

ศักยภาพของสาหร่ายเพื่อการเป็นพรีไบโอติกและการประยุกต์ใช้

เนตรดาว พิมพ์ทอง¹

ศรายุทธ สายแสง¹

ชนิปรียา เปี่ยมงาม¹

วนิดา ปานอุทัย^{2*}

¹ภาควิชาจุลชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

²ฝ่ายจุลชีววิทยาประยุกต์

สถาบันคั้นคว่ำและพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหาร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

*ผู้นิพนธ์หลัก อีเมล : ifrwdp@ku.ac.th

รับเมื่อ 22 มกราคม 2567 แก้ไขเมื่อ 13 มีนาคม 2567 ตอรับเมื่อ 25 มีนาคม 2567

จุดเด่น

- สาหร่ายอุดมไปด้วยคุณค่าทางโภชนาการ
- สาหร่ายเป็นแหล่งพรีไบโอติกชนิดใหม่
- ศักยภาพของพรีไบโอติกและคุณสมบัติเชิงสุขภาพจากสาหร่าย

บทคัดย่อ

ประชากรโลกมีความสนใจในการบริโภคอาหารเพื่อสุขภาพ มีคุณค่าทางอาหาร และเป็นแหล่งของพรีไบโอติก สาหร่ายอุดมไปด้วยคุณค่าทางโภชนาการ ประกอบด้วย คาร์โบไฮเดรต โปรตีน และกรดไขมันไม่อิ่มตัวซึ่งมีฤทธิ์ทางชีวภาพสูง ซึ่งพอลิแซ็กคาไรด์จากสาหร่ายมีศักยภาพการเป็นพรีไบโอติก และสามารถประยุกต์ใช้สำหรับอาหารเพื่อสุขภาพ เนื่องจากมีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ ต้านมะเร็ง ลดความดันโลหิต และคุณสมบัติเชิงสุขภาพหลากหลาย บทความนี้กล่าวถึงสาหร่ายทั้งสาหร่ายขนาดใหญ่และขนาดเล็ก คุณค่าทางอาหารของสาหร่าย ศักยภาพของสาหร่ายเพื่อเป็นสารพรีไบโอติกและการประยุกต์ใช้ในผลิตภัณฑ์อาหาร และการทำงานของพรีไบโอติกจากสาหร่ายร่วมกับพรีไบโอติกรวมทั้งผลต่อการส่งเสริมสุขภาพ

คำสำคัญ : สาหร่าย พรีไบโอติก พอลิแซ็กคาไรด์ สมบัติเชิงหน้าที่



The potential of algae as a prebiotic and application

Netdaow Pimthong¹,
Sarayut Saisaeng¹,
Chanipreeya Peimngam¹, and
Wanida Pan-utai^{2*}

¹Department of Microbiology, Faculty of Science, Kasetsart University

²Department of Applied Microbiology,

Institute of Food Research and Product Development, Kasetsart University

*Corresponding author, e-mail : ifrwdp@ku.ac.th

Received 22 January 2024; Revised 13 March 2024; Accepted 25 March 2024

Highlights

- Algae are rich in nutrients
- Algae as a novel source of prebiotics
- Algae exhibit prebiotic properties and possess various biological benefits

Abstract

The global population is interested in healthy food consumption, nutritional trends, and sources of prebiotics. Algae are rich in nutritional composition, including carbohydrates, protein, and unsaturated fatty acids, and they have high biological properties. Polysaccharide from algae has prebiotic potential and can be applied to health food product corporations. There are antioxidants, anticancer, lower blood pressure, and biological activities. This review provides an overview of algae, including macro- and micro-algae, as well as nutrition, prebiotic, and food applications. The interaction of algae prebiotic and probiotic are combined, and their health benefits.

Keywords : algae, prebiotic, polysaccharide, functionality

บทนำ

ปัจจุบันผู้บริโภคหันมาใส่ใจในสุขภาพเพิ่มมากขึ้น โดยที่ส่วนผสมและผลิตภัณฑ์อาหารเป็นสิ่งสำคัญต่อการเลือกรับประทานอาหารเพื่อสุขภาพ รวมถึงศักยภาพของพรีไบโอติกของอาหารที่มีประโยชน์ต่อร่างกาย สาหร่ายจึงเป็นที่สนใจและได้รับความนิยมนิยมเพิ่มมากขึ้น เนื่องจากมีคุณค่าทางโภชนาการสูง รวมทั้งชีวมวลของสาหร่ายยังอุดมไปด้วยพอลิแซ็กคาไรด์ โปรตีน กรดไขมันไม่อิ่มตัวเชิงซ้อน แคโรทีนอยด์ วิตามิน และแร่ธาตุต่าง ๆ อย่างไรก็ตามพอลิแซ็กคาไรด์หรืออนุพันธ์ซึ่งไม่ได้ถูกหมักโดยแบคทีเรียในลำไส้ใหญ่ทั้งหมด จึงมีศักยภาพเป็นพรีไบโอติก โดยทั่วไปมีการประยุกต์ใช้สาหร่ายเป็นแหล่งโปรตีน และเป็นส่วนผสมในผลิตภัณฑ์อาหารเพื่อสุขภาพ เช่น ของหวาน ผลิตภัณฑ์นม อนุพันธ์ของน้ำมัน พาสต้า เป็นต้น หรืออาหารสำหรับสัตว์ปีก วัว และปลา นอกจากนี้สาหร่ายจะเป็นแหล่งพรีไบโอติกและกรดอะมิโนที่สมดุลแล้ว สารประกอบที่พบในสาหร่ายยังมีคุณสมบัติสำคัญ ประกอบด้วย คุณสมบัติการออกฤทธิ์ทางชีวภาพเพื่อกระตุ้นการตอบสนองของระบบภูมิคุ้มกัน การต้านอนุมูลอิสระ การต้านมะเร็ง การแข็งตัวของเลือด ฤทธิ์ป้องกันตับ และการลดความดันโลหิต⁽¹⁾

ศักยภาพของพรีไบโอติกเป็นลักษณะเฉพาะของอาหารบางชนิดซึ่งแทบจะไม่ถูกย่อยในระบบทางเดินอาหารหรือหมักโดยจุลินทรีย์ในลำไส้ จึงช่วยเพิ่มการเจริญของจุลินทรีย์ที่เป็นประโยชน์ต่อสุขภาพที่เรียกว่า โพรไบโอติกในระบบทางเดินอาหารส่วนล่างหรือลำไส้ใหญ่ ส่งผลดีต่อสุขภาพในการป้องกันโรคต่าง ๆ รวมด้วย นอกจากนี้ยัง

