร มาวิเคราะห์คุณภาพ ดังนี้

1) ค่าความเป็นกรด-ด่าง

นำเยลลี่ที่ได้ละลายน้ำ อัตราส่วนเยลลี่ต่อน้ำ 1:2 (w/w) (ณัชชากร และคณะ, 2560) และนำมาวัดความเป็นกรด-ด่าง ด้วยเครื่องวัดความเป็นกรด-ด่าง

2) วิเคราะห์ปริมาณน้ำอิสระ (a_w) (AOAC, 2023c)

3) วิเคราะห์ลักษณะเนื้อสัมผัสของเยลลี่เสริมใยอาหาร

เตรียมตัวอย่างเส้นผ่านศูนย์กลาง 10 มิลลิเมตร ความสูง 10 มิลลิเมตร ตามวิธีของณัชชากร และคณะ (2560) วิเคราะห์ลักษณะเนื้อสัมผัส (Texture analyzer) ทดสอบด้วย Texture Profile Analyzer (TPA) ใช้หัววัดชนิด (P20) Cylinder probe 20 มิลลิเมตร กำหนดความเร็วในการวัด (Test speed) 1 มิลลิเมตรต่อวินาที และระยะทางในการกดร้อยละ 50 โดยรายงานผลเป็นค่าความแข็ง (Hardness) ค่าความยืดหยุ่น (Springiness) ค่าการยึดเกาะกัน (Cohesiveness) ค่าความเหนียว (Gumminess) และค่าแรงที่ใช้ในการเคี้ยว (Chewiness)

2.3.2 การทดสอบทางประสาทสัมผัส

ประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสโดยให้คะแนนความชอบแบบ Hedonic 9 point scale ด้านลักษณะปรากฏ เนื้อสัมผัส กลิ่นรส และความชอบโดยรวม ให้คะแนนความชอบระดับ 9 คะแนน ด้วยผู้ทดสอบ 50 คน

2.3.3 คุณค่าทางโภชนาการของเยลลี่เสริมใยอาหาร

คัดเลือกผลิตภัณฑ์เยลลี่เสริมใยอาหารที่ผู้ทดสอบทางประสาทสัมผัสให้คะแนนความชอบมากที่สุดจากข้อ 2.3.2 นำมาวิเคราะห์คุณค่าทางโภชนาการ โดยห้องปฏิบัติการกลาง (ประเทศไทย) จำกัด กรุงเทพฯ

2.3.4 การผลิตเยลลี่เสริมใยอาหารต้นแบบพร้อมบรรจุภัณฑ์และคำนวณต้นทุน

ผลิตเยลลี่เสริมใยอาหารและคำนวณต้นทุนในการผลิตเยลลี่เสริมใยอาหารจากสาหร่ายผักกาดทะเล โดยคำนวณจากผลิตภัณฑ์ที่ได้ในภาชนะบรรจุ แล้วนำมาออกแบบบรรจุภัณฑ์ต้นแบบ

2.4 วางแผนการทดลองและวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

การศึกษาผลของอุณหภูมิและเวลาที่มีต่อการสกัดใยอาหารจากสาหร่ายผักกาดทะเลวางแผนการทดลองแบบ 2x3 Factorial in Completely Randomized design (CRD) ทำการทดลอง 3 ซ้ำ และวางแผนการทดลองการพัฒนาเยลลี่เสริมใยอาหารจากสาหร่ายผักกาดทะเล แบบสุ่มบล็อกสมบูรณ์ (Randomized Complete Block Design:RCBD) จากนั้นนำข้อมูลที่ได้มาวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) เปรียบเทียบความต่างของค่าเฉลี่ยโดย Duncan's New Multiple Range Test:DMRT ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

ผลและวิจารณ์ผลการทดลอง

1. องค์ประกอบทางเคมีของสาหร่ายผักกาดทะเล

สาหร่ายผักกาดทะเลสด อายุ 12 สัปดาห์ ที่ได้จากการเพาะเลี้ยง วิเคราะห์ปริมาณความชื้น พบว่าความชื้นร้อยละ 86.86 จัดเป็นอาหารประเภทความชื้นสูง ง่ายต่อการเสื่อมเสีย (Kadam *et al.*, 2015) เมื่อนำมาล้างทำความสะอาด อบแห้งที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส จนสาหร่ายผักกาดทะเลมีความชื้นร้อยละ 11.58 ± 0.16 ซึ่งการทำแห้งเป็นการช่วยยืดอายุการเก็บรักษาให้นานขึ้นและการสกัดใยอาหารจากสาหร่ายที่ทำแห้งด้วยอุณหภูมิสูง (70 องศาเซลเซียส) ส่งผลให้ gel properties ของ ulvan ดีกว่าเมื่อเทียบกับการสกัดจากสาหร่ายสด ซึ่งการทำแห้งที่อุณหภูมิสูงทำให้สาหร่ายแห้งอย่างรวดเร็ว และยังช่วยยับยั้งเอนไซม์ที่ส่งผลต่อการ breakdown ของ ulvan (Robic *et al.*, 2008) เมื่อนำสาหร่ายผักกาดทะเลไปอบเป็นผงและร่อนผ่านตะแกรงขนาด 80 เมช (ภาพที่ 5) ซึ่งการบดผงยังช่วยลดขนาดของอนุภาค เป็นการเพิ่มพื้นที่ผิวระหว่างตัวอย่างกับตัวทำละลาย (วิภาวรรณ และคณะ, 2562) พบว่า สาหร่ายผักกาดทะเลผงจากการบดผงและร่อนส่งผลให้ได้ร้อยละของผลผลิต เท่ากับ 10.72 (ภาพที่ 5) มีองค์ประกอบทางเคมี ประกอบด้วยโปรตีน เส้นใยหยาบ และเถ้า เท่ากับ ร้อยละ 24.07, 6.02 และ 11.89 (db) ตามลำดับ ซึ่งมีใยอาหารทั้งหมด 55.87 กรัมต่อ 100 กรัม (ตารางที่ 2) ซึ่งใกล้เคียงกับงานวิจัยของ Neto *et al.* (2018) ที่รายงานว่าสาหร่ายผักกาดทะเล (*Ulva rigida*) ประกอบด้วยคาร์โบไฮเดรตทั้งหมด 58.1 กรัมต่อ 100 กรัมสาหร่ายแห้ง ดังนั้น สาหร่ายผักกาดทะเลผงที่ได้จึงเป็นวัตถุดิบที่เหมาะสมในการนำมาสกัดใยอาหารต่อไป



สาหร่ายผักกาดทะเลสด



สาหร่ายผักกาดทะเลอบแห้ง



สาหร่ายผักกาดทะเลผง

ภาพที่ 5 สาหร่ายผักกาดทะเลรูปแบบต่าง ๆ

ตารางที่ 2 องค์ประกอบทางเคมีของสาหร่ายผักกาดทะเล

องค์ประกอบทางเคมี	สาหร่ายผักกาดทะเลผง
ความชื้น (ร้อยละ)	11.58 ± 0.16
โปรตีน (%db)	24.07 ± 1.41
เส้นใยหยาบ (%db)	6.02 ± 0.38
เถ้า (%db)	11.89 ± 0.15
ใยอาหารทั้งหมด (Total dietary fiber) (กรัม/100 กรัม)*	55.87

* หมายถึง ผลการทดสอบจากห้องปฏิบัติการกลาง (ประเทศไทย) จำกัด กรุงเทพมหานคร

2. ศึกษาผลของอุณหภูมิและเวลาที่มีผลต่อการสกัดใยอาหารจากสาหร่ายผักกาดทะเล

เมื่อสกัดใยอาหารที่อุณหภูมิและเวลาแตกต่างกัน พบว่า อุณหภูมิและเวลาในการสกัดไม่มีอิทธิพลร่วมต่อปริมาณความชื้นและร้อยละผลผลิต ซึ่งอุณหภูมิและเวลาส่งผลให้ค่าความชื้นของสารสกัด มีค่าระหว่างร้อยละ 11.32-11.66 แตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) ในขณะที่ร้อยละผลผลิตในการสกัดที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส ให้ร้อยละผลผลิตมากกว่าที่ 80 องศาเซลเซียส อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\leq 0.05$) (ตารางที่ 3) ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Kidgell *et al.* (2019) ที่ทำการสกัดใยอาหารที่สภาวะการสกัดที่รุนแรงที่สุด (90 องศาเซลเซียส ที่ pH 1.5 เป็นเวลา 3 ชั่วโมง) ส่งผลให้ได้ผลผลิตที่สูงขึ้นแต่เกิดการสลายตัวของพอลิเมอร์ (Depolymerization) มากกว่าการสกัดในสภาวะรุนแรงน้อยกว่า เนื่องจาก อุณหภูมิที่ใช้ในการสกัดที่สูงขึ้นทำให้ผนังเซลล์พืชอ่อนนุ่ม ส่งผลให้องค์ประกอบต่าง ๆ ออกมาจากวัตถุดิบได้ง่ายขึ้น (วิชมนิ และคณะ, 2561) เมื่อสกัดที่ระยะเวลาเพิ่มขึ้น ส่งผลให้ร้อยละของผลผลิตเพิ่มสูงขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\leq 0.05$) ซึ่งสอดคล้องงานวิจัยของ Yaich *et al.* (2013) ที่ทำการสกัดใยอาหารจาก *Ulva lactuca* อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส pH 2 เวลา 3 ชั่วโมง ให้ร้อยละผลผลิตสูงที่สุด เมื่อเปรียบเทียบกับวิธีการสกัดที่สภาวะเดียวกัน เวลา 1 และ 2 ชั่วโมง ซึ่งกระบวนการในการสกัดใยอาหารส่งผลต่อปริมาณร้อยละผลผลิตและสมบัติทางเคมีและกายภาพ

