

ประโยชน์เชิงหน้าที่ของโปรตีนและคาร์โบไฮเดรตจากสาหร่าย

ดร.ธีระ ฐระกิจ

ฝ่ายจุลชีววิทยาประยุกต์

สถาบันค้นคว้าและพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหาร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

อีเมล : ifrtet@ku.ac.th

รับเมื่อ 29 กันยายน 2565 แก้ไขเมื่อ 27 พฤศจิกายน 2565 ตอรับเมื่อ 4 มกราคม 2566

จุดเด่น

- คุณค่าทางโภชนาการและสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพจากสาหร่าย
- ผลของสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพจากสาหร่ายต่อการป้องกันหรือการลดความเสี่ยงของการเกิดโรค
- ศักยภาพของสาหร่ายสำหรับใช้เพื่อเป็นอาหารเชิงหน้าที่

บทคัดย่อ

สาหร่ายเป็นสิ่งมีชีวิตที่พบได้ทั่วไปในธรรมชาติ นอกจากจะเป็นส่วนผสมในเมนูโปรดของใครหลายคนแล้ว สาหร่ายยังเต็มไปด้วยสารอาหารที่มีประโยชน์ต่อร่างกาย การศึกษาเกี่ยวกับการใช้สาหร่ายเป็นอาหารเพื่อสุขภาพได้รับความสนใจเพิ่มขึ้น เนื่องจากพบว่า สาหร่ายประกอบไปด้วยสารอาหารที่มีคุณค่าทางโภชนาการ เช่น โปรตีน คาร์โบไฮเดรต กรดไขมัน ไฟเบอร์ แร่ธาตุ และวิตามินชนิดต่าง ๆ อีกทั้งเป็นแหล่งของสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพด้วย งานวิจัยที่ผ่านมาแสดงให้เห็นว่า สารสำคัญในสาหร่ายมีกลไกการออกฤทธิ์ช่วยลด ยับยั้ง หรือป้องกันโรคได้ ฤทธิ์ทางชีวภาพที่พบได้ในสาหร่าย เช่น การต้านอนุมูลอิสระ ความสามารถลดการอักเสบในระดับเซลล์ ปริมาณใยอาหารสูงจึงเป็นแหล่งอาหารหรือพรีไบโอติกแก่แบคทีเรียชนิดดีในลำไส้ สาหร่ายมีส่วนช่วยควบคุมระดับน้ำตาลในเลือดและระดับอินซูลิน นอกจากนี้ยังมีฤทธิ์อื่น ๆ ที่ส่งผลดีต่อระบบต่าง ๆ ของร่างกาย ทำให้สาหร่ายได้รับความสนใจเพื่อใช้เป็นแหล่งของสารสำคัญในอาหารเชิงหน้าที่

คำสำคัญ : คาร์โบไฮเดรต โปรตีน สารออกฤทธิ์ทางชีวภาพ สุขภาพ



Functional benefits from algal proteins and carbohydrates

Theera Thurakit, Ph.D

Department of Applied Microbiology

Institute of Food Research and Product Development, Kasetsart University

E-mail : ifrtet@ku.ac.th

Received 29 September 2022; Revised 27 November 2022; Accepted 4 January 2023

Highlights

- Algal nutrients and bioactive compounds
- The effect of algal bioactive compounds on disease prevention or risk reduction
- The potential of algae for functional food supplements

Abstract

Algae are widely found in natural habitats, especially in aquatic environments. They can be used as food ingredients and can be seen on many people's favorite menus. Recently, algae have been the object of increasing interest as a healthy food ingredient. Since they provide various types of nutrients such as proteins, carbohydrates, fatty acids, dietary fiber, minerals, vitamins, and bioactive compounds, which offer several health benefits. Previous studies have illustrated that substances from algae exhibit numerous biological activities for example, antioxidant activity, anti-inflammatory, high prebiotic content, blood sugar level regulation, etc. Furthermore, previous research has revealed the mechanism of algal bioactive compounds that can reduce, inhibit, or prevent a variety of diseases. These beneficial properties of algae make them a very attractive potential source of nutrients for functional food.

Keywords : carbohydrates, proteins, bioactive compounds, health

บทนำ

ปัจจุบันผู้บริโภคให้ความสำคัญกับสุขภาพมากขึ้น อาหารเป็นส่วนหนึ่งในการดำรงชีพส่งผลโดยตรงต่อสุขภาพของผู้บริโภค ดังที่เราเคยได้ยินคำกล่าวที่ว่า “You are what you eat” แปลตรงตัวคือ กินอะไรเข้าไปก็เป็นเช่นนั้น ด้วยเหตุนี้จึงมีอาหารที่ตอบโจทย์สำหรับผู้ใส่ใจสุขภาพ คืออาหารเชิงหน้าที่ (functional food) เป็นอาหารที่รับประทานเข้าสู่ร่างกายแล้วสามารถออกฤทธิ์เป็นประโยชน์ต่อร่างกายนอกเหนือจากคุณค่าทางโภชนาการตามปกติ อาหารเชิงหน้าที่ประกอบด้วยสารสำคัญในอาหารสามารถช่วยป้องกันหรือลดความเสี่ยงต่อการเกิดโรคต่าง ๆ เช่น ฤทธิ์ต้านความดันโลหิตสูง (antihypertensive) ต้านอนุมูลอิสระ (antioxidation) ต้านเบาหวาน (antidiabetic) ต้านการอักเสบ (antiinflammatory) ต้านจุลินทรีย์ (antimicrobial) รวมถึงกระตุ้นและควบคุมการตอบสนองของระบบภูมิคุ้มกัน (stimulatory and immunomodulatory) แต่ทั้งนี้ไม่ใช่เป็นการรับประทานอาหารเพื่อการรักษาเหมือนยารักษาโรค⁽¹⁻²⁾

สาหร่ายเป็นสิ่งมีชีวิตที่พบได้ทั่วไปในแหล่งน้ำ ทั้งน้ำจืด น้ำกร่อย และน้ำเค็ม มีขนาดตั้งแต่เล็กมากที่ไม่สามารถมองเห็นได้ด้วยตาเปล่า จนถึงขนาดใหญ่มีความยาวหลายเมตร ถึงแม้สาหร่ายจะมีรงควัตถุที่สามารถสังเคราะห์แสงได้เหมือนพืชแต่สาหร่ายไม่จัดว่าเป็นพืชเนื่องจากสาหร่ายไม่มีส่วนราก ใบ หรือลำต้นที่แท้จริง ไม่มีดอก ผล หรือแม้แต่ระบบท่อลำเลียงสารอาหารเหมือนกับพืชชั้นสูง⁽³⁾ การขยายพันธุ์นั้นทำได้ด้วยการสร้างสปอร์และแบ่งตัว สาหร่ายมีบทบาทสำคัญในระบบนิเวศเนื่องจากเป็นผู้ผลิตปฐมภูมิ (primary producer) สามารถดูดซับแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ผ่านกระบวนการสังเคราะห์แสงและปลดปล่อยแก๊สออกซิเจนสู่ชั้นบรรยากาศ มีประโยชน์ต่อสัตว์น้ำและมนุษย์หลากหลายแสดงดัง Figure 1

