

สาหร่าย: แหล่งอาหารทางเลือกเพื่อการบริโภค

ธีระ ฐะกิจ

ฝ่ายจุลชีววิทยาประยุกต์ สถาบันคั้นคว่ำและพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหาร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

อีเมล : ifrtet@ku.ac.th

รับเมื่อ 20 กุมภาพันธ์ 2568 แก้ไขเมื่อ 13 พฤษภาคม 2568 ตอรับเมื่อ 19 พฤษภาคม 2568

จุดเด่น

- สาหร่ายเป็นแหล่งอาหารทางเลือกที่มีความยั่งยืน
- สาหร่ายมีคุณค่าทางโภชนาการสูง
- สาหร่ายมีศักยภาพในอุตสาหกรรมอาหาร และผลิตภัณฑ์อาหารเสริม

บทคัดย่อ

ประชากรโลกที่เพิ่มสูงขึ้นส่งผลให้ความต้องการอาหารเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง สวนทางกับศักยภาพการผลิตอาหารแบบดั้งเดิมที่เผชิญข้อจำกัดทั้งเรื่องพื้นที่ แหล่งทรัพยากร และผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม “สาหร่าย” จึงเป็นหนึ่งในทางเลือกใหม่ที่ได้รับ ความสนใจ เนื่องจากมีศักยภาพในการเป็นแหล่งอาหาร มีโปรตีน ไขมัน กรดไขมันไม่อิ่มตัว รวมถึงวิตามินและแร่ธาตุต่าง ๆ สาหร่ายแบ่งได้ทั้งสาหร่ายขนาดใหญ่ (macroalgae) และสาหร่ายขนาดเล็ก (microalgae) โดยแต่ละชนิดมีสารอาหารและแนวทางการใช้ประโยชน์ต่างกัน สาหร่ายทะเลเป็นอาหารดั้งเดิมในหลายวัฒนธรรมชายฝั่ง ขณะที่สาหร่ายขนาดเล็ก เช่น *Spirulina* และ *Chlorella* ได้รับการพัฒนาในอุตสาหกรรมอาหารเสริม สุขภาพ และเวชสำอางอย่างกว้างขวาง บทความนี้นำเสนอภาพรวมของชนิดสาหร่ายที่บริโภคได้ทั้งน้ำเค็มและน้ำจืด ตลอดจนสาหร่ายขนาดเล็กที่ถูกเพาะเลี้ยงเชิงอุตสาหกรรม พร้อมสรุปคุณค่าทางโภชนาการหลัก ได้แก่ โปรตีนที่ครบถ้วนด้วยกรดอะมิโนจำเป็น ไขมันไม่อิ่มตัวหลายตำแหน่ง (polyunsaturated fatty acids, PUFAs) พอลิแซ็กคาไรด์ วิตามิน และแร่ธาตุ อย่างไรก็ตาม การผลิตสาหร่ายสู่การบริโภคในระดับอุตสาหกรรมยังเผชิญความท้าทายหลายประการ เช่น ต้นทุนการผลิต การควบคุมมาตรฐานความปลอดภัย และความผันแปรของปัจจัยสิ่งแวดล้อม ด้วยแนวโน้มผู้บริโภคที่ใส่ใจสุขภาพและความยั่งยืนทางสิ่งแวดล้อมมากขึ้น สาหร่ายจึงมีบทบาทสำคัญในฐานะ “อาหารฟังก์ชัน” และเป็นหนึ่งในทางออกสำคัญของระบบอาหารโลกในอนาคต โดยต้องอาศัยการสนับสนุนด้านเทคโนโลยี การกำกับดูแล และการยอมรับจากผู้บริโภคที่กว้างขวางยิ่งขึ้น

คำสำคัญ : สาหร่าย คุณค่าทางโภชนาการ อาหารทางเลือก



Edible algae: An alternative food source

Theera Thurakit

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

E-mail : ifrtet@ku.ac.th

Received 20 February 2025; Revised 13 May 2025; Accepted 19 May 2025

Highlights

- Algae as a sustainable alternative food source
- Algae are highly nutritious
- Algae have great potential in the food and supplement industries

Abstract

The rapidly growing global population has driven an ever-increasing demand for food, which in turn outstrips the capacity of conventional food production due to constraints in arable land, resource availability, and environmental impacts. Algae have thus emerged as a promising alternative food source, offering high-quality protein, lipids, polyunsaturated fatty acids (PUFAs), vitamins, minerals, and other bioactive compounds in significant quantities. Broadly, algae can be categorized into macroalgae and microalgae, each possessing distinct nutritional profiles and avenues for industrial application. Macroalgae, especially seaweed, traditionally consumed in coastal regions, are well-known for their dietary use, while microalgae such as *Spirulina* and *Chlorella* have seen widespread development for health supplements and cosmeceuticals. This article provides an overview of both freshwater and marine algae that are considered edible, highlighting their key nutritional components particularly essential amino acid-rich proteins, PUFAs, polysaccharides, vitamins, and minerals. Although industrial-scale cultivation of algae still faces significant challenges such as high production costs, the need for robust safety standards, and variability in environmental conditions growing consumer interest in health and environmental sustainability has elevated algae's status as a "functional food". With continued technological innovation, supportive regulations, and greater consumer acceptance, algae are poised to become an important component of the global food system in the future.

Keywords : algae, nutritional value, alternative food

บทนำ

การเพิ่มขึ้นของประชากรโลกได้นำไปสู่ความต้องการบริโภคอาหารที่สูงขึ้นอย่างหลีกเลี่ยงไม่ได้ ซึ่งเป็นผลสืบเนื่องจากการขยายตัวของเขตเมือง ตลอดจนแนวโน้มอายุขัยของประชากรที่ยืนยาวขึ้น องค์การอาหารและเกษตรแห่งสหประชาชาติ (Food and Agriculture Organization of the United Nations, FAO) คาดการณ์ว่า ความต้องการอาหารจะเพิ่มสูงขึ้นอย่างต่อเนื่องเพื่อให้เพียงพอต่อประชากรกว่า 9.3 พันล้านคนในปี ค.ศ. 2050⁽¹⁾ และจะเป็นความท้าทายอย่างยิ่ง ยิ่งไปกว่านั้น มาตรการการจำกัดการเดินทางและขนส่งช่วงการแพร่ระบาดของโรคที่ผ่านมา ยังได้ส่งผลกระทบอย่างรุนแรงต่อการผลิต การกระจาย และการบริโภคอาหาร โดยคาดว่าจะมีผู้คนราว 130 ล้านคนทั่วโลกที่ประสบภาวะขาดแคลนอาหารอันเนื่องมาจากสถานการณ์ดังกล่าว⁽²⁾ การบริโภคอาหารที่เพิ่มขึ้นนั้นเกินขีดความสามารถในการผลิตอาหารแบบดั้งเดิม ในขณะที่เดียวกันระบบการผลิตอาหารในปัจจุบันยังส่งผลเสียต่อสิ่งแวดล้อม ไม่ว่าจะเป็นสารกำจัดศัตรูพืช การรุกรานพื้นที่ป่า การประมงเกินขนาด และการปล่อยก๊าซเรือนกระจก⁽³⁾

สาหร่าย (algae) มีความสำคัญต่อมนุษยชาติ โดยถูกนำมาใช้เป็นอาหารตั้งแต่ยุคโบราณ⁽⁴⁾ คำว่า “สาหร่าย” ครอบคลุมสิ่งมีชีวิตที่สามารถสังเคราะห์แสงได้ทั้งในกลุ่มไซยาโนแบคทีเรีย (Cyanobacteria) หรือในอดีตมักถูกเรียกว่าสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงิน และสิ่งมีชีวิตในกลุ่มโปรติสตา (Protista) การจัดกลุ่มสาหร่ายสามารถแบ่งได้ตามลักษณะการมองเห็น เช่น สาหร่ายขนาดเล็ก (microalgae) ที่ไม่สามารถมองเห็นได้ด้วยตา

