



KKU SCIENCE JOURNAL

Journal Home Page : <https://ph01.tci-thaijo.org/index.php/KKUSciJ>

Published by the Faculty of Science, Khon Kaen University, Thailand



สเตอรอลและคุณค่าทางโภชนาการในสาหร่ายขนาดใหญ่บางชนิด

Sterols and Nutritional Values in Some Macroalgae

นพรัตน์ มะเห^{1*} ดลฤดี พิชัยรัตน์¹ อุไรวรรณ วัฒนกุล¹ และ วรณิณี จันทร์แก้ว²Nopparat Mahae^{1*}, Donrudee Pichairat¹, Uraiwan Wattanakul¹ and Wanninee Chankaew²¹สาขาวิชาอุตสาหกรรมอาหาร คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการประมง มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย จังหวัดตรัง 92150²สาขาประมง คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย จังหวัดนครศรีธรรมราช 80110¹Program in Food Industry, Faculty of Science and Fisheries Technology, Rajamangala University of Technology Srivijaya, Trang, 92150, Thailand²Department of Fisheries, Faculty of Agriculture, Rajamangala University of Technology Srivijaya, Nakhon Si Thammarat, 80110, Thailand

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อประเมินองค์ประกอบสเตอรอลและคุณค่าทางโภชนาการของสาหร่ายทะเล 4 ชนิด ได้แก่ สาหร่ายสีแดง 2 ชนิด คือ *Gracilaria salicornia* (สาหร่ายข้อ) และ *G. fisheri* (สาหร่ายพมนาง) และ สาหร่ายสีเขียว 2 ชนิด คือ *Ulva lactuca* (สาหร่ายผักกาดทะเล) และ *U. intestinalis* (สาหร่ายไส้ไก่) ผลการวิเคราะห์พบว่าสาหร่ายแต่ละชนิดมีองค์ประกอบและปริมาณสเตอรอลที่แตกต่างกัน การวิเคราะห์เปรียบเทียบคุณค่าทางโภชนาการในกลุ่มสาหร่ายสีแดงพบว่า *G. salicornia* มีปริมาณกรดไขมันไม่อิ่มตัวสูงกว่า *G. fisheri* และยังตรวจพบกรดไอโคซาเพนทาอีโนอิก (EPA) และกรดโดโคซาเฮกซาอีโนอิก (DHA) ในขณะที่ปริมาณกรดอะมิโนของทั้งสองชนิดมีความใกล้เคียงกัน ด้านแร่ธาตุพบว่า *G. fisheri* มีปริมาณแคลเซียมสูงกว่า แต่ *G. salicornia* มีธาตุเหล็กสูงกว่า สำหรับกลุ่มสาหร่ายสีเขียว พบว่า *U. lactuca* มีปริมาณกรดไขมันไม่อิ่มตัวและแมกนีเซียมสูงกว่า *U. intestinalis* และมีกรดอะมิโนเด่นที่แตกต่างกัน คือ กรดแอสพาร์ติกใน *U. lactuca* และซิสเทอีนใน *U. intestinalis* ผลการศึกษานี้ชี้ให้เห็นถึงศักยภาพของสาหร่ายทั้งสองชนิดในฐานะแหล่งสารอาหารที่มีคุณค่าสูงสำหรับประยุกต์ใช้ในอุตสาหกรรมอาหาร อีกทั้งข้อมูลที่ได้ยังเป็นประโยชน์ต่อการวางแผนส่งเสริมการเพาะเลี้ยงเชิงพาณิชย์เพื่อการใช้ประโยชน์อย่างยั่งยืนต่อไป

ABSTRACT

The present investigation evaluated the sterol composition and nutritional value of four macroalgal species, *Gracilaria salicornia*, *G. fisheri*, *Ulva lactuca*, and *U. intestinalis*. Analysis of sterol extracts revealed distinct profiles for each species in both the types and relative abundances of the sterols identified. A comparative nutritional assessment of the Rhodophyta species indicated that *G. salicornia* exhibited a superior fatty acid profile, with a greater proportion of unsaturated fatty acids compared to *G. fisheri*. Notably, the detection of eicosapentaenoic acid (EPA) underscores the potential of these species as a

*Corresponding Author, E-mail: nopparat.rmuts@gmail.com

Received date: 8 June 2025 | Revised date: 21 August 2025 | Accepted date: 29 August 2025

doi: 10.14456/kkuscij.2025.40

source of valuable polyunsaturated fatty acids. Comparative analysis between the two Rhodophyta species, *G. salicornia* and *G. fisheri*, showed similar amino acid, protein, and fat contents, but differing mineral compositions, with *G. fisheri* being richer in calcium and *G. salicornia* in iron. For the Chlorophyta, *U. lactuca* exhibited higher levels of unsaturated fatty acids and magnesium compared to *U. intestinalis*. Their dominant amino acids differed (cysteine in *U. lactuca*, aspartic acid in *U. intestinalis*), and all proximate composition parameters (moisture, protein, fat, ash, carbohydrate) were distinct. These findings underscore the nutritional potential of these species for food applications and provide critical data to guide their future commercial cultivation and utilization.