สามารถป้องกันอาการท้องผูก แผลในกระเพาะอาหาร เบาหวาน โรคโลหิตจาง และความดันโลหิตสูง โพรไบโอติกจำนวนมากพบอยู่ในผลิตภัณฑ์นมหลายชนิดเพื่อปรับปรุงสุขภาพของลำไส้ เช่น โยเกิร์ต นมเปรี้ยว ซีส และไอศกรีม ประกอบด้วยกลุ่มจุลินทรีย์ส่งเสริมสุขภาพที่หลากหลาย ซึ่งบางชนิดมีอาศัยอยู่ในลำไส้ตามปกติและบางชนิดเป็นแบคทีเรียที่เกิดจากการหมัก

พรีไบโอติก เป็นสารอาหารประเภทพอลิแซ็กคาไรด์ (polysaccharide) และโอลิโกแซ็กคาไรด์ (oligosaccharide) ที่ร่างกายไม่สามารถย่อยได้และไม่ถูกดูดซึมในลำไส้เล็ก แต่จะถูกหมักหรือผ่านกระบวนการหมัก (fermentation) โดยจุลินทรีย์ประจำถิ่น (natural microflora) และจุลินทรีย์โพรไบโอติกในลำไส้ใหญ่ส่วนกลาง (colon) ซึ่งเมื่อถูกหมักย่อยแล้วจะได้เป็นกรดไขมันสายสั้น (short-chain fatty acids) สามารถพบพรีไบโอติกได้ในกระเทียม หัวหอม หน่อไม้ฝรั่ง กะหล่ำปลี สาหร่ายทะเล กัลฉ่าย แดงโม แอปเปิล และข้าวบาร์เลย์ พรีไบโอติกมีคุณสมบัติช่วยส่งเสริมการเจริญของจุลินทรีย์โพรไบโอติกในลำไส้ใหญ่ส่วนกลางและมีฤทธิ์ต้านจุลินทรีย์ก่อโรค ได้แก่ *Salmonella* sp. และ *Escherichia coli* เป็นต้น โดยขัดขวางการเพิ่มจำนวนของจุลินทรีย์ก่อโรคในลำไส้ใหญ่ส่วนกลาง นอกจากนี้การนำพรีไบโอติกที่เป็นจุลินทรีย์ที่ดีต่อลำไส้ และพรีไบโอติกที่เป็นแหล่งสารอาหารของโพรไบโอติกผสมเข้าด้วยกัน ทำให้การทำงานของโพรไบโอติกมีประสิทธิภาพมากขึ้น เมื่อรวมโพรไบโอติกและพรีไบโอติกไว้ในผลิตภัณฑ์อาหารเดียวกัน เรียกว่า “ซินไบโอติก

(synbiotics) ซึ่งเป็นการเสริมฤทธิ์ให้การทำงานของจุลินทรีย์โพรไบโอติกดีขึ้น ช่วยเพิ่มความสามารถในการไปเสริมสร้างภูมิคุ้มกัน ทำให้ลำไส้แข็งแรงและเป็นการเพิ่มปริมาณของจุลินทรีย์ที่ดีให้แก่ร่างกาย⁽²⁾

สาหร่ายจึงเป็นแหล่งของพรีไบโอติกทางเลือกใหม่ เนื่องจากสาหร่ายมีปริมาณเส้นใยอาหารสูง ซึ่งประกอบด้วย เส้นใยที่ละลายน้ำที่มีซัลเฟต (fucoidan, agar, carrageenan และ ulvan) และไม่มีซัลเฟต (laminaran และ alginate) และมีพอลิแซ็กคาไรด์ปริมาณมาก ซึ่งเป็นแหล่งของพรีไบโอติกที่ส่งผลดีต่อสุขภาพ⁽³⁾

สาหร่าย

สาหร่ายเป็นสิ่งมีชีวิตที่สังเคราะห์แสงประกอบด้วยเซลล์เดี่ยวหรือหลายเซลล์ที่มีคลอโรฟิลล์และสารให้สี หรือรงควัตถุต่าง ๆ ซึ่งสาหร่ายเปลี่ยนพลังงานแสงเป็นพลังงานเคมีผ่านการสังเคราะห์ด้วยแสง และทำหน้าที่สำคัญของวงจรในระบบนิเวศทางธรรมชาติ สาหร่ายถูกจัดกลุ่มตามประเภทของรงควัตถุที่ใช้สำหรับการสังเคราะห์แสง โครงสร้างของผนังเซลล์ และประเภทของสารประกอบคาร์โบไฮเดรตที่เก็บไว้เพื่อใช้เป็นพลังงาน โดยทั่วไปสาหร่ายแบ่งได้เป็นสองกลุ่มใหญ่ตามขนาดสาหร่าย คือ สาหร่ายขนาดใหญ่ (macroalgae) และสาหร่ายขนาดเล็ก (microalgae) สาหร่ายขนาดใหญ่สามารถมองเห็นด้วยตาเปล่า สามารถจัดประเภทตามรงควัตถุให้สี สามารถแบ่งออกเป็นสามกลุ่มคือ สาหร่ายสีน้ำตาล (*Phaeophyceae*) สาหร่ายสีแดง (*Rhodophyceae*) และสาหร่ายสีเขียว (*Chlorophyceae*)⁽⁴⁾ ส่วนสาหร่ายขนาดเล็ก

(microalgae) ไม่สามารถมองเห็นด้วยตาเปล่า ต้องศึกษาผ่านทางกล้องจุลทรรศน์ เช่น ซายาโนแบคทีเรีย เป็นต้น⁽⁵⁻⁶⁾