เปล่า หรือจำเป็นต้องใช้กล้องจุลทรรศน์ในการศึกษา ลักษณะทางสัณฐานวิทยา สาหร่ายขนาดใหญ่ (macroalgae) ที่สามารถมองเห็นได้ด้วยตาเปล่าอย่างชัดเจน นอกจากนี้ยังสามารถแบ่งได้ตามแหล่งน้ำที่สาหร่ายเจริญ เช่น สาหร่ายน้ำเค็ม (สาหร่ายทะเล) และสาหร่ายน้ำจืด เป็นต้น สาหร่ายทะเลถือเป็นส่วนหนึ่งในวัฒนธรรมอาหารแถบประเทศชายฝั่งหลายภูมิภาคทั่วโลก โดยเฉพาะประเทศในภูมิภาคเอเชียตะวันออก เช่น ประเทศจีน ประเทศเกาหลี และประเทศญี่ปุ่น⁽⁵⁾ ขณะที่สาหร่ายขนาดเล็กได้รับความสนใจเพิ่มขึ้นอย่างมากในช่วงไม่กี่ทศวรรษที่ผ่านมา เนื่องจากผู้คนทั่วโลกให้ความสนใจในเรื่องของความต้องการโปรตีนคุณภาพสูงที่มาจากพืช (plant-based) แหล่งของอาหารที่มีคุณค่าโภชนาการสูงและความตระหนักเรื่องความยั่งยืนทางสิ่งแวดล้อม เนื่องด้วยผลิตภัณฑ์จากสาหร่ายสามารถลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกได้มากกว่าผลิตภัณฑ์จากภาคปศุสัตว์ ทำให้สาหร่ายขนาดเล็กถูกหยิบยกขึ้นมาศึกษาอย่างลึกซึ้งยิ่งขึ้น โดยสาหร่ายขนาดเล็กถูกยอมรับว่าเป็น “โรงงานชีวภาพ (bio-factories)” ที่สามารถผลิตสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพ (bioactive compounds) เช่น โปรตีน กรดไขมันจำเป็น วิตามิน แร่ธาตุ และสารต้านอนุมูลอิสระ อีกทั้งยังมีบทบาทสำคัญในการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ (aquaculture) ทั้งในส่วนของอาหารตั้งต้นสำหรับลูกพันธุ์และเป็นส่วนผสมอาหารสัตว์น้ำวัยโต รวมถึงมีการนำไปประยุกต์ใช้ในอาหารสัตว์บก เช่น สัตว์ปีก สุนัข และสัตว์เลี้ยงด้วย⁽⁶⁾

อย่างไรก็ตามการผลิตสาหร่ายในระดับอุตสาหกรรมยังมีความท้าทายที่จำเป็นต้องได้รับการแก้ไขอย่างเหมาะสม ทั้งด้านต้นทุนการผลิต การควบคุมมาตรฐานความปลอดภัย และการปรับปรุงสายพันธุ์สาหร่ายให้มีประสิทธิภาพการผลิตสารต่าง ๆ สูงขึ้น บทความนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อทบทวนองค์ความรู้เกี่ยวกับสาหร่ายที่รับประทานได้ รวมถึงสำรวจคุณค่าทางโภชนาการทางอาหารที่พบในสาหร่าย

สาหร่ายที่นิยมนำมาบริโภค

จากรายงานการศึกษาพบว่า สาหร่ายหลากหลายชนิดสามารถนำมาบริโภคได้ ดังแสดงรายละเอียดใน Table 1 โดยสาหร่ายทะเลจัดเป็นกลุ่มหลักที่ได้รับความนิยมบริโภคมากที่สุด ตัวอย่างสาหร่ายทะเลในกลุ่มสาหร่ายสีเขียว เช่น *Caulerpa* (สาหร่ายพวงองุ่น) *Codium* และ *Ulva* สาหร่ายสีแดง เช่น *Porphyra* (สาหร่ายโนริ) *Asparagopsis taxiformis*, *Gracilaria* (สาหร่ายผมนาง) *Chondrus crispus*, *Palmaria palmata* (สาหร่ายดัลส์) สาหร่ายทะเลในกลุ่มสาหร่ายสีน้ำตาล เช่น *Laminaria* (สาหร่ายคอมบุ) *Undaria* (สาหร่ายวากาเมะ) และ *Macrocystis* โดยรูปแบบการบริโภคมักเป็นรูปแบบสด อบแห้ง หรือดอง ผ่านการปรุงหรือเป็นส่วนประกอบในอาหาร⁽⁷⁻⁸⁾ นอกจากนี้สาหร่ายทะเลแล้วยังพบว่า สาหร่ายขนาดใหญ่ น้ำจืดนิยมนำมาบริโภคด้วย ตัวอย่างเช่น *Spirogyra* (สาหร่ายเตาหรือเทา) *Microspora*, *Rhizoclonium*, *Cladophora* (สาหร่ายไถ) *Nostoc* (สาหร่ายไข่หิน) *Nostochopsis* (สาหร่ายลอน)⁽⁹⁻¹⁰⁾

ในขณะที่สาหร่ายขนาดเล็กที่รู้จักในเชิงพาณิชย์ ได้แก่ *Spirulina* (หรือ *Arthrospira*), *Chlorella*, *Haematococcus* และ *Dunaliella*⁽¹¹⁻¹²⁾ ซึ่งมีความโดดเด่นแตกต่างกันไปในแต่ละชนิด โดย *Spirulina* มีโปรตีนสูง (ร้อยละ 50-70 โดยน้ำหนักแห้ง) และมีสารรงควัตถุไฟโคไซยานิน (phycocyanin) ที่ให้สีฟ้า-น้ำเงิน สาหร่าย *Chlorella* มีปริมาณคลอโรฟิลล์สูง สาหร่าย *Dunaliella salina* มีความสามารถในการสังเคราะห์สารสีในกลุ่มแคโรทีนอยด์มากเป็นพิเศษภายใต้สภาวะแวดล้อมที่มีความเค็มสูง นอกจากการใช้เป็นอาหารและอาหารเสริมแล้ว สารสกัดจากสาหร่ายยังถูกนำไปใช้ในอุตสาหกรรมเวชภัณฑ์และโภชนเภสัช (pharmaceuticals and nutraceuticals) ตัวอย่างเช่น แอสตาแซนธิน (astaxanthin) จาก *Haematococcus pluvialis* ซึ่งได้รับการศึกษาอย่างต่อเนื่องว่ามีคุณสมบัติต้านอนุมูลอิสระที่มีประสิทธิภาพ⁽¹³⁾

Table 1 Algae that has been reported to be edible or used as an ingredient in food products^(9-10, 4-18)

Macroalgae	Green marine: (Chlorophyta)	<i>Ulva lactuca</i>
		<i>U. rigida</i>
		<i>Monostroma nitidum</i>
		<i>Caulerpa lentillifera</i>
		<i>Ca. racemosa</i>
	Brown marine: (Phaeophyceae)	<i>Codium</i> spp.
		<i>Ascophyllum nodosum</i>
		<i>Fucus serratus</i>
		<i>F. spiralis</i>
		<i>F. vesiculosus</i>
		<i>Laminaria digitata</i>
		<i>L. japonica</i>
		<i>L. longicruris</i>
		<i>L. saccharina</i>
		<i>Saccharina latissimi</i>
Microalgae	Green freshwater (Chlorophyta)	<i>S. japonica</i>
		<i>Undaria pinnatifida</i>
		<i>Eisenia bicyclis</i>
		<i>Sargassum fusiforme</i>
		<i>Bifurcaria bifurcata</i>
	Red marine: (Rhodophyta)	<i>P. palmata</i>
		<i>C. crispus</i>
		<i>Lithothamnium calcareum</i>
		<i>Gracilariopsis longissimi</i>
		<i>Gracilaria</i> sp.
		<i>Porphyra tenera</i>
		<i>Po. umbilicalis</i>
		<i>Po. yezoensis</i>
		<i>Po. dioica</i>
		<i>Po. laciniata</i>
Microalgae	Green freshwater (Chlorophyta)	<i>Po. purpurea</i>
		<i>Po. leucostica</i>
		<i>Spirogyra neglecta</i>
		<i>Microspora</i> sp.
		<i>Rhizoclonium</i> sp.
		<i>Cladophora glomerata</i>
	Green freshwater (Chlorophyta)	<i>Auxenochlorella pyrenoidosa</i>
		<i>Au. protothecoides</i>
		<i>Chlorella vulgaris</i>
		<i>Ch. lobophora</i>
		<i>Ch. sorokiniana</i>
		<i>Heterochlorella luteoviridis</i>
		<i>Jaagichlorella luteoviridis</i>
		<i>H. pluvialis</i>
		<i>Nannochloropsis</i> sp.

Table 1 (continued)

Microalgae	Green freshwater (Chlorophyta)	<i>Isochrysis</i> sp. <i>D. salina</i> * <i>Tetraselmis</i> sp.*
	Red marine microalgae (Rhodophyta)	<i>Porphyridium</i> sp.
	Other	<i>Euglena gracilis</i> <i>Schizochytrium</i> sp.
		<i>Sp. platensis</i> <i>Sp. maxima</i>
Blue-green algae (Cyanobacteria)		<i>Arthrospira fusiformis</i> <i>Aphanizomenon flos-aquae</i> <i>Nostoc</i> sp.
		<i>Nostochopsis</i> sp.