2.1 ผลการศึกษาสมบัติทางเคมีของสารสกัดใยอาหารจากสาหร่ายผักกาดทะเล

เมื่อสกัดใยอาหารที่ระดับอุณหภูมิและเวลาที่แตกต่างกัน พบว่า อุณหภูมิและเวลาในการสกัดใยอาหารไม่มีอิทธิพลร่วมต่อปริมาณน้ำตาลทั้งหมดและปริมาณซัลเฟต โดยทั้งอุณหภูมิและเวลาที่แตกต่างกันส่งผลให้สารสกัดที่ได้มีร้อยละผลผลิต ปริมาณน้ำตาลทั้งหมดและปริมาณซัลเฟตแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) (ตารางที่ 3) และเวลาในการสกัดที่นานขึ้นส่งผลให้ปริมาณน้ำตาลทั้งหมดและปริมาณซัลเฟตมีแนวโน้มลดลง แต่แตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) การสกัดที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส ส่งผลให้ปริมาณซัลเฟตเฉลี่ย สูงกว่าการสกัดที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส แต่แตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) เนื่องจากสาหร่ายผักกาดทะเล มีซัลเฟตพอลิแซ็กคาไรด์ (Ulvan) เป็นส่วนประกอบหลักของผนังเซลล์ และสารเหล่านี้มีองค์ประกอบของหมู่ซัลเฟตที่มีฤทธิ์ทางชีวภาพที่มีศักยภาพในการใช้งานเป็นยา การเกษตร และอุตสาหกรรมอาหาร (Torres *et al.*, 2021)

นอกจากนี้ อุณหภูมิและเวลาในการสกัดใยอาหาร มีอิทธิพลร่วมส่งผลให้สารสกัดใยอาหารจากสาหร่ายผักกาดทะเลมีความสามารถต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี DPPH แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\leq 0.05$) การสกัดใยอาหารจากสาหร่ายผักกาดทะเลที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส เวลา 1 ชั่วโมง ส่งผลให้ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระเฉลี่ยสูงที่สุดเท่ากับ 0.88 mg Ascorbic acid eq/g extract (ตารางที่ 3) ซึ่งสอดคล้องกับปริมาณซัลเฟตของสารสกัดใยอาหารจากสาหร่ายผักกาดทะเลที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส เวลา 1 ชั่วโมง ที่มีปริมาณเฉลี่ยสูงที่สุดเช่นกัน Rahimi *et al.* (2016) รายงานว่า ซัลเฟตพอลิแซ็กคาไรด์ที่มีปริมาณซัลเฟตสูงส่งผลให้ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระสูงขึ้น ทั้งนี้ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระที่ต่างกัน อาจเกิดจากปริมาณซัลเฟตและขนาดโมเลกุลที่พบในสารสกัดที่ต่างกัน เนื่องจากหมู่ซัลเฟตที่พบในสารสกัดสามารถกระตุ้นการให้ไฮโดรเจนอะตอมบริเวณหมู่ Anomeric carbon และมีผลในการยับยั้งอนุมูลอิสระ (Yuan and Macquarrie, 2015) นอกจากนี้องค์ประกอบของมอนอแซ็กคาไรด์ ปริมาณซัลเฟต และลักษณะโครงสร้างของสารสกัดยังเป็นตัวกำหนดฤทธิ์ทางชีวภาพโดยองค์ประกอบปริมาณซัลเฟต

เป็นองค์ประกอบที่สำคัญของซัลเฟตพอลิแซ็กคาไรด์ที่มีความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ (Flórez-Fernández *et al.*, 2023)

ตารางที่ 3 ผลของความชื้น ร้อยละผลผลิตและคุณภาพทางเคมีของใยอาหารที่สกัดจากสาหร่ายผักกาดทะเล ที่อุณหภูมิและเวลาต่างๆ

ปัจจัย	ความชื้น	ร้อยละผลผลิต	ปริมาณน้ำตาลทั้งหมด (%db)	ปริมาณซัลเฟตทั้งหมด (%db)	ความสามารถต้านอนุมูลอิสระ (mg AAE*/g extract)
อุณหภูมิในการสกัด (A)					
80°C	11.57±0.39 ^{ns}	20.07±1.93 ^b	48.25±1.26 ^{ns}	31.97±1.65 ^{ns}	0.79±0.07 ^{ns}
90°C	11.42±0.27 ^{ns}	23.26±1.66 ^a	47.38±2.41 ^{ns}	34.41±4.59 ^{ns}	0.75±0.10 ^{ns}
เวลาในการสกัด (B)					
1 ชั่วโมง	11.36±0.25 ^{ns}	20.43±2.99 ^b	48.03±1.98 ^{ns}	35.84±4.23 ^{ns}	0.85±0.04 ^a
2 ชั่วโมง	11.52±0.44 ^{ns}	22.86±2.02 ^a	48.23±1.20 ^{ns}	32.41±2.98 ^{ns}	0.75±0.09 ^b
3 ชั่วโมง	11.58±0.27 ^{ns}	22.23±1.54 ^a	47.03±2.65 ^{ns}	31.73±2.94 ^{ns}	0.72±0.05 ^b
A×B					
80°C×1 hour	11.41±0.18 ^{ns}	18.07±1.78 ^{ns}	49.59±0.70 ^{ns}	33.15±1.49 ^{ns}	0.83±0.03 ^a
80°C×2 hours	11.64±0.52 ^{ns}	21.03±0.37 ^{ns}	47.26±0.58 ^{ns}	31.19±1.31 ^{ns}	0.82±0.04 ^a
80°C×3 hours	11.66±0.33 ^{ns}	21.07±0.95 ^{ns}	46.08±2.94 ^{ns}	30.52±2.35 ^{ns}	0.68±0.02 ^b
90°C×1 hour	11.32±0.33 ^{ns}	22.74±1.49 ^{ns}	46.47±1.42 ^{ns}	38.53±4.54 ^{ns}	0.88±0.03 ^a
90°C×2 hours	11.34±0.26 ^{ns}	24.68±0.32 ^{ns}	49.19±0.69 ^{ns}	33.63±4.02 ^{ns}	0.67±0.04 ^b
90°C×3 hours	11.49±0.07 ^{ns}	23.37±1.00 ^{ns}	48.02±2.54 ^{ns}	33.14±3.18 ^{ns}	0.75±0.06 ^b

^{ns} ในแนวตั้งปัจจัยการศึกษาเดียวกันแสดงถึงความแตกต่างอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$)

a, b ตัวอักษรที่แตกต่างกันในแนวนอนแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\leq 0.05$)

AAE* = Ascorbic Acid Equivalent

2.2 ผลการศึกษาสมบัติเชิงหน้าที่ (Functional properties) ของสารสกัดใยอาหารจากสาหร่ายผักกาดทะเล

นำใยอาหารที่สกัดได้ มาทดสอบสมบัติเชิงหน้าที่ พบว่า อุณหภูมิและเวลาในการสกัดใยอาหารมีอิทธิพลร่วมส่งผลให้สารสกัดใยอาหารจากสาหร่ายผักกาดทะเลมีสมบัติเชิงหน้าที่ที่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\leq 0.05$) (ตารางที่ 4) ซึ่งการสกัดที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส เวลา 3 ชั่วโมง ใยอาหารมีความสามารถในการอุ้มน้ำเฉลี่ยสูงที่สุดที่ 4.28 กรัมต่อ 100 กรัม ซึ่งหากใยอาหารมีองค์ประกอบของใยอาหารที่ละลายน้ำปริมาณมากจะส่งผลให้มีความสามารถในการอุ้มน้ำมาก (วิชฌณี และคณะ, 2559) ในขณะที่การสกัดที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส นาน 1 ชั่วโมง ใยอาหารมีความสามารถในการพองตัวเฉลี่ยสูงที่สุด

เท่ากับ 7.11 กรัมต่อ 100 กรัม ซึ่งสมบัติเชิงหน้าที่ของใยอาหารมีความสัมพันธ์กับโครงสร้างทางเคมีของพอลิแซ็กคาไรด์ในใยอาหาร ชนิดของใยอาหารที่อาจส่งผลต่อขนาดอนุภาค ประจุ pH ความแรงของประจุ (วันเพ็ญ, 2551) อีกทั้งความสามารถในการอุ้มน้ำ และความสามารถในการพองตัวของใยอาหารอาจขึ้นอยู่กับโครงสร้างของโปรตีน รวมถึงองค์ประกอบทางเคมีและกายภาพบางประการ เช่น โครงสร้าง ขนาดอนุภาค ความพรุน pH และอุณหภูมิ (Yaich *et al.*, 2011)

ตารางที่ 4 สมบัติเชิงหน้าที่ของใยอาหารจากสาหร่ายผักกาดทะเล

สถานะ อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	เวลา (ชั่วโมง)	ความสามารถในการ อุ้มน้ำ(WHC) (g/100g)	ความสามารถในการพองตัว (SWC) (g/100g)
80	1	3.69 ± 0.23 ^{ab}	3.59 ± 0.01 ^d
	2	2.48 ± 0.12 ^c	5.47 ± 0.37 ^{bc}
	3	4.28 ± 0.34 ^a	5.85 ± 1.28 ^{bc}
90	1	4.13 ± 0.69 ^a	7.11 ± 0.32 ^a
	2	3.34 ± 0.05 ^b	6.22 ± 0.37 ^{ab}
	3	2.27 ± 0.42 ^c	4.83 ± 0.32 ^{bc}