คำสำคัญ: สาหร่ายข้อ สาหร่ายผมนาง สาหร่ายผักกาดทะเล สาหร่ายไส้ไก่ สเตอรอล

Keywords: *Gracilaria salicornia*, *G. fisheri*, *Ulva lactuca*, *U. intestinalis*, Sterol

บทนำ

ปัจจุบันความสนใจในการศึกษาค้นคว้าหาวิธีการลดปริมาณคอเลสเตอรอลในร่างกายของคนเราได้รับความสนใจเพิ่มมากขึ้น phytosterol หรือ plant sterol เป็นสารอีกชนิดหนึ่งที่มีความสนใจ phytosterol มีผลต่อโภชนาการและสุขภาพของมนุษย์ โดยมีศักยภาพเด่นในการลดคอเลสเตอรอล (Gylling *et al.*, 2014; Jiménez *et al.*, 2023) นอกจากนั้นยังมีบทบาทป้องกันโรคเบาหวาน โรคอ้วน ด้านมะเร็ง ด้านอัลไซเมอร์ และปกป้องตับจากสารพิษ (Derdemezis *et al.*, 2010; Shahzad *et al.*, 2017 Catani *et al.*, 2018; Plat *et al.*, 2019) ป้องกันโรคหลอดเลือดแข็งตัว (atherosclerosis) (Miettinen *et al.*, 1995; Hendriks *et al.*, 1999) นอกจากนั้นยังมีส่วนช่วยป้องกันมะเร็งลำไส้ใหญ่ (colon cancer) (Rao and Janezie, 1992; Awad *et al.*, 1998) จากคุณสมบัติของ phytosterol ดังกล่าว ทำให้การศึกษาค้นคว้าแหล่งของ phytosterol เพื่อนำมาใช้ประโยชน์ในด้านต่าง ๆ มีความน่าสนใจ โดยการประยุกต์ใช้อาจมีการประยุกต์ใช้ทั้งในอุตสาหกรรมยาและอุตสาหกรรมอาหาร เป็นต้น

สาหร่ายอุดมไปด้วยสารที่มีฤทธิ์ทางชีวภาพและมีประโยชน์ทางเภสัชวิทยาที่หลากหลาย ซึ่งดึงดูดความสนใจอย่างมากจากนักวิทยาศาสตร์ผลิตภัณฑ์ทางธรรมชาติ (Hannan *et al.*, 2020) และสาหร่ายมีอยู่ในธรรมชาติเป็นปริมาณมากบางชนิดมีการนำมาเพาะเลี้ยง เนื่องจากการเลี้ยงสาหร่ายไม่ยุ่งยากและง่ายในการจัดการมากกว่าพืชบกบางชนิด เช่น การเลี้ยงสาหร่ายผมนางในแหล่งน้ำต่าง ๆ ไม่ต้องการการดูแลจัดการมาก ส่งผลให้มีความน่าสนใจในการนำมาศึกษาวิจัย ความหลากหลายของสาหร่ายทะเลยังเป็นแหล่งธรรมชาติที่น่าสนใจของ phytosterol ที่มีโครงสร้างต่างกัน (Lopes *et al.*, 2013) มีรายงานการศึกษาพบว่า cytotoxic sterol ซึ่งแยกได้จากสาหร่ายสีน้ำตาลสามารถยับยั้ง cancer cell ได้ (Sheu *et al.*, 1997) และ saringosterol ที่แยกได้จากสาหร่ายสีน้ำตาลหลายชนิดได้รับการยืนยันว่ามีคุณสมบัติในการยับยั้งวัณโรคและมีความเป็นไปได้ในการยับยั้งเชื้อก่อวัณโรค (Wachter *et al.*, 2001) นอกจากนั้นสาหร่ายยังเป็นแหล่งอาหารที่มีคุณค่าทางโภชนาการที่ดี เนื่องจากมีโปรตีน กรดไขมันไม่อิ่มตัวเชิงซ้อน (PUFAs) โพลีแซ็กคาไรด์ สารสี สเตอรอล ฟีนอล วิตามิน และแร่ธาตุ (Yuan and Walsh 2006; McCartain *et al.*, 2007; Paiva *et al.*, 2017; Vieira *et al.*, 2018; Wells *et al.*, 2017; Kazir *et al.*, 2019; Gamero-Vega *et al.*, 2020) การบริโภคสาหร่ายเป็นอาหาร สามารถบริโภคได้ในหลายรูปแบบทั้งแบบสด แบบแห้ง ดองหรือปรุงสุก และเป็นส่วนประกอบในผลิตภัณฑ์ต่าง ๆ มากมาย