(*found in freshwater and marine habitat)

คุณค่าทางโภชนาการของสาหร่าย

สาหร่ายที่บริโภคได้มีคุณค่าทางโภชนาการสูงและอุดมไปด้วยสารอาหารหลากหลาย โดยพบได้ทั้งในสาหร่ายขนาดเล็กและขนาดใหญ่ ไม่ว่าจะเป็นสาหร่ายน้ำจืดหรือน้ำเค็ม

โปรตีน (proteins)

โปรตีนจากสาหร่าย (algal proteins) ได้รับความสนใจอย่างมากในช่วงไม่กี่ปีที่ผ่านมา เนื่องจากมีศักยภาพในการทดแทนแหล่งโปรตีนหลัก แม้ว่าโปรตีนจากสัตว์ เช่น เนื้อไก่ เนื้อวัว และเนื้อปลา จะยังคงเป็นแหล่งโปรตีนหลักที่บริโภคกันทั่วโลก แต่เมื่อคำนึงถึงความยั่งยืนและผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมจากกระบวนการผลิตโปรตีนจากสัตว์ กลับต้องใช้ทรัพยากรสูงและก่อให้เกิดผลกระทบต่อระบบนิเวศ⁽¹⁹⁾ จากรายงานการตีพิมพ์ในไม่กี่ปีที่ผ่านมาเผยให้เห็นว่าสาหร่ายมีประสิทธิภาพในการผลิตโปรตีนต่อพื้นที่ได้ดีกว่า ในการผลิตโปรตีน 1 กิโลกรัม สาหร่ายจะใช้พื้นที่ 1.7-5.4 ตารางเมตร ขณะที่โปรตีนจากไข่ไก่จะใช้พื้นที่ 26-135 ตารางเมตร หรือ 76-166 ตารางเมตร สำหรับโปรตีนจากเนื้อวัว⁽²⁰⁾ เมื่อพิจารณาถึงการใช้น้ำในกระบวนการ

ผลิตยังพบว่า สาหร่ายใช้น้ำในกระบวนการน้อยกว่าโปรตีนจากถั่วและโปรตีนจากเนื้อสัตว์อย่างมีนัยสำคัญ⁽²¹⁾ นอกจากนี้การปล่อยก๊าซเรือนกระจกอย่างก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์สู่ชั้นบรรยากาศ ในการผลิตเนื้อวัว 1 กิโลกรัม จะปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า 150-1,240 กิโลกรัม ขณะที่การผลิตโปรตีนจากสาหร่ายปล่อยคาร์บอนไดออกไซด์เท่ากับ 2.25 กิโลกรัม⁽²²⁾ หากเมื่อเปรียบเทียบโปรตีนจากสาหร่ายกับโปรตีนจากพืช เช่น ถั่วเหลือง ถั่วลูกไก่ แม้ว่าพืชดังกล่าวจะอุดมด้วยวิตามิน แร่ธาตุ และสารต้านอนุมูลอิสระ แต่ก็มักขาดกรดอะมิโนจำเป็นบางชนิด จึงจำเป็นต้องบริโภคควบคู่กับแหล่งโปรตีนอื่นเพื่อให้ได้สารอาหารครบถ้วน นอกจากนี้แมลงซึ่งมีปริมาณโปรตีนเฉลี่ยสูงถึงร้อยละ 60 และมีกรดอะมิโนจำเป็นครบถ้วน ยังนับเป็นอีกหนึ่งแหล่งโปรตีนทางเลือกที่มีศักยภาพ ทว่าการยอมรับในมิติทางวัฒนธรรมและพฤติกรรมผู้บริโภคยังคงเป็นอุปสรรคสำคัญอยู่ในปัจจุบัน⁽²³⁾

โปรตีนจากสาหร่ายมีส่วนในชีวมวลค่อนข้างสูง (Table 2) โดยสาหร่ายสกุล

Arthrospira (Spirulina) sp. และ *Chlorella sp.* อาจมีปริมาณโปรตีนสูงถึงร้อยละ 50-70 ขณะที่สาหร่ายสีแดง *Porphyra sp.* มีสัดส่วนโปรตีนสูงถึงร้อยละ 44 และสาหร่าย *Ulva sp.* มีปริมาณโปรตีนร้อยละ 37 เมื่อพิจารณาองค์ประกอบของกรดอะมิโนจำเป็นพบว่า โปรตีนจากสาหร่ายมีกรดอะมิโนที่สำคัญอย่างครบถ้วน (Table 3) อาทิ ไลซีน ทรีโอนีน และทริปโตเฟน ส่งผลให้โปรตีนจากสาหร่ายเป็นแหล่งโปรตีนสมบูรณ์ (complete protein) ที่เหมาะสำหรับผู้บริโภคอาหารมังสวิรัต หรือผู้ที่ไม่บริโภคเนื้อสัตว์⁽²⁴⁾ ในด้านการย่อยได้และการดูดซึม (digestibility and bioavailability) มี

งานวิจัยรองรับว่า มีค่าการย่อยได้ค่อนข้างดี อย่างไรก็ตามประสิทธิภาพการย่อยยังขึ้นอยู่กับเทคนิคการเตรียมชีวมวลสาหร่าย เช่น การทำลายผนังเซลล์ด้วยวิธีเชิงกล (mechanical disruption) หรือการใช้เอนไซม์เพื่อปลดปล่อยโปรตีนภายในเซลล์⁽²⁵⁾ สำหรับสมบัติของโปรตีนจากสาหร่ายที่นำมาประยุกต์ใช้ในอุตสาหกรรมอาหารมีรายงานว่า โปรตีนจากสาหร่ายยังช่วยเพิ่มคุณสมบัติการเกิดเจล (gelation) การเกิดอิมัลชัน (emulsification) และความสามารถในการอุ้มน้ำ (water-binding capacity) ในผลิตภัณฑ์อาหารได้อีกด้วย⁽²⁵⁻²⁶⁾

Table 2 Protein content of some edible algae⁽²⁷⁻³³⁾

Algae	Protein content (% of dry weight)
Microalgae	
<i>Ch. vulgaris</i>	51.0-58.0
<i>H. pluvialis</i>	48.0
<i>Porphyridium cruentum</i>	28.0-39.0
Macroalgae	
<i>Spirogyra sp.</i>	6.0-20.0
<i>Cladophora sp.</i>	16.0-21.5
<i>Ca. cupressoides</i>	20.8
<i>Ca. racemosa</i>	12.5-17.4
<i>U. intestinalis</i>	17.9
<i>U. lactuca</i>	37.1
<i>Un. pinnatifida</i>	11.0-24.0
<i>L. saccharina</i>	6.0-11.0
<i>Gracilaria spp.</i>	5.2-23.6
<i>C. crispus</i>	20.0
<i>Po. umbilicalis</i>	15.0-37.0
<i>Po. tenera</i>	47.5
<i>P. palmata</i>	12.0-21.0
Blue-green algae (Cyanobacteria)	
<i>Ar. platensis</i>	55.0-70.0
<i>Ar. maxima</i>	60.0-71.0



Table 3 Essential amino acid content of some edible algae⁽³⁴⁻³⁸⁾

Algae	Essential amino acid content (% of total proteins)								
	Histidine	Isoleucine	Leucine	Lysine	Methionine	Phenylalanine	Threonine	Tryptophan	Valine
Microalgae									
<i>Chlorella</i> sp.	1.8	3.8	7.8	5.2	2.2	4.3	4.0	0.8	5.3
<i>Ch. vulgaris</i>	2.0	3.8	8.8	8.4	2.2	5.0	4.8	-	5.5
<i>Phaeodactylum tricornutum</i>	1.5	4.6	7.0	6.4	2.7	4.8	4.8	2.6	5.1
<i>Nannochloropsis granulata</i>	2.3	5.6	11.0	8.5	3.5	6.2	5.4	2.8	7.1
<i>Tetraselmis chuii</i>	1.6	3.4	7.3	5.6	2.4	4.7	4.0	2.3	4.8
Macroalgae									
<i>Spi porticalis</i>	1.5	5.2	8.6	6.5	1.6	4.2	4.4	1.1	5.3
<i>U. armoricana</i>	1.2-2.1	2.3-3.6	4.6-6.7	3.5-4.4	1.4-2.6	5.0-7.1	4.5-6.8	-	4.0-5.2
<i>U. lactuca</i>	0.3	0.8	1.6	1.1	0.4	1.3	1.2	1.4	1.4
<i>P. palmata</i>	0.5-1.2	3.5-3.7	5.9-7.1	2.7-5.0	2.7-4.5	4.4-5.3	5.1-6.9	3.0	5.1-6.9
<i>Po. tenera</i>	1.4	4.0	8.7	4.5	1.1	3.9	6.4	1.3	6.4
Blue-green algae (cyanobacteria)									
<i>Sp. platensis</i>	2.2	6.7	9.8	4.8	2.5	5.3	6.2	-	7.1

