



สาหร่ายขนาดใหญ่และแนวทางประยุกต์ใช้ในผลิตภัณฑ์อาหาร

Macroalgae and food products application

กิตติยา ตรีเย็น¹ พรธมน แจ่มสกุล¹ และ วนิดา ปานอุทัย^{2*}

¹ภาควิชาจุลชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี กรุงเทพมหานคร 10140

²ฝ่ายจุลชีววิทยาประยุกต์ สถาบันคั้นคว่ำและพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหาร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ กรุงเทพมหานคร 10900

Kitiya Treeyen¹ Passamon Jamsakul¹ and Wanida Pan-utai^{2*}

¹Department of Microbiology, Faculty of Science, King Mongkut's University of Technology Thonburi, Bangkok 10140

²Department of Applied Microbiology, Institute of Food Research and Product Development, Kasetsart University, Bangkok 10900

*Corresponding author: ifrwdp@ku.ac.th

Received: 8 August 2024/ Revised: 28 October 2024/ Accepted: 14 November 2024

บทคัดย่อ

สาหร่ายขนาดใหญ่ หรือ สาหร่ายทะเล เป็นอาหารที่นิยมบริโภคกันมาอย่างยาวนาน โดยเฉพาะในประเทศแถบเอเชีย โดยสามารถใช้เป็นส่วนประกอบในอาหารและผลิตภัณฑ์อาหารได้ เนื่องจากสาหร่ายทะเลในรูปแบบสดไม่สามารถเก็บไว้ได้นาน จึงมีรายงานการศึกษาระบวนการทำแห้งสาหร่ายและผลิตภัณฑ์เพื่อยืดอายุการเก็บรักษาและคงคุณสมบัติสำคัญของสาหร่าย อีกทั้งยังมีคุณสมบัติทางโภชนาการทางอาหารที่หลากหลาย จึงสามารถนำมาประยุกต์ใช้ในผลิตภัณฑ์อาหารเพื่อเพิ่มคุณค่าทางโภชนาการและคุณสมบัติทางชีวภาพที่สำคัญได้ บทความนี้ได้รวบรวมเนื้อหาที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการทำแห้งสาหร่ายทะเลและการประยุกต์ใช้ในผลิตภัณฑ์อาหาร โดยครอบคลุมถึงสาหร่ายขนาดใหญ่ หรือ สาหร่ายทะเลแปรรูปสาหร่ายทะเลโดยใช้เทคนิคการทำแห้ง คุณค่าทางอาหารและคุณสมบัติเชิงชีวภาพต่าง ๆ ที่ส่งผลต่อสุขภาพ และแนวทางการประยุกต์ใช้สาหร่ายทะเลในผลิตภัณฑ์เพื่อเพิ่มคุณสมบัติเชิงหน้าที่ โดยเน้นที่สาหร่ายทะเลสีแดงซึ่งประกอบด้วยโปรตีนไฟโคอิริทริน ตลอดจนกรณีศึกษาการประยุกต์ใช้ในผลิตภัณฑ์อาหารจากสาหร่ายทะเลในปัจจุบัน

คำสำคัญ: สาหร่ายทะเล สาหร่ายสีแดง รังควัตถุ การทำแห้ง ผลิตภัณฑ์อาหาร ไฟโคอิริทริน

Abstract

Over the years, macroalgae, or seaweed, has been a popular ingredient in Asian cuisine. To extend its shelf life and retain its essential properties, various studies have explored the drying process of seaweed and its application in food products. This article consolidates information on seaweed drying techniques, its nutritional value, biological properties that contribute to health, and recommendations for incorporating seaweed into products to enhance their functional properties. This review focuses on red seaweed, which

contains phycoerythrin protein, and includes case studies illustrating the current utilization of seaweed in food products.

Keywords: Macroalgae, Red macroalgae, Pigment, drying, Food products, Phycoerythrin

บทนำ

สาหร่ายขนาดใหญ่ หรือ สาหร่ายทะเล เป็นกลุ่มสิ่งมีชีวิตที่น่าสนใจและมีความหลากหลายทางชีวภาพ ในแง่ของมูลค่าตลาดรวมของสาหร่ายทะเล มีการคาดการณ์ถึงศักยภาพการเติบโตได้อีก 11.8 พันล้านดอลลาร์สหรัฐ ภายในปี 2030 [1, 2] และในปี 2024 ขนาดของตลาดสาหร่ายทะเลเชิงพาณิชย์ทั่วโลกอยู่ที่ 12.7 พันล้านดอลลาร์สหรัฐ โดยมีอัตราการเติบโตต่อปี (CAGR) ที่ 6% ตั้งแต่ปี 2024 ถึงปี 2034 การเติบโตของตลาดสาหร่ายขนาดใหญ่มุ่งเน้นไปที่การมีมูลค่าทางโภชนาการที่สูงและคุณสมบัติต่อสุขภาพ ส่งผลให้มีการนำสาหร่ายทะเลหรือสาหร่ายขนาดใหญ่มาใช้มากขึ้น ซึ่งมีการประยุกต์ใช้สาหร่ายทะเลที่เพิ่มขึ้นในอุตสาหกรรมต่าง ๆ เช่น ทางเภสัชกรรม ยา อาหาร เครื่องดื่ม และอาหารสัตว์ [3] ในปัจจุบันผู้บริโภคอาหารเพื่อสุขภาพ จะพิจารณาการเลือกซื้ออาหารสุขภาพจากคุณค่าทางโภชนาการและคุณสมบัติออกฤทธิ์ทางชีวภาพ เพื่อลดความเสี่ยงต่อกลุ่มโรคต่าง ๆ และกลุ่มโรคไม่ติดต่อเรื้อรังที่อาจเกิดได้จากพฤติกรรมการรับประทานอาหาร [4] โดยความสนใจของผู้บริโภคที่มีต่ออาหารเพื่อสุขภาพกระตุ้นให้ผู้ผลิตอาหารพัฒนาผลิตภัณฑ์ที่มีสารอาหารที่มีประโยชน์ต่อสุขภาพ [5] ในบทความนี้ได้รวบรวมข้อมูลความสำคัญของสาหร่ายทะเล โดยเน้นเนื้อหาที่เกี่ยวข้องกับสาหร่ายขนาดใหญ่สีแดง องค์ประกอบของสาหร่ายสีแดง ไฟโคอิริทรินในสาหร่ายสีแดง การยืดอายุการเก็บรักษา แนวทางการประยุกต์ใช้สาหร่ายขนาดใหญ่ในผลิตภัณฑ์อาหาร และคุณสมบัติทางชีวภาพที่เป็นประโยชน์ต่อร่างกาย เพื่อเป็นแนวทางในการนำสาหร่ายทะเลมาประยุกต์ใช้กับผลิตภัณฑ์อาหารและคงคุณค่าของสาหร่ายทะเลไว้ให้มากที่สุด