การศึกษาเกี่ยวกับสเตอรอลในสาหร่ายของประเทศไทยยังมีน้อย ดังนั้น การศึกษาหาแหล่งของสเตอรอลจากสาหร่ายในครั้งนี้นอกจากจะเป็นข้อมูลในแง่ของการนำมาใช้ในอุตสาหกรรมยาและอุตสาหกรรมอาหารแล้ว ยังเป็นข้อมูลในการส่งเสริมการบริโภคด้วยประโยชน์และคุณค่าทางโภชนาการที่ดีของสาหร่าย การศึกษาวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาตัวทำละลายที่เหมาะสมในการสกัดสเตอรอลจากสาหร่าย ศึกษาหาชนิดและปริมาณสเตอรอลในสาหร่ายบางชนิด และศึกษาคุณค่าทางโภชนาการของสาหร่าย ผลจากการศึกษาสามารถสร้างข้อมูลเบื้องต้นเกี่ยวกับสเตอรอลในสาหร่ายในประเทศไทย และข้อมูลทางโภชนาการ เพื่อเป็นแนวทางในการใช้ประโยชน์ต่อไป

วิธีการดำเนินการวิจัย

การเตรียมตัวอย่างสาหร่าย

ตัวอย่างสาหร่ายที่ใช้ในการศึกษานี้มี 4 ชนิด กลุ่มสาหร่ายสีแดง (rhodophytes) 2 ชนิด คือ สาหร่ายข้อ (*G. salicornia*) และสาหร่ายพมนาง (*G. fisheri*) กลุ่มสาหร่ายสีเขียว (chlorophytes) 2 ชนิดคือ สาหร่ายผักกาดทะเล (*U. lactuca*) และสาหร่ายไส้ไก่ (*U. intestinalis*) ซึ่งตัวอย่างสาหร่ายเก็บจากแหล่งต่าง ๆ คือ สาหร่ายพมนางและสาหร่ายไส้ไก่จากบ่อเลี้ยงกุ้งร้าง จังหวัดนครศรีธรรมราช สาหร่ายข้อจากทะเลอันดามัน จังหวัดสตูล และสาหร่ายผักกาดทะเลจากบ่อเลี้ยง จังหวัดตราด นำตัวอย่างสาหร่ายมาทำการล้างให้สะอาดด้วยน้ำประปา วางทิ้งให้สะเด็ดน้ำ จากนั้นนำไปทำแห้งโดยการวางทิ้งไว้ให้แห้งภายใต้อุณหภูมิห้อง (air dry) เก็บตัวอย่างแห้งในตู้แช่เยือกแข็ง อุณหภูมิ -18 องศาเซลเซียส เพื่อรอการนำไปสกัดสเตอรอลต่อไป

การสกัดและการวิเคราะห์สเตอรอล

ศึกษาผลของตัวทำละลายต่อปริมาณสเตอรอล โดยใช้สาหร่ายผักกาดทะเลเป็นตัวแทนของสาหร่ายชนิดอื่น ๆ โดยมีชุดการทดลอง 3 ชุดการทดลองคือ 1) hexane 2) hexane : diethyl ether (2:1) และ 3) hexane : diethyl ether (1:1) วิเคราะห์ปริมาณสเตอรอล โดยใช้วิธีวิเคราะห์คอเลสเทอรอล และดัดแปลงตามวิธีการของ AOAC (2005) ซึ่งมีขั้นตอนดังนี้