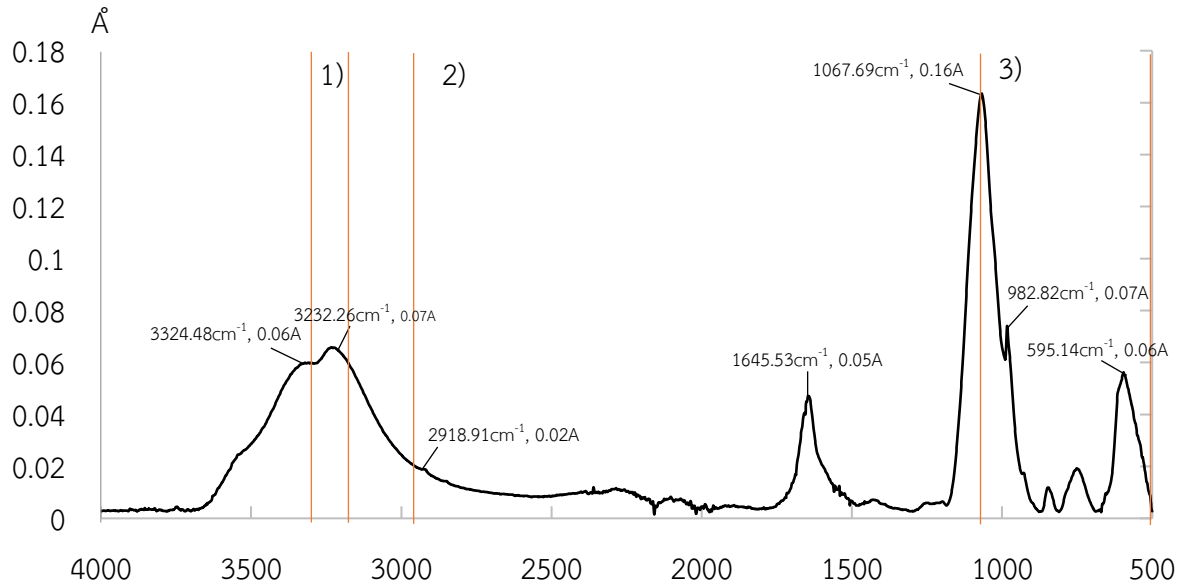
a, b, ... ตัวอักษรที่แตกต่างกันในแนวตั้งแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

2.3 ผลวิเคราะห์ปริมาณใยอาหาร และโครงสร้างของใยอาหารที่สกัดได้

จากผลการศึกษาสถานะที่ใช้ในการสกัดใยอาหารจากสาหร่ายผักกาดทะเล ข้อ 2.1 และ 2.2 พบว่า ใยอาหารที่สกัดได้มีลักษณะเป็นผงสีขาวครีม (ภาพที่ 6) ซึ่งการสกัดที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส เวลา 1 ชั่วโมง ให้ร้อยละผลผลิต 22.74±1.49 ปริมาณน้ำตาลทั้งหมดร้อยละ 46.47±1.42 (db) ปริมาณซัลเฟตร้อยละ 38.53±4.54 (db) และความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ 0.88 mg Ascorbic acid eq/g extract และมีความสามารถในการอุ้มน้ำ และความสามารถในการพองตัวสูง เมื่อนำมาวิเคราะห์ปริมาณใยอาหาร พบว่ามีปริมาณใยอาหารทั้งหมด เท่ากับ 38.62±6.68 กรัมต่อ 100 กรัม ใยอาหารที่ละลายน้ำ เท่ากับ 38.51±6.63 กรัมต่อ 100 กรัม และใยอาหารที่ไม่ละลายน้ำ 0.11±0.05 กรัมต่อ 100 กรัม และเมื่อประเมินองค์ประกอบของใยอาหารที่สกัดได้ ด้วยเทคนิค FTIR Spectroscopy สเปกตรัมนี้จะใช้ในการตรวจกลุ่มฟังก์ชัน (Functional group) โดยพบช่วงคลื่น 4,000-500 cm^{-1} ซึ่งเป็นช่วงคลื่นของใยอาหาร กลุ่มซัลเฟตพอลิแซ็กคาไรด์ โดยสเปกตรัมของใยอาหารที่สกัดได้ (ภาพที่ 7) แสดงค่าการดูดกลืนในช่วงทั้ง 3 ช่วง ได้แก่ 1) ช่วง 3,326-3,232 cm^{-1} แสดงให้เห็นว่ามีพันธะ O-H stretch และพีกต่ำในช่วง 2,918.91 cm^{-1} เป็นตำแหน่งของพันธะ C-H stretch ของ methyl group ที่บ่งถึงลักษณะเฉพาะของพอลิแซ็กคาไรด์ 2) ช่วง 2,918.91-1,067.69 cm^{-1} โดยพีกที่สูงที่สุด เท่ากับ 1,067.69 cm^{-1} เป็นตำแหน่งของ C-O stretch แสดงถึงกลุ่มน้ำตาลแรมโนส (Rhamnose) และ 3) ช่วง 1,159-625 cm^{-1} หมู่ของ S-O stretch ที่เป็นซัลเฟต เอสเทอร์ (Sulfate ester) ซึ่งสามารถระบุได้ว่าสารสกัดที่ได้เป็นสารประกอบในกลุ่มซัลเฟตพอลิแซ็กคาไรด์ ซึ่งงานวิจัยของ Figueira *et al.* (2020) ระบุว่า ช่วงดังกล่าวเป็นลักษณะเฉพาะของพอลิแซ็กคาไรด์ น้ำตาลแรมโนส ซัลเฟตเอสเทอร์ ที่รวมเป็นเป็นลักษณะเฉพาะของ Ulvan ที่ได้จากสาหร่ายผักกาดทะเล



ภาพที่ 6 โยอาหารที่สกัดจากสาหร่ายผักกาดทะเล ที่สภาวะ 90 องศาเซลเซียส นาน 1 ชั่วโมง



ภาพที่ 7 FTIR Spectrum ของโยอาหารที่สกัดจากสาหร่ายผักกาดทะเล

3. ผลการศึกษาการพัฒนาเยลลี่เสริมโยอาหารจากสาหร่ายผักกาดทะเล

นำโยอาหารที่สกัดด้วยอุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส เวลา 1 ชั่วโมง มาพัฒนาเยลลี่เสริมโยอาหาร โดยผลิตภัณฑ์เยลลี่นิยมใช้คาราจีแนนการเป็นสารที่ทำให้เกิดเจล จากสมบัติของคาราจีแนนซึ่งให้เจลที่นุ่มและยืดหยุ่น แต่เปราะ แตกง่าย และมีโอกาสเกิดการแยกตัวของน้ำ (Syneresis) ระหว่างการเก็บรักษา จึงใช้ผงบุกร่วมกับคาราจีแนน เพื่อให้เจลมีความแข็งแรงและยืดหยุ่นมากกว่าการใช้คาราจีแนนเพียงอย่างเดียว (สายสมร, 2547) และศึกษาการแปรอัตราส่วนของคาราจีแนนและผงบุก 3 ระดับ ได้แก่ สูตร A (90:10), สูตร B (70:30) และสูตร C (50:50) แสดงดังตารางที่ 1

3.1 ผลของคาราจีแนนและผงบุกจากสาหร่ายผักกาดทะเล

ลักษณะของเยลลี่ที่พัฒนาได้ทั้ง 3 สูตร มีสีเขียวใส เนื้อสัมผัสสูตร A ค่อนข้างละเอียดออกจากกันง่าย ความยืดหยุ่นน้อย ในขณะที่สูตร B และสูตร C มีความยืดหยุ่นมากกว่าเนื้อสัมผัส มีความหนึบไม่แตกออกจากกัน และมีความคงตัวมากกว่าสูตร A โดยทั้ง 3 สูตร มีค่า a_w 0.945-0.955 ความเป็นกรด-ด่าง 3.2-3.7 (ตารางที่ 5) ซึ่งตาม มอก.263-2521 เรื่องมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมเยลลี่ และมาร์มาเลด

ตารางที่ 5 ลักษณะทางกายภาพ ค่าความเป็นกรด-ด่าง และ aw ของเยลลี่เสริมโยอาหาร

	ลักษณะของเนื้อเยลลี่	pH	a _w
สูตร A		3.7	0.955
สูตร B		3.2	0.949
สูตร C		3.2	0.945

จากตารางที่ 6 เมื่อวิเคราะห์ลักษณะเนื้อสัมผัสของเยลลี่เสริมโยอาหาร ทั้ง 3 สูตร โดยแปรอัตราส่วนของคาราจีแนนกับผงบุก ได้แก่ 90:100 (สูตร A), 70:30 (สูตร B) และ 50:50 (สูตร C) ด้วยวิธี Texture Profile Analysis (TPA) ให้ค่าความแข็ง ค่าการยืดเกาะ ค่าความเหนียว และค่าแรงที่ใช้ในการเคี้ยว แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) จากการทดลองพบว่า ค่าความแข็งมีแนวโน้มลดลงเมื่ออัตราส่วนของผงบุกเพิ่มขึ้น เนื่องจากปริมาณของผงบุกที่มากขึ้นทำให้คาราจีแนน มีความอ่อนตัว และยืดหยุ่นเพิ่มขึ้นส่งผลให้ค่าความแข็งลดลง เยลลี่เสริมโยอาหาร สูตร A ซึ่งมีปริมาณอัตราส่วนของคาราจีแนนต่อ ผงบุก เท่ากับ 90:10 มีค่าความแข็ง ค่าการยืดติด ค่าความยืดหยุ่น ค่าความเหนียว และแรงที่ใช้ในการเคี้ยวสูงที่สุด อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ในขณะที่สูตร C ปริมาณของสัดส่วนคาราจีแนนต่อผงบุก เท่ากับ 50:50 มีค่าการยืดเกาะสูงที่สุด เมื่อเพิ่มปริมาณผงบุกมากขึ้น ทำให้คาราจีแนน มีความอ่อนตัว และยืดหยุ่นเพิ่มขึ้น ส่งผลให้ค่าความแข็งลดลง การใช้คาราจีแนนร่วมกับผงบุกช่วยให้เจลมีความแข็งแรงมากขึ้น (Tunieva *et al.*, 2021)