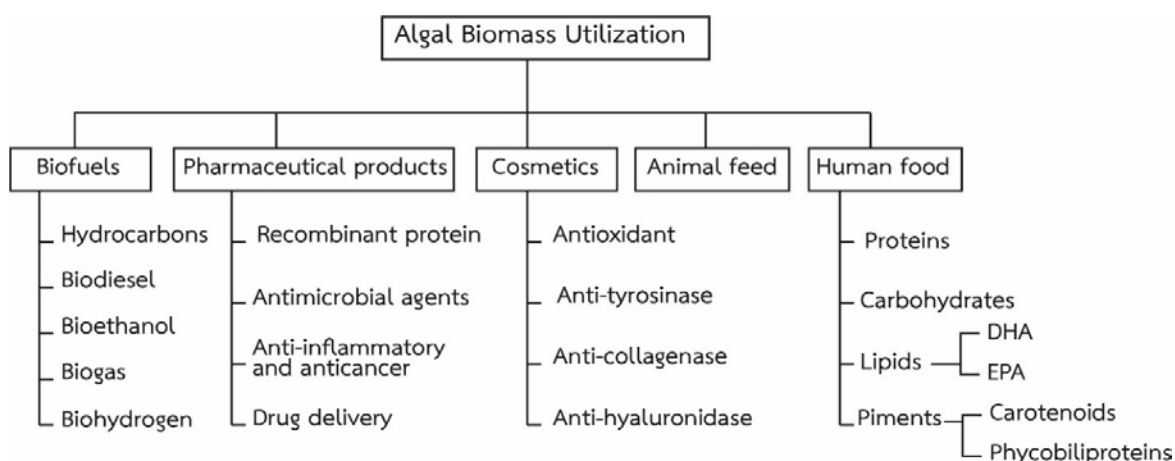


Figure 1 The utilization of algal biomass.⁽⁴⁻⁶⁾

จากหลักฐานในต่างประเทศพบว่า มีการนำสาหร่ายมาใช้ประโยชน์เป็นส่วนประกอบของอาหารตั้งแต่ 14,000 ปีก่อนและปี ค.ศ. 300 ในประเทศจีนและไอร์แลนด์⁽⁷⁻⁸⁾ ปัจจุบันนิยมนำสาหร่ายมาบริโภคเพิ่มขึ้น โดยเฉพาะประเทศในแถบทวีปเอเชีย ได้แก่ประเทศญี่ปุ่น เกาหลี และจีน นิยมนำสาหร่ายมาแปรรูปและประกอบอาหาร ตัวอย่างสาหร่ายดังแสดงใน Figure 2 เช่น สาหร่ายในกลุ่มสีแดงอย่างสาหร่ายเขากวางหรือสาหร่ายผมนาง (*Gracilaria* sp.) จีฉ่ายหรือโนริ (*Porphyra* sp.) สาหร่ายสีน้ำตาล เช่น วากาเมะ (*Undaria* sp.) สาหร่ายใบพายหรือคอมบุ (*Laminaria* sp.) สาหร่ายสีเขียว เช่น สาหร่ายผักกาดทะเล (*Ulva* sp.) ขณะที่ในทวีปอเมริกาเหนือชาวจิมเซียน (Tsimshian) เก็บเกี่ยวสาหร่ายสีแดง *Pyropia* sp. เพื่อเป็นวัตถุดิบประกอบอาหารในช่วงเดือนพฤษภาคม โดยนำมาตากแห้งเพื่อเก็บรักษาไว้ ส่วนประเทศในแถบทวีปยุโรปและอเมริกาการรับประทานสาหร่ายยังไม่แพร่หลายมากเท่ากับเอเชีย แต่มีการนำสาหร่ายมาใช้เป็นอาหารหรือทำเป็นผลิตภัณฑ์อาหารเสริมในรูปแบบของสารสกัด เช่น *Fucus* sp., *Himanthalia elongate*, *Ascophyllum nodosum* สาหร่ายคูลซ์ (*Palmaria palmata*) ในประเทศไทยมีการบริโภคสาหร่ายมากขึ้นทั้งในรูปสาหร่ายสดและการแปรรูป เช่น สาหร่ายพวงองุ่นหรือสาหร่ายขนนก (*Cuaterpa* sp.) โดยนำมาลวกจิ้มน้ำพริกหรือยำ สาหร่ายจีฉ่ายหรือโนริ (*Porphyra* sp.) ในรูป

ของสาหร่ายแผ่นอบกรอบปรุงรส บริเวณภาคเหนือและภาคตะวันออกเฉียงเหนือประชากรส่วนหนึ่งนิยมนำสาหร่ายสีเขียวน้ำจืดขนาดใหญ่ เช่น สาหร่ายเตาหรือเทา (*Spirogyra* sp.) สาหร่ายไก่อ (*Microspora* sp., *Rhizoclonium* sp. และ *Cladophora* sp.) มาบริโภคเป็นอาหาร⁽⁹⁾ นอกจากสาหร่ายขนาดใหญ่ที่นำมาบริโภคแล้วสาหร่ายสีเขียวขนาดเล็ก เช่น *Chlorella* sp. นิยมนำมารับประทานเป็นอาหารเสริม รวมถึงนำรังควัตถุจากสาหร่ายสีเขียวอย่าง *Haematococcus pluvialis*, *Dunaliella salina* และ *Porphyridium* sp. มาเป็นผลิตภัณฑ์เสริมอาหารอีกด้วย ขณะที่สาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงิน (ปัจจุบันจัดเป็นแบคทีเรียเนื่องจากโครงสร้างของเซลล์คล้ายกับแบคทีเรียมากกว่าและเรียกใหม่ว่า ไฮยาโนแบคทีเรีย) อย่าง *Arthrospira* (*Spirulina*) *platensis*, *Arthrospira maxima* นิยมนำมารับประทานเป็นอาหารเสริม

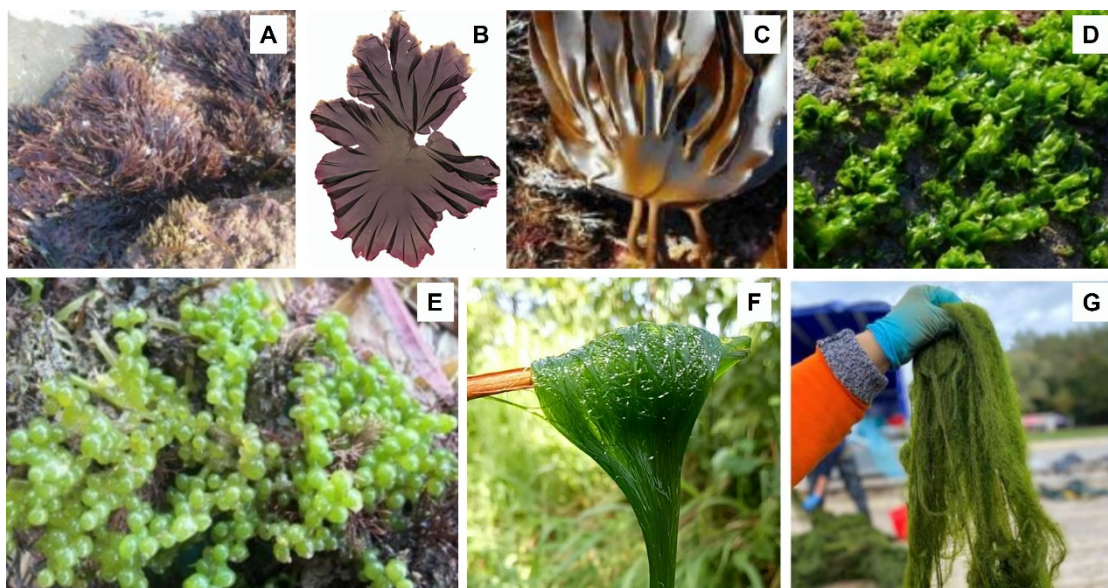


Figure 2 Sample of some edible algae A) *Gracilaria* sp. B) *Porphyra* sp. C) *Laminaria* sp. D) *Ulva* sp. E) *Cualetpa* sp. F) *Spirogyra* sp. G) *Cladophora* sp.^(7,10-14)

สารสำคัญในสาหร่าย

สาหร่ายมีศักยภาพเป็นแหล่งของโภชนาการ มีสารสำคัญหลายชนิดสามารถส่งเสริมสุขภาพ และสามารถลดความเสี่ยงต่อการเกิดโรคได้ ในบทความฉบับนี้จะกล่าวถึงสารชีวโมเลกุลประกอบด้วย โปรตีน และคาร์โบไฮเดรตที่ได้จากสาหร่ายเพื่อใช้เป็นแหล่งของอาหารฟังก์ชัน

โปรตีน

โปรตีนเป็นสารชีวโมเลกุลหลักที่จำเป็นต่อโภชนาการของมนุษย์ ปัจจุบันมีการศึกษาโปรตีนที่อยู่ในรูปอนุพันธ์ (ส่วนย่อย) ที่เรียกว่า เปปไทด์ออกฤทธิ์ทางชีวภาพหรือไบโอแอคทีฟเปปไทด์ (bioactive peptide) ประกอบด้วยกรดอะมิโนตั้งแต่ 2 ถึง 20 ตัว โดยเปปไทด์ออกฤทธิ์ทางชีวภาพมีคุณสมบัติสามารถช่วยส่งเสริมสุขภาพ ลดความเสี่ยงหรือช่วยป้องกันโรคบางชนิดได้⁽²⁾ ลดกลไกการเกิดโรคความดันโลหิตสูงซึ่งเกิดจากเอนไซม์เรนิน (renin) เป็นเอนไซม์ทำหน้าที่