1) Extraction และ Saponification

ชั่งตัวอย่างสาหร่ายแห้งที่ทำให้เป็นเนื้อเดียวกันแล้วน้ำหนัก 1.00 ± 0.02 g ใส่ลงในหลอดทดลองขนาด 50 ml พร้อมฝาเกลียวพลาสติก ขนาด 16×150 mm จากนั้นเติม 95% ethanol ปริมาตร 4 ml และ 50% KOH ปริมาตร 1 ml ปิดฝาให้แน่น แล้วเขย่าให้เข้ากัน นำไป reflux ใน heating block ที่อุณหภูมิ 90 ± 5 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง แล้วทิ้งให้เย็นที่อุณหภูมิห้อง หลังจากเย็นแล้ว เติมน้ำกลั่นปริมาตร 2.5 ml เติม hexane ปริมาตร 5 ml เขย่าอย่างแรง 2 นาที แล้วตั้งทิ้งไว้ให้แยกชั้น เมื่อแยกชั้นแล้ว ใช้ pasture pipette ดูดชั้นบนมาใส่ใน round bottom flask (ขั้นตอนนี้เปลี่ยน hexane เป็น hexane + diethyl ether ตามชุดการทดลอง) สกัดซ้ำรวมทั้งหมด 3 ครั้ง แล้วนำส่วนที่สกัดได้ไประเหยด้วยเครื่อง rotary evaporator ที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส ละลาย residue ด้วย dimethylformamide (DMF) 3 ml ใช้ไมโครปิเปตตูดมา 1 ml ใส่ใน silane test tube ขนาด 16×150 mm นำไปทำ derivatization

2) Derivatization

นำสารละลายข้างต้นมาเติม hexamethyldisilazane (HMDS) 200 μ L และเติม trimethylchlorosilane (TMCS) 100 μ L ปิดฝา เขย่า 30 วินาที โดยใช้ vortex mixer ตั้งทิ้งไว้ 15 นาที เพื่อให้ตกตะกอน เติม 5 α -cholestane (Internal standard) 1 ml และเติมน้ำกลั่น 10 ml เขย่าอย่างแรง 2 นาที ใช้ pasture pipettes ดูดเอาส่วนที่แยกชั้นอยู่ชั้นบนใส่ลงใน Vial ขนาด 2 ml ฉีดเข้าเครื่อง gas chromatography (GC)

3) GC analysis

กำหนดสภาวะของเครื่อง GC/FID (Agilent 19091J-413) โดยใช้คอลัมน์ HP-5 เคลือบด้วย 5% phenyl methyl siloxane 0.32 mm x 50 μ m x 30 m โหมดของการฉีดคือ Split Injection อุณหภูมิ 270 องศาเซลเซียส ใช้ก๊าซฮีเลียม ชนิด high purity เป็น carrier gas อัตราการไหลเท่ากับ 2.0 mL/min ใช้ไนโตรเจน ชนิด high purity เป็น make up gas อัตราการไหล เท่ากับ 60 mL/min สภาวะของตัวตรวจวัดคือ อุณหภูมิเท่ากับ 250 องศาเซลเซียส อัตราการไหลของแก๊ส ไนโตรเจนเท่ากับ 40.0 mL/min อัตราการไหลของอากาศเท่ากับ 450.0 mL/min ปริมาตรที่ฉีด เท่ากับ 1 μ L อุณหภูมิเริ่มต้น ของคอลัมน์ เท่ากับ 130 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 นาที การตั้งโปรแกรมของอุณหภูมิคือ อัตรา 6.50 องศาเซลเซียสต่อนาที จนถึง 200 องศาเซลเซียส อัตรา 2.75 องศาเซลเซียสต่อนาที จนถึง 230 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 นาที อัตรา 1.00 องศาเซลเซียสต่อนาที จนถึง 280 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 12 นาที การวิเคราะห์สารโดยเปรียบเทียบค่า retention time ของตัวอย่างกับ standard sterol (β -sitosterol stigmasterol campesterol fucosterol desmosterol และ ergocalciferol) ด้วยเครื่อง GC

การศึกษาชนิดและปริมาณสเตอรอลในสาหร่าย

ตัวอย่างสาหร่ายที่ใช้ในการศึกษาค้างนี้ 4 ชนิดคือ สาหร่ายข้อ สาหร่ายผมนาง สาหร่ายผักกาดทะเล และ สาหร่ายไส้ไก่ ทำการวิเคราะห์ปริมาณสเตอรอลตามวิธีการข้างต้น โดยใช้ตัวทำละลายที่เหมาะสมที่คัดเลือกได้ การศึกษา ค้างนี้เลือกศึกษาปริมาณสเตอรอล 6 ชนิด ที่พบค่อนข้างมากคือ β -sitosterol stigmasterol campesterol fucosterol desmosterol และ ergocalciferol (Al Easa *et al.*, 1995)