1. สาหร่ายทะเล

สาหร่ายทะเลเป็นสิ่งมีชีวิตเซลล์เดียวหรือหลายเซลล์ที่อาศัยอยู่ในน้ำหรือในที่ชื้น และเป็นสาหร่ายที่สามารถมองเห็นได้ด้วยตาเปล่า สาหร่ายทะเลเหล่านี้มีคลอโรฟิลล์ เป็นรงควัตถุอินทรีย์ที่สามารถดูดซับและนำพาพลังงานจากแสงอาทิตย์มาใช้มีความสามารถสังเคราะห์แสงได้ นั่นคือการแปลงพลังงานแสงอาทิตย์ให้เป็นพลังงานเคมี จับคาร์บอนไดออกไซด์ เพื่อสร้างสารประกอบอินทรีย์ที่ซับซ้อนพร้อมทั้งน้ำและเกลือแร่ และปล่อยก๊าซออกซิเจน ในระหว่างกระบวนการสังเคราะห์สารอินทรีย์สาหร่ายจึงเป็นกลุ่มที่สามารถผลิตอาหารเองได้ผ่านกระบวนการสร้างสารอนาโบลิก (anabolic) [6] โดยสาหร่ายทะเลมีองค์ประกอบของสายพันธุ์ที่เปลี่ยนแปลงไปตามความลึกที่เพิ่มขึ้น [7] โดยประกอบด้วยกลุ่มสิ่งมีชีวิตยูคาริโอตหลายเซลล์ที่สังเคราะห์แสงได้หลากหลายกลุ่ม ซึ่งจัดอยู่ในอาณาจักร Plantae หรือ Chromista สิ่งมีชีวิตเหล่านี้ส่วนใหญ่อาศัยอยู่ในทะเล [8] สาหร่ายขนาดใหญ่หรือที่เรียกกันทั่วไปว่าสาหร่ายทะเล เป็นส่วนประกอบทางโภชนาการที่เป็นทางเลือกใหม่และมีมูลค่าเพิ่มในอาหาร รวมทั้งนำมาแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์ต่าง ๆ [9] โดยสาหร่ายทะเลสามารถแบ่งได้เป็น 3 กลุ่มใหญ่ ดังนี้ 1. สาหร่ายสีเขียว (green algae) 2. สาหร่ายสีน้ำตาล (brown algae) และ 3. สาหร่ายสีแดง (red algae)

1.1 สาหร่ายสีเขียว (green algae)

ในปัจจุบันเมื่อเปรียบเทียบกับสาหร่ายทั่วโลก สาหร่ายขนาดใหญ่สีเขียว (Chlorophyta) มีปริมาณน้อยที่สุด (<1%) [8] สาหร่ายสีเขียวอยู่ในอาณาจักร Plantae ประกอบด้วย Phyla Charophyta และ Chlorophyta เช่นเดียวกับพืชลิเวอร์เวิร์ต ฮอว์นเวิร์ด มอส และสาหร่ายสีเขียว ที่เรียกกันทั่วไปว่า คลอโรไฟต์ จะปรากฏเป็นลักษณะหญ้าสีเขียวและมีลักษณะคล้ายพืชบก ซึ่งหน่วยอนุกรมวิธานในสาหร่ายทะเลสีเขียวทั้ง 2 ไฟลัม (Phylum) ประกอบด้วยคลอโรฟิลล์เอเป็นลักษณะพิเศษ [10]

1.2 สาหร่ายสีน้ำตาล (brown algae)

สาหร่ายสีน้ำตาลจัดอยู่ใน Phaeophyceae และเป็นสิ่งมีชีวิตหลายเซลล์ที่แตกต่างกันในอาณาจักร Protista สาหร่ายสีน้ำตาลมีรูปร่างตั้งแต่เส้นใยขนาดเล็กไปจนถึงสาหร่ายทะเลขนาดใหญ่ที่ซับซ้อน [11] ตัวอย่างสาหร่ายกลุ่มนี้ที่มีการบริโภค



กันอย่างแพร่หลาย เช่น สายพันธุ์ *Laminaria ochroleuca* (kombu), *Undaria pinnatifida* (wakame) *Himanthalia elongate* และ *Phaeophyceae* มีสารไฟโตเคมีคัลที่หลากหลายในปริมาณสูงและมีคุณสมบัติในการส่งเสริมสุขภาพ ช่วยในการรักษาโรค ซึ่งทำให้สาหร่ายทะเลชนิดนี้เป็นตัวเลือกที่ดีสำหรับใช้เป็นสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพในอุตสาหกรรมต่าง ๆ รวมถึงตลาดอาหารเพื่อสุขภาพ [12, 13]

1.3 สาหร่ายสีแดง (red algae)

สาหร่ายสีแดง (Rhodophyta) เป็นยูคาริโอตที่สามารถสังเคราะห์แสงได้ (photosynthetic eukaryotes) [14] สาหร่ายสีแดงเป็นแหล่งไฟโคบิลิโปรตีน ไฟโคอิทริน ไฟโคไซยานิน และอัลโลไฟโคไซยานิน แคโรทีน แคโรทีนอยด์ แซนโทฟิลล์ และคลอโรฟิลล์เอ รงควัตถุเหล่านี้มีศักยภาพทางเทคโนโลยีชีวภาพที่สำคัญ [15] โดยองค์ประกอบหลักของสาหร่ายสีแดงประกอบด้วยโปรตีน คาร์โบไฮเดรต ไขมัน และใยอาหารเป็นหลัก ซึ่งสาหร่ายสีแดงแต่ละสายพันธุ์มีองค์ประกอบแตกต่างกัน โดยจะมีค่าโปรตีนอยู่ร้อยละ 8.00 - 47.00 ของน้ำหนักแห้ง [16] โปรตีนในสาหร่ายสีแดงสามารถเปลี่ยนแปลงตามฤดูกาลได้ เช่น ในสาหร่ายสีแดง *Palmaria palmata* ซึ่งปริมาณโปรตีนตั้งแต่ร้อยละ 8 - 35 ของน้ำหนักแห้ง [17] คาร์โบไฮเดรตมีค่าสูงสุดอยู่ประมาณร้อยละ 79 ของน้ำหนักแห้ง [18] ไขมันมีค่าอยู่ประมาณร้อยละ 0.20 - 8.00 ของน้ำหนักแห้ง [19] เนื่องจากในงานวิจัยต่าง ๆ ส่วนใหญ่ไม่มีการทดสอบปริมาณใยอาหาร แต่ในงานวิจัยบางส่วน [20, 21] ได้กล่าวถึงใยอาหารของสาหร่ายสีแดงมีค่าร้อยละ 35.00 - 63.20 ของน้ำหนักแห้ง และองค์ประกอบหลักเหล่านี้สามารถออกฤทธิ์ทางชีวภาพเพื่อป้องกันและรักษาโรคบางชนิดได้ [22, 23] จากผลรายงานการศึกษาก่อนหน้าพบว่ามีความแตกต่างทางอาหารของสาหร่ายสีแดงแต่ละสายพันธุ์แตกต่างกัน [20, 21, 24] ดังแสดงตารางที่ 1

ตารางที่ 1 องค์ประกอบของสาหร่ายขนาดใหญ่สีแดง (ร้อยละน้ำหนักแห้ง)

สายพันธุ์สาหร่าย	คุณค่าทางอาหาร (ร้อยละน้ำหนักแห้ง)				เอกสารอ้างอิง
	โปรตีน	คาร์โบไฮเดรต	ไขมัน	ใยอาหาร	
<i>Chondrus crispus</i>	26.40	53.30	1.00	-	[25]
<i>Osmundea pinnatifida</i>	23.80	32.40	0.90	-	[24]
<i>Ahnfeltia plicata</i>	31.10	59.10	1.10	-	[25]
<i>Porphyra spp.</i>	26.36	43.99	3.03	-	[26]
<i>Phycodrys rubens</i>	28.80	40.20	1.30	-	[25]
<i>Furcellaria lumbricalis</i>	20.60	55.40	1.00	-	[25]
<i>Gracilaria spp.</i>	23.60	46.90	0.70	40.60	[20]
<i>Gracilaria Vermiculophylla</i>	17.80	61.90	1.30	-	[25]