ย่อย angiotensin ไปเป็น angiotensin I จากนั้นจะมีเอนไซม์อีกหนึ่งชนิดที่มีชื่อว่า angiotensin converting enzyme (ACE) เปลี่ยน angiotensin I ให้เป็น angiotensin II ซึ่ง angiotensin II มีผลทำให้หลอดเลือดเกิดการหดตัวจึงทำให้แรงดันของกระแสเลือดที่มีต่อผนังหลอดเลือดสูงขึ้นหรือเกิดความดันโลหิตสูง การลดความดันโลหิตในผู้ป่วยโรคความดันสามารถลดความเสี่ยงในการเกิดโรคอื่น ๆ ที่จะตามมาได้ เช่น โรคหัวใจ โรคไต โรคหลอดเลือดสมองแตก เป็นต้น งานวิจัยหลายฉบับรายงานว่า เปปไทด์มีฤทธิ์ในการลดความดันโลหิตลงได้ โดยเปปไทด์ที่มีลำดับ IRLIIVLMPILHA ได้จากการย่อยโปรตีนสกัดจากสาหร่ายทะเลสีแสดขนาดใหญ่ *Palmaria palmata* หรือสาหร่ายคูลซ์ ด้วยเอนไซม์ปาเปน (papain) สามารถลดกิจกรรมเอนไซม์เรนินลงได้ นอกจากนี้เมื่อนำเปปไทด์ออกฤทธิ์ทางชีวภาพที่ได้ผ่านแบบจำลองของระบบการย่อยอาหารในหลอดทดลอง (*in vitro* digestion) พบไคเปปไทด์ (di-

peptide) ชนิด IR ซึ่งมีกิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระในระดับที่สูงขึ้น และการศึกษาในสัตว์ทดลอง (*in vivo*) จากการใช้น้ำหนัที่มีความดันโลหิตสูงตามธรรมชาติพบอีกว่า หลังจาก 24 ชั่วโมง ที่หนูทดลองได้รับเปปไทด์ IRLIIVLMPILHA สามารถลดความดันโลหิตลงได้ 33 มิลลิเมตรปรอท จากค่าความดันโลหิตที่ระดับ 187 มิลลิเมตรปรอท ลดลงเหลือ 154 มิลลิเมตรปรอท⁽¹⁵⁻¹⁶⁾ ขณะที่เปปไทด์ FGMPPLDR และ MELVLR ที่ได้จากการย่อยโปรตีนของสาหร่ายสีเขียว *Ulva lathrata* ด้วยเอนไซม์ทริปซิน (trypsin) เปปซิน (pepsin) และปาเปน (papain) เปปไทด์ดังกล่าวสามารถลดความดันโลหิตลงได้เช่นกัน⁽¹⁷⁾ การให้เปปไทด์ IAPG จากการย่อยโปรตีนสกัดของ *Arthrospira platensis* ด้วยเอนไซม์เปปซินในหนูที่มีความดันโลหิตสูงตามธรรมชาติพบว่า เปปไทด์นั้นสามารถลดความดันช่วงบนหรือความดันซิสโตลิก (systolic blood pressure) ได้ถึง 50 มิลลิเมตรปรอท เช่นเดียวกันกับเปปไทด์ FAL ที่แยกได้จาก *Chlorella vulgaris* สามารถลดความดันลงได้ประมาณ 40 มิลลิเมตรปรอท⁽¹⁸⁾

อนุมูลอิสระ (free radical) คืออะตอมหรือโมเลกุลที่ไม่เสถียรเนื่องจากขาดอิเล็กตรอน อนุมูลอิสระสามารถเกิดขึ้นได้ตามปกติจากปฏิกิริยาในร่างกายระหว่างกระบวนการเผาผลาญหรือร่างกายรับเอาอนุมูลอิสระจากภายนอกในร่างกาย เช่น คาร์บอนมอนอกไซด์ ในอากาศ หรือรังสี เนื่องจากความไม่เสถียร อนุมูลอิสระจึงมักจะไปแย่งจับอิเล็กตรอนจากเซลล์ปกติ ส่งผลให้เซลล์ปกติในร่างกายเสียหาย ขาดความสมดุล เกิดการอักเสบและอาจก่อให้เกิดโรครตามมา เช่น โรคหลอดเลือด โรคอัลไซเมอร์ หรือโรคมะเร็งบางชนิด จากการศึกษาที่ผ่านมาโปรตีนในรูปแบบของเปปไทด์จาก

สาหร่ายช่วยส่งเสริมและกระตุ้นการสร้างสารต้านอนุมูลอิสระในร่างกายได้ เช่น เปปไทด์ลำดับ NDAEYGICG จากการย่อยโปรตีนของสาหร่ายขนาดเล็ก *Isochrysis zhanjiangensis* ด้วยเอนไซม์เปปซิน ทริปซิน และไคโมทริปซิน (chymotrypsin) เมื่อทดสอบกับเซลล์ (HepG2) ด้วยเปปไทด์ดังกล่าว ผลการทดลองพบว่า สามารถเพิ่มระดับเอนไซม์ซูเปอร์ออกไซด์ดิสมิวเทส (superoxide dismutase) และกลูตาไธโอน (glutathione) ซึ่งเป็นเอนไซม์และสารต้านอนุมูลอิสระสำคัญของร่างกายให้กับเซลล์ทดลองได้⁽¹⁹⁾ โปรตีนของสาหร่าย *Palmaria palmata* ที่ถูกย่อยด้วยเอนไซม์ COROLASE® ได้เปปไทด์ SDITRPGGQM มีความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระจากห้องปฏิบัติการ (oxygen radical absorbance capacity; ORAC) โดยการรีดิวซ์เหล็กเฟอริก (ferric reducing antioxidant power; FRAP assay) มีค่าเท่ากับ 152.43 ± 2.73 และ 21.23 ± 0.90 nmol TE/ μ mol of peptide ตามลำดับ การเพิ่มสาหร่าย *Caulerpa racemose*, *Fucus vesiculosus*, *Ulva intestinalis*, *Ulva lactuca* หรือ *Ulva rigida* ในผลิตภัณฑ์อาหาร เช่น บิสกิต เนื้อเบอร์เกอร์ หรือขนมปัง สามารถเพิ่มกิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระในผลิตภัณฑ์อาหารได้⁽²⁰⁻²²⁾

นอกจากนั้นเปปไทด์จากสาหร่ายมีฤทธิ์ช่วยหยุดชะงัก (quiescence) การแบ่งตัวของเซลล์มะเร็งบางชนิดในห้องปฏิบัติการได้ ในปี ค.ศ. 2017 Fan และคณะ พบว่า เปปไทด์ลำดับ VPGTPKNLDSR จากการย่อยโปรตีนสาหร่าย *Porphyra haitanesis* ด้วยเอนไซม์ทริปซินแล้วผ่านการแยกด้วยเทคนิคโครมาโทกราฟีแบบเจลฟิลเทรชัน (gel filtration

chromatography) เมื่อทดสอบกับเซลล์มะเร็งพบว่า เปปไทด์ที่ได้นั้นสามารถยับยั้งเซลล์มะเร็งเต้านมชนิด MCF-7 และเซลล์มะเร็งตับชนิด HepG2 โดยมีค่าความเข้มข้นของสารที่ออกฤทธิ์ยับยั้งได้ 50% (IC₅₀) เท่ากับ 200.97 และ 276.85 µg/mL ตามลำดับ⁽²³⁾ ขณะที่เปปไทด์ VECYGNRPQF ที่ได้จากการย่อยโปรตีนของ *Chlorella vulgaris* ด้วยเอนไซม์เปปซิน ให้ผลในการต้านการเพิ่มจำนวนของเซลล์มะเร็งกระเพาะอาหารชนิด AGS ได้เช่นกัน โดยเปปไทด์ นำพาเซลล์ให้เข้าสู่ระยะ G0/G1 ของวงจรชีวิตเซลล์ หรือทำให้เซลล์หยุดชะงักการแบ่งเซลล์ (quiescence stage)⁽²⁴⁾ ส่วนฤทธิ์ในการต้านเบาหวาน เมื่อทดลองให้โปรตีนที่ผ่านการย่อยหรือโปรตีนไฮโดรไลเสต (protein hydrolysate) จากสาหร่าย *Palmaria palmata* ในหนูที่ชักนำให้เกิดภาวะเบาหวานด้วย สเตรปโทโซโทซิน (streptozotocin-induced diabetic mice) พบว่า กลุ่มหนูที่ได้รับโปรตีนไฮโดรไลเสตสามารถรักษาระดับน้ำตาลในกระแสเลือดและส่งเสริมการหลั่งอินซูลิน โดยเพิ่มฮอร์โมนอินครีติน (incretin) 2 ชนิด คือ glucagon-like peptide-1 (GLP-1) และ gastric inhibitory polypeptide (GIP) ซึ่งเป็นฮอร์โมนที่กระตุ้นการหลั่งอินซูลินจากตับอ่อน⁽²⁵⁾ ส่วนเปปไทด์ LRSELAAWSR จาก *Spirulina* sp. มีฤทธิ์ยับยั้งเอนไซม์แอลฟาอะไมเลส (α-amylase) และแอลฟาไกลูโคซิเดส (α-glucosidase) โดยเอนไซม์ทั้ง 2 ชนิด นี้เป็นเอนไซม์ในระบบทางเดินอาหารที่เปลี่ยนสารคาร์โบไฮเดรตให้เป็นน้ำตาลและสามารถยับยั้งกิจกรรมของเอนไซม์ dipeptidyl peptidase-4 (DPP-4) ที่ไปทำลายฮอร์โมนที่เกี่ยวข้องกับการหลั่งอินซูลิน โดยเปปไทด์มีค่า IC₅₀ เท่ากับ 313.6, 134.2 และ 167.3 µg/mL