การศึกษาคูณค่าทางโภชนาการอื่น ๆ

ศึกษาคูณค่าทางโภชนาการอื่น ๆ ของสาหร่ายทั้ง 4 ชนิดคือ สาหร่ายข้อ สาหร่ายผมนาง สาหร่ายผักกาดทะเล และสาหร่ายไส้ไก่ ศึกษาองค์ประกอบต่าง ๆ ดังนี้คือ 1) กรดไขมันไม่อิ่มตัว โดยดัดแปลงวิธีของ Compendium of Methods for Food Analysis ของ DMSc (2003) และ AOAC (2005) 2) กรดอะมิโน ตามวิธีการของ Sarwar *et al.* (1988) โดยใช้ HPLC-MS 3) ปริมาณแคลเซียม โดยดัดแปลงวิธีการของ AOAC (2005) และขั้นตอนการย่อยตัวอย่าง ด้วยไมโครเวฟ ตามวิธีการของ United States Environmental Protection Agency (USEPA method 3052) (U.S. Environmental Protection Agency, 1996) ตรวจสอบความเข้มข้นของแคลเซียมด้วย flame atomic absorption spectrometer 4) ปริมาณแมกนีเซียม โดยดัดแปลงวิธีการของ AOAC (2005) และขั้นตอนการย่อยตัวอย่างด้วยไมโครเวฟ ตามวิธีการของ United States Environmental Protection Agency (USEPA method 3052) (U.S. Environmental Protection Agency, 1996) ตรวจสอบความเข้มข้นของแมกนีเซียมด้วย flame atomic absorption spectrometer 5) ปริมาณเหล็ก โดยดัดแปลงวิธีการของ AOAC (2005) และขั้นตอนการย่อยตัวอย่างด้วยไมโครเวฟ ตามวิธีการของ United States Environmental Protection Agency (USEPA method 3052) (U.S. Environmental Protection Agency, 1996) ตรวจสอบความเข้มข้นของเหล็กด้วย flame atomic absorption spectrometer 6) องค์ประกอบอื่น ๆ ได้แก่ ปริมาณความชื้น โปรตีน ไขมัน เถ้า และ เยื่อใย (crude fiber) ตามวิธีการของ AOAC (2000)

ผลการวิจัยและวิจารณ์ผล

การศึกษาผลของชนิดตัวทำละลายต่อปริมาณสเตอรอล

การศึกษาชนิดของตัวทำละลายที่เหมาะสมต่อการสกัดสเตอรอลโดยใช้สารห่วยผักกาดทะเล การศึกษาแบ่งเป็น 3 ชุด การทดลองคือ 1) hexane 2) hexane:diethyl ether (2:1) และ 3) hexane:diethyl ether (1:1) ผลการทดลองแสดงดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ปริมาณสเตอรอลในสารห่วยผักกาดทะเล ด้วยตัวทำละลายที่ต่างกัน

Sterol Type	Sterol content ($\mu\text{g} / \text{g DW}$)		
	Hexane	Hexane:Diethyl ether (2:1)	Hexane:Diethyl ether (1:1)
β -sitosterol	-	-	-
Stigmasterol	-	-	-
Campesterol	-	-	-
Fucosterol	299.61 ± 0.83	14.99 ± 0.21	27.98 ± 0.12
Desmosterol	-	-	-
Ergocalciferol	-	-	-

หมายเหตุ: ค่าที่แสดงในตารางคือค่าเฉลี่ย $\pm$ ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน จากตัวอย่างจำนวน 2 ซ้ำ

จากตารางที่ 1 พบว่า การสกัดสเตอรอลในสารห่วยผักกาดทะเลด้วย 1) hexane 2) hexane:diethyl ether (2:1) และ 3) hexane:diethyl ether (1:1) ได้ปริมาณของ fucosterol เท่ากับ 299.61 14.99 และ 27.98 $\mu\text{g} / \text{g DW}$ ตามลำดับ โดย hexane ให้ผลการสกัดดีที่สุด ดังนั้นการสกัดสเตอรอลในสารห่วยชนิดต่าง ๆ ในการศึกษาในหัวข้อต่อไป จึงใช้ hexane ในการสกัด

ตัวทำละลายที่ใช้ในการสกัดสเตอรอลนั้นสามารถใช้ตัวทำละลายได้หลายชนิด ตั้งแต่สารที่ไม่มีขั้ว (non-polar) อย่างเช่น hexane จนถึงสารที่มีขั้วสูงอย่าง methanol ซึ่งตัวทำละลายที่นิยมใช้ได้แก่ chloroform methylene chloride acetone chloroform-methanol petroleum ether และ hexane นอกจากนี้ยังพบว่าสามารถเพิ่มประสิทธิภาพในการสกัดวัตถุดิบแห้งได้ด้วยการเติมน้ำเพียงเล็กน้อย (ร้อยละ 2 - 7) ลงในตัวทำละลาย (Abidi, 2001)