2. องค์ประกอบของสาหร่ายสีแดง

สาหร่ายสีแดง Rhodophyta เป็นกลุ่มสาหร่ายขนาดใหญ่ที่สำคัญซึ่งมีอยู่ประมาณ 7,000 สายพันธุ์ เป็นแหล่งที่อุดมไปด้วยองค์ประกอบชีวภาพที่มีโครงสร้างหลากหลาย เช่น โปรตีน พอลิแซ็กคาไรด์ซัลเฟต รงควัตถุ กรดไขมันไม่อิ่มตัวเชิงซ้อน วิตามิน แร่ธาตุ และสารประกอบฟีนอลิก ซึ่งมีความสำคัญทางโภชนาการ ทางเภสัช และทางอุตสาหกรรม [27] สาหร่ายสีแดงมีพอลิแซ็กคาไรด์ในปริมาณสูง (แป้งพอลิเดียนและซัลเฟตกาแลกแทน เช่น คาร์ราจีแนนหรืออะกาแรน (Agarans) โปรตีนและเปปไทด์ (ไฟโคบิลิโปรตีน ไฟโคเลคติน และกรดอะมิโนคล้ายไมโคสปอริน) แร่ธาตุ และสารประกอบอื่น เช่น ไขมัน และพอลิฟีนอล ซึ่งสาหร่ายสีแดงถูกใช้เป็นอาหารมาตั้งแต่ดั้งเดิม ในขณะที่วันและคาร์ราจีแนนถูกสกัดออกมาเพื่อใช้เป็นอาหาร และมีการประยุกต์ใช้ในทางการแพทย์และเทคโนโลยีชีวภาพ [28]

สาหร่ายทะเลใช้แสงเป็นแหล่งพลังงานและรงควัตถุมีบทบาทสำคัญในการรวบรวมพลังงานแสงอาทิตย์ รงควัตถุเหล่านี้ดูดซับแสงจากสเปกตรัมที่มองเห็นได้ แคโรทีนอยด์เป็นรงควัตถุสีส้มหรือสีแดงที่ดูดซับพลังงานแสงแล้วส่งต่อไปยังคลอโรฟิลล์



ดังนั้นจึงมีบทบาททองในการสังเคราะห์ด้วยแสง โดยสาหร่ายทะเลจะมีการเปลี่ยนแปลงปริมาณคลอโรฟิลล์และ แคโรทีนอยด์ ขึ้นอยู่กับระดับรังสีอัลตราไวโอเลตที่ได้รับ ตลอดทั้งรงควัตถุคลอโรฟิลล์และแคโรทีนอยด์มีคุณสมบัติต้านอนุมูลอิสระ [29] รงควัตถุหลักของสาหร่ายทะเลที่ใช้เชิงพาณิชย์ในปัจจุบัน ได้แก่ เบต้าแคโรทีน แอสตาแซนธิน ลูทีน ไฟโคบิลิโปรตีน คลอโรฟิลล์ และฟูโคแซนทิน [30]

ตารางที่ 2 แสดงรงควัตถุที่พบได้ในสาหร่ายสีแดง ซึ่งมีความสำคัญที่ส่งผลต่อร่างกายมนุษย์ โดยในสาหร่ายสีแดงจะมี รงควัตถุอยู่หลายชนิด เช่น ไฟโคไซยานิน ไฟโคอีริทริน คลอโรฟิลล์ ดี แอลฟา ครีปโทแซนธิน บีตา ครีปโทแซนธิน ฟูโคแซนธิน ลูทีน ซีแซนธิน รูบิแซนธิน ไดโนแซนธิน ไดอาโทแซนธิน แอนเทอราแซนธิน ไฟโคบิลิโปรตีน ไฟโคบิลิโธโรไบลิน ไฟโคบิลินส์ และโบรโมฟินอล รงควัตถุเหล่านี้เป็นสารออกฤทธิ์ช่วยในการรักษาโรคต่าง ๆ และมีประโยชน์ต่อการประยุกต์ใช้ทางอุตสาหกรรมอาหาร เช่น ไฟโคอีริทริน ส่วนใหญ่นำไปใช้งานในฐานะสีธรรมชาติในผลิตภัณฑ์อาหาร เครื่องสำอาง และเป็น สารเคมีสำหรับการทดสอบภูมิคุ้มกัน [31] แต่เนื่องจากในการสกัดสารรงควัตถุเหล่านี้จำเป็นต้องทำให้เข้มข้นและบริสุทธิ์ก่อน นำไปใช้ เนื่องจากต้องใช้หลายขั้นตอนจึงส่งผลให้มีราคาสูง [32]

ตารางที่ 2 สายพันธุ์และรงควัตถุที่พบในสาหร่ายสีแดง

สาหร่ายสีแดง	รงควัตถุ	เอกสารอ้างอิง
<i>Chondrus crispus</i>	ไฟโคไซยานิน (Phycocyanin) ไฟโคอีริทริน (Phycoerythrin)	[33]
<i>Porphyra umbilicalis</i>	ไฟโคไซยานิน ไฟโคอีริทริน	[33]
<i>Jania rubens</i>	คลอโรฟิลล์ ดี (Chlorophyll d) แอลฟา ครีปโทแซนธิน (α -cryptoxanthin) บีตา ครีปโทแซนธิน (β -cryptoxanthin) ฟูโคแซนธิน (Fucoxanthin)	[33]
<i>Eucheuma denticulatum</i>	ลูทีน (Lutein) ซีแซนธิน (zeaxanthin) รูบิแซนธิน (rubixanthin) ไดโนแซนธิน (dinoxanthin) ไดอาโทแซนธิน (diatoxanthin) แอนเทอราแซนธิน (antheraxanthin)	[34]
<i>Heterosiphonia japonica</i>	ไฟโคบิลิโปรตีน (Phycobiliprotein)	[33]
<i>Corallina elongata</i>	ไฟโคอีริทริน	[33]
<i>Corallina ofcinalis</i>	ไฟโคอีริทริน	[33]
<i>Gracilaria longa</i>	ไฟโคบิลิโธโรไบลิน (Phycoerythrobilins) ไฟโคบิลิน (Phycourobilins) ไฟโคอีริทริน	[32]
<i>Gracilaria fsheri</i>	ไฟโคอีริทริน	[33]
<i>Palmaria palmata</i>	ไฟโคอีริทริน	[33]
<i>Corallina elongata, Jania rubens</i>	แอนเทอราแซนธิน	[33]
<i>Mastocarpus stellatus, Mesophyllum lichenoides</i>	ลูทีน	[33]



สาหร่ายสีแดง	รงควัตถุ	เอกสารอ้างอิง
<i>Gastroclonium ovatum</i> , <i>Phyllophora sicula</i> <i>Plocamium cartilagineum</i> <i>Ahnfeltia plicata</i>		
<i>Osmundea pinnatifida</i>	ซีแซนธิน	[33]
<i>Polysiphonia morrowii</i>	โบรโมฟินอล (Bromophenols)	[35]
<i>Mazzaella japonica</i>	ไฟโคอิริทริน ไฟโคไซยานิน อัลโลไซยานิน	[36]
<i>Portieria hornemannii</i>	ไฟโคอิริทริน	[37]
<i>Halymenia durvillei</i>	ไฟโคอิริทริน ไฟโคไซยานิน	[38]