ไขมัน (lipids)

ไขมันเป็นอีกองค์ประกอบทางโภชนาการที่มีความสำคัญ โดยไขมันในสาหร่ายนั้นสามารถผลิตได้ทั้งจากสาหร่ายขนาดเล็กและสาหร่ายขนาดใหญ่ (Table 4) ไขมันเหล่านี้แบ่งเป็น 2 ประเภทหลักคือ ไขมันไม่มีขั้ว (nonpolar lipids) เช่น ไตรกลีเซอไรด์ กรดไขมันอิสระ สเตอรอล และไขมันมีขั้ว (polar lipids) เช่น ฟอสโฟลิพิด ไกลโคลิพิด ซึ่งทำหน้าที่ต่างกันทางชีวภาพ ไขมันไม่มีขั้วคิดเป็นประมาณร้อยละ 90 ของไขมันทั้งหมด ทำหน้าที่สะสมพลังงาน ส่วนไขมันมีขั้วมีบทบาทสำคัญในโครงสร้างเยื่อหุ้มเซลล์และแสดงฤทธิ์ทางชีวภาพที่น่าสนใจสำหรับอุตสาหกรรมอาหารเสริมและยา สาหร่ายหลายชนิด เช่น *Ch. vulgaris* *D. salina* และ *Sp. platensis* อุดมด้วยกรดไขมันไม่อิ่มตัวเชิงซ้อน (PUFAs) ทั้งกรดไขมันจำเป็นกลุ่มโอเมกา-3 (EPA; Eicosapentaenoic acid หรือกรดอีโคซะเพนตะอีโนอิก DHA; Docosahexaenoic acid หรือกรดโดโคซะเฮกซะอีโนอิก ALA; α -Linolenic acid หรือกรดแอลฟาไลโนเลนิก) และโอเมกา-6 (AA;

Arachidonic acid หรือกรดอะราคิโดนิก LA; Linoleic acid หรือกรดลิโนเลอิก) (Table 5)⁽³⁹⁾ สาหร่ายทะเล *Enteromorpha compressa* มีกรดไขมันชนิด AA ในขณะที่สาหร่ายทะเลขนาดเล็กอย่าง *Phaeodactylum tricornutu* และ *Isochrysis galbana* สังเคราะห์ EPA และ DHA ได้อย่างมีประสิทธิภาพ⁽⁴⁰⁾ ไขมันจากสาหร่ายถูกนำไปใช้ในอาหารฟังก์ชัน อาหารเสริม โดยกรดไขมันกลุ่มโอเมกา-3 ถูกเติมในนมผงสำหรับทารกและผลิตภัณฑ์บำรุงหัวใจ ในขณะที่ฟอสโฟลิพิดจากสาหร่าย *Polarella glacialis* และไกลโคลิพิดจาก *N. gaditana* มีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระและต้านการอักเสบ เหมาะสำหรับเวชสำอางและระบบนำส่งยา (drug delivery)⁽⁴¹⁾ นอกจากนี้ไตรกลีเซอไรด์จากสาหร่ายยังถูกวิจัยเพื่อผลิตไบโอดีเซลได้อีกด้วย สาหร่ายขนาดเล็กมีปริมาณไขมันร้อยละ 20-50 ของน้ำหนักแห้ง เหมาะสำหรับการผลิตโอเมกา-3 ส่วนสาหร่ายขนาดใหญ่มีไขมันน้อยกว่า (ร้อยละ 2-10) แต่ให้กรดไขมันชนิดกรดไขมันชนิด AA และ ALA ในสัดส่วนที่มากกว่าสาหร่ายขนาดเล็ก⁽⁴²⁾

Table 4 Lipid content of some edible algae^(34,43-44)

Algae	Lipid (% of dry weight)
Microalgae	
<i>T. chuii</i> (PLY-429)	12.3
<i>Ch. emersonii</i>	28.0-32.0
<i>Ch. minutissima</i>	57.0
<i>Ch. protothecoides</i>	57.9
<i>Ch. pyrenoidosa</i>	2.0
<i>D. bioculata</i>	8.0
<i>D. primolecta</i>	23.0
<i>D. salina</i>	6.0
<i>D. tertiolecta</i>	35.6
<i>N. granulate</i> (CCMP-535)	23.6
<i>N. granulata</i> (CCMP-535)	47.8

Table 4 (continued)

Algae	Lipid (% of dry weight)
Microalgae	
<i>Ph. tricornutum</i> (CCMP-1327)	18.2
<i>Ph. tricornutum</i>	20.0-30.0
<i>Neochloris oleoabundans</i> (UTEX-1185)	15.4
<i>Por. aeruginosum</i> (UTEX-755)	13.7
<i>Acutodesmus dimorphus</i> (UTEX-1237)	18.8
Macroalgae	
<i>Co. fragile</i>	1.8
<i>En. linza</i>	1.8
<i>Gelidium amansii</i>	0-3.1
<i>Po. tenera</i>	4.4
<i>Gracillaria verrucosa</i>	3.2
<i>L. japonica</i>	1.8-2.4
<i>Hizikia fusiforme</i>	0.4-1.5
<i>S. japonica</i>	0.5
<i>Sa. fulvellum</i>	1.4-1.6
<i>Ecklonia stolonifera</i>	2.4
<i>Un. pinnatifida</i>	1.8-2.0
<i>Spirogyra</i> sp.	11.0-21.0
Blue-green algae (Cyanobacteria)	
<i>Sp. maxima</i>	6.0-7.0
<i>Sp. platensis</i>	4.0-9.0

Table 5 The amount of PUFAs in some algae^(39,45-47)

Algae	PUFAs (% of total fatty acids)		
	ALA	EPA	DHA
Microalgae			
<i>Chlamydomonas mexicana</i>	14.3	–	–
<i>Chl. reinhardtii</i>	44.0	–	–
<i>Ch. sorokiniana</i>	11.0	2.4	–
<i>Ch. vulgaris</i>	18.3-35.4	0.9	0.5
<i>Nannochloropsis</i> sp.	0.1-17	4.0-34.0	–
<i>N. oceanica</i>	–	27.0	–
<i>N. oculata</i>	–	34.0	–
<i>N. salina</i>	0.9	12.7	–
<i>Ph. tricornutum</i>	–	17.7-30.0	0.7-2.4
<i>Schizochytrium limacinum</i>	1.0	1.0	45.0
<i>D. salina</i>	12.9	–	15.4
<i>Pavlova lutheri</i>	0.5	23.4	13.5
<i>Por. cruentum</i>	–	25.4	0.1
<i>I. galbana</i>	6.0-11.0	3.0-7.0	10.0-14.0
<i>I. zhangjiangensis</i>	11.0	2.0	14.0

Table 5 (continued)

Algae	PUFAs (% of total fatty acids)		
	ALA	EPA	DHA
Microalgae			
<i>Cryptocodinium cohnii</i>	-	-	37.0-40.0
<i>Odontella aurita</i>	0.8	25.6	3.8
<i>Rhodomonas</i> sp.	19.8	7.7	3.8
<i>Tetraselmis</i> sp.	13.6-18.8	3.7-9.4	-
<i>Skeletonema</i> sp.	0.1	10.8	2.2
<i>Tisochrysis lutea</i>	-	2.8	12.7
Macroalgae			
<i>Co. fragile</i>	14.2-19.9	3.0-4.4	-
<i>Co. tomentosum</i>	12.0	2.0	12.0
<i>Sa. muticum</i>	6.2	13.9	7.3
<i>Un. pinnatifida</i>	7.5	13.1	8.6
<i>Colpomenia peregrina</i>	1.5	2.6	5.8
<i>G. gracilis</i>	-	5.6	-
<i>Calliblepharis jubata</i>	-	6.2	22.3
<i>Emiliania huxleyi</i>	-	-	9.2

คาร์โบไฮเดรต (carbohydrates)