ตารางที่ 6 ลักษณะเนื้อสัมผัสของเยลลี่เสริมโยอาหารที่แปรอัตราส่วนของคาราจีแนนและผงบุก

ลักษณะเนื้อสัมผัส	สูตร A	สูตร B	สูตร C
ความแข็ง (กรัม)	787.35±47.07 ^a	380.12±18.66 ^b	220.55±13.19 ^c
ค่าการยืดติด	34.58±2.59 ^a	15.77±0.76 ^b	9.54±1.46 ^c
ค่าความยืดหยุ่น (วินาที)	0.76±0.01 ^a	0.72±0.01 ^b	0.72±0.01 ^b
ค่าการยืดเกาะ	0.41±0.03 ^b	0.41±0.02 ^b	0.43±0.02 ^a
ค่าความเหนียว (กรัม)	305.76±41.87 ^a	155.09±12.62 ^b	96.16±8.84 ^c
ค่าแรงที่ใช้ในการเคี้ยว (กรัม/วินาที)	233.14±29.53 ^a	112.13±8.76 ^b	69.50±6.60 ^c

a, b, ... ตัวอักษรที่แตกต่างกันในแนวนอนแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

3.2 ผลการทดสอบทางประสาทสัมผัสของเยลลี่เสริมใยอาหาร

นำเยลลี่เสริมใยอาหารจากสาหร่ายผักกาดทะเล ที่แปรรูปอัตราส่วนคาราจีแนนต่อผงบุกทั้ง 3 สูตร (ตารางที่ 7) มาประเมินทางประสาทสัมผัส โดยผู้ทดสอบจำนวน 50 คน ด้วยวิธีทดสอบความชอบแบบ Hedonic 9 point scale พบว่า มีคุณลักษณะด้านลักษณะปรากฏ และกลิ่นรสแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) แสดงให้เห็นว่าการแปรรูปอัตราส่วนผงบุกต่อคาราจีแนนไม่ส่งผลต่อลักษณะปรากฏ และกลิ่นรส แต่มีผลต่อเนื้อสัมผัส และความชอบโดยรวม โดยสูตร B ได้รับคะแนนความชอบด้านเนื้อสัมผัส ความชอบโดยรวมสูงที่สุดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\leq 0.05$) และมีลักษณะของเนื้อสัมผัสเยลลี่ที่ดี ดังนั้น สูตร B จึงเป็นสูตรที่เหมาะสมในการนำไปพัฒนาเป็นผลิตภัณฑ์ต้นแบบเพื่อการเผยแพร่แก่ผู้ประกอบการที่สนใจ

ตารางที่ 7 ผลการทดสอบทางประสาทสัมผัสของเยลลี่เสริมใยอาหาร

	สูตร A	สูตร B	สูตร C
ลักษณะปรากฏ ^{ns}	7.56±1.33	7.76±1.13	7.50±1.13
เนื้อสัมผัส	7.16±1.76 ^b	7.22±1.29 ^a	7.18±1.50 ^b
กลิ่นรส ^{ns}	7.76±0.92	7.86±1.16	7.56±1.05
ความชอบรวม	7.14±1.70 ^b	7.76±1.28 ^a	7.14±1.44 ^b

^{ns} แสดงถึงความแตกต่างอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$)

^{a, b} ตัวอักษรที่แตกต่างกันในแนวนอนแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\leq 0.05$)

3.3 ผลการวิเคราะห์คุณภาพทางโภชนาการเยลลี่เสริมใยอาหารจากสาหร่ายผักกาดทะเล

ผลการวิเคราะห์คุณค่าทางโภชนาการของเยลลี่เสริมใยอาหารจากสาหร่ายผักกาดทะเล สูตร B (ตารางที่ 8) พบว่า ในผลิตภัณฑ์ 100 กรัม ให้พลังงานทั้งหมด 153.60 กิโลแคลอรี มีปริมาณคาร์โบไฮเดรต 38.40 กรัม แบ่งเป็นใยอาหารทั้งหมด (Total dietary fiber) 33.60 กรัม ซึ่งเป็นใยอาหารที่ละลายน้ำได้ 33.34 กรัม และใยอาหารที่ไม่ละลายน้ำ 0.26 กรัม และน้ำตาล 4.80 กรัม และมีแคลเซียม 28.26 กรัม ทำให้สามารถกล่าวอ้างทางโภชนาการในส่วนของการเสริมใยอาหาร (Enriched fiber) ได้ว่าเป็นผลิตภัณฑ์มีใยอาหารสูง (High fiber) โดยมีใยอาหารทั้งหมด คิดเป็นร้อยละ 32 ของ Thai RDI ต่อหนึ่งหน่วยบริโภคที่ 25 กรัม โดยอ้างอิงตามประกาศกระทรวงสาธารณสุขฉบับที่ 182 พ.ศ. 2541 เรื่องฉลากโภชนาการ โดยสามารถแสดงฉลาก GDA และฉลากโภชนาการได้ดังภาพที่ 8 และ 9 ตามลำดับ

ตารางที่ 8 คุณค่าทางโภชนาการของเยลลี่เสริมใยอาหารจากสาหร่ายผักกาดทะเล

รายการทดสอบ	คุณค่าทางอาหารของ เยลลี่เสริมใยอาหารจากสาหร่ายผักกาดทะเล (ต่อ 100 กรัม)
พลังงานทั้งหมด (กิโลแคลอรี)	153.60
พลังงานจากไขมัน (กิโลแคลอรี)	0.00
ไขมันทั้งหมด (กรัม)	น้อยกว่า 0.01
ไขมันอิ่มตัว (กรัม)	ไม่พบ
โคเลสเตอรอล (มิลลิกรัม)	ไม่พบ
โปรตีน (กรัม)	น้อยกว่า 0.01
คาร์โบไฮเดรต (กรัม)	38.40
ใยอาหารทั้งหมด (กรัม)	33.60
- ใยอาหารที่ละลายน้ำ	33.34
- ใยอาหารที่ไม่ละลายน้ำ	0.26
น้ำตาล (กรัม)	4.80
โซเดียม (มิลลิกรัม)	35.23
วิตามินเอ (ไมโครกรัม)	ไม่พบ
วิตามินบี 1 (มิลลิกรัม)	น้อยกว่า 0.03
วิตามินบี 2 (มิลลิกรัม)	ไม่พบ
แคลเซียม (มิลลิกรัม)	28.26
เหล็ก (มิลลิกรัม)	0.15
ถั่ว (กรัม)	0.55
ความชื้น (กรัม)	61.05

หมายเหตุ ผลการทดสอบจากห้องปฏิบัติการกลาง (ประเทศไทย) จำกัด กรุงเทพมหานคร

พลังงาน	น้ำตาล	ไขมัน	โซเดียม
25 กิโลแคลอรี	1 กรัม	0 กรัม	10 มิลลิกรัม
*1%	*2%	*0%	*0%

*คิดเป็นร้อยละของปริมาณสูงสุดที่บริโภคได้ต่อวัน

ภาพที่ 8 ฉลาก GDA ของผลิตภัณฑ์เยลลี่เสริมใยอาหารจากสาหร่ายผักกาดทะเล

ข้อมูลโภชนาการ	
กินได้ 1 ครั้ง ต่อ ชอง	
คุณค่าทางโภชนาการต่อการกินหนึ่งครั้ง: 1 ชอง (25 กรัม) พลังงาน 25 กิโลแคลอรี	
ร้อยละของค่าอ้างอิงต่อวัน*	
ไขมันทั้งหมด 0 ก.	0 %
ไขมันอิ่มตัว 0 ก.	0 %
คอเลสเตอรอล 0 มก.	0 %
โปรตีน 0 ก.	
คาร์โบไฮเดรตทั้งหมด 10 ก.	3 %
น้ำตาลทั้งหมด 1 ก.	
ใยอาหาร 8 ก.	32 %
ใยอาหารที่ละลายน้ำได้ 8 ก.	
โซเดียม 10 มก.	0 %
โพแทสเซียม 30 มก.	1 %
*ร้อยละของค่าอ้างอิงสารอาหารต่อวันสำหรับคนไทย จากความต้องการพลังงานวันละ 2,000 กิโลแคลอรี	

ภาพที่ 9 ฉลากโภชนาการของผลิตภัณฑ์เยลลี่เสริมใยอาหารจากสาหร่ายผักกาดทะเล

3.4 การผลิตเยลลี่เสริมใยอาหารต้นแบบพร้อมบรรจุภัณฑ์และคำนวณต้นทุน

ต้นทุนสาหร่ายผักกาดทะเลอบแห้ง 100 กรัม ราคา 250 บาท เมื่อนำมาสกัดใยอาหาร จะได้ร้อยละผลผลิตของใยอาหาร เท่ากับ 20 ดังนั้น การเตรียมใยอาหารจากสาหร่ายผักกาดทะเล 1 กรัม ต้นทุนเท่ากับ 12.5 บาท