3. กระบวนการทำแห้ง

สาหร่ายทะเลเป็นแหล่งทรัพยากรชีวภาพทางทะเลที่มีความสำคัญและอุดมไปด้วยคุณค่าหลายชนิด ซึ่งสามารถนำไปใช้ในอาหาร ยา อาหารสัตว์ และเครื่องสำอาง เนื่องจากสามารถหาได้ง่ายตามชายฝั่งทะเลจึงเป็นวัตถุดิบที่มีต้นทุนต่ำ [39] โดยปกติวัตถุดิบสาหร่ายทะเลจะปริมาณน้ำเป็นองค์ประกอบสูง เกิดการเน่าเสียง่าย และมีอายุการเก็บรักษาที่จำกัด ดังนั้นการอบแห้งจึงถูกนำมาใช้เพื่อลดปริมาณความชื้น ทั้งยังเป็นขั้นตอนสำคัญในการเพิ่มระยะเวลาการเก็บรักษาที่ยาวนานขึ้นเพื่อคงคุณค่าทางโภชนาการ นอกจากนี้การอบแห้งยังถือเป็นวิธีสำคัญในการเก็บรักษาหลังจากเก็บเกี่ยวสาหร่ายทะเล เพื่อยืดอายุและคุณภาพให้ได้นานยิ่งขึ้น รวมทั้งสามารถเก็บไว้บริโภคได้นานยิ่งขึ้น [40] กระบวนการทำแห้งมีปัจจัยที่เกี่ยวข้องหลายประการ ได้แก่ อุณหภูมิ เวลา และความชื้นของตัวผลิตภัณฑ์ เป็นต้น กระบวนการทำแห้งแต่ละวิธีและแนวทางการประยุกต์ใช้ในผลิตภัณฑ์อาหารแสดงดังตารางที่ 3 ซึ่งการเลือกใช้กระบวนการทำแห้งแต่ละวิธีนั้นขึ้นอยู่กับ การนำไปใช้ในผลิตภัณฑ์อาหารด้วย โดยข้อดีของกระบวนการทำแห้งช่วยในการเก็บรักษาสาหร่ายทะเลได้ยาวนานมากยิ่งขึ้น โดยการเลือกวิธีการอบแห้งจะขึ้นอยู่กับสายพันธุ์สาหร่าย ต้นทุน และการขนส่งสำหรับการแปรรูป [41]

ตารางที่ 3 การแปรรูปสาหร่ายด้วยกระบวนการทำแห้ง

กระบวนการทำแห้ง	สายพันธุ์สาหร่าย	อุณหภูมิ	ผลิตภัณฑ์	ผลจากการใช้สาหร่าย	เอกสารอ้างอิง
Freeze drying	<i>Gracilaria</i> spp.	- 25 °C	บะหมี่ แป้งข้าวสาลี (Wheat noodles)	- ผสมสาหร่ายในผลิตภัณฑ์ ร้อยละ 3 สามารถเพิ่ม ปริมาณใยอาหาร โปรตีน แร่ ธาตุ และ เป็นที่ยอมรับได้ ของผู้บริโภค	[42]
	<i>Ascophyllum nodosum</i> <i>Fucus vesiculosus</i>	- 20 °C	ผลิตภัณฑ์นม	- ยืดอายุการเก็บรักษาและ พัฒนาคุณภาพผลิตภัณฑ์ - เพิ่มฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ	[43]
Vacuum drying	<i>Pyropia orbicularis</i>	40-80 °C	สาหร่ายอบกรอบ	- ยืดอายุการเก็บรักษา	[44]



กระบวนการทำแห้ง	สายพันธุ์สาหร่าย	อุณหภูมิ	ผลิตภัณฑ์	ผลจากการใช้สาหร่าย	เอกสารอ้างอิง
Solar drying	<i>Sargassum wightii</i>	45 °C	เจอร์กี้ (Jerky)	- ผสมในผลิตภัณฑ์ร้อยละ 3 ไม่ส่งผลกระทบต่อคุณภาพทางประสาทสัมผัส - เพิ่มปริมาณแร่ธาตุหลัก โดยเฉพาะใยอาหาร และแร่ธาตุรอง (Trace elements) รวมทั้งปรับปรุงศักยภาพในการต้านอนุมูลอิสระ โดยลดค่า IC50-DPPH ของผลิตภัณฑ์ จาก 0.98 เป็น 0.68 มก./มล.	[45]
Sun drying	<i>Kappaphycopsis cottonii</i>	50 °C	ขนมปังกรอบ (Biscuit)	- การเติมผงสาหร่ายร้อยละ 5 ส่งผลกระทบต่อลักษณะปรากฏ รส กลิ่นรส เนื้อสัมผัสที่ดี	[46]
Oven drying	<i>Monostroma nitidum</i>	55 °C	บะหมี่แป้งข้าวสาลี (Wheat noodles)	- เพิ่มร้อยละผลผลิตที่ได้ (Cooking yield) และความสามารถในการดูดซับน้ำ	[47]
Hot air oven	<i>Himanthalia elongata</i>	40 °C	เนื้อวุ้นบดแผ่น (Beef patties)	- ลดค่าการสูญเสียน้ำหนักจากการประกอบอาหาร (Cooking loss) - ผสมสาหร่ายร้อยละ 40 ส่งผลกระทบต่อผลิตภัณฑ์สูงสุด - ช่วยลดจำนวนจุลินทรีย์และออกซิเดชันของไขมันระหว่างการเก็บรักษา	[48]

4. การประยุกต์ใช้สาหร่ายขนาดใหญ่ในผลิตภัณฑ์อาหาร

สาหร่ายขนาดใหญ่ที่เปรี้ยวเหมือนเป็นโปรตีนจากธัญพืช และมักใช้ในการผลิตผลิตภัณฑ์อาหารสำหรับสัตว์ ปลา และมนุษย์ โดยโปรตีนจากสาหร่ายขนาดใหญ่มีกรดอะมิโนที่จำเป็น และเป็นแหล่งของสารชีวภาพอื่นๆ มากมาย [49] เนื่องจากคุณค่าทางโภชนาการที่สมดุลและสารประกอบชีวภาพที่มีมากมาย สาหร่ายขนาดใหญ่จึงเป็นตัวเลือกที่ดีสำหรับการนำไปใช้เป็นส่วนผสมในผลิตภัณฑ์เพื่อสุขภาพในอุตสาหกรรมอาหาร [50] ในปัจจุบัน สาหร่ายสีน้ำตาลเป็นสาหร่ายที่ถูกบริโภคมากที่สุดในบรรดาสาหร่ายขนาดใหญ่ทั้ง 3 ประเภท [51] สาหร่ายขนาดใหญ่ถูกบริโภคในเอเชียเป็นส่วนหนึ่งของอาหารประจำวัน ปัจจุบันสาหร่ายสีน้ำตาล ร้อยละ 66.5 เป็นชนิดที่บริโภคมากที่สุด รองลงมาคือ สาหร่ายสีแดง ร้อยละ 33 และสาหร่ายสีเขียว ร้อยละ 5 ปัจจุบัน ญี่ปุ่น จีน และเกาหลีใต้ เป็นประเทศที่มีการบริโภคสาหร่ายทะเลมากที่สุด [48, 51] จากข้อมูลขององค์การอาหารและเกษตรแห่งสหประชาชาติ (FAO) พบว่าการผลิตสาหร่ายทะเลในระดับโลกเพิ่มขึ้นตั้งแต่ ปี 1950 ถึง 2019 ความสนใจที่เพิ่มขึ้นในสาหร่ายทะเลเกิดจากศักยภาพที่สำคัญและการมีส่วนสนับสนุนต่ออุปทานอาหารที่เพียงพอ