ในปัจจุบันมีจำนวนสาหร่ายมากกว่าสิบล้านสายพันธุ์ ส่วนใหญ่เป็นกลุ่มสาหร่ายขนาดเล็ก ซึ่งประมาณร้อยละ 70 อาศัยอยู่ในน้ำ ทั้งในน้ำทะเล ทะเลสาบ หรือแม่น้ำ และยังสามารถพบได้ในสภาพแวดล้อมอื่น ๆ ดังเช่น บริเวณพื้นดิน ต้นไม้ และหิน เป็นต้น โดยทั่วไปสาหร่ายอาศัยอยู่ในสภาพแวดล้อมที่มีอุณหภูมิประมาณ 20-30 องศาเซลเซียส แต่มีบางสายพันธุ์สามารถมีชีวิตอยู่ได้ที่อุณหภูมิต่ำกว่า หรือ ในพื้นที่ที่เต็มไปด้วยน้ำแข็ง หรือที่อุณหภูมิสูงกว่า 70 องศาเซลเซียส ดังเช่น ในน้ำแร่ สภาพแวดล้อมที่เค็ม ทะเลสาบ และทะเลที่มีระดับความเข้มข้นต่ำและระดับความกดอากาศสูง เป็นต้น โดยที่ปัจจัยต่าง ๆ ส่งผลต่อการเจริญของสาหร่าย เช่น สารอาหาร อุณหภูมิ แสง ความขุ่น ความเค็ม ความเป็นกรดต่าง ปริมาณออกซิเจนและคาร์บอนไดออกไซด์ ความเข้มข้นของเกลือและวิตามิน ซึ่งทำให้ได้สาหร่ายที่เป็นแหล่งของสารอาหารหลักและสารอาหารรอง ได้แก่ โปรตีน กรดอะมิโน คาร์โบไฮเดรต แร่ธาตุ วิตามิน กรดไขมันไม่อิ่มตัว และสารต้านอนุมูลอิสระหลากหลายชนิด⁽⁷⁾

สาหร่ายขนาดใหญ่ หรือ สาหร่ายทะเลที่นิยมรับประทาน แบ่งได้เป็นสามกลุ่ม⁽⁸⁻⁹⁾ ดังนี้ **กลุ่มที่ 1** สาหร่ายสีแดง ได้แก่ สาหร่ายสาย (*Porphyra* sp.) สาหร่ายผมนาง (*Gracilaria* sp.) สาหร่ายฝอย (*Hypnea* sp.) สาหร่ายแดง (*Laurencia* sp.) และ สาหร่ายหางม้า (*Acanthophora* sp.) **กลุ่มที่ 2** สาหร่ายสีน้ำตาล

ได้แก่ สาหร่ายทุ่น (*Sargassum* sp.) สาหร่ายใบพาย หรือคอมบุ (*Laminaria* sp.) สาหร่ายวากาเมะ (*Undaria* sp.) สาหร่ายเขากวาง (*Dictyota* sp.) และ สาหร่ายจอก (*Turbinaria* sp.) และ **กลุ่มที่ 3** สาหร่ายสีเขียว ได้แก่ สาหร่ายผักกาดทะเล (*Ulva* sp.) สาหร่ายพวงองุ่น หรือสาหร่ายขนนก (*Caulerpa* sp.) สาหร่ายเตาหรือเทา (*Spirogyra* sp.) และ สาหร่ายไก่อ (*Microspora* sp.) สาหร่ายขนาดเล็กที่นิยมรับประทาน ได้แก่ สาหร่ายขนาดเล็กคลอเรลล่า (*Chlorella* sp.) และสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงิน อย่างเช่น *Arthrospira* หรือ *Spirulina* sp. นิยมนำมารับประทานเป็นอาหารเสริม⁽¹⁰⁾

คุณค่าทางอาหารของสาหร่าย

สาหร่ายจัดเป็นแหล่งอาหารที่อุดมไปด้วยองค์ประกอบทางเคมี หรือ คุณค่าทางอาหาร ซึ่งอุดมไปด้วยโปรตีน คาร์โบไฮเดรต กรดไขมัน วิตามิน และแร่ธาตุต่าง ๆ และมีปริมาณแตกต่างกันตามสายพันธุ์และการเพาะเลี้ยง โดยมีรายละเอียดดังนี้

โปรตีน โดยทั่วไปโปรตีนจากสาหร่ายทะเลอุดมไปด้วยกรดอะมิโน ได้แก่ ไกลซีน อาร์จินีน อะลานีน กรดกลูตามิก และกรดอะมิโนจำเป็นครบถ้วน สาหร่ายขนาดใหญ่มีปริมาณโปรตีนอยู่ในช่วงร้อยละ 5-47 ของชีวมวลสาหร่ายแห้ง โดยสาหร่ายขนาดใหญ่ที่มีปริมาณโปรตีนสูงที่สุด คือ สาหร่ายสีแดง รองลงมาสาหร่ายสีเขียว และปริมาณโปรตีนต่ำที่สุด คือ สาหร่ายสีน้ำตาล ทั้งนี้ปริมาณโปรตีนของสาหร่ายยังแตกต่างกันตามฤดูกาล⁽¹¹⁻¹²⁾ ส่วนสาหร่ายขนาดเล็กหลายชนิดมี

ปริมาณโปรตีนสูง ได้แก่ สาหร่าย *Spirulina* sp. มีปริมาณโปรตีนตั้งแต่ร้อยละ 42 ถึงมากกว่าร้อยละ 70 และสาหร่าย *Chlorella vulgaris* มีปริมาณโปรตีนร้อยละ 58 ซึ่งประกอบไปด้วยกรดอะมิโนจำเป็นทั้งหมด นอกจากนี้กรดอะมิโนที่พบยังมีความสมดุลและคล้ายกับโปรตีนคุณภาพสูงที่ได้จากแหล่งอื่น เช่น แลคโตโกลบูลิน อัลบูมินที่พบในไข่ และถั่วเหลือง เป็นต้น⁽¹³⁾

พอลิแซ็กคาไรด์ เป็นกลุ่มของคาร์โบไฮเดรตซึ่งประกอบด้วยน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยวทั้งชนิดเดียวกัน หรือต่างชนิดกัน เรียงต่อกันด้วยพันธะไกลโคซิดิก (glycosidic bond) เป็นสายยาว⁽¹⁴⁾ ซึ่งเป็นส่วนประกอบที่มีมากที่สุดของสาหร่ายขนาดใหญ่ เพื่อกักเก็บพลังงานและเป็นองค์ประกอบของผนังเซลล์ เซลลูโลสเป็นพอลิแซ็กคาไรด์ชนิดหนึ่งที่ไม่สามารถย่อยได้ ทำหน้าที่เป็นโครงสร้างให้กับผนังเซลล์ของสาหร่ายขนาดใหญ่หลายชนิด มีปริมาณตั้งแต่ร้อยละ 2-10 ของพอลิแซ็กคาไรด์ทั้งหมด โดยโครงสร้างที่มีอยู่ในผนังเซลล์สาหร่ายประกอบด้วยสารประกอบที่ไม่ละลายน้ำ ส่วนใหญ่เป็นเซลลูโลส ไซแลน และแมนแนน และพอลิแซ็กคาไรด์ที่ละลายน้ำได้ เช่น วุ้น คาราจีแนน อัลจินเต และฟูคอยแดน เป็นต้น ซึ่งเป็นองค์ประกอบหลักของสาหร่าย⁽¹⁵⁾ พอลิแซ็กคาไรด์ที่พบได้ในสาหร่ายแต่ละสายพันธุ์แตกต่างกันไป ดังเช่น อัลจินเต และฟูคอยแดน เป็นพอลิแซ็กคาไรด์หลักที่พบได้ในสาหร่ายสีน้ำตาล⁽¹⁶⁾ คาราจีแนนและอะการ์ (agar) เป็นพอลิแซ็กคาไรด์หลักที่พบในสาหร่ายสีแดง และอูลวาน (ulvan) เป็นพอลิแซ็กคาไรด์หลักที่พบในสาหร่ายสีเขียว⁽¹⁷⁾ พอลิแซ็กคาไรด์จากสาหร่าย