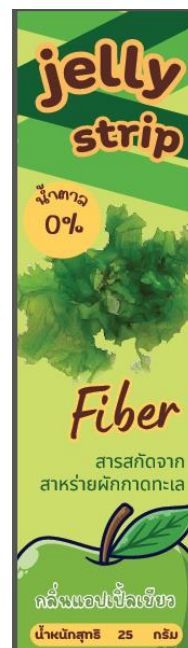
ต้นทุนการเยลลี่เสริมใยอาหารจากสาหร่ายผักกาดทะเล สูตรเยลลี่เสริมใยอาหารจากสาหร่ายผักกาดทะเล สูตร B ประกอบด้วย น้ำผลไม้แอปเปิ้ลเขียวร้อยละ 15 ซอร์บิทอลร้อยละ 9 คาราจีแนนร้อยละ 0.7 ผงบุกร้อยละ 0.3 น้ำร้อยละ 65.6 ใยอาหารจากสาหร่ายผักกาดทะเลร้อยละ 1 พอลิเด็กซ์โทสร้อยละ 8.3 และกรดซิตริกร้อยละ 0.1 (เฉพาะค่าวัตถุดิบ) รวมต้นทุนในการผลิตเยลลี่เสริมใยอาหารจากสาหร่ายผักกาดทะเล 1 สูตร ได้ผลิตภัณฑ์เยลลี่ 100 กรัม มีต้นทุน 23.98 บาท (ตารางที่ 9) สามารถบรรจุได้จำนวน 3 ถูง ถูงละปริมาณ 25 กรัม เพราะฉะนั้นต้นทุนวัตถุดิบต่อถูงโดยประมาณ เท่ากับ 6 บาท โดยบรรจุในถูงอะลูมิเนียมฟอยด์ขนาด 3×15 เซนติเมตร (ภาพที่ 10) ราคาถูงละ 0.9 บาท เมื่อกำนวณราคาต้นทุนวัตถุดิบและบรรจุภัณฑ์ ต้นทุนของผลิตภัณฑ์เยลลี่เสริมใยอาหารจากสาหร่ายผักกาดทะเลมีราคา 7.99 บาทต่อถูง

ตารางที่ 9 ต้นทุนวัตถุดิบโดยประมาณของผลิตภัณฑ์เจลลี่เสริมใยอาหารจากสาหร่ายผักกาดทะเลต่อการผลิตครั้งละ 100 กรัม

รายการ	ราคาซื้อ (บาท)	น้ำหนัก (กรัม)	ราคาซื้อ/ หน่วย	สูตรการผลิต (กรัม)	ต้นทุน (บาท)
น้ำผลไม้เข้มข้น	78.00	760	0.10	15.00	1.54
ซอร์บิทอล	82.00	1,000	0.08	9.00	0.74
คาราจีแนน	120.00	100	1.20	0.70	0.84
ผงบุก	90.00	100	0.90	0.30	0.27
น้ำ	10.00	1,000	0.01	65.60	0.66
ใยอาหารจากสาหร่ายผักกาดทะเล	12.50	1	12.50	1.00	12.50
พอลิเด็กซ์โทส	89.00	100	0.89	8.30	7.39
กรดซิตริก	45.00	100	0.45	0.10	0.05
รวมต้นทุนวัตถุดิบ				100.00	23.98



ซองขนาด 3.5×15 เซนติเมตร



ตัวอย่างซองด้านหน้า



ตัวอย่างซองด้านหลัง

ภาพที่ 10 ตัวอย่างบรรจุภัณฑ์ผลิตภัณฑ์เจลลี่เสริมใยอาหารกลืนแอปเปิ้ลเขียว

สรุปผลการทดลอง

1. สาหร่ายผักกาดทะเล อายุ 12 สัปดาห์ที่ได้จากการเพาะเลี้ยง ประกอบด้วยโปรตีน เส้นใยหยาบ และเถ้า เท่ากับร้อยละ 24.07, 6.02 และ 11.89 โดยน้ำหนักแห้งตามลำดับ
2. การสกัดใยอาหารจากสาหร่ายผักกาดทะเลที่เหมาะสม คือการสกัดที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส เวลา 1 ชั่วโมง ให้ร้อยละผลผลิต 22.74 ปริมาณน้ำตาลทั้งหมดร้อยละ 46.47 (db) ปริมาณซัลเฟตร้อยละ 38.53 (db) ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระสูงที่สุด เท่ากับ 0.88 mg eq Ascorbic acid/g extract มีความสามารถในการอุ้มน้ำ และความสามารถในการพองตัวสูงที่สุด
3. การแปรอัตราส่วนของผงบุกกับการเจี๊ยน ส่งผลลักษณะเนื้อสัมผัสของเยลลี่เสริมใยอาหาร โดยสูตร B มีสัดส่วนผงบุกต่อคาราจีแนน เท่ากับ 70:30 มีค่าความแข็ง ค่าการยึดติด ค่าความยืดหยุ่น ค่าความเหนียว และแรงที่ใช้ในการเคี้ยวแตกต่างจากสูตร A และ C อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)
4. ผลการทดสอบทางประสาทสัมผัส โดยผู้ทดสอบจำนวน 50 คน ด้วยวิธีทดสอบความชอบ แบบ 9-Point Hedonic scale โดยสูตร B ซึ่งมีสัดส่วนผงบุกต่อคาราจีแนน เท่ากับ 30:70 ได้รับคะแนนความชอบด้านเนื้อสัมผัส และความชอบโดยรวมสูงที่สุดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)
5. เยลลี่เสริมใยอาหารจากสาหร่ายผักกาดทะเล สูตร B มีใยอาหารทั้งหมด 8 กรัม คิดเป็นร้อยละ 32 ของ Thai RDI ต่อหนึ่งหน่วยบริโภคที่ 25 กรัม ให้พลังงาน 25 กิโลแคลอรี มีราคาต้นทุนวัตถุดิบและบรรจุภัณฑ์ ประมาณถูกละ 7.99 บาท

เอกสารอ้างอิง

- กระทรวงสาธารณสุข. 2541. ประกาศสำนักงานคณะกรรมการอาหารและยา เรื่อง คำชี้แจงประกาศ กระทรวงสาธารณสุข (ฉบับที่ 182) เรื่องฉลากโภชนาการ. 23 พฤษภาคม 2559.
- จุฑามาศ พิรพัชระ, ชนิดา ประจักษ์จิตร, ศทิญญาธิ์ สุชาเจริญสุข และ ผุสดี สุชาเจริญสุข. 2554. ความรู้เรื่องเยลลี่. งานเทคโนโลยีและนวัตกรรมของไทย ปี 2554. [online]. แหล่งที่มา: <http://www.clinictech.most.go.th/online.techlist.attachFile/20122141354261.pdf>. เข้าถึงเมื่อ 15 กุมภาพันธ์ 2567.
- จิรนนท์ กล่อมมรา แก้วรักษา และ พัชรี หล่งหม่าน. 2561. การพัฒนาสูตรจากเยลลี่ลองกองลูกร่วง. วารสาร วิทยาศาสตร์บูรพา 23 (2): 767-778.
- ชิดชนก เอมอมร และ ธนัยชนก จรเสมอ. 2554. การใช้ประโยชน์จากแกนสับปะรดและชาหญ้าในผลิตภัณฑ์เยลลี่พร้อมดื่ม. โครงการพิเศษวิทยาศาสตร์บัณฑิต, มหาวิทยาลัยราชภัฏวชิรเวศน์นครราชสีมา. 86 หน้า.
- ภคารัตน์ จาวจันศิริ. 2562. การพัฒนาผลิตภัณฑ์เยลลี่เคลือบจากไซเดอร์มะเขือเทศ. สารนิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต, มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์. 120 หน้า.
- ณัชชากร วรสาร, นภักดิ์ ใจภักดี และ เอกพล ลิมพะงา. 2560. การเตรียมและการประเมินผลิตภัณฑ์กัมมี่เยลลี่ที่มีส่วนผสมของกลูโคแมนแนน. ใน: การประชุมวิชาการเสนอผลงานวิจัยบัณฑิตศึกษาระดับชาติและนานาชาติ 2560. ณ อาคารพจน์ สารสิน, มหาวิทยาลัยขอนแก่น, 932-939.
- วันเพ็ญ แสงทองพินิจ. 2551. การผลิตและสมบัติของโยอาหารจากเปลือกส้มโอเพื่อนำมาใช้ในผลิตภัณฑ์อาหาร. ใน: The 1st NPRU Academic Conference 2008. มหาวิทยาลัยราชภัฏนครปฐม, นครปฐม, 1-12.
- วิมณีย์ ยืนยงพุทธการ, สันทัด วิเชียรโชติ และ อุดมลักษณ์ สุขอิตตะ. 2559. การเพิ่มมูลค่าจากสมุนไพรไทยบางชนิดที่เป็นส่วนเหลือทิ้งจากกระบวนการสกัดโดยใช้เป็นส่วนประกอบของอาหารเพื่อสุขภาพ. รายงานฉบับสมบูรณ์ มหาวิทยาลัยบูรพา. 139 หน้า.
- วิมณีย์ ยืนยงพุทธการ, สันทัด วิเชียรโชติ, วัชรีย์ บุญถนอม และ สุรางค์ ทองสุวรรณ. 2561. ผลของสภาวะการสกัดต่อคุณภาพของเส้นโยอาหารผงจากกากมะตูม. วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี 20 (3): 110-123.
- วิภาวรรณ นิละพงษ์, บุษบา ผลโยธิน และ วันแข็ง สิทธิกิจโยธิน. 2562. การสกัดสารสำคัญจากสมุนไพรไทย: แบบผงแห้งและแบบสกัด. วารสารวิชาการพระจอมเกล้าพระนครเหนือ. 29 (1): 157-166.
- สายสมร พูลพันธ์. 2547. ผลของสารที่ทำให้เกิดเจลต่อคุณลักษณะของผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มเยลลี่รสผลไม้รสตรอเบอร์รี่. สารนิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต มหาวิทยาลัยศิลปากร. 97 หน้า.