และดีต่อสุขภาพทั่วโลกสำหรับประชากรที่คาดว่าจะเพิ่มขึ้นร้อยละ 70 ก่อนปี 2050 ในยุโรปการผลิตสาหร่ายทะเลยังอยู่ในช่วงเริ่มต้น โดยมีสัดส่วนร้อยละ 0.8 ของการผลิตทั่วโลกในปี 2019 อย่างไรก็ตามการใช้สาหร่ายทะเลในยุโรปมีศักยภาพที่จะเป็นประโยชน์ต่อทั้งสามด้านของความยั่งยืน ได้แก่ ผู้คน โลก และผลกำไร [52, 53] และจากแนวโน้มที่ผ่านมา คาดว่าจำนวนประชากรโลกจะสูงถึงประมาณ 11 พันล้านคน ภายในปี 2100 ซึ่งจะต้องมีการผลิตอาหารเพิ่มเติมสำหรับประชากรที่เพิ่มขึ้นนี้ สาหร่ายอาจเป็นแหล่งอาหารทางเลือกสำหรับทั้งมนุษย์และปศุสัตว์ ดังนั้นทั้งการเพาะปลูกสาหร่ายหรือเก็บเกี่ยวจากแหล่งธรรมชาติ ควบคู่ไปกับการพัฒนาผลิตภัณฑ์ใหม่จากสาหร่ายทะเลที่บริโภคได้ จึงเป็นทางเลือกที่เป็นไปได้ สำหรับบรรลุการพัฒนาเศรษฐกิจ ในประเทศกำลังพัฒนาตลอดจนการพัฒนาที่ยั่งยืน [54] มีรายงานการศึกษาก่อนหน้าที่เกี่ยวข้องกับการประยุกต์ใช้สาหร่ายในผลิตภัณฑ์อาหารเพื่อเพิ่มคุณสมบัติเชิงหน้าที่ในอาหารและคุณสมบัติทางชีวภาพ ดังแสดงรายละเอียดในตารางที่ 4 และ 5

ตารางที่ 4 ตัวอย่างผลิตภัณฑ์ที่มีการนำสาหร่ายขนาดใหญ่ไปประยุกต์ใช้

สายพันธุ์	ผลิตภัณฑ์	ผลจากการประยุกต์ใช้	เอกสารอ้างอิง
สาหร่ายสีเขียว			
<i>Monostroma nitidum</i>	เส้นก๋วยเตี๋ยว	- เส้นก๋วยเตี๋ยวที่เติมผงสาหร่ายร้อยละ 6 จะให้ร้อยละผลผลิตที่สูงกว่าเส้นก๋วยเตี๋ยวที่เติมผงสาหร่ายร้อยละ 3 - พอลิแซ็กคาไรด์และใยอาหารในสาหร่ายดูดซับน้ำระหว่างการผลิต ทำให้เส้นก๋วยเต๋วยมีเนื้อสัมผัสที่นุ่มและฟูมากขึ้น	[55]
สาหร่ายสีน้ำตาล			
<i>Laminaria digitata</i>	เนื้อหมู	- ใช้สารสกัด 100 มก./ก.เนื้อหมู	[56]
<i>Fucus vesiculosus</i>		- ฟุคอยแดน (Fucoidan) ช่วยลดการเกิดออกซิเดชันของไขมัน - ผลลัพธ์ที่ได้จากการเติมสารสกัดสาหร่ายย่ำถึงศักยภาพว่าเป็นส่วนผสมที่มีประโยชน์ (Functional ingredients) เนื่องจากการลดลงของฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ DPPH หลังผ่านไป 4 ชั่วโมง ที่ร้อยละ 44.15 และหลังผ่านไป 20 ชั่วโมง ที่ร้อยละ 36.63 บ่งชี้ให้เห็นถึงการดูดซึมเชิงทฤษฎีของสารต้านอนุมูลอิสระลามินาริน (Laminarin) และฟุคอยแดนในสารสกัดสาหร่าย	
<i>Himanthalia elongata</i>	เนื้อวุ้นเต๋น (Patties)	- เติมหาหร่ายร้อยละ 10-40 - ช่วยลดการสูญเสียจากการปรุงอาหารและเพิ่มใยอาหาร ปริมาณฟีนอลิกทั้งหมด และกิจกรรมกำจัดอนุมูลอิสระ DPPH ได้เกือบร้อยละ 50 เมื่อเทียบกับเนื้อวุ้นเต๋นกลมที่ไม่มีสาหร่าย - เนื้อวุ้นเต๋นที่มีสาหร่ายร้อยละ 40 มีคุณภาพทางประสาทสัมผัสสูงสุด เมื่อเทียบกับเนื้อวุ้นเต๋นที่เติมหาหร่ายในปริมาณร้อยละ 10-30	[48]



สายพันธุ์	ผลิตภัณฑ์	ผลจากการประยุกต์ใช้	เอกสารอ้างอิง
		- ไม่พบการเจริญเติบโตของแบคทีเรียและระดับออกซิเดชันของไขมันต่ำกว่าในเนื้อวุ้นบดแผ่นกลมที่มีสาหร่ายร้อยละ ≥ 20	
<i>Laminaria ochroleuca</i>	แป้งพาสต้าปราศจากกลูเตน (Gluten-free pasta)	- เติมน้ำสาหร่ายขนาด < 0.25 มม. ร้อยละ 20 และขนาด 0.25-2 มม. ใช้อัตราส่วน 1/30 (สาหร่าย/น้ำ) - ลักษณะเชิงกลและเนื้อสัมผัสคล้ายคลึงกับพาสต้าควบคุมหรือพาสต้าปกติ - เพิ่มปริมาณแร่ธาตุและไฟเบอร์ในพาสต้าจากสาหร่าย	[57]
สาหร่ายสีแดง			
<i>Porphyra umbilicalis</i>	ไส้กรอกแฟรงค์เฟอ์เตอร์ (Frankfurter)	- เติมน้ำสาหร่าย ร้อยละ 1 - ลดความเค็ม - เกลือลดลงร้อยละ 50 และไขมันลดลงร้อยละ 21 - สีผลิตภัณฑ์เข้มข้น โดยค่า CIE L* เท่ากับ 64.79 และตัวควบคุม เท่ากับ 70.93 (L*=0 ให้ผลเป็นสีดำ และ L*=100 ให้ผลเป็นสีขาวแบบกระจาย)	[58]
<i>Porphyra umbilicalis</i>	ผลิตภัณฑ์เนื้อหมู	- เติมน้ำสาหร่ายร้อยละ 2.5 และ 5 วัตถุแห้ง (Dry matter) - เพิ่มใยอาหารและสารต้านอนุมูลอิสระ - เพิ่มเนื้อสัมผัสการเคี้ยว ค่าความแข็ง (Hardness) และค่าความเคี้ยวได้ (Chewiness) - ปรับปรุงตัวผลิตภัณฑ์ในเรื่องการจับน้ำและไขมัน	[55]
<i>Palmaria palmata</i>	ขนมปัง	- การผสมโปรตีนไฮโดรไลเสตของ <i>Palmaria palmata</i> ร้อยละ 4 ลงในขนมปังบัควีท (Buckwheat) ไม่ส่งผลต่อเนื้อสัมผัสหรือสมบัติทางประสาทสัมผัสของขนมปัง - มีฤทธิ์ทางชีวภาพที่ยับยั้งเอนจินหลังกระบวนการอบ	[59]
<i>Gracilaria verrucosa</i>	เยลลี่ (Jelly)	- ปริมาณสีจากสาหร่ายเท่ากับ 0.1 0.5 และ 1.6 มก. - สีของเยลลี่ที่ใช้สีจากสาหร่ายคงอยู่ในตู้เย็นได้นาน 30 วัน และคงตัวได้นานกว่าสามเดือนโดยไม่เปลี่ยนสีเมื่อเติมกรดซิตริกเข้มข้นร้อยละ 5 - สีจากสาหร่ายช่วยเพิ่มคุณค่าทางโภชนาการ เนื่องจากมีสารอาหารและสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพมากกว่าสีสังเคราะห์	[60]
<i>Kappaphycus alvarezii</i>	ผลิตภัณฑ์ปราศจากกลูเตน (Gluten-Free) เช่น แป้งพาสต้า	- เติมน้ำสาหร่ายพูเร (Puree) ร้อยละ 0-40 ของแป้งทั้งหมด - เพิ่มความยืดหยุ่นและความหนืด เมื่อเทียบกับแป้งพาสต้าทั่วไป - เพิ่มแคลเซียมและใยอาหาร	[61]