สาหร่ายเป็นหนึ่งในทรัพยากรธรรมชาติที่มีศักยภาพสูงในการนำมาใช้ประโยชน์ในหลายอุตสาหกรรม โดยเฉพาะอย่างยิ่งอุตสาหกรรมอาหาร หนึ่งในองค์ประกอบหลักที่ทำให้สาหร่ายเป็นที่สนใจอย่างแพร่หลายคือ “พอลิแซ็กคาไรด์” (polysaccharides)⁽¹⁴⁾ โดยพอลิแซ็กคาไรด์เป็นคาร์โบไฮเดรตโมเลกุลใหญ่ที่เกิดจากมอนอแซ็กคาไรด์มากกว่า 10 โมเลกุลขึ้นไปต่อกันเป็นสายยาวเชื่อมต่อกันด้วยพันธะทางเคมี พอลิแซ็กคาไรด์ในสาหร่ายมีปริมาณร้อยละ 20-70 (Table 6) ของน้ำหนักแห้ง โดยความแตกต่างนี้ขึ้นอยู่กับแหล่งที่อยู่ ชนิดของสาหร่าย และปัจจัยด้านสิ่งแวดล้อม พอลิแซ็กคาไรด์จากสาหร่ายมีความหลากหลายมากทั้งในแง่โครงสร้างและคุณสมบัติทางเคมีกายภาพ ตัวอย่างที่สำคัญ ได้แก่ อัลจิเนต (alginic acid) ฟุคอยแดน (fucoidan) ลามินาริน (laminarin)

ซัลเฟตกาแลคแทน (sulfated galactan) อัลวาน (ulvan) ไชลาน (xylan) อาการ์ (agar) คาร์ราจีแนน (carrageenan) พอร์ไฟริน (porphyran) และฟลอริเดียน (floridean starch)⁽⁴⁸⁻⁵⁰⁾ ซึ่งต่างมีบทบาทหลากหลาย เช่น เป็นโครงสร้างหลักของผนังเซลล์สาหร่าย เป็นส่วนสำคัญในการเจริญเติบโตของสาหร่ายเอง เป็นสารสำรองพลังงาน และมีฤทธิ์ทางชีวภาพ เช่น ต้านอนุมูลอิสระ ต้านการอักเสบ เสริมสร้างระบบภูมิคุ้มกัน

ในอุตสาหกรรมอาหาร พอลิแซ็กคาไรด์เหล่านี้ถูกนำมาใช้ประโยชน์อย่างกว้างขวาง ทั้งในรูปแบบของสารเพิ่มความหนืด สารก่อเจล สารคงตัวในอิมัลชัน และสารเสริมโภชนาการในผลิตภัณฑ์อาหารหลากหลายประเภท ตัวอย่างเช่น อัลจิเนตและคาร์ราจีแนนที่สกัดจากสาหร่ายสีน้ำตาลและสาหร่ายสีแดง มีความสามารถปรับปรุงเนื้อสัมผัสและรักษาคุณภาพของผลิตภัณฑ์นม เครื่องดื่ม และ

เยลลี่ได้อย่างมีประสิทธิภาพ⁽⁵¹⁾ ขณะที่ฟูคอยแดน และลามินาริน ซึ่งเป็นซัลเฟตพอลิแซ็กคาไรด์ (sulfated polysaccharides) มีฤทธิ์เสริมสุขภาพ และเป็นที่สนใจในการพัฒนาเป็นผลิตภัณฑ์อาหารเสริม⁽⁵²⁻⁵³⁾ โดยรวมแล้วพอลิแซ็กคาไรด์จากสาหร่าย ไม่เพียงตอบโจทย์ด้านการปรับปรุงคุณลักษณะทาง

ประสาทสัมผัสของอาหาร แต่ยังมีแนวโน้มช่วยยกระดับคุณค่าทางโภชนาการและสุขภาพ ซึ่งเป็นปัจจัยสำคัญต่อการพัฒนานวัตกรรมอาหารสมัยใหม่ที่เน้นประโยชน์และความยั่งยืนในระยะยาว

Table 6 The amount of carbohydrate content in algae^(34,43,54-55)

Algae	carbohydrate content (% of dry weight)
Microalgae	
<i>Ch. vulgaris</i>	5.3-22.7
<i>Scenedesmus</i> sp.	16.4-45.4
<i>Chl. reinhardtii</i>	3.3-37.0
<i>Haematococcus</i> sp.	6.3-48.8
<i>Ph. tricornutum</i>	25.2
<i>N. granulata</i>	27.4-36.2
<i>Neochlorisoleo abundans</i>	37.8
<i>Por. aeruginosum</i>	45.8
<i>A. dimorphus</i>	38.6
<i>T. chuii</i>	25.0
Macroalgae	
<i>Po. tenera</i>	35.9
<i>Po. rotunda</i>	52.7
<i>G. verrucosa</i>	33.5
<i>L. japonica</i>	51.9-59.7
<i>L. digitata</i>	65.3
<i>L. articulata</i>	36.2
<i>H. fusiforme</i>	28.6-59.0
<i>S. japonica</i>	44.5
<i>S. latissima</i>	73.0
<i>Sa. fulvellum</i>	39.6-66.0
<i>Ecklonia stolonifera</i>	48.6
<i>Un. pinnatifida</i>	40.1-52.0
<i>Cladophora</i> sp.	25.1-60.9
<i>U. lactuca</i>	71.8
<i>A. nodosum</i>	66.4
<i>P. palmata</i>	66.1
<i>F. serratus</i>	69.5
<i>Punctaria latifolia</i>	50.5
Blue-green algae (Cyanobacteria)	
<i>Sp. platensis</i>	3.3-42.5

วิตามินและแร่ธาตุ (vitamins and minerals)

อย่างที่ทราบกันดีแล้วว่าสาหร่ายจัดเป็นแหล่งอาหารและสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพที่สำคัญ วิตามินและแร่ธาตุ เป็นอีกองค์ประกอบหนึ่งที่สำคัญต่อกระบวนการทางสรีรวิทยาและโภชนาการของมนุษย์ ในปัจจุบันงานวิจัยจำนวนมากได้รายงานว่าสาหร่ายไม่ว่าจะเป็นสาหร่ายขนาดใหญ่ หรือสาหร่ายขนาดเล็กทั้งน้ำจืดและสาหร่ายน้ำเค็มหรือสาหร่ายทะเล ต่างก็มีศักยภาพในการสังเคราะห์และสะสมวิตามินหลากหลายชนิด เช่น วิตามินที่ละลายในไขมัน (วิตามินเอ ดี อี และ เค) วิตามินที่ละลายในน้ำ (กลุ่มวิตามินบี และ วิตามินซี) (Table 7) และแร่ธาตุสำคัญ (Table 8) เช่น ไอโอดีน แคลเซียม แมกนีเซียม และเหล็ก ในปริมาณสูงเมื่อเทียบกับพืชบกบางชนิด⁽⁵⁶⁾ ทำให้สาหร่ายเป็นที่น่าสนใจในอุตสาหกรรมอาหารเสริม เครื่องสำอาง และเวชโภชนาภัณฑ์ (nutraceuticals)

วิตามินและแร่ธาตุเป็นสารอาหารรอง (micronutrient) ที่สิ่งมีชีวิตหลายชนิดรวมถึงมนุษย์ไม่สามารถสังเคราะห์ได้เอง (หรือสังเคราะห์ได้ไม่เพียงพอ) จึงจำเป็นต้องได้รับจากอาหาร วิตามินมีบทบาทสำคัญในกระบวนการเผาผลาญ

และเป็นโคเอนไซม์ (coenzyme) หรือร่วมทำงานกับเอนไซม์ในกระบวนการทางชีวเคมีหลากหลายแขนง การขาดวิตามินและแร่ธาตุเชื่อมโยงกับโรคและความผิดปกติของร่างกาย เช่น โรคเหน็บชา (ขาดวิตามินบี1) โรคลักปิดลักเปิด (ขาดวิตามินซี) ภาวะโลหิตจาง (ขาดวิตามินบี12 หรือโฟเลต หรือขาดธาตุเหล็ก) ความหนาแน่นของกระดูกลดลง (ขาดแคลเซียม) จังหวะการเต้นของหัวใจผิดปกติ (ขาดแมกนีเซียม) เป็นต้น งานวิจัยในช่วงสองทศวรรษที่ผ่านมาเน้นให้ความสนใจกับสาหร่ายในฐานะแหล่งอาหารที่อุดมไปด้วยวิตามิน ทั้งสาหร่ายขนาดใหญ่ที่นิยมนำมาบริโภคในหลายประเทศ โดยเฉพาะในทวีปเอเชีย และสาหร่ายขนาดเล็กที่มักนำไปเพาะเลี้ยงเพื่อผลิตสารมูลค่าสูงด้านโภชนเภสัชและอุตสาหกรรมเครื่องสำอาง (cosmeceuticals) วิตามินที่พบในสาหร่ายเหล่านี้ไม่เพียงช่วยส่งเสริมคุณค่าทางอาหาร แต่ยังช่วยลดการใช้สารเคมีสังเคราะห์ได้ จึงเป็นทางเลือกที่ “เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม” (eco-friendly) และตอบรับกระแส “วีแกน” หรือการเลี้ยงผลิตภัณฑ์จากสัตว์ได้เป็นอย่างดี