ขนาดใหญ่ที่พบส่วนใหญ่มีองค์ประกอบของเส้นใย (fiber) และไม่มีแป้ง ซึ่งมีคุณสมบัติช่วยปรับสมดุลระดับน้ำตาลในเลือดให้เป็นปกติ และยังมีคุณสมบัติเป็นพรีไบโอติกได้อีกด้วย⁽¹⁸⁾ พอลิแซ็กคาไรด์ที่พบในสาหร่ายขนาดเล็ก มักพบในกลุ่มของไซยาโนแบคทีเรีย โดยมีการสะสมไกลโคเจนภายในเซลล์ บางสายพันธุ์สามารถสังเคราะห์ เซมิอะมิโลเพกทิน (semi-amylopectin) ได้ สาหร่ายขนาดเล็กไฟลัมคลอโรไฟตา (Chlorophyta) สามารถสังเคราะห์แป้งในรูปของกลูโคสพอลิเมอร์สองชนิด ได้แก่ อะมิโลเพกทินและอะมิโลส ในขณะที่สาหร่ายขนาดใหญ่ไฟลัมโรโดไฟตา (Rhodophyta) มีการผลิตคาร์โบไฮเดรตที่เรียกว่า แป้งฟลอริเดียน (floridean starch)⁽¹⁹⁾ นอกจากนี้ยังมีไดอะตอม (Bacillariophyceae และ Heterokontophyta) มีการผลิตพอลิแซ็กคาไรด์ chrysolaminarin ซึ่งเป็นพอลิเมอร์ประกอบด้วยหน่วยกลูโคสที่เชื่อมกันด้วยพันธะ $\beta(1,3)$ และ $\beta(1,6)$ ไดอะตอมบางสายพันธุ์สามารถกักเก็บพอลิแซ็กคาไรด์ในรูปของ (1,3)- β -D-กลูแคนในระหว่างการเจริญระยะเอ็กซ์โปเนนเชียล ได้มากถึงร้อยละ 30 น้ำหนักแห้ง⁽¹⁹⁾

ไขมัน ปริมาณไขมันรวมของสาหร่ายขนาดใหญ่อยู่ในช่วงร้อยละ 0.60-4.14 ไขมันที่พบในสาหร่ายส่วนใหญ่เป็นไขมันชนิดไม่อิ่มตัว ประกอบด้วยกรดไขมัน (ω -3 หรือโอเมก้า 3) เช่น docosahexaenoic และ eicosapentaenoic acid เป็นต้น ขณะที่กรดไขมันไม่อิ่มตัว (ω -6 หรือโอเมก้า-6) ที่พบมากที่สุด เช่น กรดลิโนเลอิก (linoleic acid) และ กรดอะราคิโดนิก (arachidonic acid) เป็นต้น กรดไขมันอิ่มตัวชนิดหลักที่พบ

ได้แก่ กรดปาล์มมิติก (palmitic acid) และกรดไมริสติก (myristic acid) ในการบริโภคอาหารควรได้รับกรดไขมันจำเป็นอัตราส่วนระหว่างกรดไขมันชนิดโอเมก้า 6 และโอเมก้า 3 ที่เหมาะสม⁽²⁰⁾ ส่วนไขมันที่พบในสาหร่ายขนาดเล็ก สามารถแบ่งออกเป็นสองกลุ่มตามโครงสร้าง ประกอบด้วย ไขมันที่มีขี้ เช่น ฟอสโฟกลีเซอไรด์ (phosphoglycerides) ไกลโคซิล-กลีเซอไรด์ (glycosylglyceride) และ สฟิงโกลิปิด (sphingolipids) เป็นต้น และไขมันไม่มีขี้ เช่น เอซิลกลีเซอรอล (acylglycerols) สเตอรอล (sterols) กรดไขมันอิสระ (free fatty acids) แวกซ์ (waxes) และสเตียริล เอสเทอร์ (stearyl esters) เป็นต้น สาหร่ายขนาดเล็กมีกรดไขมันอิ่มตัวที่มีความยาวสายโซ่ตั้งแต่ 14 ถึง 18 และไขมันไม่อิ่มตัวเชิงซ้อน มีปริมาณกรดไขมันโอเมก้า 3 สูงกว่าโอเมก้า 6 ประมาณ 1.9 เท่า กรดไขมันที่พบได้ในสาหร่ายขนาดเล็ก เช่น palmitoleic oleic palmitic cis-5 ,8 ,1 1 ,1 4 ,1 7 -eicosapentaenoic acid arachidonic และ g-linolenic acid⁽²¹⁾

แร่ธาตุ สาหร่ายขนาดใหญ่ หรือ สาหร่ายทะเลมักพบปริมาณแร่ธาตุสูง เนื่องจากเจริญได้ในทะเล โดยมีแร่ธาตุที่จำเป็น เช่น แคลเซียม เหล็ก ไอโอดีน แมกนีเซียม ฟอสฟอรัส โพแทสเซียม สังกะสี ทองแดง แมงกานีส ซีลีเนียม และ ฟลูออไรด์ เป็นต้น⁽²²⁾ ขณะที่สาหร่ายขนาดเล็กอุดมไปด้วยแร่ธาตุในกลุ่มไอโอดีน โพแทสเซียม เหล็ก แมกนีเซียม และแคลเซียม⁽³⁾

วิตามิน สาหร่ายทะเล มีส่วนประกอบของวิตามินที่ละลายได้ในน้ำและไขมัน ได้แก่ วิตามินเอ