- สุวรรณ วรสิงห์, ธวัช ศรีวีระชัย, อรุณ ศรีอนันต์ และ ภาคภูมิ วงศ์แข็ง. 2552. สันฐานวิทยาการเลี้ยงและการนำมาใช้ประโยชน์ของสาหร่ายผักกาดทะเล *Ulva rigida* C. Agardh, 1823. เอกสารเผยแพร่ฉบับที่ 1/2552. สำนักวิจัยและพัฒนาประมงชายฝั่ง กรมประมง กระทรวงเกษตรและสหกรณ์.
- ศูนย์วิจัยและพัฒนาการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำชายฝั่งเพชรบุรี. 2566. คู่มือการเพาะเลี้ยงสาหร่ายผักกาดทะเลเชิงพาณิชย์. กองวิจัยและพัฒนาการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำชายฝั่ง กรมประมง. 36 หน้า.
- อรณิชา โหรวชิต. 2563. สารสกัดพอลิแซ็กคาไรด์จากสาหร่ายพวงองุ่น (*Caulerpa lentillifera*) เกรดรองและสมบัติการเป็นพรีไบโอติกในระบบจำลองลำไส้ของมนุษย์. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. 181 หน้า.
- เอนก โสภณ, สมภพ รุ่งสุภา และ คมกริช เอี่ยมละออ. 2558. การเพิ่มผลผลิตสาหร่ายผักกาดทะเล (*Ulva rigida*) ในระบบการเลี้ยงด้วยระบบ Nutrient Film Technique (NFT). วารสารวิจัยและเทคโนโลยีการประมง. 9 (2): 54-61.
- Association of Official Analytical Chemists (AOAC). 2023a. Loss on Drying (Moisture) in Meat. Official Methods 950.46. 22nd Edition.
- Association of Official Analytical Chemists (AOAC). 2023b. Fiber (Crude) in Animal Feed and Pet Food: Fritted Glass Crucible Method. Official Methods 978.10. 22nd Edition.
- Association of Official Analytical Chemists (AOAC). 2023c. Water Activity of Canned Vegetables. Official Methods 978.18. 22nd Edition.
- Chi Y., Li Yinping, Z. Gaoli, G. Yaqi., Ye. Han, G. Jian and W. Peng. 2018. Effect of Extraction Techniques on Properties of Polysaccharides from *Enteromorpha prolifera* and their Applicability in Iron Chelation. *Carbohydr. Polym.* 181: 616-623.
- Cindana Mo'o, F. R., G. Wilar, H. P. Devkota and N. Wathoni. 2020. Ulvan, a Polysaccharide from Macroalga *Ulva* sp.: A Review of Chemistry, Biological Activities and Potential for Food and Biomedical Applications. *Appl. Sci.* 10: 5488.
- Cui, S. W., Y. Wu and H. Ding. 2013. The Range of Dietary Fibre Ingredients and a Comparison of their Technical Functionality. *Fibre-Rich and Wholegrain Foods*: 96-119.
- Cunha, L. and A. Grenha. 2016. Sulfated Seaweed Polysaccharides as Multifunctional Materials in Drug Delivery Applications. *Mar Drugs*. 14 (3): 42.
- Dubois, M., K. Gilles, J. Hamilton, P. A. Rebers and F. Smith. 1956. Colorimetric Method for Determination of Sugars and Related Substances. *Anal. Chem.* 28 (3): 350-356.

- Figueira, T. A., A. J. R. Silva, A. Enrich-Prast, Y. Yoneshigue-Valentin and V. P. Oliveira. 2020. Structural Characterization of Ulvan Polysaccharide from Cultivated and Collected *Ulva fasciata* (Chlorophyta). *Adv. Biosci. Biotechnol.* 11 (5): 206-216.
- Flórez-Fernández, N., A. Rodríguez-Coello, T. Latire, N. Bourgougnon, M. D. Torres, M. Buján, A. Muíños, A. Muiños, R. Meijide-Fáilde, F. J. Blanco, C. Vaamonde-García and H. Domínguez. 2023. Anti-Inflammatory Potential of Ulvan. *Int. J. Biol. Macromol.* 253 (4): 126936.
- Gomaa, M., A. A. Al-Badaani, A. F. Hifney and S. Adam Mahmoud. 2022. Utilization of Cellulose and Ulvan from the Green Seaweed *Ulva Lactuca* in the Development of Composite Edible Films with Natural Antioxidant Properties. *J. Appl. Phycol.* 34: 2615–2626.
- Hung, Y. HR., G. W. Chen, C. L. Pan and H. TV. Lin. 2021. Production of Ulvan Oligosaccharides with Antioxidant and Angiotensin-Converting Enzyme-Inhibitory Activities by Microbial Enzymatic Hydrolysis. *Fermentation.* 7 (3): 160.
- International Organization for Standardization (ISO) 936. 1998. Meat and Meat Products Determination of Total Ash. Available source: <http://cdn.standards.iteh.ai/samples/24783/f803ffa6cd674bb4b2967a9a63c1cf7a/ISO-936-1998.pdf>.
- International Organization for Standardization (ISO) 937. 1978. Meat and Meat Products Determination of Nitrogen Content (Reference Method). Available source: <http://cdn.standards.iteh.ai/samples/5356/d2520e7bbe744c5d91cf2a3ae3b00e20/ISO-937-1978.pdf>.
- Kadam, S. U., C. Alvarez, B. K. Tiwari and C. P. O'Donnell. 2015. Processing of seaweed. *Seaweed Sustainability* 4: 61-78.
- Kidgell, Joel T., M. Magnusson, R. Nys and C. R. K. Glasson. 2019. Ulvan: A systematic review of extraction, composition and function. *Algal Res.* 39 : 101422.
- Kim, S.K., R. Pangestuti and P. Rahmadi. 2011. Sea Lettuces: Culinary Uses and Nutritional Value. *Adv. Food Nutr. Res.* 64: 57-70.
- Mahadevan, K. 2015. Chapter 13 Seaweeds: A Sustainable Food Source. *Seaweed Sustainable.* 347-364.
- Maphosa, Y. and V. A. Jideani. 2016. Dietary Fiber Extraction for Human Nutrition—A Review. *Food Rev. Int.* 32 (1): 98-115.

- Morelli, A., A. Massironi, D. Puppi, D. Creti, D. Martinez, E., Bonistalli, C. Fabroni, F. Morgenni and F. Chiellini. 2019. Development of Ulvan-based Emulsions Containing Flavour and Fragrances for Food and Cosmetic Applications. *Flavour Fragr. J.* :1-15.
- Neto, R. T., C. Marçal, A. S. Queirós, H. Abreu, A. M. S. Silva and S. M. Cardoso. 2018. Screening of *Ulva rigida*, *Gracilaria* sp., *Fucus vesiculosus* and *Saccharina latissimi* as Functional Ingredients. *Int. J. Mol. Sci.* 19: 2987.
- Rahimi, F., M. Tabarsa and M. Rezaei. 2016. Ulvan from Green Algae *Ulva intestinalis*: Optimization of Ultrasound-assisted Extraction and Antioxidant Activity. *J. Appl. Phycol.* 28: 2979-2990.
- Robic, A., J. -F. Sassi and M. Lahaye. 2008. Impact of Stabilization Treatments of the Green Seaweed *Ulva rotundata* (Chlorophyta) on the Extraction Yield, the Physico-chemical and Rheological Properties of Ulvan. *Carbohydr. Polym.* 74. 344-352.
- Shalaby, S. and A. Hadear. 2019. Potential Using of Ulvan Polysaccharide from *Ulva lactuca* as a Prebiotic in Synbiotic Yogurt Production. *J. Prob Health.* 7 (1): 208.
- Silva, J., N. Dantas-Santos, D. Gomes, L. Costa, S. Cordeiro, M. Costa, N. Silva, M. Freitas, K. Scortecchi, E. Leite and H. Rocha. 2012. Biological Activities of the Sulfated Polysaccharide from the Vascular Plant *Halodule wrightii*. *Rev. Bras. Farmacogn.* 22: 94-101.
- Statha, D., A. Papaioannou, S. Kikionis, M. Kostaki, I. Sfiniadakis, A. Vitsos, J. Anastassopoulou, E. Ioannou, V. Roussis and M. C. Rallis. 2024. Healing Potential of the Marine Polysaccharides Carrageenan and Ulvan on Second-Degree Burns. *J. Funct. Biomater.* 15: 257.
- Torres, P. B., A. Nagai, C. E. P. Jara, J. P. Santos, F. Chow and D. Y. A. C. D. Santos. 2021. Determination of Sulfate in Algal Polysaccharide Samples: A Step-by-step Protocol Using Microplate Reader. *Ocean Coast. Res.* 69: 1-4.
- Tran, V. H. N., M. D. Mikkelsen, H. B. Truong, H. N. M. Vo, T. D. Pham, H. T. T. Cao, T. T. Nguyen, A. S. Meyer, T. T. T. Thanh and T. T. T. Van. 2023. Structural Characterization and Cytotoxic Activity Evaluation of Ulvan Polysaccharides Extracted from the Green Algae *Ulva papenfussii*. *Mar. Drugs.* 21 (11): 556.
- Tunieva E. K., K. I. Spiridonov and V. V. Nasonova. 2021. A Study on the Synergetic Interaction of Kappa-carrageenan with Konjac gum. *Earth and Environ. Sci.* 640.