ตามลำดับ⁽²⁶⁾ เช่นเดียวกับสาหร่าย *Porphyridium purpureum* และ *Porphyridium ricornutum* สามารถยับยั้งกิจกรรมของเอนไซม์ DPP-4 ได้ โดยมีค่า IC₅₀ เท่ากับ 2.68 mg/mL⁽²⁷⁾ ขณะที่เปปไทด์จากรังควัตถุกลุ่มไฟโคบิลิโปรตีน (phycobiliproteins) ใน *Spirulina platensis* มีฤทธิ์ในการยับยั้งเอนไซม์ DPP-4 เช่นกัน โดยมีค่า IC₅₀ เท่ากับ 2.28 mg/mL⁽²⁸⁾

ฤทธิ์การต้านจุลชีพ ต้านการอักเสบ ส่งเสริมและปรับระบบภูมิคุ้มกันของโปรตีนที่จากสาหร่าย เมื่อทดลองในหนู (Balb/c mice) ที่ขาดสารอาหาร (undernourished mice) การให้โปรตีนไฮโดรไลเสตที่ย่อยด้วยแพนครีเอติน (pancreatin) จากสาหร่าย *Chlorella vulgaris* ปริมาณ 500 mg/kg น้ำหนักตัว เป็นระยะเวลา 8 วัน พบว่า โปรตีนไฮโดรไลเสตช่วยส่งเสริมการสร้างเซลล์เม็ดเลือด (hematopoiesis) โดยเฉพาะเม็ดเลือดขาวชนิดลิมโฟไซต์ (lymphocytes) ให้เพิ่มสูงขึ้น 128% เมื่อเทียบกับชุดควบคุม อีกทั้งสามารถกระตุ้นการเพิ่มจำนวนของเซลล์กินสิ่งแปลกปลอมชนิด MPS (mononuclear phagocytic system)⁽²⁹⁾ เมื่อนำโปรตีนไฮโดรไลเสต จากสาหร่าย *Ecklonia cava* ที่ย่อยด้วยเอนไซม์โปรติเอส Kojizyme™ ทดลองในหนู (ICR mice) พบว่า โปรตีนไฮโดรไลเสตมีความสามารถส่งเสริมการแบ่งเซลล์ในอวัยวะเซลล์ภูมิคุ้มกัน เช่น เซลล์ม้าม (splenocytes) และเม็ดเลือดขาวชนิดลิมโฟไซต์ โมโนไซต์ (monocytes) และกรานูโลไซต์ (granulocytes) ให้มีปริมาณเพิ่มขึ้น เมื่อจำแนกผ่านเครื่อง flow cytometry พบว่า CD⁴⁺ T cells, CD⁸⁺ T cells และ CD45R/B220⁺ B cells เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) เมื่อเทียบกับชุดควบคุมที่ไม่ให้โปรตีน

ไฮโดรไลสเสตจากสาหร่าย การแสดงออกในระดับ mRNA พบว่า มีการแสดงออกของยีนที่เกี่ยวข้องกับเซลล์ที่หลั่งสารส่งสัญญาณภายในระบบภูมิคุ้มกัน (Th-2 cytokine) เพิ่มมากขึ้นซึ่งจะหลั่งอินเตอร์ลิวคิน 4 (interleukin 4; IL-4) และอินเตอร์ลิวคิน 10 (interleukin 10; IL-10) ที่มีฤทธิ์ต้านการอักเสบ⁽³⁰⁾ มีการศึกษาเพิ่มเติมในโปรตีนไฮโดรไลสเสตที่ย่อยด้วย เอนไซม์ทริปซินและ Alcalase® จากสาหร่าย *Porphyra columbina* พบว่า มีศักยภาพในการเพิ่มระดับอินเตอร์ลิวคิน 10 ทำให้สามารถลดการอักเสบในเซลล์ม้ามของหนูทดลองได้ ทดสอบในหลอดทดลองชี้ให้เห็นว่า โปรตีนไฮโดรไลสเสตของ *Porphyra columbina* จากการย่อยด้วย flavourzyme สามารถเพิ่มการหลั่งอินเตอร์ลิวคิน 10 ในเซลล์ม้ามเพิ่มขึ้น 210% เพิ่มปริมาณเซลล์เม็ดเลือดขาวชนิดแมคโครฟาจ (macrophages) 150% และลิมโฟไซต์ 472%⁽³¹⁾ นอกจากนี้โปรตีนไฮโดรไลสเสตยังมีคุณสมบัติเป็นสารกดภูมิคุ้มกัน (immunosuppressive agent) จึงช่วยลดปริมาณสารส่งเสริมการอักเสบ (proinflammatory cytokine) เพื่อป้องกันไม่ให้ระบบภูมิคุ้มกันทำงานมากเกินไป โดยสามารถลด tumor necrosis factor- α (TNF- α) และอินเตอร์เฟอรอน- γ (Interferon- γ ; IFN- γ) ที่กระตุ้นการทำงานของเม็ดเลือดขาว⁽³²⁻³³⁾ เช่น โปรตีนไฮโดรไลสเสตจากสาหร่าย *Ulva* spp.⁽³⁴⁾

คาร์โบไฮเดรต

คาร์โบไฮเดรตเป็นสารชีวโมเลกุลที่มีมากที่สุด ในธรรมชาติโดยอาจพบอยู่ในรูปน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยว (monosaccharide) เช่น กลูโคส (glucose) ฟรักโทส (fructose) และกาแล็กโทส (galactose) โอลิโกแซ็ก-

คาไรด์ (oligosaccharide) ซึ่งประกอบด้วยน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยว 2 ถึง 10 โมเลกุล เชื่อมต่อกันด้วยพันธะไกลโคซิดิก (glycosidic bond) เช่น แรฟฟิโนส (raffinose) สแตคีโอส (stachyose) และพอลิแซ็กคาไรด์ (polysaccharides) ประกอบด้วยน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยวมากกว่า 10 โมเลกุล เช่น แป้ง (starch) ไกลโคเจน (glycogen) และใยอาหาร (dietary fiber) พอลิแซ็กคาไรด์ที่สกัดได้จากสาหร่ายในอุตสาหกรรมอาหารเป็นที่รู้จักและนิยมนำมาใช้อย่างแพร่หลายมีอยู่หลายชนิด เช่น วุ้น (agar) คาร์ราจีแนน (carrageenan) แอลจีเนต (alginate) อะกาโรส (agarose) เป็นต้น นอกจากนี้ยังมีพอลิแซ็กคาไรด์ชนิดอื่นที่สามารถสกัดได้จากสาหร่าย เช่น ฟูแคน (fucan) ฟูกอยแดน (fucoidan) กาแล็กแทน (galactan) อัลแวน (ulvan) ลามินาเรน (laminaran) และกลูแคน (glucan) เป็นต้น คาร์โบไฮเดรตในกลุ่มโอลิโกแซ็กคาไรด์และพอลิแซ็กคาไรด์ได้รับความนิยมอย่างมากในแง่ของการเป็นส่วนผสมสำหรับผลิตภัณฑ์อาหารเพื่อสุขภาพและอาหารเสริม โดยคาร์โบไฮเดรตกลุ่มดังกล่าวมีคุณสมบัติเป็นพรีไบโอติก (prebiotics) ช่วยส่งเสริมการเจริญของจุลินทรีย์โปรไบโอติก (probiotics) ในลำไส้ให้ช่วยย่อยและสังเคราะห์วิตามินที่จำเป็นต่อร่างกาย รวมถึงควบคุมและป้องกันร่างกายจากจุลินทรีย์ชนิดก่อโรค ปรับสมดุลระบบภูมิคุ้มกัน นอกจากนี้ซัลเฟตพอลิแซ็กคาไรด์ยังมีความสามารถในการออกฤทธิ์ทางชีวภาพได้อีกด้วย

จากการทดสอบนำแอลจีเนตของสาหร่ายทะเลสีน้ำตาล *Laminaria japonica* ผ่านระบบการย่อยจำลองในห้องปฏิบัติการด้วยน้ำย่อย (digestive juices) พบว่า แอลจีเนตทนทานต่อการย่อยของระบบทางเดินอาหารส่วนบนและหลังจากการหมัก