วิตามินดี วิตามินอี วิตามินเค วิตามินซี วิตามินดี วิตามินบี 1 วิตามินบี 2 วิตามินบี 9 และวิตามินบี 12 และในสาหร่ายขนาดเล็ก ได้แก่ วิตามินเอ วิตามินบี 2 วิตามินบี 6 วิตามินบี 8 วิตามินบี 12 วิตามินอี และวิตามินเค⁽²²⁻²³⁾

ศักยภาพของสาหร่ายเพื่อเป็นสารพรีไบโอติก

พรีไบโอติก เป็นสารที่ส่งเสริมการเจริญของ จุลินทรีย์กลุ่มโพรไบโอติกที่สามารถส่งผลต่อ สุขภาพของมนุษย์ได้ โดย Lactobacilli และ Bifidobacteria เป็นโพรไบโอติกสายพันธุ์ที่พบการทำงานในร่างกายมนุษย์ การบริโภคโพรไบโอติก ได้แก่ ช่วยการทำงานของลำไส้ให้ดีขึ้น ลดการแพ้ แล็กโตส และความเสียหายของโรคอื่น ๆ สาหร่ายขนาดเล็กบางชนิด เช่น *Arthrospira platensis* สามารถกระตุ้นการเจริญของแบคทีเรียที่มี ประโยชน์ เช่น *Streptococcus thermophilus*, *Lactobacillus casei* และ *L. acidophilus* ดังนั้น สาหร่ายหลายชนิดมีการนำมาใช้ในอุตสาหกรรม อาหารและยา⁽²⁴⁾ โดยทั่วไปมีการใช้สาหร่ายเป็น พรีไบโอติกในอุตสาหกรรมอาหารจำกัดแค่ผลิตภัณฑ์ นมเท่านั้น แต่ความก้าวหน้าทางเทคโนโลยีเปิด โอกาสในการพัฒนาพรีไบโอติกจากสาหร่ายสำหรับ ใช้กับอาหารที่หมักด้วยจุลินทรีย์ผลิตภัณฑ์กรดแล็กติก นอกเหนือจากโยเกิร์ตหรือชีส พอลิแซ็กคาไรด์และ โอลิโกแซ็กคาไรด์จากสาหร่ายเป็นสารประกอบที่มี ประโยชน์ต่อสุขภาพ โดยเฉพาะอย่างยิ่งในการใช้ เป็น พรีไบโอติก สาหร่ายแต่ละสายพันธุ์ ประกอบด้วยคุณลักษณะของพอลิแซ็กคาไรด์ที่ แตกต่างกันไป เช่น มีซัลเฟตเป็นส่วนประกอบ และ

อุดมไปด้วยกลุ่มไฮดรอกซิล (OH) ทำให้มีคุณสมบัติ ขอบน้ำ เป็นต้น⁽²⁵⁾

พอลิแซ็กคาไรด์ เช่น ไซโลโอลิโกแซ็กคาไรด์ (XOS) กาแล็กโตโอลิโกแซ็กคาไรด์ (GOS) อะกาโร- โอลิโก แซ็ก คาไรด์ (agaro-oligosaccharides, AGAROS) นีโออะกาโรโอลิโกแซ็กคาไรด์ (neoagaro- oligosaccharides, NAOS) กาแล็กแทน (galactan) อะราบินโนไซแลน (arabinoxylan) เบต้ากลูแคน β - glucans เป็นต้น โดยที่องค์ประกอบดังกล่าวไม่ถูก ย่อยในกระบวนการเมแทบอลิซึมภายในลำไส้ สาร เหล่านี้มีส่วนช่วยในการส่งเสริมการเจริญของจุลินทรีย์ โพรไบโอติก สาหร่ายที่พบ ได้แก่ *Chlorella vulgaris*, *Arthrospira platensis*, *Dunaliella* sp., *Spirulina* sp., *Hematococcus pluvialis*, *Phaeodactylum tricomutum*, *Tetraselmis suecica*, *Chlorella* sp., *Schizochytrium* sp., *Thraustochytrium* sp., *Ulva*, *Porphyra*, *Laminaria/saccharina*, *Rhodella*, *Fucus*, *Ascophyllum*, *Sargassum*, *Gracilaria*, *Cladosiphon*, *Monostroma*, *Capsosiphon*, *Kappaphycus*, *Furcellaria*, *Soliera*, *Chlorella*, *Phaeodactylum*, *Gyrodinium*, *Hawmatococcus pluvialis*, *Arthrospira platensis* และ *Dunaliella salina* นอกจากนี้ยังมีองค์ประกอบอื่น ๆ เช่น คาร์โบไฮเดรต โปรตีน กรดไขมัน วิตามิน แร่ธาตุ และรงควัตถุต่าง ๆ เป็นต้น ซึ่งมีผลในการป้องกัน และแก้ไขปัญหาสุขภาพ เช่น ด้านมะเร็ง ลดผลใน กระเพาะอาหาร ป้องกันโรคประสาท ความดัน โลหิตสูง ท้องผูก เบาหวาน ลดระดับคอเลสเตอรอล และไขมัน กระตุ้นระบบภูมิคุ้มกัน ลดการเกิด

โรคโลหิตจาง ป้องกันโรคเบาหวานและโรคอ้วน
ป้องกันรังสียูวี ปรับภูมิคุ้มกัน ป้องกันโรคหัวใจและ