- Yaich, H., H. Garna, S. Besbes, M. Paquot, C. Blecker and H. Attia. 2011. Chemical Composition and Functional Properties of *Ulva lactuca* Seaweed Collected in Tunisia. *Food Chem.* 128 (4): 895-901.
- Yaich, H., H. Garna, S. Besbes, M. Paquot, C. Blecker and H. Attia. 2013. Effect of Extraction Conditions on the Yield and Purity of Ulvan Extracted from *Ulva lactuca*. *Food Hydrocoll.* 31 (2): 375-382.
- Yuan, Y. and D. Macquarrie. 2015. Microwave Assisted Extraction of Sulfated Polysaccharides (fucoidan) from *Ascophyllum nodosum* and Its Antioxidant Activity. *Carbohydr Polym.* 129: 101-107.

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก วิเคราะห์หาปริมาณน้ำตาลทั้งหมด วิธี Phenol sulfuric colorimetric (Dubois *et al.*, 1956)

สารเคมี

1. กรดซัลฟูริก (H_2SO_4) ความเข้มข้นร้อยละ 95
2. สารละลายฟีนอล (Phenol) ความเข้มข้นร้อยละ 5 เตรียมโดยละลายฟีนอล 5 กรัม ในน้ำกลั่น 50 มิลลิลิตร แล้วปรับปริมาตรให้ได้ 100 มิลลิลิตร
3. สารละลายกลูโคส ($\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$) ความเข้มข้น 1 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร เตรียมโดยละลายกลูโคส 0.1 กรัม ในน้ำกลั่น 50 มิลลิลิตร แล้วปรับปริมาตรให้ได้ 100 มิลลิลิตร

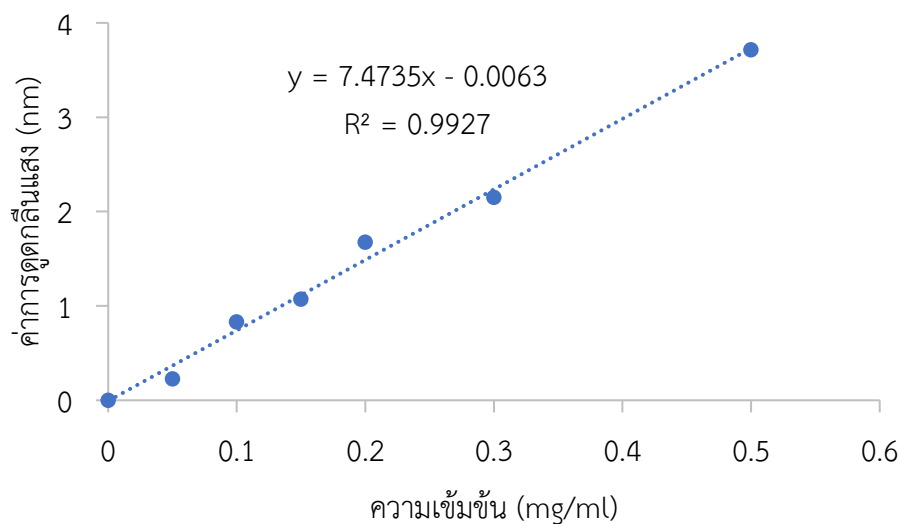
Standard curve

การเตรียมสารละลายมาตรฐานกลูโคสที่ความเข้มข้นระดับต่าง ๆ

ความเข้มข้นสารละลาย มาตรฐานกลูโคส (มิลลิกรัมต่อ มิลลิลิตร)	ปริมาณสารละลายกลูโคสความ เข้มข้น 1 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร (มิลลิลิตร)	ปริมาตรน้ำกลั่น (มิลลิลิตร)
0	0	10
0.2	2	8
0.4	4	6
0.6	6	4
0.8	8	2
1	10	0

วิธีการ

1. เตรียมสารละลายมาตรฐานกลูโคส โดยนำสารละลายกลูโคสความเข้มข้น 1 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร เจือจางให้ได้ความเข้มข้น 0-1 ไมโครลิตรต่อกรัม
2. ปิเปตสารละลายมาตรฐานกลูโคส 1 มิลลิลิตร ลงในขวดสีชา
3. เติมสารละลายฟีนอล (ร้อยละ 5) ลงไป 1 มิลลิลิตร
4. เติมกรดซัลฟูริก ความเข้มข้นร้อยละ 95 ลงไป 5 มิลลิลิตร ทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้องประมาณ 30 นาที
5. นำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ 490 nm ด้วยเครื่อง Spectrophotometer
6. ค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายมาตรฐานกลูโคสที่ความเข้มข้นระดับต่าง ๆ



กราฟมาตรฐานเพื่อใช้เปรียบเทียบหาความเข้มข้นของน้ำตาล

วิธีการคำนวณดังสมการตามลำดับ

ความเข้มข้นของน้ำตาล (mg/ml)

$$= \left(\frac{\text{ค่าการดูดกลืนแสงของตัวอย่าง} - \text{ค่าการดูดกลืนแสงของสารละลาย blank}}{\text{ความชันของกราฟสารละลายมาตรฐาน}} \right) \times \text{ค่าแฟคเตอร์ของการเจือจาง}$$

$$\text{ปริมาณน้ำตาลทั้งหมด (\%db)} = \frac{\text{ความเข้มข้นของน้ำตาล}}{\text{น้ำหนักสารสกัด (mg)}} \times 100$$

ภาคผนวก ข วิเคราะห์ปริมาณซัลเฟต (Standard curve)

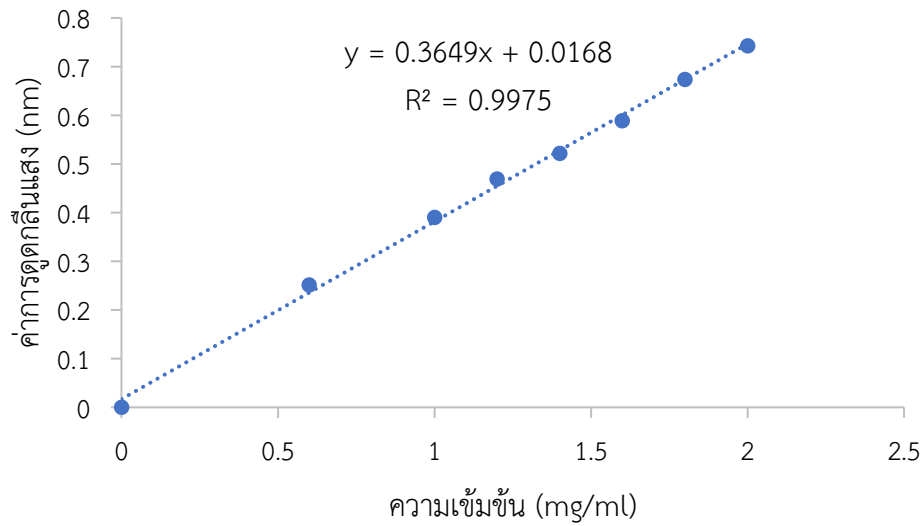
1. การเตรียม BaCl_2 gelatin เก็บที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส ข้ามคืนก่อนนำมาใช้
ละลายเจลาติน 2 กรัม กับน้ำกลั่น 400 มิลลิลิตร ที่อุณหภูมิ 60-70 องศาเซลเซียส นาน 10 นาที
เก็บที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 6 ชั่วโมง หลังจากนั้นเติม BaCl_2 2 กรัม และตั้งไว้ที่อุณหภูมิห้อง
เป็นเวลา 2-3 ชั่วโมงก่อนนำไปใช้
2. เตรียมสารละลายกรดไตรคลอโรอะเซติก (Trichloroacetic Acid) ความเข้มข้นร้อยละ 3 (w/v)
3. สารละลายกรดไฮโดรคลอริก ความเข้มข้น 1 โมลาร์ ปริมาตร 250 มิลลิลิตร โดยเติมกรดไฮโดรคลอริก
เข้มข้น 20 มิลลิลิตร ลงในขวดวัดปริมาตรขนาด 250 มิลลิลิตร ที่มีน้ำกลั่นอยู่ในขวดแล้วครึ่งขวด จากนั้นปรับ
ปริมาตรด้วยน้ำกลั่น
4. เตรียมสารละลายซัลเฟตความเข้มข้น 2 mg/ml
- ชั่งโซเดียมซัลเฟต 0.2 กรัม ละลายใน 1M HCL 50 มิลลิลิตร เทลงใน volume flask ปรับปริมาตร
เป็น 100 มิลลิลิตร

Standard curve

การเตรียมสารละลายมาตรฐานซัลเฟตที่ความเข้มข้นระดับต่าง ๆ

ความเข้มข้น สล.มาตรฐาน	ปริมาณซัลเฟต 2 mg/ml (ml)	ปริมาณ HCL (ml)
0	0	10
0.2	1	9
0.6	3	7
1	5	5
1.2	6	4
1.4	7	3
1.6	8	2
1.8	9	1
2	10	0

5. ปิเปตสารละลายที่ความเข้มข้น 0-2 mg/ml ปริมาตร 0.2 มิลลิลิตร
6. เติม ร้อยละ 3 TCA ปริมาตร 3.8 มิลลิลิตร
7. เขย่าให้เข้ากัน และเติม BaCl_2 gelatin ปริมาตร 1 มิลลิลิตร
8. ตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 15-20 นาที
9. วัดค่าการดูดกลืนแสงที่ 360 nm ด้วยเครื่อง Spectrophotometer นำค่าการดูดกลืนแสงเทียบกับ
กับกราฟมาตรฐาน โซเดียมซัลเฟต (Sodium sulfated)