เทคนิคในการแยกและสกัด phytosterol นั้นแตกต่างกันไปขึ้นกับลักษณะและสมบัติของวัตถุดิบ ขั้นตอนการย่อยอาจใช้กรด หรือด่าง ซึ่งการย่อยสลายด้วยกรด (acid hydrolysis) หรือด่าง (alkaline hydrolysis or saponification) สามารถสกัด phytosterol และ phytosterol อิสระ ได้มากขึ้นเช่นกัน ซึ่งอาจเนื่องจากสามารถสกัด phytosterol ที่ยึดเกาะอยู่ในเนื้อเยื่อพืช การวิเคราะห์ส่วนใหญ่ใช้ GC อาจมีการทำหรือไม่มีการทำ derivatization แต่ส่วนใหญ่มีการทำ derivatization การทำบริสุทธิ์อาจใช้ SPE (Solid Phase Extraction) หรือ TLC (Thin Layer Chromatography) โดย phytosterol จากเนื้อเยื่อหรือเมล็ดพืชสามารถสกัดด้วยตัวทำละลายเช่นเดียวกับการสกัดไขมันทั่ว ๆ ไป เช่น chloroform-methanol hexane methylene chloride acetone (Abidi, 2001) หรือ light petroleum (Mazzuca and Balzarette, 2003) ซึ่งตัวทำละลายไม่มีขั้ว เช่น hexane สามารถสกัด phytosterol อิสระและ phytosteryl fatty-acid esters จากการศึกษาปริมาณ phytosterol อิสระ phytosteryl fatty-acid esters และ ferulate phytosteryl esters จากกากข้าวโพดด้วย ตัวทำละลาย 4 ชนิด คือ hexane methylene chloride ethanol และ isopropanol พบว่า ตัวทำละลายแต่ละชนิดสามารถสกัดสารทั้งสามชนิดได้ มากกว่าร้อยละ 95 (Moreau *et al.*, 1996) ถึงแม้ว่าตัวทำละลายที่ไม่มีขั้วสามารถสกัด steryl glycoside และ fatty-acylated steryl glycoside ได้เพียงบางส่วนเท่านั้น แต่เมื่อเพิ่มความเข้มข้นของตัวทำละลายสามารถสกัดสารดังกล่าวได้เพิ่มมากขึ้น

การศึกษาชนิดและปริมาณสเตอรอลในสาหร่าย

ศึกษาชนิดและปริมาณสเตอรอลในตัวอย่างสาหร่าย 4 ชนิดคือ สาหร่ายข้อ สาหร่ายผมนาง สาหร่ายผักกาดทะเล และสาหร่ายไส้ไก่ โดยใช้ตัวทำละลายที่เหมาะสมที่คัดเลือกได้จากการศึกษาก่อนหน้านี้คือ hexane ศึกษาชนิดและปริมาณของสเตอรอล 6 ชนิด คือ β -sitosterol stigmasterol campesterol fucosterol desmosterol และ ergocalciferol ซึ่ง β -sitosterol stigmasterol และ campesterol เป็นสเตอรอลที่พบค่อนข้างมาก ส่วน fucosterol desmosterol และ ergocalciferol เป็นสเตอรอลที่พบในสาหร่ายบางชนิด ผลการศึกษาชนิดและปริมาณของสเตอรอลในตัวอย่างสาหร่ายทั้ง 4 ชนิด แสดงดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ปริมาณสเตอรอลในสาหร่ายข้อ สาหร่ายผมนาง สาหร่ายผักกาดทะเล และสาหร่ายไส้ไก่

Sterol Type	Sterol content ($\mu\text{g} / 100\text{g DW}$)			
	rhodophytes		chlorophytes	
	<i>G. salicornia</i>	<i>G. fisheri</i>	<i>U. lactuca</i>	<i>U. intestinalis</i>
β -sitosterol	-	-		2,126.00 $\pm$ 8.49
Stigmasterol	-	-		-
Campesterol	-	7.35 $\pm$ 0.21		-
Fucosterol	-	-	29,961.00 $\pm$ 82.73	-
Desmosterol	2,170.50 $\pm$ 47.38			923.50 $\pm$ 4.95
Ergocalciferol	-	-		-

หมายเหตุ: ค่าที่แสดงในตารางคือค่าเฉลี่ย $\pm$ ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน จากตัวอย่างจำนวน 2 ซ้ำ