หลอดเลือด ต้านจุลชีพและไวรัส และเป็นสารต้าน
อนุมูลอิสระ รายละเอียดดัง Table 1

Table 1 Health effects from algae and their incorporation into food products⁽²⁾

Algae	Commercial biomass form	Products	Bioactive compounds	Positive health effects
<i>Chlorella vulgaris</i> <i>Arthrospira platensis</i>	Powder	Cheese	Carbohydrate, protein, ω -3 fatty acid	Anticancer; lowering gastric ulcers, neurosis, hypertension, anemia, constipation, diabetes, infant malnutrition
<i>Dunaliella</i> sp <i>Spirulina</i> sp	Powder	Miso	Protein, vitamins, minerals	Antioxidative response
<i>Spirulina</i> sp	Powder and extract	Non-alcohol beverage	Protein, chlorophylls, phycocyanin	Protein, chlorophylls, phycocyanin
<i>Hematococcus pluvialis</i> <i>Phaeodactylum tricornutum</i>	Powder or flour	Biscuits	Protein, ω -3 fatty acid, DHA, EPA, astaxanthin	Antioxidative response
<i>Arthrospira plantensis</i> <i>Chlorella</i> sp	Powder or flour	Bread and cookies	Protein, vitamin, mineral	Reduction in cholesterol and fat levels, satiety induction
<i>Chlorella</i> sp <i>Spirulina</i> sp	Powder and extract	Milk	Protein, ω -3 fatty acid, DHA, EPA,	Reduced onset of anemia
<i>Tetraselmis suecica</i>	Food supplement	Extract	-	Prevention from diabetes and obesity
<i>Chlorella</i> sp <i>Schizochytrium</i> sp <i>Thraustochytrium</i> sp	Food supplement	Powder, flour, tablet or liquid	Protein, ω -3 fatty acid	Prevent from constipation, satiety induction
<i>Ulva</i> , <i>Porphyra</i> , <i>Laminaria/saccharina</i> , <i>Rhodella</i> , <i>Fucus</i> , <i>Ascophyllum</i> , <i>Sargassum</i>	Food supplement	Powder	Polysaccharide	Immunomodulatory, Antilipidaemic and hypocholesterolaemic
<i>Gracilaria</i> , <i>Cladosiphob</i> , <i>Monostroma</i> , <i>Capsosiphon</i> , <i>Kappaphycus</i> , <i>Furcellaria</i> , <i>Soliera</i>	Food supplement	Powder	Polysaccharide	Immunomodulatory

Table 1 (continued)

Algae	Commercial biomass form	Products	Bioactive compounds	Positive health effects
<i>Chlorella</i> , <i>Phaedactylum</i> , <i>Gyrodinium</i>	Food supplement	Powder	Polysaccharide	Immunomodulatory
<i>Haematococcus pluvialis</i>	Food supplement	Capsules	Astaxans, ω -3 fatty acid, DHA, EPA,	UV protection, anticoagulatory & anti-inflammatory effects, immunity modulation, improve cardiovascular health
<i>Arthrospira platensis</i>	Oil	-	Carotenoids	Antimicrobial and antiviral properties
<i>Dunaliella salina</i>	Culinary condiment with sea salt	Powder	Carotenoids	Antioxidative response

สาหร่ายแต่ละสายพันธุ์มีองค์ประกอบทางชีววิทยา และมีสารสกัดฟิโอบีโอติกที่ได้จากสาหร่ายแตกต่างกัน ซึ่งผลของสารสกัดฟิโอบีโอติกแต่ละชนิดส่งผลดีต่อสุขภาพแตกต่างกันด้วย ได้แก่ สาหร่าย *Phaeophyta* (brown algae) มีอะกาโรโพลิโกแซ็กคาไรด์ ช่วยในเรื่องภูมิคุ้มกัน (ลด cytokines ที่ทำให้เกิดการอักเสบ) จึงมีผลต่อต้านการอักเสบ ป้องกันตับและยับยั้ง α -glucosidase สาหร่าย *Gracilaria* sp., *Monostroma* sp. มีนีโออะกาโรโพลิโกแซ็กคาไรด์ ช่วยกำจัด ROS สารต้านอนุมูลอิสระและมีฤทธิ์กระตุ้นภูมิคุ้มกัน และช่วยเพิ่มจำนวนจุลินทรีย์ *Lactobacilli* และ *Bifidobacteria* สาหร่าย *Kappaphycus* sp., *Porphyria* sp. และ *Gracilaria* sp. มี COS (carrageenan-oligosaccharides) ช่วยในการปรับภูมิคุ้มกัน ทำให้ผิวขาวและชุ่มชื้น ช่วยเพิ่มจำนวนจุลินทรีย์ *Bifidobacteria* และช่วยซ่อมแซมความเสียหายที่เกิดภายในลำไส้ สาหร่าย *Ascophyllum* sp., *Fucus* sp., *Undaria* sp., *Sargassum* sp.,

Laminaria sp. และ *Macrocystis* sp. มีอะกาโรโพลิโกแซ็กคาไรด์ ช่วยกำจัด ROS ส่งผลต่อสารต้านอนุมูลอิสระและการปรับภูมิคุ้มกัน ช่วยในการควบคุมน้ำหนัก ช่วยลดคอเลสเตอรอล ช่วยควบคุมโรคเบาหวาน มีฤทธิ์ลดระดับน้ำตาลในเลือดและภาวะไขมันในเลือดต่ำ ส่งเสริมการเจริญของจุลินทรีย์ในลำไส้ ส่งผลให้เกิดการผลิตกรดไขมันสายสั้นโดยจุลินทรีย์ในลำไส้ สาหร่าย *Cladosiphon* (aka Okinawa), *Ascophyllum* (nodosm), *Fucus* sp. *Sargassum* sp., *Fucus evanescens* และ *Fucus vesiculosus* มี fucoidans (FUCOS) ช่วยในเรื่องภาวะคอเลสเตอรอลในเลือดต่ำ ช่วยปรับภูมิคุ้มกัน ป้องกันโรคอ้วน ป้องกันไขมันในเลือดสูง ลดภาวะไขมันพอกตับ ป้องกันโรคเบาหวาน (ลดการติดต่ออินซูลิน) และเป็นสารต้านอนุมูลอิสระสาหร่าย *Undaria pinnatifida*, *Dictyota menstrualis*, *Lobophora variegata* และ *Adenocystis utricularis* มีสาร galactofucans ช่วยในการต้านไขมัน เพิ่ม HDL ต้านไวรัส ต้านเนื้องอก ช่วยในเรื่องภูมิคุ้มกัน

ต้านสารอนุมูลอิสระ ปกป้องระบบประสาท ด้านไวรัส สารป้องกันเลือดแข็ง ด้านการอักเสบ สาหร่าย *Spatoglossum schroëderi* มีไซโล-กาแล็กโตฟูแคน (xylo-galactofucan) เป็นสารต้านอนุมูลอิสระ สาหร่าย *Ascophyllum* มีสารอะราบินโนไซด์แลน (arabinoxylans) ช่วยในการปรับจุลินทรีย์ในลำไส้ สาหร่าย *Chlorella vulgaris*,

Ascophyllum sp. และ *Fucus* sp. มี glucans ช่วยในการยับยั้งการเจริญของเนื้องอก ป้องกันการติดเชื้อ และสาหร่าย *Laminaria* sp., *Saccharina* sp., *Undaria*, และ *Enteromorpha* sp. มีสารลามินาริน (laminarin) ช่วยในการลดไขมันในเลือด และระดับน้ำตาลในเลือดได้อย่างรวดเร็ว รายละเอียดดังแสดงใน Table 2