สายพันธุ์	ผลิตภัณฑ์	ผลจากการประยุกต์ใช้	เอกสารอ้างอิง
<i>Kappaphycus alvarezii</i>	แป้งโด (Dought)	- เติมผงสาหร่ายร้อยละ 2-8 - เพิ่มอัตราการดูดซึมน้ำของแป้ง - ความเหนียว (Stickiness) ลดลง - ปรับปรุงความแน่น (Firmness) ของเนื้อสัมผัส	[62]
<i>Chondrus crispus</i>	ขนมปังโฮลวีท	- เติมสาหร่ายร้อยละ 2-8 - เพิ่มใยอาหารและแร่ธาตุ	[63]

จากตารางที่ 4 แสดงให้เห็นว่าการนำสาหร่ายทะเลไปประยุกต์ใช้ในผลิตภัณฑ์อาหารนี้ส่งผลดี ในด้านการใช้งานที่มากกว่าแค่คุณค่าทางโภชนาการและสุขภาพทั่วไป [64] จึงทำให้สาหร่ายทะเลเป็นผลิตภัณฑ์ที่มีมูลค่าเพิ่ม และเป็นสิ่งที่น่าสนใจในการศึกษาและวิจัยเพื่อพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหารใหม่ ๆ คุณสมบัติเฉพาะตัวของสาหร่ายทะเลเปิดโอกาสให้สามารถพัฒนาผลิตภัณฑ์ได้มากมาย เช่น สามารถใช้ทดแทนเกลือในเนื้อสัตว์ ทั้งยังช่วยปรับปรุงคุณภาพของผลิตภัณฑ์สูตรเดิมอย่างขนมปัง แป้งพาสต้าและเส้นก๋วยเตี๋ยวได้ ซึ่งการพัฒนาผลิตภัณฑ์ใหม่ก็ถือเป็นส่วนสำคัญในการพัฒนาอุตสาหกรรมในอนาคต [17]

ตารางที่ 5 สมบัติทางชีวภาพของสาหร่ายสีแดง

สายพันธุ์	สารออกฤทธิ์	คุณสมบัติ	เอกสารอ้างอิง
<i>Solieria filiformis</i>	พอลิฟีนอล (Polyphenols)	พอลิฟีนอลที่ 5 มก./มก. มีฤทธิ์ฆ่าเชื้อไวรัส	[65]
<i>Chondrus crispus</i>	พอลิแซ็กคาไรด์ (Polysaccharides)	ผลได้จากการสกัดพอลิแซ็กคาไรด์ร้อยละ 15.36 ของน้ำหนักสาหร่ายแห้ง ส่งผลกระตุ้นภูมิคุ้มกันในหอยแมลงภู่สายพันธุ์ <i>Mytilus</i> spp.	[66]
<i>Pterocladia capillacea</i>	พอลิแซ็กคาไรด์	มีผลได้ของสารสกัดด้วยน้ำ ร้อยละ 2.87 แสดงฤทธิ์ต้านการแข็งตัวของเลือด	[67]
<i>Kappaphycus striatus</i>	โปรตีนและเปปไทด์ (Proteins & peptides)	แลคติน เคเอสแอล ที่ได้จากสาหร่ายในช่วง 0.5 - 4.0 มกม. มีฤทธิ์ต่อต้านเซลล์มะเร็ง 5 สายพันธุ์ ได้แก่ HT29, Hela, MCF-7, SK-LU-1 และ AGS และค่า IC50 ของเซลล์มะเร็ง 0.80-1.94 มกม.	[68]
<i>Gracilaria edulis</i>	กรดไขมัน (Fatty acids)	กรดไขมันเฮกซะเดคาโนอิก (hexadecanoic acid) ที่ฤทธิ์ต้านแบคทีเรียก่อโรคในปลาโดยต้านทาน <i>Vibrio</i> spp. และ <i>Aeromonas hydrophila</i> มีค่า MIC 1.25-2.5 มก./มล.	[69]

สาหร่ายทะเลได้รับความสนใจมากขึ้น เนื่องจากได้รับการยอมรับว่ามีสารประกอบทางชีวภาพใหม่มากมาย และสารเหล่านี้มีคุณสมบัติที่สามารถนำไปพัฒนาต่อยอดได้ ทั้งสารต้านอนุมูลอิสระ สารต้านจุลินทรีย์ สารต้านการอักเสบ สารกระตุ้นภูมิคุ้มกัน สารต้านมะเร็ง เป็นเพียงคุณสมบัติบางส่วนที่ยกตัวอย่างมาจากตารางที่ 5 ที่สาหร่ายสามารถนำไปประยุกต์ใช้ได้ทั้งในอาหาร ผลิตภัณฑ์เสริมอาหาร ยาและเครื่องสำอาง โดยการตรวจสอบคุณสมบัติการออกฤทธิ์เหล่านี้เป็นการใช้กระบวนการการตรวจสอบทางการแพทย์ [70]



บทสรุป

องค์ประกอบในสาหร่ายทะเลมีคุณสมบัติต่อสุขภาพหลายประการ และคุณค่าทางโภชนาการที่ได้จากทะเลที่มาจากกระบวนการการแปรรูปของสาหร่ายทะเลมีความสำคัญต่อผู้บริโภคและมีความคุ้มค่าสำหรับการศึกษา เพื่อให้ได้สาหร่ายที่มีคุณสมบัติที่สุด การเตรียมการแปรรูปที่นำมาประยุกต์ใช้ในผลิตภัณฑ์อาหารเป็นอีกวิธีหนึ่งที่จะเพิ่มมูลค่าให้กับสาหร่ายทะเลได้ นอกจากนี้มีความสามารถในการแปรรูปและการประยุกต์ใช้ในผลิตภัณฑ์อาหารในอุตสาหกรรม โดยมีปัจจัยในการยืดอายุการเก็บรักษาและคงสภาพเดิมไว้ และยังคงมีคุณสมบัติทางโภชนาการอาหารที่คงเดิมจากสาหร่ายทะเลเป็นวัตถุดิบต่างๆ สามารถสร้างจุดเด่นให้กับผลิตภัณฑ์หรืออาหารชนิดนั้นได้ แล้วยังมีต้นทุนที่ไม่สูงมากเพราะสาหร่ายทะเลสามารถเพาะเลี้ยงได้ง่ายตามชายฝั่งทะเล แต่ในด้านของกระบวนการอบแห้งจะมีต้นทุนที่สูงเนื่องจากราคาเครื่องในกระบวนการผลิตมีราคาที่สูง แต่ด้วยคุณสมบัติในด้านต่าง ๆ ที่โดดเด่นและการศึกษาที่เปิดกว้างมากขึ้นในปัจจุบัน ทำให้สาหร่ายทะเลมีแนวโน้มที่จะเป็นที่รู้จักมากขึ้นในอนาคต