แอลจินเนต ด้วยจุลินทรีย์ที่แยกได้จากอาสาสมัครผู้ที่มีสุขภาพดี (*in vitro* faecal fermentation) พบว่าสามารถเพิ่มความชุกชุมสัมพัทธ์ (relative abundance) ของแบคทีเรียโพรไบโอติกกลุ่ม *Bacteroidaceae* โดยเฉพาะ *Bacteroides finegoldii*⁽³⁵⁾ นอกจากนี้การหมักแอลจินเนตด้วยแบคทีเรียโพรไบโอติก *Bacteroides xylanisolvens*, *Bacteroides ovatus* และ *Bacteroides thetaiotaomicron* พบว่า แบคทีเรียเหล่านี้สามารถย่อยแอลจินเนตและผลิตกรดไขมันสายสั้น (short-chain fatty acid) คือ แอซิเตตและโพรพิโอเนตซึ่งมีประโยชน์ต่อร่างกายในการปรับสมดุลกรด-ด่างในลำไส้และควบคุมเชื้อก่อโรค⁽³⁶⁾ อีกทั้งสามารถเพิ่มปริมาณเชื้อกลุ่ม *Bifidobacteria* ในกลุ่มอาสาสมัครที่รับประทานแอลจินเนตปริมาณ 10 กรัม/วัน ติดต่อกันเป็นระยะเวลา 2 สัปดาห์ และสามารถส่งเสริมการเจริญของเชื้อในกลุ่ม *Lactobacillus*⁽³⁷⁻³⁸⁾ การวิจัยในหนูทดลองที่ได้รับประทานสาหร่ายทะเลสีแสด *Chondrus crispus* ผสมในอาหาร 2.5% พบว่าปริมาณเชื้อแบคทีเรีย *Bifidobacterium breve* ในลำไส้มีมากกว่าหนูทดลองในชุดควบคุมที่อาหารไม่มีส่วนผสมของสาหร่ายถึง 4.9 เท่า⁽³⁹⁾ ขณะที่การให้พอลิแซ็กคาไรด์ชนิดฟูคอยแดนที่สกัดจากสาหร่ายสีน้ำตาล *Ascophyllum nodosum* ปริมาณ 100 mg/kg น้ำหนักตัวต่อวัน กับหนูทดลอง (C57BL/6 mice) เป็นเวลา 6 สัปดาห์ พบว่า ช่วยส่งเสริมให้แบคทีเรียโพรไบโอติกกลุ่ม *Lactobacillus* และ *Ruminococcaceae* มีปริมาณเพิ่มสูงขึ้นเช่นเดียวกัน⁽⁴⁰⁾ การศึกษาโอลิโกและพอลิแซ็กคาไรด์ของสาหร่าย *Chlorella* และ *Arthrospira platensis* พบว่า มีความสามารถในการเป็นพรีไบโอติกและส่งเสริมจุลินทรีย์โพรไบโอติก ได้แก่ *Bifidobacterium*

animalis และ *Lactobacillus casei* อีกทั้งส่งเสริมการผลิตกรดไขมันสายสั้นในแบคทีเรีย เช่น กรดแล็กติกและกรดอะซิติก⁽⁴¹⁾

สารต้านอนุมูลอิสระสังเคราะห์ (synthetic antioxidants) เช่น บิวทิลเลเทตไฮดรอกซีโทลูอีน (butylated hydroxytoluene; BHT) โพรพิลแกลเลต (propyl gallate; PG) บิวทิลเลเทตไฮดรอกซีอะนิโซล (butylated hydroxyanisole; BHA) และเทิร์ต-บิวทิลไฮโดรควิโนน (tert-butylhydroquinone; TBHQ) สารเหล่านี้นิยมใช้ในอุตสาหกรรมอาหาร เพื่อเป็นสารต้านออกซิเดชันของไขมัน อย่างไรก็ตามการใช้สารเหล่านี้มีจำกัดด้วยกฎหมายด้านความปลอดภัยอาหาร เนื่องจากอาจมีผลต่อการก่อมะเร็งในร่างกาย⁽⁴²⁾ ดังนั้นสารจากธรรมชาติจึงเข้ามามีบทบาทเพิ่มขึ้น สารสกัดจากสาหร่ายเป็นอีกทางเลือกที่นำมาใช้เนื่องจากมีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ การผสมสาหร่าย *Laminaria* sp. ลงในชีสรมควัน โยเกิร์ต หรือนม เป็นการเพิ่มรสชาติของผลิตภัณฑ์และลักษณะทางประสาทสัมผัสให้ดีขึ้น และสามารถยืดอายุการเก็บรักษาชีสให้ยาวนานขึ้น เนื่องจากสาหร่ายมีสารประกอบที่มีฤทธิ์ในการต้านอนุมูลอิสระ⁽⁴³⁻⁴⁴⁾ การศึกษาทดสอบฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระของซัลเฟตพอลิแซ็กคาไรด์ 6 ชนิด ที่สกัดได้จากสาหร่ายทะเล ได้แก่ ไอโอดา-คาราจีแนน แคปปา-คาราจีแนน แลมบ์ดา-คาราจีแนน ฟูคอยแดน จากสาหร่ายทะเล *Fucus vesiculosus* พูแคน F0.5 และ F1.1 จากสาหร่าย *Padina gymnospora* ผลการทดลองด้วยวิธีการยับยั้งการก่อตัวของอนุมูลซูเปอร์ออกไซด์ (inhibition of superoxide radical formation) พบว่า ฟูคอยแดนให้ผลดีที่สุด โดยมีค่า IC₅₀ เท่ากับ 0.058 mg/mL ส่วนซัลเฟตพอลิแซ็กคาไรด์ชนิดไอโอดา-คาราจีแนน แคปปา-คารา

จีแนน และแลมบ์ตา-คาราจีแนน มีค่า IC_{50} เท่ากับ 0.112, 0.332 และ 0.046 mg/mL ตามลำดับ ขณะที่เมื่อทดสอบด้วยวิธียับยั้งการก่อตัวอนุมูลอิสระไฮดรอกซิลพบว่า ฟู-คอยแดนมีค่า IC_{50} เท่ากับ 1.250 mg/mL ส่วนไอโอบตา-คาราจีแนน แคปปา-คาราจีแนน และแลมบ์ตา-คาราจีแนน มีค่า IC_{50} เท่ากับ 2.753, 2.338 และ 0.323 mg/mL ตามลำดับ ในสาหร่ายเตา (*Spirogyra neglecta*) ซึ่งเป็นสาหร่ายสีเขียวน้ำจืดขนาดใหญ่ เมื่อทดสอบฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระของสารสกัดสาหร่ายเตาที่สกัดด้วยน้ำร้อนในหนูทดลองพบว่า หนูที่ได้รับสารสกัดปริมาณ 50 และ 200 mg/kg ของน้ำหนักรัตว์ เป็นระยะเวลา 13 สัปดาห์ พบว่า ปริมาณเอนไซม์กลูตาไธโอนเปอร์ออกซิเดส (glutathione peroxidase) ซึ่งเป็นเอนไซม์ทำหน้าที่ต่อต้านอนุมูลอิสระมีเพิ่มมากขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)⁽⁴⁵⁾ Huo และคณะ รายงานว่า ซัลเฟตพอลิแซ็กคาไรด์ปริมาณ 2 mg/mL ที่สกัดได้จากสาหร่ายสีเขียวขนาดเล็ก *Tribonema minus* สามารถยับยั้งอนุมูลอิสระ 1,1-diphenyl-2-picrylhydrazyl (DPPH) ซุปเปอร์ออกไซด์และไฮดรอกซิลได้ 56.11, 75.6 และ 61.89% ตามลำดับ⁽⁴⁶⁾ ขณะที่ซัลเฟตพอลิแซ็กคาไรด์ของสาหร่ายขนาดเล็ก *Picochlorum* sp. ปริมาณ 2 mg/mL สามารถยับยั้งอนุมูลอิสระ DPPH ได้ถึง 85%⁽⁴⁷⁾ นอกจากการยับยั้งอนุมูลอิสระแล้วสารประกอบพอลิแซ็กคาไรด์จากสาหร่ายมีฤทธิ์ในการยับยั้งเอนไซม์ ACE ซึ่งเป็นเอนไซม์ที่มีความสัมพันธ์กับการเกิดโรคความดันที่กล่าวไปแล้วข้างต้น พอลิแซ็กคาไรด์สาหร่ายทะเลสีแดง *Kappaphycus alvarezii* และ *Gracilaria opuntia* สามารถออกฤทธิ์ยับยั้งเอนไซม์ ACE ได้โดยมีค่า IC_{50} เท่ากับ 0.02 และ 0.70 $\mu\text{g/mL}$

ตามลำดับ⁽⁴⁸⁾ ซัลเฟตพอลิแซ็กคาไรด์ที่สกัดจากสาหร่าย *Cystoseira crinite* สามารถยับยั้ง ACE ได้โดยมีค่า IC_{50} เท่ากับ 58.35 $\mu\text{g/mL}$ ⁽⁴⁹⁾ และพอลิแซ็กคาไรด์ชนิดฟูคอยแดนที่สกัดจาก *Laminaria japonica* พบว่า สามารถลดความดันโลหิตกับหนูที่มีภาวะความดันโลหิตสูงที่เกิดจากเส้นเลือดไปเลี้ยงไตผิดปกติ (renovascular hypertensive rats)⁽⁵⁰⁾