Table 2 Prebiotic potential from algae⁽²⁾

Prebiotic	Algae	Health beneficial effects
AGAROS (agaro-oligosaccharides)	Pheophyta (brown algae)	Immunomodulatory (decrease of proinflammatory cytokines) antiinflammatory, carcinostatic, antioxidant, hepatoprotective, and α -glucosidase inhibitory activities
NAOS (neoagaro-oligosaccharides)	<i>Gracilaria</i> sp., <i>Monostroma</i> sp.	ROS scavenging, antioxidant and immunomodulatory effects, stimulation of lactobacilli and bifidobacteria populations
COS (carrageenan-oligosaccharides)	<i>Kappaphycus</i> sp., <i>Porphyria</i> sp., <i>Gracilaria</i> sp.	Immunomodulation, skin whitening, and moisturizing, stimulation of lactobacilli and bifidobacteria populations, repair of intestinal damage
ALGOS (alginate-oligosaccharides)	<i>Ascophyllum</i> sp., <i>Fucus</i> sp., <i>Undaria</i> sp., <i>Sargassum</i> sp., <i>Laminaria</i> sp., <i>Macrocystis</i> sp.	Reactive oxygen species (ROS) scavenging, antioxidant and immunomodulatory effects, weight control, reduction of cholesterol, diabetes control (hypoglycemic and hypolipidemic properties), promotion of fecal microbiota metabolism, production of short chain fatty acids by the gut microbiota; decrease of putrefactive compounds and microorganisms, decrease of metabolic syndrome risk
Fucoidans (FUCOS)	<i>Cladosiphon</i> (aka Okinawa) <i>Ascophyllum</i> (nodosm), <i>Fucus</i> sp. <i>Sargassum</i> sp., <i>Fucus evanesens</i> , <i>Fucus vesiculosus</i>	Hypocholesterolaemic, immunomodulatory, anti-obesity, anti-hyperlipidemia, attenuation of hepatic steatosis, anti-diabetes (reduction of insulin resistance), anti-hypertensive, antioxidant, anticoagulant, anticancer, antimetastatic plant antioxidant

Table 2 (continued)

Prebiotic	Algae	Health beneficial effects
Galactofucans	<i>Undaria pinnatifida</i> , <i>Dictyota menstrualis</i> , <i>Lobophora variegata</i> , <i>Adenocystis utricularis</i>	Anti-lipidaemic, increases HDL, antiviral, antitumor, immunomodulator, antioxidant, neuroprotective, antiviral, anticoagulant, antitumor, anti-proliferative, immunomodulatory, anti-inflammatory induced osteoblastic differentiation, peripheral anti-nociceptive, anti-inflammatory, antioxidant, anticoagulant, anti-proliferative, antiviral, anti-thrombotic
Xylo-galactofucans	<i>Spatoglossum schroëderi</i>	Peripheral anti-nociceptive, anti-proliferative, anti-adhesive, antioxidant
Arabinoxylans	<i>Ascophyllum</i>	Modulation of intestinal microbiota
Glucans	<i>Chlorella vulgaris</i> <i>Ascophyllum</i> sp., <i>Fucus</i> sp.	Antitumor, infection preventive agent
Laminarin	<i>Laminaria</i> sp., <i>Saccharina</i> sp., <i>Undaria</i> , <i>Enteromorpha</i> sp.	Antilipidemic, hypocholesterolaemic, fast decrease of blood glucose

จากการวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการประยุกต์ใช้สาหร่ายร่วมกับโพรไบโอติก สามารถช่วยสนับสนุนการเจริญของโพรไบโอติก และต่อต้านจุลินทรีย์ก่อโรคบางชนิดได้ ได้แก่ *Chlorella vulgaris* ส่งเสริมการเจริญของ *Lactobacillus brevis* และช่วยทำให้ระยะ log phase สั้นลง *Spirulina platensis* และ *Chlorella vulgaris* ส่งเสริมการเจริญของแบคทีเรียแล็กติก และเพิ่มอัตราการอยู่รอดของโพรไบโอติก *Dunaliella tertiolecta* ส่งเสริมการเจริญของ *Bacillus* sp. ช่วยปรับปรุงภูมิคุ้มกัน *Navicula* sp. ส่งเสริมการเจริญของ *Lactobacillus sakei* ช่วยในปรับปรุงภูมิคุ้มกัน และต้านอนุมูลอิสระ *Euglena gracilis* ส่งเสริมการเจริญของ *Bacillus licheniformis* หรือ *Bacillus subtilis* ช่วยปรับปรุงคุณภาพและระบบ

ภูมิคุ้มกัน และ *Pavlova pinguis* ส่งเสริมการเจริญของ *Pharobacter inhibens* ลดการติดเชื้อจากจุลินทรีย์ก่อโรค *Vibrio* sp. พบว่า ลดการตายของตัวอ่อนหอย รายละเอียดดังตาราง Table 3

Table 3 Prebiotic properties from algae on probiotic growth and health benefits⁽²⁾

Algae	Probiotic	Activities	Health benefits
<i>Chlorella vulgaris</i>	<i>Lactobacillus brevis</i>	Improving the probiotic growth, health, product yield and other desirable properties	Algae shortening the log phase, improving lactic acid yield, enzyme properties activity and acidifying activity of probiotics
<i>Chlorella vulgaris</i> , <i>Spirulina platensis</i>	Lactic acid bacteria	Supplementing microalgae in milk products for improving its storage and shelf-life	Increasing the viability of probiotics in final product but also the sensory attributes
<i>Spirulina platensis</i>	<i>Lactococcus lactis</i> sp.	Supplementing microalgae in yogurt to improve health benefits due to probiotic enrichment	Increasing the viability of probiotics and lactic acid bacteria

บทสรุป

สาหร่ายอุดมไปด้วยองค์ประกอบทางเคมีที่สำคัญ และนำไปสู่การประยุกต์ใช้ที่หลากหลายมากขึ้น ในฐานะการเป็นแหล่งของพรีไบโอติกที่มีคุณค่าทางโภชนาการทางเลือก ศักยภาพในการนำไปใช้ในด้านพรีไบโอติกที่ออกฤทธิ์ทางชีวภาพ ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการใช้งานในด้านเภสัชกรรม อาหาร เพื่อสุขภาพ และสาขาวิทยาศาสตร์ที่เกี่ยวข้องทั้งหมด ความก้าวหน้าเหล่านี้เป็นแนวทางที่สำคัญในการพัฒนางานทางด้านเทคโนโลยีชีวภาพ สาหร่ายของสารประกอบเชิงฟังก์ชันเหล่านี้ โดยสาหร่ายไม่เพียงแต่ช่วยเพิ่มขอบเขตทางโภชนาการ