เอกสารอ้างอิง

1. Deepika C, Ravishankar GA, Rao AR. Potential products from macroalgae: an overview. 1st ed. Cham: Springer International Publishing; 2022.
2. Bank W. Global Seaweed: New and Emerging Markets Report. [Internet]. 2023. [cited 2024 October 4]. Available from: <https://openknowledge.worldbank.org/entities/publication/4ac8c40c-cc4d-4f38-90a9-01b7bbaad3eb>
3. Jha SN. Global Commercial Seaweed Market Trends Study by Red Seaweed, Brown Seaweed, and Green Seaweed in Powder, Liquid, Flakes Form From 2024 to 2034. 2024:170. [Internet]. [cited 2024 October 4]. Available from: <https://www.factmr.com/report/4493/commercial-seaweed-market>
4. Huang Z, Zhu Y-D, Deng J, Wang C-L. Marketing healthy diets: the impact of health consciousness on Chinese consumers' food choices. Sustainability 2022;14(4):2059.
5. Silva PCd, Toledo T, Brião V, Bertolin TE, Costa JAV. Development of extruded snacks enriched by bioactive peptides from microalga *Spirulina* sp. LEB 18. Food Biosci 2021;42:101031.
6. Pereira L. Macroalgae. Ency 2021;1(1):177-88.
7. Spalding HL, Amado-Filho GM, Bahia RG, Ballantine DL, Fredericq S, Leichter JJ, et al. Macroalgae. 1st ed. Cham: Springer International Publishing; 2019.
8. Moreira A, Cruz S, Marques R, Cartaxana P. The underexplored potential of green macroalgae in aquaculture. Rev Aquacu 2022;14(1):5-26.
9. Wan AHL, Davies SJ, Soler-Vila A, Fitzgerald R, Johnson MP. Macroalgae as a sustainable aquafeed ingredient. Rev Aquac 2019;11(3):458-92.
10. Dawes C. Chapter 4 - macroalgae systematics. 1st ed. San Diego: Academic Press; 2016.
11. Wehr JD. Chapter 19 - Brown Algae. 2nd ed. Boston: Academic Press; 2015.
12. Catarino MD, Silva AMS, Cardoso SM. Phytochemical constituents and biological activities of *Fucus* spp. Mar Drugs 2018;16(8):249.
13. Catarino MD, Silva AMS, Cardoso SM. Fucaceae: a source of bioactive phlorotannins. Int J Mol Sci 2017;18(6):1327.
14. Borg M, Krueger-Hadfield SA, Destombe C, Collén J, Lipinska A, Coelho SM. Red macroalgae in the genomic era. New Phytol 2023;240(2):471-88.



15. Freitas MV, Pacheco D, Cotas J, Mouga T, Afonso C, Pereira L. Red seaweed pigments from a biotechnological perspective. *Phycol* 2022;2(1):1-29.
16. Brien R, Hayes M, Sheldrake G, Tiwari B, Walsh P. Macroalgal proteins: a review. *Foods* 2022;11(4):571.
17. Healy LE, Zhu X, Pojić M, Sullivan C, Tiwari U, Curtin J, et al. Biomolecules from macroalgae—nutritional profile and bioactives for novel food product development. *Biomol* 2023;13(2):386.
18. Yun EJ, Kim HT, Cho KM, Yu S, Kim S, Choi I-G, et al. Pretreatment and saccharification of red macroalgae to produce fermentable sugars. *Bioresour Technol* 2016;199:311-8.
19. Lopes D, Melo T, Rey F, Meneses J, Monteiro FL, Helguero LA, et al. Valuing bioactive lipids from green, red and brown macroalgae from aquaculture, to foster functionality and biotechnological applications. *Mol* 2020;25(17):3883.
20. Neto RT, Marçal C, Queirós AS, Abreu H, Silva AMS, Cardoso SM. Screening of *Ulva rigida*, *Gracilaria* sp., *Fucus vesiculosus* and *Saccharina latissima* as functional ingredients. *Int J Mol Sci* 2018;19(10):2987.
21. Cherry P, O'Hara C, Magee PJ, McSorley EM, Allsopp PJ. Risks and benefits of consuming edible seaweeds. *Nutr Rev* 2019;77(5):307-29.
22. Abu-Khudir R, Ismail GA, Diab T. Antimicrobial, antioxidant, and anti-tumor activities of *Sargassum linearifolium* and *Cystoseira crinita* from Egyptian mediterranean coast. *Nutr Cancer* 2021;73(5):829-44.
23. Gómez-Guzmán M, Rodríguez-Nogales A, Algieri F, Gálvez J. Potential role of seaweed polyphenols in cardiovascular-associated disorders. *Mar Drugs* 2018;16(8):250.
24. Rodrigues D, Freitas AC, Pereira L, Rocha-Santos TAP, Vasconcelos MW, Roriz M, et al. Chemical composition of red, brown and green macroalgae from Buarcos bay in Central West Coast of Portugal. *Food Chem* 2015;183:197-207.
25. Parjikolaei BR, Bruhn A, Eybye KL, Larsen MM, Rasmussen MB, Christensen KV, et al. Valuable biomolecules from nine North Atlantic red macroalgae: amino acids, fatty acids, carotenoids, minerals and metals. *Nat Resour* 2016;7(4):157-183.
26. Smith JL, Summers G, Wong R. Nutrient and heavy metal content of edible seaweeds in New Zealand. *N Z J Crop Hortic Sci* 2010;38(1):19-28.
27. Ismail MM, Alotaibi BS, El-Sheekh MM. Therapeutic uses of red macroalgae. *Mol* 2020;25(19):4411.
28. Torres MD, Flórez-Fernández N, Domínguez H. Integral utilization of red seaweed for bioactive production. *Mar Drugs* 2019;17(6):314.
29. Koutsaviti A, Ioannou E, Roussis V. Bioactive Seaweed Substances. In: Qin Y, editor. *Bioactive Seaweeds for Food Applications*: Academic Press; 2018. p. 25-52.
30. Biris-Dorhoi E-S, Michiu D, Pop CR, Rotar AM, Tofana M, Pop OL, et al. Macroalgae - a sustainable source of chemical compounds with biological activities. *Nutrients* 2020;12(10):3085.
31. Hsieh-Lo M, Castillo G, Ochoa-Becerra MA, Mojica L. Phycocyanin and phycoerythrin: strategies to improve production yield and chemical stability. *Algal Res* 2019;42:101600.
32. Nguyen HPT, Moránçais M, Délérís P, Fleurence J, Nguyen-Le CT, Vo KH, Dumay J. Purification of R-phycoerythrin from a marine macroalga *Gracilaria gracilis* by anion-exchange chromatography. *J Appl Phycol* 2020;32(1):553-61.