Table 7 Mineral content in some edible algae^(57–59)

Vitamin	Algae	Quantitative (µg/g dry weight)
Vitamin B1	<i>T. suecica</i>	32.3
	<i>I. galbana</i>	14.0
	<i>D. tertiolecta</i>	29.0
	<i>Ch. stigmatophora</i>	14.6
Vitamin B2	<i>T. suecica</i>	19.1
	<i>I. galbana</i>	30.0
	<i>D. tertiolecta</i>	31.2
	<i>Ch. stigmatophora</i>	19.6
	<i>N. gaditana</i>	22.1
	<i>Chlorella sp.</i>	20.7–33.6



Table 7 (continued)

Vitamin	Algae	Quantitative (µg/g dry weight)
Vitamin B3	<i>N. gaditana</i>	240.0
	<i>Chlorella</i> sp.	110.0
Vitamin B5	<i>T. suecica</i>	37.7
	<i>I. galbana</i>	9.1
	<i>D. tertiolecta</i>	13.2
	<i>Ch. stigmatophora</i>	21.4
	<i>T. suecica</i>	0.8
Vitamin B7	<i>I. galbana</i>	1.0
	<i>D. tertiolecta</i>	0.9
	<i>Ch. stigmatophora</i>	1.1
	<i>D. tertiolecta</i>	2,310.0
Vitamin C	<i>Ch. pyrenoidosa</i>	1,000.0-2,000.0
	<i>T. suecica</i>	191.0
	<i>I. galbana</i>	119.0
	<i>D. tertiolecta</i>	163.0
	<i>Ch. stigmatophora</i>	100.2
	<i>Tetraselmis</i> sp.	3,000.0
	<i>Stichococcus</i> sp.	2,500.0
	<i>A. nodosum</i>	810.0
	<i>U. rigida</i>	940.0
	<i>Un. pinnatifida</i>	1,840.0
	<i>Himanthalia</i> sp.	460.0
	<i>N. oculata</i> SAG38.85	1,440.0
	<i>H. pluvialis</i>	1,180.0
Vitamin E	<i>Microchloropsis salina</i>	1,090.0
	<i>Coccomyxa</i> sp.	1,060.0
	<i>Chlorococcum novae angliae</i>	785.0
	<i>Chl.s nivalis</i>	719.7
	<i>N. oculata</i>	2,320.0
	<i>T. suecica</i>	421.8
	<i>I. galbana</i>	58.2
	<i>Ch. stigmatophora</i>	669.0
	<i>D. tertiolecta</i>	160.0-1,810.0
	<i>T. suecica</i>	390.0
	<i>I. galbana</i>	55.4
	<i>Trentepohlia aurea</i>	2,400.0
	<i>E. gracilis</i>	1,422.0
	<i>Diacronema vlkianum</i>	551.3

Table 8 The amount of minerals found in algae⁽⁵⁹⁻⁶⁰⁾

Algae	Minerals in algae (mg/100 g of dry weight)							
	Calcium	Potassium	Magnesium	Sodium	Copper	Iron	Zinc	Iodine
Microalgae								
<i>Por. cruentum</i>	2,067.8	1,102.0	473.7	4,452.6	1.2	37.7	11.5	-
<i>I. galbana</i>	1,145.5	1,314.4	400.4	2,735.0	2.8	31.0	13.4	-
<i>Ph. tricornutum</i>	2,905.1	2,408.9	1,448.1	4,328.9	5.5	87.7	10.3	-
<i>T. suecica</i>	1,790.7	1,349.4	601.4	3,223.1	1.1	30.9	6.6	-
<i>N. gaditana</i>	631.3	1,260.7	370.3	2,022.6	2.9	48.9	10.1	-
Macroalgae								
<i>A. nodosum</i>	900.0	4,400.0	700.0	3,900.0	-	13.3	-	75.0-125.0
<i>L. digitata</i>	1,005.0	11,579.0	659.0	3,818.0	<0.5	3.3	2.0	304.0
<i>Himanthalia elongata</i>	909.0	6,739.0	827.0	3,700.0	-	-	3.8	-
<i>Un. pinnatifida</i>	931.0	8,669.0	1,181.0	7,064.0	<0.5	-	1.7	25.0
<i>Ca. lentillifera</i>	1,874.0	1,143.0	1,029.0	8,917.0	0.1	21.4	3.5	-
<i>U. rigida</i>	525.0	1,561.0	2,094.0	1,595.0	0.5	283.0	0.6	-
<i>P. palmata</i>	1,000.0	2,700.0	200.0	1,100.0	0.6	32.0	2.9	-
<i>Po. umbilicus</i>	687.0	1,407.0	283.0	1,173.0	-	18.2	4.2	17.0
<i>C. crispus</i>	420.0	3,184.0	732.0	427.0	<0.5	4.0	7.1	20.0-30.0
<i>G. vermiculophylla</i>	0.4	4.9	0.3	-	0.0015	0.04	0.0024	-

ข้อจำกัดและแนวทางการพัฒนาผลผลิตสาหร่าย

ถึงแม้ว่าสาหร่ายจะมีศักยภาพในการเป็นแหล่งอาหาร แต่การเลือกซื้อเพื่อบริโภคควรเลือกซื้อสาหร่ายจากแหล่งผลิตหรือแหล่งเพาะเลี้ยงที่น่าเชื่อถือ เพื่อความสะอาดและปลอดภัยต่อสุขภาพ นอกจากนี้สาหร่ายบางชนิดโดยเฉพาะอย่างยิ่งสาหร่ายทะเล จะมีปริมาณโซเดียมค่อนข้างสูง จึงควรเลี่ยงการบริโภคที่มากเกินไปหรือบริโภคติดต่อกันเป็นเวลานาน ในด้านการผลิตสาหร่ายปริมาณมากในระดับอุตสาหกรรมยังคงเผชิญกับความท้าทายหลายประการ เช่น ข้อจำกัดด้านต้นทุนการเพาะเลี้ยงที่สูง ตลอดจนพลังงานจำนวนมากที่จำเป็นในการเก็บเกี่ยวชีวมวล งานวิจัยหลายชิ้นระบุว่าต้นทุนการผลิต โดยเฉพาะการเก็บเกี่ยวชีวมวลสาหร่ายขนาดเล็กอยู่ในช่วงประมาณ 36-105 ยูโร (€: EUR) ต่อกิโลกรัม และต้นทุนในขั้นตอนการเก็บเกี่ยวนี้คิดเป็นสัดส่วนร้อยละ 20-30 ของต้นทุนการผลิตทั้งหมด⁽⁶¹⁾ นอกจากนี้การควบคุมคุณภาพและมาตรฐานด้านความปลอดภัยยังขาดมาตรฐานที่ชัดเจนและเป็นที่ยอมรับในระดับสากล⁽⁶²⁾ ความท้าทายดังกล่าวสะท้อนให้เห็นถึงความจำเป็นในการวิจัยและพัฒนาเทคโนโลยีที่สามารถยกระดับผลผลิตของสาหร่ายให้มีคุณภาพและความปลอดภัยตามมาตรฐาน อีกทั้งยังต้องส่งเสริมความรู้ ความเข้าใจ และการยอมรับจากผู้บริโภคอย่างกว้างขวาง ทั้งนี้ การผลักดันให้สาหร่ายกลายเป็นแหล่งอาหาร จำเป็นต้องดำเนินการพัฒนาในหลากหลายมิติ ได้แก่

1. การพัฒนาด้านความยั่งยืน: การจับคู่วิธีการเพาะเลี้ยงสาหร่ายร่วมกับระบบบำบัดน้ำหรือการกักเก็บคาร์บอน เพื่อให้กระบวนการผลิต

เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อมยิ่งขึ้น เช่น การนำน้ำที่เหลือจากกระบวนการผลิตเวย์มาใช้เป็นแหล่งสารอาหารสำหรับการเพาะเลี้ยงสาหร่าย⁽⁶¹⁾

2. การบูรณาการเทคโนโลยี: การคัดเลือกสายพันธุ์ การปรับปรุงพันธุ์และพันธุวิศวกรรม เป็นอีกหนึ่งวิธีที่จะสามารถเพิ่มผลผลิตชีวมวลได้ การเพาะเลี้ยงสายพันธุ์สาหร่ายท้องถิ่นที่มีความสามารถในการปรับตัวเข้ากับสภาพแวดล้อมเฉพาะพื้นที่ จะมีการเจริญของชีวมวลอย่างมีประสิทธิภาพ นอกจากนี้การพัฒนาเทคโนโลยีระบบเพาะเลี้ยง เช่น การเพาะเลี้ยงโดยใช้เครื่องปฏิกรณ์ชีวภาพแบบมีระบบแสง (photobioreactor)⁽⁶³⁾ การพัฒนารูปแบบเพาะเลี้ยง (cultivation mode: heterotrophic, mixotrophic, photoheterotrophic) และกระบวนการเพาะเลี้ยง (cultivation process: fed-batch, fed-batch, continuous) ไปจนถึงปัญญาประดิษฐ์ในการติดตามหรือเพิ่มกำลังผลิต เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตและลดต้นทุน⁽⁶⁴⁻⁶⁵⁾