นอกจากนี้พอลิแซ็กคาไรด์มีความสามารถออกฤทธิ์ต้านเบาหวาน โดยศึกษาในหลอดทดลอง (*in vitro*) ในห้องปฏิบัติการพบว่า ซัลเฟตพอลิแซ็กคาไรด์ของสาหร่าย *Gracilaria opuntia* มีฤทธิ์ในการต้านเบาหวาน สามารถยับยั้งการทำงานของเอนไซม์แอลฟาอะไมเลส เอนไซม์กลูโคซิเดส และเอนไซม์ DPP-4 โดยมีค่า IC_{50} เท่ากับ 0.04, 0.09 และ 0.09 mg/mL ตามลำดับ⁽⁵¹⁾ ขณะที่การศึกษาในสัตว์ทดลอง (*in vivo*) เมื่อให้ซัลเฟตพอลิแซ็กคาไรด์ของ *Sargassum vulgare* ปริมาณ 400 mg/kg น้ำหนักตัวต่อวัน ในหนูทดลอง (wistar rat) ที่ทำให้เกิดภาวะเบาหวานด้วยอัลลอกซาน (alloxan) พบว่า หนูสามารถรักษาระดับน้ำตาลในกระแสเลือดหลังมื้ออาหาร (postprandial blood glucose) และลดไกลโคไซเลทฮีโมโกลบินหรือระดับน้ำตาลเฉลี่ยสะสมในเลือด (hemoglobin A1c; HbA1c) ลงได้ 49.06% เมื่อเทียบกับชุดควบคุมที่ไม่ได้รับพอลิแซ็กคาไรด์ โดยกลไกการออกฤทธิ์ของพอลิแซ็กคาไรด์สามารถยับยั้งเอนไซม์อะไมเลสจากตับอ่อน (pancreatic α -amylase)⁽⁵²⁾ ผลการทดลองเป็นไปในทิศทางเดียวกันกับพอลิแซ็กคาไรด์ชนิดฟูคอยแดนที่สกัดจากสาหร่าย *Saccharina japonica* ซึ่งพบว่า ปริมาณ 200 และ 1,200 mg/kg น้ำหนักตัวต่อวัน สามารถลดปริมาณกลูโคสในกระแสเลือดของหนูที่ทำให้เกิดภาวะ

เบาหวานด้วยอัลลอคซานได้ 22% และ 34% ตามลำดับ นอกจากนี้พอลิแซ็กคาไรด์ยังสามารถกระตุ้นการสร้างอินซูลินและส่งผลให้ระดับอินซูลินในกระแสเลือดของหนูที่เป็นเบาหวานเพิ่มขึ้น⁽⁵³⁻⁵⁴⁾ Liu และคณะ นำซัลเฟตพอลิแซ็กคาไรด์จากสไปรูลินา (*Spirulina platensis*) ทดสอบฤทธิ์ยับยั้งเอนไซม์แอลฟา กลูโคซิเดสในหลอดทดลอง ผลศึกษาพบว่าพอลิแซ็กคาไรด์ที่มีมวลโมเลกุลต่ำ (30-10 KDa) ปริมาณ 4 mg/mL สามารถยับยั้งเอนไซม์แอลฟา กลูโคซิเดสได้ 72.92% ขณะที่อะคาร์โบส (acarbose) ซึ่งเป็นยาต้านเบาหวานสามารถยับยั้งเอนไซม์ได้ 86.65% และเมื่อนำพอลิแซ็กคาไรด์ที่ได้ให้กับหนูที่ทำให้เกิดภาวะเบาหวานด้วยสเตโรบโทโซโทซิน ปริมาณ 200 mg/kg น้ำหนักตัวต่อวัน ผลการศึกษาพบว่าน้ำตาลในกระแสเลือดของหนูที่ได้รับพอลิแซ็กคาไรด์ลดลงอยู่ระดับที่ 10.48 mmol/L จากระดับเริ่มต้นที่ 18.49 mmol/L หลังจากการให้พอลิแซ็กคาไรด์เป็นระยะเวลา 28 วัน ซึ่งค่าน้ำตาลในกระแสเลือดน้อยกว่าหนูในกลุ่มที่เป็นโรคลึง 78% (18.64 mmol/L)⁽⁵⁵⁾

ฤทธิ์ยับยั้งการเจริญเติบโตของเซลล์มะเร็งของพอลิแซ็กคาไรด์ ในปี ค.ศ. 2003 Umemura และคณะ รายงานว่า พอลิแซ็กคาไรด์ GA3P (D-galactan sulfated + L-(+)-lactic acid) จาก *Gymnodinium* sp. A3 ทำให้เกิดกระบวนการทำลายตัวเองของเซลล์ (apoptosis) ในมะเร็งเม็ดเลือดขาวชนิดไมอีลอยด์ (K562) และสามารถยับยั้งการเจริญของเซลล์มะเร็งอีกได้หลายชนิดในห้องปฏิบัติการ เช่น มะเร็งเต้านม มะเร็งรังไข่ มะเร็งผิวหนัง และมะเร็งลำไส้ เป็นต้น⁽⁵⁶⁾ เช่นเดียวกับซัลเฟตพอลิแซ็กคาไรด์จากสาหร่าย *Pyropia yezoensis* Sookwawon 104 ที่สามารถยับยั้งเซลล์มะเร็งชนิด Hep3 B,

MDA - MB - 231 และ HeLa ได้⁽⁵⁷⁾ พอลิแซ็กคาไรด์ชนิดฟูคอยแดนจากสาหร่าย *Fucus vesiculosus* สามารถชักนำให้เซลล์มะเร็งลำไส้ชนิด HT-29 และ HCT116 กระตุ้นเอนไซม์ caspase 3 และ 7 ที่ทำให้เกิดกระบวนการทำลายตัวเองของเซลล์มะเร็งในห้องปฏิบัติการได้⁽⁵⁸⁾ พอลิแซ็กคาไรด์จากสาหร่ายสีน้ำตาล *Ecklonia cava* มีฤทธิ์ในการยับยั้งเซลล์มะเร็งเม็ดเลือดขาวชนิด U-937 (human leukemic monocyte lymphoma) โดยมีค่า IC₅₀ เท่ากับ 43.9 µg/mL⁽⁵⁹⁾ ปี ค.ศ. 2021 ได้มีการทดลองให้ซัลเฟตพอลิแซ็กคาไรด์จากสาหร่าย *Dictyota caribaea* ปริมาณ 25 และ 50 mg/Kg น้ำหนักตัวต่อวัน ในหนูที่ถูกปลูกถ่ายเซลล์มะเร็งชนิด sarcoma 180 ผลการทดลองพบว่าซัลเฟตพอลิแซ็กคาไรด์สามารถยับยั้งการเจริญเติบโตของเซลล์มะเร็งชนิด sarcoma 180 ได้ 40% ในชุดทดลองที่ให้ซัลเฟตพอลิแซ็กคาไรด์ปริมาณ 25 mg/kg น้ำหนักตัวต่อวัน ขณะที่ชุดทดลองที่ให้ซัลเฟตพอลิแซ็กคาไรด์ปริมาณ 50 mg/kg น้ำหนักตัวต่อวัน สามารถยับยั้งการเจริญของเซลล์มะเร็งได้ 51%⁽⁶⁰⁾

การวิจัยทางด้านภูมิคุ้มกันวิทยาพบว่า พอลิแซ็กคาไรด์จากสาหร่ายมีความน่าสนใจ โดยงานวิจัยของ Jiao และคณะ ที่ศึกษาพอลิแซ็กคาไรด์จากสาหร่าย *Enteromorpha intestinalis* พบว่า พอลิแซ็กคาไรด์สามารถกระตุ้นการแบ่งตัวของเม็ดเลือดขาวชนิดลิมโฟไซต์ (lymphocyte proliferation) ได้นอกจากนี้สามารถกระตุ้นให้เม็ดเลือดขาวชนิดแมคโครฟาจ (macrophage) ผลิตไนตริกออกไซด์ (nitric oxide) เพิ่มมากขึ้น ซึ่งไนตริกออกไซด์เป็นสารเคมีที่เซลล์เม็ดเลือดขาวหลั่งออกมาเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการเข้าทำลายเซลล์มะเร็ง⁽⁶¹⁾ ขณะที่ซัลเฟตพอลิแซ็กคาไรด์จาก *Porphyra haitanensis*

และ *Gracilaria lemaneiformis* สามารถลดสารกระตุ้นการอักเสบ TNF- α และ IL-6 ได้อย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$)⁽⁶²⁾ เช่นเดียวกับซัลเฟตพอลิแซ็กคาไรด์จากสาหร่าย *Codium fragile*