33. Priyanka KR, Rajaram R, Sivakumar SR. A critical review on pharmacological properties of marine macroalgae. *Biomass Convers Biorefin* 2022.
34. Balasubramaniam V, June Chelyn L, Vimala S, Mohd Fairulnizal MN, Brownlee IA, Amin I. Carotenoid composition and antioxidant potential of *Euclima denticulatum*, *Sargassum polycystum* and *Caulerpa lentillifera*. *Heliyon* 2020;6(8):e04654.
35. Michalak I, Chojnacka K. Algae as production systems of bioactive compounds. *Eng Life Sci* 2015;15(2):160-76.
36. Kitade Y, Miyabe Y, Yamamoto Y, Takeda H, Shimizu T, Yasui H, et al. Structural characteristics of phycobiliproteins from red alga *Mazzaella japonica*. *J Food Biochem* 2018;42(1):e12436.
37. Senthilkumar N, Suresh V, Thangam R, Kurinjimalar C, Kavitha G, Murugan P, et al. Isolation and characterization of macromolecular protein R-Phycoerythrin from *Portieria hornemannii*. *Int J Biol Macromol* 2013;55:150-60.
38. Rula NAM, Ganzon-Fortes ET, Pante MJR, Trono GC. Influence of light, water motion, and stocking density on the growth and pigment content of *Halymenia durvillei* (Rhodophyceae) under laboratory conditions. *J Appl Phycol* 2021;33(4):2367-77.
39. Santhoshkumar P, Yoha KS, Moses JA. Drying of seaweed: approaches, challenges and research needs. *Trends Food Sci Technol* 2023;138:153-63.
40. Nagahawatta DP, Sanjeeva KKA, Jayawardena TU, Kim H-S, Yang H-W, Jiang Y, et al. Drying seaweeds using hybrid hot water goodle dryer (HHGD): comparison with freeze-dryer in chemical composition and antioxidant activity. *Fish Aquat Sci* 2021;24(1):19-31.
41. Amorim AM, Nardelli AE, Chow F. Effects of drying processes on antioxidant properties and chemical constituents of four tropical macroalgae suitable as functional bioproducts. *J Appl Phycol* 2020;32(2):1495-509.
42. Keyimu XG. The effects of using seaweed on the quality of Asian noodles. *J Food Process Technol* 2013;4:1-4.
43. O'Sullivan AM, O'Callaghan YC, O'Grady MN, Waldron DS, Smyth TJ, O'Brien NM, et al. An examination of the potential of seaweed extracts as functional ingredients in milk. *Int J Dairy Technol* 2014;67(2):182-93.
44. Zhu X, Healy L, Zhang Z, Maguire J, Sun D-W, Tiwari BK. Novel postharvest processing strategies for value-added applications of marine algae. *J Sci Food Agric* 2021;101(11):4444-55.
45. Hanjabam MD, Zynudheen AA, Ninan G, Panda S. Seaweed as an ingredient for nutritional improvement of fish jerky. *J Food Process Preserv* 2017;41(2):e12845.
46. Lestari P, Sulistiyati T. The substitution of *Euclima cottonii* seaweed flour to the acceptability and color characteristics of biscuit. *Int J Sci Res Pub* 2019;9(6):97-101.
47. Chang H-C, Chen H-H, Hu H-H. Textural changes in fresh egg noodles formulated with seaweed powder and full or partial replacement of cuttlefish paste. *J Texture Stud* 2011;42(1):61-71.
48. Cox S, Abu-Ghannam N. Enhancement of the phytochemical and fibre content of beef patties with *Himanthalia elongata* seaweed. *Int J Food Sci Technol* 2013;48(11):2239-49.



49. Garcia-Vaquero M, Hayes M. Red and green macroalgae for fish and animal feed and human functional food development. *Food Rev Int* 2016;32(1):15-45.
50. Afonso NC, Catarino MD, Silva AMS, Cardoso SM. Brown macroalgae as valuable food ingredients. *Antioxidants* 2019;8(9).
51. Lorenzo JM, Agregán R, Munekata PES, Franco D, Carballo J, Şahin S, et al. Proximate composition and nutritional value of three macroalgae: *Ascophyllum nodosum*, *Fucus vesiculosus* and *Bifurcaria bifurcata*. *Mar Drugs* 2017;15(11):360.
52. van den Burg SWK, Dagevos H, Helmes RJK. Towards sustainable European seaweed value chains: a triple P perspective. *ICES J Mar Sci* 2021;78(1):443-50.
53. Food and Agriculture Organization of the United Nation. Global seaweeds and microalgae production, 1950-2019. [Internet]. 2021 [cited 2024 October 4]. Available from: <https://openknowledge.fao.org/server/api/core/bitstreams/97409d09-2f8e-4712-b11e-60105d89959b/content>
54. Rogel-Castillo C, Latorre-Castañeda M, Muñoz-Muñoz C, Agurto-Muñoz C. Seaweeds in food: current trends. *Plants* 2023;12(12):2287.
55. Roohinejad S, Koubaa M, Barba FJ, Saljoughian S, Amid M, Greiner R. Application of seaweeds to develop new food products with enhanced shelf-life, quality and health-related beneficial properties. *Food Res Int* 2017;99:1066-83.
56. Moroney NC, Grady MN, Lordan S, Stanton C, Kerry JP. Seaweed polysaccharides (laminarin and fucoidan) as functional ingredients in pork meat: an evaluation of anti-oxidative potential, thermal stability and bioaccessibility. *Mar Drugs* 2015;13(4):2447-64.
57. Fradinho P, Raymundo A, Sousa I, Domínguez H, Torres MD. Edible brown seaweed in gluten-free pasta: technological and nutritional evaluation. *Foods* 2019;8(12):622.
58. Vilar EG, Ouyang H, O'Sullivan MG, Kerry JP, Hamill RM, O'Grady MN, Mohammed HO, Kilcawley KN. Effect of salt reduction and inclusion of 1% edible seaweeds on the chemical, sensory and volatile component profile of reformulated frankfurters. *Meat Sci* 2020;161:108001.
59. Fitzgerald C, Gallagher E, Doran L, Auty M, Prieto J, Hayes M. Increasing the health benefits of bread: assessment of the physical and sensory qualities of bread formulated using a renin inhibitory *Palmaria palmata* protein hydrolysate. *LWT - Food Sci Technol* 2014;56(2):398-405.
60. Jayasinghe P, Pahalawattaarachchi V, Ranaweera KKDS. Seaweed extract as a natural food coloring agent in Jelly desserts on chemical, microbial and sensory quality. *Acad Agri J* 2016;1(3):65-9.
61. Sholichah E, Kumalasari R, Indrianti N, Ratnawati L, Restuti A, Munandar A. Physicochemical, sensory, and cooking qualities of gluten-free pasta enriched with Indonesian edible red seaweed (*Kappaphycus Alvarezii*). *J Food Nutr Res* 2021;9(4):187-92.
62. Mamat H, Matanjun P, Ibrahim S, Amin SFM, Hamid MA, Rameli AS. The effect of seaweed composite flour on the textural properties of dough and bread. *J Appl Phycol* 2014;26(2):1057-62.



63. Lamont T, McSweeney M. Consumer acceptability and chemical composition of whole-wheat breads incorporated with brown seaweed (*Ascophyllum nodosum*) or red seaweed (*Chondrus crispus*). J Sci Food Agric 2021;101(4):1507-14.
64. Tavares JO, Cotas J, Valado A, Pereira L. Algae food products as a healthcare solution. Mar Drugs 2023;21(11):578.
65. Morán-Santibañez K, Peña-Hernández MA, Cruz-Suárez LE, Ricque-Marie D, Skouta R, Vasquez AH, et al. Virucidal and synergistic activity of polyphenol-rich extracts of seaweeds against measles virus. Viruses 2018;10(9):465.
66. Rudtanatip T, Lynch SA, Wongprasert K, Culloty SC. Assessment of the effects of sulfated polysaccharides extracted from the red seaweed Irish moss *Chondrus crispus* on the immune-stimulant activity in mussels *Mytilus* spp. Fish Shellfish Immunol 2018;75:284-90.
67. Abou Zeid AH, Aboutabl EA, Sleem AA, El-Rafie HM. Water soluble polysaccharides extracted from *Pterocladia capillacea* and *Dictyopteris membranacea* and their biological activities. Carbohydr Polym 2014;113:62-6.
68. Hung LD, Trinh PTH. Structure and anticancer activity of a new lectin from the cultivated red alga, *Kappaphycus striatus*. J Nat Med 2021;75(1):223-31.
69. Kasanah N, Amelia W, Mukminin A, Triyanto, Isnansetyo A. Antibacterial activity of Indonesian red algae *Gracilaria edulis* against bacterial fish pathogens and characterization of active fractions. Nat Prod Res 2019;33(22):3303-7.
70. Leandro A, Pereira L, Gonçalves AMM. Diverse applications of marine macroalgae. Mar Drugs 2020;18(1):17.