3. การศึกษาทางคลินิก: ศึกษาเพิ่มเติมเกี่ยวกับคุณสมบัติของสารสำคัญเพื่อยืนยันถึงประโยชน์ต่อสุขภาพของสารสำคัญในสาหร่าย

4. การยอมรับจากผู้บริโภค: สร้างการจดจำให้กับแบรนด์ ชื่อสินค้าและผลิตภัณฑ์หลากหลายที่รสชาติดี มีภาพลักษณ์ดี และให้ข้อมูลด้านประโยชน์อย่างตรงไปตรงมา

บทสรุป

สาหร่ายที่รับประทานได้ถือเป็นอาหารที่ไม่เพียงดีต่อร่างกายและสุขภาพ ยังสามารถส่งเสริมความยั่งยืนด้านสิ่งแวดล้อม สาหร่ายขนาดใหญ่ (โดยเฉพาะสาหร่ายทะเล) เป็นอาหารดั้งเดิมในหลายภูมิภาค ขณะที่สาหร่ายขนาดเล็ก เช่น *Spirulina*, *Chlorella*, *Dunaliella*, *Haematococcus* ได้รับการวิจัยและพัฒนาเพื่อนำมาใช้ประโยชน์เชิงพาณิชย์อย่างกว้างขวาง คุณค่าทางโภชนาการสูง ทั้งโปรตีน กรดไขมันโอเมกา-3 วิตามิน และแร่ธาตุต่าง ๆ ทำให้สาหร่ายเป็นแหล่งอาหารทางเลือกช่วย

แก้ภัยด้านโภชนาการและสุขภาพของประชากรโลก ท้ายที่สุด การวิจัยเกี่ยวกับสาหร่ายมีความก้าวหน้า โดยความร่วมมือระหว่างภาครัฐ ภาคเอกชน และภาควิชาการจะเป็นปัจจัยสำคัญในการขับเคลื่อนและปลดล็อกศักยภาพของสาหร่ายในฐานะส่วนหนึ่งของระบบอาหาร ความร่วมมือดังกล่าวจะมีบทบาทในการบรรเทาปัญหาภาวะทุพโภชนาการ ส่งเสริมสุขภาพของประชากร และสนับสนุนการพัฒนาที่ยั่งยืนทางสิ่งแวดล้อมในระยะยาว

เอกสารอ้างอิง

1. Sakschewski B, Von Bloh W, Huber V, Müller C, Bondeau A. Feeding 10 billion people under climate change: How large is the production gap of current agricultural systems? *Ecol Modell.* 2014;288.
2. Maqbool ME, Farhan A, Qamar MA. Global impact of COVID-19 on food safety and environmental sustainability: Pathways to face the pandemic crisis. Vol. 10, *Heliyon.* Elsevier Ltd; 2024.
3. Vermeulen SJ, Campbell BM, Ingram JSI. Climate change and food systems. Vol. 37, *Annual Review of Environment and Resources.* 2012.
4. Ahmed N, Sheikh MA, Ubaid M, Chauhan P, Kumar K, Choudhary S. Comprehensive exploration of marine algae diversity, bioactive compounds, health benefits, regulatory issues, and food and drug applications. Vol. 14, *Measurement: Food.* Elsevier Ltd; 2024.
5. Danao K, Rokde V, Nagar A, Bendale AR, Karande N. Advances in food and nutrition research. In: *Nutrigenomics and Nutraceuticals.* 2024.
6. Zhou L, Li K, Duan X, Hill D, Barrow C, Dunshea F, et al. Bioactive compounds in microalgae and their potential health benefits. Vol. 49, *Food Bioscience.* 2022.
7. Mendes MC, Navalho S, Ferreira A, Paulino C, Figueiredo D, Silva D, et al. Algae as Food in Europe: An Overview of Species Diversity and Their Application†. Vol. 11, *Foods.* 2022.
8. Ścieszka S, Klewicka E. Algae in food: a general review. Vol. 59, *Critical Reviews in Food Science and Nutrition.* 2019.
9. Thiamdao S, Motham M, Pekkoh J, Mungmai L, Peerapornpisal Y. *Nostochopsis lobatus* Wood em. Geitler (Nostocales), edible algae in northern Thailand. *Chiang Mai Journal of Science.* 2012;39(1).
10. Thiamdao S, Boo GH, Boo SM, Peerapornpisal Y. Diversity of edible cladophora (cladophorales, chlorophyta) in northern and northeastern Thailand, based on morphology and nuclear ribosomal DNA sequences. *Chiang Mai Journal of Science.* 2012;39(2).
11. Masojidek J, Torzillo G. Mass Cultivation of Freshwater Microalgae. In: *Encyclopedia of Ecology, Five-Volume Set.* 2008.
12. Masojidek J, Torzillo G. Mass Cultivation of Freshwater Microalgae. In: *Reference Module in Earth Systems and Environmental Sciences.* 2014.

13. Khoo KS, Lee SY, Ooi CW, Fu X, Miao X, Ling TC, et al. Recent advances in biorefinery of astaxanthin from *Haematococcus pluvialis*. Vol. 288, Bioresour Technol. 2019.
14. Wu JY, Tso R, Teo HS, Haldar S. The utility of algae as sources of high value nutritional ingredients, particularly for alternative/complementary proteins to improve human health. Vol. 10, Front Nutr. 2023.
15. Senevirathne M, Kim SK. Marine macro- and microalgae as potential agents for the prevention of asthma. Hyperresponsiveness and inflammatory subjects. In: Advances in Food Nutr Res. 2011.
16. Thiviya P, Gamage A, Gama-Arachchige NS, Merah O, Madhujith T. Seaweeds as a Source of Functional Proteins. Vol. 2, Phycology. 2022.
17. Thunyawanichnondh J, Suebsiri N, Lertamonchaikul S, Pimolsri W, Jittanit W, Charoensiddhi S. Potential of green seaweed *Ulva rigida* in Thailand for healthy snacks. J Fish Environ. 2020;44(1).
18. Hwang PA, Wong SL, Liu YC. A Comparison of Cooking Conditions of *Rhizoclonium* Pulp as a Substitute for Wood Pulp. Polymers (Basel). 2022;14(19).
19. Wang S, Miao S, Sun DW. Modifying structural and techno-functional properties of quinoa proteins through extraction techniques and modification methods. Vol. 143, Trends in Food Science and Technology. 2024.
20. Ciani M, Lippolis A, Fava F, Rodolfi L, Niccolai A, Tredici MR. Microbes: Food for the future. Vol. 10, Foods. 2021.
21. Ali SS, Al-Tohamy R, Al-Zahrani M, Schagerl M, Kornaros M, Sun J. Advancements and challenges in microalgal protein production: A sustainable alternative to conventional protein sources. Vol. 24, Microbial Cell Factories. BioMed Central Ltd; 2025.
22. Li X, Wang K, Bai F, Ge P, Tan M. Algal protein: Structural functionality, advanced extraction technologies, and challenges for applications in food nutrition security. Food Chem. 2025;477:135035.
23. Lange KW, Nakamura Y. Edible insects as future food: chances and challenges. Vol. 1, Journal of Future Foods. 2021.
24. Surya Ulhas R, Ravindran R, Malaviya A, Priyadarshini A, Tiwari BK, Rajauria G. A review of alternative proteins for vegan diets: Sources, physico-chemical properties, nutritional equivalency, and consumer acceptance. Food Research International. 2023;173.
25. Bleakley S, Hayes M. Algal proteins: Extraction, application, and challenges concerning production. Foods. 2017;6(5).
26. Phillips GO, Williams PA. Handbook of Food Proteins. Cambridge: Woodhead Publishing; 2011.
27. Dewan A, Sridhar K, Yadav M, Bishnoi S, Ambawat S, Nagaraja SK, et al. Recent trends in edible algae functional proteins: Production, bio-functional properties, and sustainable food packaging applications. Vol. 463, Food Chemistry. Elsevier Ltd; 2025.
28. Benjama O, Masniyom P. Nutritional composition and physicochemical properties of two green seaweeds (*Ulva pertusa* and *U. intestinalis*) from the Pattani Bay in Southern Thailand. Songklanakarin Journal of Science and Technology. 2011;33(5).
29. Gamero-Vega G, Palacios-Palacios M, Quitral V. Nutritional composition and bioactive compounds of red seaweed: A mini-review. J Food Nutr Res. 2020;8(8):431–40. doi:10.12691/jfnr-8-8-7.
30. Roy S Sen, Pal R. Microalgae in Aquaculture: A Review with Special References to Nutritional Value and Fish Dietetics. Vol. 68, Proceedings of the Zoological Society. 2015.
31. Hwang ES, Ki KN, Chung HY. Proximate composition, amino acid, mineral, and heavy metal content of dried laver. Prev Nutr Food Sci. 2013;18(2).
32. de Gaillande C, Payri C, Remoissenet G, Zubia M. *Caulerpa* consumption, nutritional value and farming in the Indo-Pacific region. In: Journal of Applied Phycology. 2017.
33. Nutautaitė M, Vilienė V, Racevičiūtė-Stupelienė A, Bliznikas S, Karosienė J, Koreivienė J. Freshwater *Cladophora* glomerata biomass as promising protein and other essential nutrients source for high quality and more sustainable feed production. Agriculture (Switzerland). 2021;11(7).