ของผู้บริโภคเท่านั้น แต่ยังรวมถึงผลในการป้องกันโรคด้วย คุณประโยชน์ในการใช้พรีไบโอติกจากสาหร่ายทะเลและสาหร่ายขนาดเล็กไม่จำกัดเพียงการใช้สารสกัดพอลิแซ็กคาไรด์เท่านั้น แต่ยังรวมถึงสารสำคัญอื่น ๆ เช่น กรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัวเชิงซ้อน (polyunsaturated fatty acids, PUFA) โมโนแซ็กคาไรด์ พอลิฟีนอล และกรดอะมิโนที่พบได้ในสาหร่าย มีส่วนช่วยในการส่งเสริมสุขภาพ และมีศักยภาพเป็นพรีไบโอติก ช่วยในการปรับเปลี่ยนไมโครไบโอม และส่งผลเชิงบวกต่อสุขภาพ

เอกสารอ้างอิง

1. Terpou A, Papadaki A, Lappa IK, Kachrimanidou V, Bosnea LA, Kopsahelis N. Probiotics in food systems: Significance and emerging strategies towards improved viability and delivery of enhanced beneficial value. *Nutr.* 2019;11(7):1591.
2. Patel AK, Singhania RR, Awasthi MK, Varjani S, Bhatia SK, Tsai M-L, et al. Emerging prospects of macro- and microalgae as prebiotic. *Microb Cell Fact.* 2021;20(1):112.
3. Gotteland M, Riveros K, Gasaly N, Carcamo C, Magne F, Liabeuf G, et al. The pros and cons of using algal polysaccharides as prebiotics. *Front Nutr.* 2020;7.



4. Dawczynski C, Schubert R, Jahreis G. Amino acids, fatty acids, and dietary fibre in edible seaweed products. *Food Chem.* 2007;103(3):891-9.
5. Vassilev SV, Vassileva CG. Composition, properties and challenges of algae biomass for biofuel application: An overview. *Fuel.* 2016;181:1-33.
6. Babich O, Ivanova S, Michaud P, Budenkova E, Kashirskikh E, Anokhova V, et al. Fermentation of micro- and macroalgae as a way to produce value-added products. *Biotechnol Rep.* 2024;41:e00827.
7. YalÇın D, İlikan Ö, Bağdat E. Evaluation of prebiotic, probiotic, and synbiotic potentials of microalgae. *Food Health.* 2022;8(2):161-71.
8. İlknur B, Birsen K, Hamideh M. Major Natural Vegetation in Coastal and Marine Wetlands: Edible Seaweeds. In: Manuel TO, Feyza C, Anabela F-S, editors. *Plant Communities and Their Environment.* Rijeka: IntechOpen; 2019. p. Ch. 9.
9. Lewmanomont K. Some Edible Algae of Thailand. *Agr Nat Resour.* 1978;12(2):119-33.
10. Andrade L, De Andrade CJ, Dias M, Nascimento C, Mendes M. Chlorella and spirulina microalgae as sources of functional foods, nutraceuticals, and food supplements; an overview. *MOJ Food Process Technol.* 2018;6:00144.
11. Rajapakse N, Kim S-K. Chapter 2 - Nutritional and Digestive Health Benefits of Seaweed. In: Kim S-K, editor. *Advances in Food and Nutrition Research.* 64: Academic Press; 2011. p. 17-28.
12. Thiviya P, Gamage A, Gama-Arachchige NS, Merah O, Madhujith T. Seaweeds as a source of functional proteins. *Phycol.* 2022;2(2):216-43.
13. Wang Y, Tibbetts SM, McGinn PJ. Microalgae as sources of high-quality protein for human food and protein supplements. *Foods.* 2021;10(12).
14. Duttaroy AK. Chapter 8 - Polysaccharide on diabetes, obesity, and other cardiovascular disease risk factors. In: Duttaroy AK, editor. *Evidence-Based Nutrition and Clinical Evidence of Bioactive Foods in Human Health and Disease: Academic Press;* 2021. p. 115-28.
15. Babich O, Sukhikh S, Larina V, Kalashnikova O, Kashirskikh E, Prosekov A, et al. Algae: study of edible and biologically active fractions, their properties and applications. *Plants [Internet].* 2022; 11(6).
16. Rodrigues D, Freitas AC, Pereira L, Rocha-Santos TA, 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.
17. Cindana Mo'o FR, Wilar G, Devkota HP, Wathoni N. Ulvan, a polysaccharide from macroalga *Ulva* sp.: a review of chemistry, biological activities and potential for food and biomedical applications. *Appl Sci.* 2020;10(16):5488.
18. Lopez-Santamarina A, Miranda JM, Mondragon ADC, Lamas A, Cardelle-Cobas A, Franco CM, et al. Potential use of marine seaweeds as prebiotics: a review. *Mol.* 2020;25(4).
19. Moreira JB, Vaz BdS, Cardias BB, Cruz CG, Almeida ACAd, Costa JAV, et al. Microalgae polysaccharides: an alternative source for food production and sustainable agriculture. *Polysaccharides.* 2022;3(2):441-57.
20. Shannon E, Abu-Ghannam N. Seaweeds as nutraceuticals for health and nutrition. *Phycologia.* 2019;58(5):563-77.
21. Paola Scodelaro B, Gabriela AS, Patricia IL. Fatty acids from microalgae: targeting the accumulation of triacylglycerides. In: angel C, editor. *Fatty Acids.* Rijeka: IntechOpen; 2017. p. Ch. 7.
22. Rondevaldova J, Quiao MA, Drabek O, Dajcl J, Dela Pena-Galanida GD, Leopardas VE, et al. Mineral composition of seaweeds and seagrasses of the Philippines. *Phycologia.* 2023;62(3):217-24.
23. Škrovánková S. Seaweed vitamins as nutraceuticals. *Adv Food Nutr Res.* 2011;64:357-69.
24. Gentsheva G, Nikolova K, Panayotova V, Peycheva K, Makedonski L, Slavov P, et al. Application of *Arthrospira platensis* for medicinal purposes and the food industry: a review of the literature. *Life (Basel).* 2023;13(3).
25. Sonchaeng U, Wongphan P, Pan-utai W, Paopun Y, Kansandee W, Satmalee P, et al. Preparation and characterization of novel green seaweed films from *Ulva rigida*. *Polymers.* 2023;15(16):3342.