จากตารางที่ 2 พบว่า ชนิดและปริมาณของสเตอรอลในสาหร่ายแต่ละชนิดมีความแตกต่างกันคือ สาหร่ายข้อพบ desmosterol เพียงชนิดเดียว จาก 6 ชนิดของสเตอรอลที่ศึกษา โดยพบในปริมาณ 2,170.50 $\mu\text{g} / 100\text{g DW}$ สาหร่ายผมนางพบ campesterol เพียงชนิดเดียว จาก 6 ชนิดของสเตอรอลที่ศึกษา โดยพบในปริมาณ 7.35 $\mu\text{g} / 100\text{g DW}$ สาหร่ายผักกาดทะเลพบ fucosterol เพียงชนิดเดียว จาก 6 ชนิดของสเตอรอลที่ศึกษา โดยพบในปริมาณ 29,961.00 $\mu\text{g} / 100\text{g DW}$ และสาหร่ายไส้ไก่พบ β -sitosterol และ desmosterol จาก 6 ชนิดของสเตอรอลที่ศึกษา โดยพบในปริมาณ 2,126.00 $\mu\text{g} / 100\text{g DW}$ และ 923.50 $\mu\text{g} / 100\text{g DW}$ ตามลำดับ

Kapetanovic' *et al.* (2005) ศึกษาปริมาณสเตอรอลจากทะเล Adriatic พบว่าสเตอรอลที่สำคัญที่พบในสาหร่ายสีเขียว *U. lactuca* คือ cholesterol และ isofucosterol สเตอรอลที่สำคัญในสาหร่ายสีน้ำตาล คือ fucosterol (Goad, 1978) ซึ่ง fucosterol เกิดจากกระบวนการ biosynthesis ซึ่งเป็นกระบวนการที่สังเคราะห์เปลี่ยนสารเป็นผลิตภัณฑ์ที่ซับซ้อนขึ้น โดยผ่านกระบวนการ alkylation สำหรับสาหร่ายสีเขียวชั้นต่ำ (lower green algae) กลุ่ม Chlorophyta กระบวนการ alkylation ของ 24-methylenecholesterol ทำให้เกิดการสร้าง isomer ของ fucosterol ที่เรียกว่า isofucosterol ในขณะที่สาหร่ายสีเขียวชั้นสูงและพืชชั้นสูง กระบวนการ alkylation และการเกิด reduction ของพันธะคู่ของ C-24(28) นำไปสู่การสร้าง sitosterol (Okano *et al.*, 1982; Stefanov *et al.*, 1996)

จากการศึกษาของ Al Easa *et al.* (1995) ซึ่งศึกษาปริมาณสเตอรอลในสาหร่ายขนาดใหญ่ 13 ชนิดจากอ่าวอาราเบียน (Arabian Gulf) โดยเป็นสาหร่ายจาก 3 ดิวิชัน (division) คือ สาหร่ายสีเขียว (Chlorophyceae) สาหร่ายสีแดง (Rhodophyceae) และสาหร่ายสีน้ำตาล (Phaeophyceae) ผลการทดลองพบว่าสาหร่ายสีแดงทั้งหมด โดยเฉพาะ *Laurencia paniculata* ประกอบด้วย cholesterol ในปริมาณที่ค่อนข้างสูง ส่วน 24-Methylenecholesterol มีปริมาณที่ค่อนข้างต่ำ และพบเฉพาะใน *Chondria collinsiana* ส่วน cholestanol (E)- และ (Z)-22-dehydrocholesterol

desmosterol ergosterol และ poriferasterol พบในสาหร่ายทุกชนิด ในขณะที่ brassicasterol campesterol 24-methylcholesterol และ 24-nor-cholesta-5,22-dien-3 β -ol พบในปริมาณต่ำและพบเพียงบางชนิดของสาหร่ายในกลุ่มนี้ ส่วนกลุ่มสาหร่ายสีน้ำตาลจะพบ fucosterol เป็นชนิดเด่น และมีความเกี่ยวข้องกับ 24-methylenecholesterol ในออร์เดอร์ Fucales ซึ่งเป็นออร์เดอร์หนึ่งของสาหร่ายสีน้ำตาล แต่อย่างไรก็ตามสาหร่ายสีน้ำตาลจะพบ cholesterol brassicasterol (E) และ (Z)-22-dehydrocholesterol ergosterol และ poriferasterol ในปริมาณที่ค่อนข้างมาก ส่วนสาหร่ายสีเขียวซึ่งมีการศึกษาเพียงชนิดเดียวคือ *Dictyosphaeria cavernosa* พบ ergosterol เป็นชนิดเด่นมีประมาณร้อยละ 27.5 ส่วนสเตอรอลชนิดอื่นที่พบในสาหร่ายชนิดนี้คือ 24-methylenecholesterol (19.7%) 24-methylcholesterol (16.3) และ poriferasterol (11.7%) การศึกษาของ Ahmad *et al.* (1996) ที่ศึกษาปริมาณสเตอรอลในสาหร่ายทะเลสีแดง *Melanothamnus somalensis* พบสเตอรอลชนิดใหม่ 1 ชนิด คือ 24-norcholesta-5-en-3,7-dione นอกจากนั้นยังพบ Cholesterol 7-oxo-cholesterol และ 24-methylenecholesterol การศึกษาของ Ahmad *et al.* (1996) และ Al Easa *et al.* (1995) พบสเตอรอลบางชนิดที่เหมือนกันและมีบางชนิดที่ต่างกัน