บทสรุป

โปรตีนและคาร์โบไฮเดรตจากสาหร่ายชนิดต่าง ๆ มีประโยชน์ในแง่ของการออกฤทธิ์ทางชีวภาพที่สามารถส่งเสริมสุขภาพตลอดจนสามารถป้องกันโรคบางชนิดได้ อย่างไรก็ตามการได้รับอาหารที่สะอาด ปลอดภัย ไม่จำเป็น หรือได้รับสารอาหารครบ 5 หมู่ แหล่งอาหารที่แตกต่างกัน เช่น ไข่ นม เนื้อสัตว์ ข้าว

สามารถลดระดับสารก่อการอักเสบอย่างโพรสตา-แกกลนดิน (prostaglandin E2), IL-1 β , TNF- α และ IL-6 ในเซลล์เพาะเลี้ยงชนิด RAW264.7 ได้

ผัก ผลไม้ ธัญพืช ไขมัน สารอาหารเหล่านี้ยังมีความสำคัญต่อร่างกาย เนื่องจากจะช่วยก่อให้เกิดความสมดุลของสุขภาพร่างกาย นอกจากนี้การออกกำลังกายเป็นประจำและสม่ำเสมอ ทำจิตใจให้แจ่มใสร่วมด้วย จะช่วยเสริมสร้างให้ร่างกายมีสุขภาพแข็งแรง และห่างไกลจากโรค

เอกสารอ้างอิง

1. กองแพทย์ทางเลือก. Functional food, อาหารฟังก์ชัน อาหารช่วยป้องกันหรือลดการเสี่ยงต่อการเกิดโรค. Wellness magazine. กลุ่มงานคุ้มครองผู้บริโภค กองการแพทย์ทางเลือก กรมการแพทย์แผนไทยและการแพทย์ทางเลือก; 2564.
2. Brien RO, Hayes M, Sheldrake G, Tiwari B, Walsh P. Macroalgal Proteins: A Review. Foods. 2022;11(4):571:1-38.
3. Manivasagan P, Kim SK. An Overview of Harmful Algal Blooms on Marine Organisms. In: Handbook of Marine Microalgae: Biotechnology Advance, Academic Press, MA, USA., 2015.
4. Khavari F, Saidijam M, Taheri M, Nouri F. Microalgae: therapeutic potentials and applications. Mol Biol Rep. 2021;48(5):4757-4765.
5. Yarkent Ç, Gürlek C, Oncel SS. Potential of microalgal compounds in trending natural cosmetics: a review. Sustain Chem Pharm. 2020;17:100304.
6. Matos J, Cardoso C, Bandarra NM, Afonso C. Microalgae as healthy ingredients for functional food: a review. Food Funct. 2017;8(8):2672-2685.
7. Wells ML, Potin P, Craigie JS, Raven JA, Merchant SS, Helliwell KE, et al. Algae as nutritional and functional food sources: revisiting our understanding. J Appl Psychol. 2019;29(2):949-982.
8. Dillehay TD, Ramirez C, Pino M, Collins MB, Rossen J, Pino-Navarro JD. Monte Verde: Seaweed, food, medicine, and the peopling of South America. Science. 2008;320(5877):784-786.
9. ยุวดี พิรพรพิศาล. ศักยภาพของสาหร่ายน้ำจืดขนาดใหญ่ในการเป็นผลิตภัณฑ์เสริมอาหารและเวชสำอาง. สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ; 2552.
10. เพ็ญย ตียาพันธ์. สาหร่ายน้ำ เหา [อินเทอร์เน็ต]. 2561 [เข้าถึงเมื่อ 9 พ.ย. 2565]. โครงการอนุรักษ์พันธุกรรมพืชอันเนื่องมาจากพระราชดำริฯ. 2561. เข้าถึงได้จาก: https://oer.learn.in.th/search_detail/result/103881
11. Mantri VA, Kavale MG, Kazi MA. Seaweed biodiversity of India: Reviewing current knowledge to identify gaps, challenges, and opportunities. Diversity. 2020;12(1):13:1-22.
12. Cotas J, Leandro A, Pacheco D, Gonçalves AMM, Pereira L. A comprehensive review of the nutraceutical and therapeutic applications of red seaweeds (Rhodophyta). Life. 2020;10(3):19:1-23.
13. Luthuli S, Wu S, Cheng Y, Zheng X, Wu M, Tong H. Therapeutic effects of fucoidan: A review on recent studies. Mar Drugs. 2019;17(9):487:1-15.



14. Nutautaitė M, Rancevičiūtė-Stupelienė A, Bliznikas S, Jonuškienė I, Karosienė J, Koreivienė J, *et al.* Evaluation of Phenolic Compounds and Pigments in Freshwater *Cladophora glomerata* Biomass from Various Lithuanian Rivers as a Potential Future Raw Material for Biotechnology. *Water*. 2022;14(7):1-18.
15. Fitzgerald C, Aluko RE, Hossain M, Rai DK, Hayes M. Potential of a renin inhibitory peptide from the red seaweed *Palmaria palmata* as a functional food ingredient following confirmation and characterization of a hypotensive effect in spontaneously hypertensive rats. *J Agric Food Chem*. 2014;62(33):8352-8356.
16. Fitzgerald C, Mora-Soler L, Gallagher E, O'Connor P, Prieto J, Soler-Vila A, *et al.* Isolation and characterization of bioactive pro-peptides with in Vitro renin inhibitory activities from the macroalga *Palmaria palmata*. *J Agric Food Chem*. 2012;60(30):7421-7427.
17. Sun S, Xu X, Sun X, Zhang X, Chen X, Xu N. Preparation and identification of ACE inhibitory peptides from the marine macroalga *Ulva intestinalis*. *Mar Drugs*. 2019;17(3),179: 1-17.
18. Suetsuna K, Chen JR. Identification of antihypertensive peptides from peptic digest of two microalgae, *Chlorella vulgaris* and *Spirulina platensis*. *Mar Biotechnol*. 2001;3(4):305-309.
19. Chen MF, Zhang YY, Di He M, Li CY, Zhou CX, Hong PZ, *et al.* Antioxidant Peptide Purified from Enzymatic Hydrolysates of *Isochrysis Zhanjiangensis* and Its Protective Effect against Ethanol Induced Oxidative Stress of HepG2 Cells. *Biotechnol Bioprocess Eng*. 2019;24(2):308-317.
20. Kumar A, Krishnamoorthy E, Devi HM, Uchoi D, Tejpal CS, Ninan G, *et al.* Influence of sea grapes (*Caulerpa racemosa*) supplementation on physical, functional, and anti-oxidant properties of semi-sweet biscuits. *J Appl Phycol*. 2018;30(2):1393-1403.
21. Lorenzo JM, Sineiro J, Amado IR, Franco D. Influence of natural extracts on the shelf life of modified atmosphere-packaged pork patties. *Meat Sci*. 2014;96(1):526-534.
22. Arufe S, Della VG, Chiron H, Chenlo F, Sineiro J, Moreira R. Effect of brown seaweed powder on physical and textural properties of wheat bread. *Eur Food Res Technol*. 2018;244(1):1-10.
23. Fan X, Bai L, Mao X, Zhang X. Novel peptides with anti-proliferation activity from the *Porphyra haitanensis* hydrolysate. *Process Biochem*. 2017;60:98-107.
24. Sheih IC, Fang TJ, Wu TK, Lin PH. Anticancer and antioxidant activities of the peptide fraction from algae protein waste. *J Agric Food Chem*. 2010;58(2):1202-1207.
25. McLaughlin CM, Harnedy-Rothwell PA, Lafferty RA, Sharkey S, Parthasarathy V, Allsopp PJ, *et al.* Macroalgal protein hydrolysates from *Palmaria palmata* influence the 'incretin effect' *in vitro* via DPP-4 inhibition and upregulation of insulin, GLP-1 and GIP secretion. *Eur J Nutr*. 2021;60(8):4439-4452.
26. Hu S, Fan X, Qi P, Zhang X. Identification of anti-diabetes peptides from *Spirulina platensis*. *J Funct Foods*. 2019;56:333-341.
27. Li Y, Lammi C, Boschini G, Arnoldi A, Aiello G. Recent Advances in Microalgae Peptides: Cardiovascular Health Benefits and Analysis. *J Agric Food Chem*. 2019;67:11825-11838.
28. Li Y, Aiello G, Bollati C, Bartolomei M, Arnoldi A, Lammi C. Phycobiliproteins from *Arthrospira platensis* (*spirulina*): A new source of peptides with dipeptidyl peptidase-IV inhibitory activity. *Nutrients*. 2020;12(3),794:1-11.
29. Morris HJ, Carrillo O, Almarales A, Bermúdez RC, Lebeque Y, Fontaine R, *et al.* Immunostimulant activity of an enzymatic protein hydrolysate from green microalga *Chlorella vulgaris* on undernourished mice. *Enzyme Microb Technol*. 2007;40(3):456-460.
30. Ahn G, Hwang I, Park E, Kim J, Jeon YJ, Lee J, *et al.* Immunomodulatory effects of an enzymatic extract from *Ecklonia cava* on murine splenocytes. *Mar Biotechnol*. 2008;10(3):278-289.
31. Cian RE, Martínez-Augustin O, Drago SR. Bioactive properties of peptides obtained by enzymatic | hydrolysis from protein byproducts of *Porphyra columbina*. *Food Res Int*. 2012;49(1):364-372.
32. Kang HK, Lee HH, Seo CH, Park Y. Antimicrobial and immunomodulatory properties and applications of marine-derived proteins and peptides. *Mar Drugs*. 2019;17(6),350:1-25.