กราฟมาตรฐานเพื่อใช้เปรียบเทียบหาความเข้มข้นของซัลเฟต

วิธีการคำนวณดังสมการตามลำดับ

ความเข้มข้นของซัลเฟต (mg/ml)

$$= \left(\frac{\text{ค่าการดูดกลืนแสงของตัวอย่าง} - \text{ค่าการดูดกลืนแสงของสารละลาย blank}}{\text{ความชันของกราฟสารละลายมาตรฐาน}} \right) \times \text{ค่าแฟกเตอร์ของการเจือจาง}$$

$$\text{ปริมาณซัลเฟตทั้งหมด (\%db)} = \frac{\text{ความเข้มข้นของซัลเฟต}}{\text{น้ำหนักสารสกัด (mg)}} \times 100$$

ภาคผนวก ค การวิเคราะห์สมบัติการต้านอนุมูลอิสระ (Hung *et al.*, 2021)

สารเคมี 1.ดีฟิฟิเอซ (2-diphenyl-1picrylhydrazyl: $C_{18}H_{12}N_5O_6$) 90% บริษัท Sigma ประเทศเยอรมัน

2.เอทานอล (Ethanol: CH_3CH_2OH) บริษัท Labscan ประเทศไทย

การสร้างกราฟมาตรฐานโดยใช้สารละลายมาตรฐาน ascorbic acid

1. เตรียมสารละลายมาตรฐาน ascorbic acid ความเข้มข้น 1,000 มิลลิกรัมต่อลิตร โดยชั่ง ascorbic acid 0.025 กรัม ละลายด้วยน้ำกลั่นแล้วปรับปริมาตรเป็น 25 มิลลิลิตร ในขวดวัดปริมาตรเก็บไว้เป็น Stock standard solution

2. สารละลายมาตรฐาน ascorbic acid (Stock standard solution) เพื่อเตรียมสารละลายมาตรฐานให้ได้ความเข้มข้น 0, 5, 10, 20, 30, 40, 50 และ 100 มิลลิกรัมต่อลิตร เตรียมสารละลายมาตรฐานลงในขวดวัดปริมาตร 10 มิลลิลิตร จะได้สารละลายมาตรฐาน ascorbic acid ที่ใช้ในการสร้างกราฟมาตรฐาน

3. เตรียมสารละลาย DPPH ความเข้มข้น 0.2 mM โดยชั่ง DPPH 0.0078 กรัม ละลายด้วยเอทานอล ร้อยละ 99 แล้วปรับปริมาตรเป็น 100 มิลลิลิตร

4. ปิเปตสารละลายมาตรฐาน ascorbic acid แต่ละความเข้มข้นจำนวน 2 มิลลิลิตร แล้วเติมสารละลาย DPPH ที่มีความเข้มข้น 0.2 mM ปริมาตร 2 มิลลิลิตร

5. เขย่าให้เข้ากันแล้วนำไปตั้งไว้ในที่มืดนาน 30 นาที

6. นำไปวัดการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 517 นาโนเมตร ด้วยเครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์

7. สร้างกราฟมาตรฐานระหว่างความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐาน ascorbic acid กับค่าการดูดกลืนแสง โดยการเตรียมสารละลายมาตรฐาน ascorbic acid ที่ความเข้มข้นระดับต่าง ๆ

ความเข้มข้นสารละลาย ascorbic acid (มิลลิกรัมต่อลิตร)	ปริมาณสารละลาย ascorbic acid (มิลลิลิตร)	ปริมาตรน้ำกลั่น (มิลลิลิตร)
0	0	10
5	0.05	9.95
10	0.1	9.9
20	0.2	9.8
30	0.3	9.7
40	0.4	9.6
50	0.5	9.5
100	1	9

การวิเคราะห์หาฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระโดยวิธี DPPH radical scavenging activity

1. เตรียมสารสกัดใยอาหาร (ความเข้มข้น 1 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร) ตัวอย่างสารสกัดใยอาหาร 0.003 กรัม เติมนิโธล 3 มิลลิลิตร ปิดตัวอย่างสารสกัดมา 2 มิลลิลิตร แล้วเติมนิโธลละลาย DPPH ที่มีความเข้มข้น 0.2 มิลลิโมลาร์ ปริมาตร 2 มิลลิลิตร

2. เขย่าให้เข้ากันและตั้งทิ้งไว้ในที่มืดประมาณ 30 นาที สำหรับตัวอย่าง blank โดยทำเช่นเดียวกันแต่ใช้น้ำกลั่น แทนสารละลายตัวอย่าง

3. นำหลอดทดลองที่เป็นสารละลายตัวอย่างและ blank ไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 517 นาโนเมตร ด้วยเครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ ทำการทดลอง 3 ซ้ำ

4. นำผลที่ได้ไปเปรียบเทียบกับกราฟมาตรฐาน Ascorbic acid รายงานผลเป็นสมบัตการต้านอนุมูลอิสระ DPPH แล้วคำนวณ %Radical Scavenging (เปอร์เซ็นต์การต้านอนุมูลอิสระ)

$$\text{การคำนวณ \% Radical Scavenging} = \left[\left(1 - \frac{(S-B)}{C} \right) \right] \times 100$$

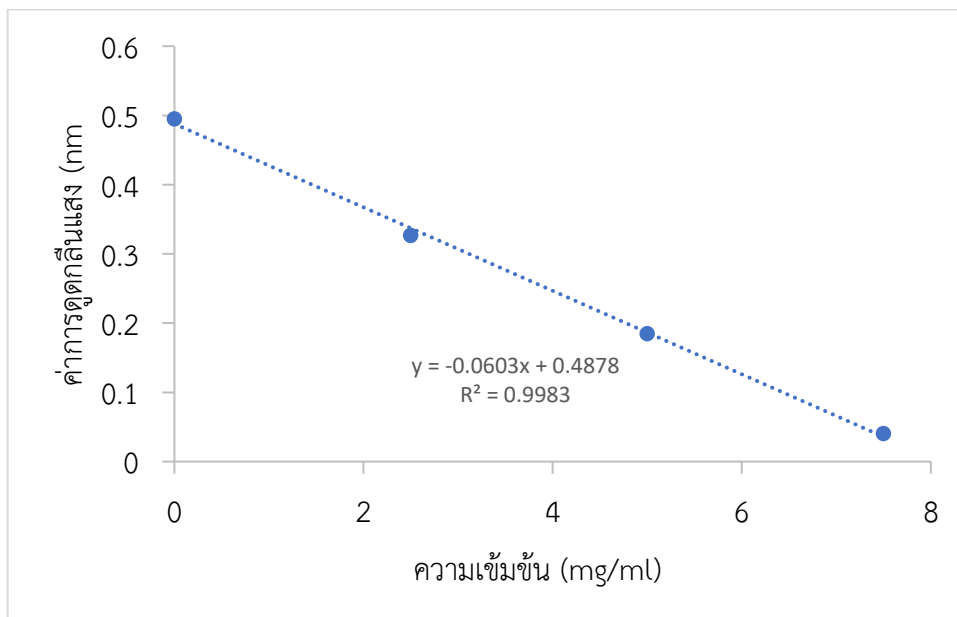
กำหนดให้ S คือ ค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายตัวอย่าง + DPPH

B คือ ค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายตัวอย่าง + ethanol

C คือ ค่าการดูดกลืนแสงของน้ำกลั่น + DPPH

Set auto zero ด้วย น้ำกลั่น+ethanol

$$\% \text{Radical Scavenging} = \left(1 - \frac{\text{ค่าการดูดกลืนแสงของตัวอย่าง} - \text{ค่าการดูดกลืนแสงของสารละลาย blank}}{\text{ค่าการดูดกลืนแสงของ DPPH}} \right) \times 100$$



กราฟมาตรฐานเพื่อใช้เปรียบเทียบหาความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ

ภาคผนวก ง การวิเคราะห์สมบัติเชิงหน้าที่ (Functionnal properties)

1) ความสามารถในการอุ้มน้ำ (Water holding capacity; WHC) นำตัวอย่างสารสกัด 0.5 กรัม ใส่ในหลอดทดลองเติมน้ำ 10 มิลลิลิตร ตั้งทิ้งไว้ 18 ชั่วโมง นำไปกรองด้วยกระดาษกรอง Whatman' No.1 ซึ่กักกากส่วนที่กรองได้ แล้วนำไปทำแห้งที่ 105 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง นำมาชั่งน้ำหนัก คำนวณค่าความสามารถในการอุ้มน้ำ ดังสมการ

$$\text{ความสามารถในการอุ้มน้ำ (กรัม/กรัม)} = \frac{(\text{น้ำหนักกากเปียก} - \text{น้ำหนักกากแห้ง})}{\text{น้ำหนักกากแห้ง}}$$

2) ความสามารถในการพองตัว (Swelling capacity; SWC) ตัวอย่างสารสกัด 0.5 กรัม ใส่ในกระบอกตวง 50 มิลลิลิตร เติมน้ำ 10 มิลลิลิตร ตั้งทิ้งไว้ 18 ชั่วโมง คำนวณความสามารถในการพองตัว ดังสมการ

$$\text{ปริมาณการพองตัว (มิลลิลิตร/กรัม)} = \frac{\text{ปริมาตรของตัวอย่างที่พองตัว}}{\text{น้ำหนักตัวอย่าง}}$$