34. Tibbetts SM, Milley JE, Lall SP. Chemical composition and nutritional properties of freshwater and marine microalgal biomass cultured in photobioreactors. *J Appl Phycol.* 2015;27(3).
35. Pastrana-Pastrana ÁJ, Rodríguez-Herrera R, Solanilla-Duque JF, Flores-Gallegos AC. Plant proteins, insects, edible mushrooms and algae: more sustainable alternatives to conventional animal protein. Vol. 5, *Journal of Future Foods.* KeAi Communications Co.; 2025. p. 248–56.
36. Elsharkawy S, Nour A, Zaki M, Mehrim A. Impacts of dietary replacement of soybean meal with dried *Ulva lactuca* meal on growth performance, feed efficiency, and physiological responses of *Oreochromis niloticus*. *Egypt J Aquat Biol Fish.* 2022;26(3).
37. Raji AA, Jimoh WA, Bakar NHA, Taufek NHM, Muin H, Alias Z, et al. Dietary use of *Spirulina (Arthrospira)* and *Chlorella* instead of fish meal on growth and digestibility of nutrients, amino acids and fatty acids by African catfish. *J Appl Phycol.* 2020;32(3).
38. Haroun AA, Matazu IK, Abdulhamid Y, Sani J. Molecular identification of green algae, *Spirogyra porticalis*, along parts of River Kaduna and its potential for single-cell protein (SCP) production. *Niger Ann Pure Appl Sci.* 2019;1:28–34.
39. Chen W, Li T, Du S, Chen H, Wang Q. Microalgal polyunsaturated fatty acids: Hotspots and production techniques. Vol. 11, *Frontiers in Bioengineering and Biotechnology.* 2023.
40. Barta DG, Coman V, Vodnar DC. Microalgae as sources of omega-3 polyunsaturated fatty acids: Biotechnological aspects. *Algal Res.* 2021;58.
41. De Bhowmick G, Guieysse B, Everett DW, Reis MG, Thum C. Novel source of microalgal lipids for infant formula. Vol. 135, *Trends in Food Science and Technology.* 2023.
42. Santos JP, Guihéneuf F, Fleming G, Chow F, Stengel DB. Temporal stability in lipid classes and fatty acid profiles of three seaweed species from the north-eastern coast of Brazil. *Algal Res.* 2019;41.
43. Milledge JJ, Nielsen B V., Maneein S, Harvey PJ. A brief review of anaerobic digestion of algae for BioEnergy. Vol. 12, *Energies.* 2019.
44. Akubude VC, Nwaigwe KN, Dintwa E. Production of biodiesel from microalgae via nanocatalyzed transesterification process: A review. *Mater Sci Energy Technol.* 2019;2(2).
45. Rocha CP, Pacheco D, Cotas J, Marques JC, Pereira L, Gonçalves AMM. Seaweeds as valuable sources of essential fatty acids for human nutrition. *Int J Environ Res Public Health.* 2021;18(9).
46. Lafarga T, Acién G. Cultured Microalgae for the Food Industry: Current and Potential Applications. *Cultured Microalgae for the Food Industry: Current and Potential Applications.* 2021.
47. Soto-Sánchez O, Hidalgo P, González A, Oliveira PE, Hernández Arias AJ, Dantagnan P. Microalgae as Raw Materials for Aquafeeds: Growth Kinetics and Improvement Strategies of Polyunsaturated Fatty Acids Production. Vol. 2023, *Aquaculture Nutrition.* 2023.
48. Jin Y, Yu Q, Li S, Chen T, Liu D. Application of seaweed polysaccharide in bone tissue regeneration. Vol. 10, *Frontiers in Marine Science.* 2023.
49. Ju J, Yang J, Zhang W, Wei Y, Yuan H, Tan Y. Seaweed polysaccharide fibers: Solution properties, processing and applications. Vol. 140, *Journal of Materials Science and Technology.* 2023.
50. Zhong H, Gao X, Cheng C, Liu C, Wang Q, Han X. The Structural Characteristics of Seaweed Polysaccharides and Their Application in Gel Drug Delivery Systems. Vol. 18, *Marine Drugs.* 2020.
51. Liao YC, Chang CC, Nagarajan D, Chen CY, Chang JS. Algae-derived hydrocolloids in foods: applications and health-related issues. Vol. 12, *Bioengineered.* 2021.



52. Li Y, Zheng Y, Zhang Y, Yang Y, Wang P, Imre B, et al. Brown algae carbohydrates: Structures, pharmaceutical properties, and research challenges. Vol. 19, *Marine Drugs*. 2021.
53. Karuppusamy S, Rajauria G, Fitzpatrick S, Lyons H, McMahon H, Curtin J, et al. Biological properties and health-promoting functions of laminarin: A comprehensive review of preclinical and clinical studies. vol. 20, *Marine Drugs*. 2022.
54. Selvaraj S, Bains A, Sharma M, Chawla P, Sridhar K. Freshwater Edible Algae Polysaccharides: A Recent Overview of Novel Extraction Technologies, Characterization, and Future Food Applications. *J Polym Environ*. 2023;
55. Beacham TA, Cole IS, DeDross LS, Raikova S, Chuck CJ, Macdonald J, et al. Analysis of seaweeds from South West England as a biorefinery feedstock. *Applied Sciences (Switzerland)*. 2019 Oct 1;9(20).
56. Koyande AK, Chew KW, Rambabu K, Tao Y, Chu DT, Show PL. Microalgae: A potential alternative to health supplementation for humans. Vol. 8, *Food Science and Human Wellness*. 2019.
57. Arora N, Philippidis GP. The Prospects of Algae-Derived Vitamins and Their Precursors for Sustainable Cosmeceuticals. Vol. 11, *Processes*. 2023.
58. Alam MA, Parra-Saldivar R, Bilal M, Afroze CA, Ahmed MN, Iqbal HMN, et al. Algae-derived bioactive molecules for the potential treatment of sars-cov-2. Vol. 26, *Molecules*. 2021.
59. Imchen T. Nutritional value of seaweeds and their potential to serve as nutraceutical supplements. *Phycologia*. 2021;60(6).
60. Di Lena G, Casini I, Lucarini M, Sanchez del Pulgar J, Aguzzi A, Caproni R, et al. Chemical characterization and nutritional evaluation of microalgal biomass from large-scale production: a comparative study of five species. *European Food Research and Technology*. 2020; 246(2).
61. Gupta S, Marchetti JM. Co-cultivation of high-value microalgae species with filamentous microalgae for dairy wastewater treatment. *NPJ Clean Water*. 2024 Dec 1;7(1).
62. Qin S, Wang K, Gao F, Ge B, Cui H, Li W. Biotechnologies for bulk production of microalgal biomass: from mass cultivation to dried biomass acquisition. Vol. 16, *Biotechnology for Biofuels and Bioproducts*. 2023.
63. Abdur Razzak S, Bahar K, Islam KMO, Haniffa AK, Faruque MO, Hossain SMZ, et al. Microalgae cultivation in photobioreactors: sustainable solutions for a greener future. Vol. 5, *Green Chemical Engineering*. 2024.
64. Guieysse B, Plouviez M. Microalgae cultivation: closing the yield gap from laboratory to field scale. *Front Bioeng Biotechnol*. 2024;12.
65. Abreu AP, Morais RC, Teixeira JA, Nunes J. A comparison between microalgal autotrophic growth and metabolite accumulation with heterotrophic, mixotrophic and photoheterotrophic cultivation modes. Vol. 159, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 2022.