33. Cian RE, López-Posadas R, Drago SR, Sánchez De-Medina F, Martínez-Augustin O. A *Porphyra columbina* hydrolysate upregulates IL-10 production in rat macrophages and lymphocytes through an NF- κ B, and p38 and JNK dependent mechanism. *Food Chem.* 2012;134(4):1982-1990.
34. Cian RE, Hernández-Chirlaque C, Gámez-Belmonte R, Drago SR, Sánchez de Medina F, Martínez-Augustin O. Green alga *Ulva* spp. hydrolysates and their peptide fractions regulate cytokine production in splenic macrophages and lymphocytes involving the TLR4-NF κ B/MAPK pathways. *Mar Drugs.* 2018;16(7):235:1-15.
35. Ai C, Jiang P, Liu Y, Duan M, Sun X, Luo T, *et al.* The specific use of alginate from: *Laminaria japonica* by *Bacteroides* species determined its modulation of the *Bacteroides* community. *Food Funct.* 2019;10(7):4304-4314.
36. Li M, Li G, Shang Q, Chen X, Liu W, Pi X, *et al.* In vitro fermentation of alginate and its derivatives by human gut microbiota. *Anaerobe.* 2016;39:19-25.
37. Terada A, Hara H, Mitsuoka T. Effect of dietary alginate on the faecal microbiota and faecal metabolic activity in humans. *Microb Ecol Health Dis.* 1995;8(6):259-266.
38. 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;22(7):163:1-15.
39. Liu J, Kandasamy S, Zhang J, Kirby CW, Karakach T, Hafting J, *et al.* Prebiotic effects of diet supplemented with the cultivated red seaweed *Chondrus crispus* or with fructo-oligo-saccharide on host immunity, colonic microbiota and gut microbial metabolites. *BMC Complement Altern Med.* 2015;15:279:1-12.
40. Shang Q, Shan X, Cai C, Hao J, Li G, Yu G. Dietary fucoidan modulates the gut microbiota in mice by increasing the abundance of: *Lactobacillus* and *Ruminococcaceae*. *Food Funct.* 2016;7(7):3224-3232
41. Leal BES, Prado MR, Grzybowski A, Tiboni M, Koop HS, Scremin LB, *et al.* Potential prebiotic oligosaccharides from aqueous thermopressurized phosphoric acid hydrolysates of microalgae used in treatment of gaseous steakhouse waste. *Algal Res.* 2017;24:138-147.
42. Pierre G, Delattre C, Laroche C, Michaud P. Galactans and Its Applications. In: Ramawat K, Mérillon JM. (eds) *Polysaccharides.* Springer, Berlin, Germany. 2015;1-37.
43. Cofrades S, Serdaroğlu M, Jiménez-Colmenero F. Design of healthier foods and beverages containing whole algae. In: *Functional Ingredients from Algae for Foods and Nutraceuticals.* Woodhead Publishing Series in Food Science, Technology and Nutrition. United Kingdom. 2013;609-633.
44. Biris-Dorhoi ES, 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):3085:1-23.
45. Thumvijit T, Thuschana W, Amornlerdpison D, Peerapornpisal Y, Wongpoomchai R. Evaluation of hepatic antioxidant capacities of *Spirogyra neglecta* (Hassall) Kützing in rats. *Interdiscip Toxicol.* 2013;6(3):152–156.
46. Huo S, Wang H, Chen J, Hu X, Zan X, Zhang C, *et al.* A preliminary study on polysaccharide extraction, purification, and antioxidant properties of sugar-rich filamentous microalgae *Tribonema minus*. 7th congress of the international society for applied phycology (ISAP 2020-2021). *J Appl Phycol.* 2022;1-13.
47. Mousavian Z, Safavi M, Azizmohseni F, Hadizadeh M, Mirdamadi S. Characterization, antioxidant and anticoagulant properties of exopolysaccharide from marine microalgae. *AMB Express.* 2022;12(1):1-16.
48. Makkar F, Chakraborty K. Antioxidative sulphated polygalactans from marine macroalgae as angiotensin-I converting enzyme inhibitors. *Nat Prod Res.* 2018;32(17):2100-2106.
49. Ben Gara A, Ben Abdallah Kolsi R, Jardak N, Chaaben R, El-Feki A, Fki L, *et al.* Inhibitory activities of *Cystoseira crinita* sulfated polysaccharide on key enzymes related to diabetes and hypertension: *in vitro* and animal study. *Arch Physiol Biochem.* 2017;123(1):31-42.



50. Li B, Lu F, Wei X, Zhao R. Fucoidan: Structure and bioactivity. *Molecules*. 2008;13(8):1671-95.
51. Makkar F, Chakraborty K. Antidiabetic and anti-inflammatory potential of sulphated polygalactans from red seaweeds *Kappaphycus alvarezii* and *Gracilaria opuntia*. *Int J Food Prop*. 2017;20(6):1326-1337.
52. Ben Abdallah Kolsi R, Bkhairia I, Gargouri L, ktari N, Chaaben R, El Feki A, *et al*. Protective effect of *Sargassum vulgare* sulfated polysaccharide against molecular, biochemical and histopathological damage caused by alloxan in experimental diabetic rats. *Int J Biol Macromol*. 2017;105:598-607.
53. Manlusoc JKT, Hsieh CL, Hsieh CY, Salac ESN, Lee YT, Tsai PW. Pharmacologic application potentials of sulfated polysaccharide from marine algae. *Polymers*. 2019;11(7):1-21.
54. Wang J, Jin W, Zhang W, Hou Y, Zhang H, Zhang Q. Hypoglycemic property of acidic polysaccharide extracted from *Saccharina japonica* and its potential mechanism. *Carbohydr Polym*. 2013;95(1):143-147.
55. Liu J, Zhu X, Sun L, Gao Y. Characterization and anti-diabetic evaluation of sulfated polysaccharide from *Spirulina platensis*. *J Funct Foods* [Internet]. 2022;95(March):105155. Available from: <https://doi.org/10.1016/j.jff.2022.105155>
56. Umemura K, Yanase K, Suzuki M, Okutani K, Yamori T, Andoh T. Inhibition of DNA topoisomerases I and II, and growth inhibition of human cancer cell lines by a marine microalgal polysaccharide. *Biochem Pharmacol*. 2003;66(3):481-487.
57. He D, Yan L, Ma X, Cheng Y, Wu S, Zuo J, *et al*. Gamma-irradiation degraded sulfated polysaccharide from a new red algal strain *Pyropia yezoensis* sookwawon 104 with *in vitro* antiproliferative activity. *Oncol Lett*. 2020;20(4):1-8.
58. Kim EJ, Park SY, Lee JY, Park JHY. Fucoidan present in brown algae induces apoptosis of human colon cancer cells. *BMC Gastroenterol*. 2010;10:1-11.
59. Athukorala Y, Ahn GN, Jee YH, Kim GY, Kim SH, Ha JH, *et al*. Antiproliferative activity of sulfated polysaccharide isolated from an enzymatic digest of *Ecklonia cava* on the U-937 cell line. *J Appl Phycol*. 2009;21(3):307-314.
60. Assef ANB, da Costa BB, Moreira TA, do Carmo LD, de Souza T de FG, Alencar NMN, *et al*. Antitumor and immunostimulating sulfated polysaccharides from brown algae *Dictyota caribaea*. *Carbohydr Polym Technol Appl*. 2021;2,100142: 1-7.
61. Jiao L, Jiang P, Zhang L, Wu M. Antitumor and immunomodulating activity of polysaccharides from *Enteromorpha intestinalis*. *Biotechnol Bioprocess Eng*. 2010;15(3):421-428.
62. Liu B, Liu QM, Li GL, Sun LC, Gao YY, Zhang YF, *et al*. The anti-diarrhea activity of red algae-originated sulphated polysaccharides on ETEC-K88 infected mice. *RSC Adv*. 2019;9(5):2360-2370.