สารที่เป็นองค์ประกอบของพืชหรือสาหร่ายส่วนใหญ่อยู่ในรูปที่เชื่อมอยู่กับสารอื่นหรือที่เรียกว่า glycoside รวมทั้ง สเตอรอล ซึ่ง sterol glycosides คือสเตอรอล ที่ไม่ใช่สเตอรอลอิสระ หรือมีการยึดเหนี่ยวกับสารอื่น จากการศึกษาของ Lin *et al.* (2010) ซึ่งได้ศึกษาโครงสร้างและคุณสมบัติทางชีวภาพของ sterol glycosides ชนิดใหม่จากสาหร่ายทะเลสีแดง *Peyssonnelia* sp. ผลการทดลองพบว่า sterol glycosides ชนิดใหม่ 2 ชนิดที่ค้นพบคือ 19-O- β -D-glucopyranosyl-19-hydroxy-cholesta-4-en-3-one (ชนิดที่ 1) และ 19-O- β -D-acetyl-2-aminoglucopyranosyl-19-hydroxy-cholesta-4-en-3-one (ชนิดที่ 2) เมื่อทดสอบคุณสมบัติทางชีวภาพพบว่า sterol glycosides สามารถยับยั้งการเจริญของเซลล์มะเร็ง โดยมีค่า IC₅₀ เฉลี่ยเท่ากับ 1.63 และ 1.41 μ M สำหรับ sterol glycosides ชนิดที่ 1 และ ชนิดที่ 2 ตามลำดับ (โดยศึกษาใน 11 human cancer cell lines) และ cancer cell lines ที่ไว (sensitive) มากที่สุดคือ MDA-MB-468 (หน้าอก) และ A549 (ปอด) ซึ่งมี IC₅₀ อยู่ในช่วง 0.71 - 0.97 μ M สำหรับ sterol glycosides ชนิดที่ 1 และ ชนิดที่ 2 เมื่อทำการดัดแปรโครงสร้างของ sterol glycosides พบว่า α , β -unsaturated ketone ที่ตำแหน่งคาร์บอนตัวที่ 3 (C-3) และ oxygenation ที่ตำแหน่งคาร์บอนตัวที่ 19 (C-19) ของ sterol glycosides ชนิดที่ 1 และ ชนิดที่ 2 มีผลต่อความสามารถในการต้านมะเร็ง (anticancer activity) ในขณะที่หมู่ของไกลโคไซด์ (glucosidic group) ไม่มีความจำเป็นต่อการยับยั้งแต่ช่วยส่งเสริมปฏิกิริยาต่อ sensitive cell lines ส่วนใหญ่

จากการศึกษาชนิดและปริมาณสเตอรอลในสาหร่าย 4 ชนิดครั้งนี้ ผลการทดลองที่ได้ในเรื่องของชนิดของสเตอรอลในสาหร่ายแต่ละกลุ่มอาจให้ผลที่แตกต่างจากในบทความวิจัยต่าง ๆ ที่อ้างถึง ด้วยข้อจำกัดของชนิดของสารที่นำมาใช้ยืนยันสารที่พบที่มีเพียง 6 ชนิด นอกจากนั้นแม้ว่ารูปแบบสเตอรอลทั่วไปค่อนข้างคงที่ระหว่างกลุ่มสาหร่ายต่าง ๆ แต่ความแตกต่างทางนิเวศวิทยา ต้นกำเนิดทางภูมิศาสตร์ และระยะการพัฒนาของสิ่งมีชีวิตสามารถมีส่วนทำให้เกิดโปรไฟล์ phytosterol ที่แตกต่างกัน (Kapatjanovic *et al.* 2005; Lopes *et al.* 2011)

การศึกษาคุณค่าทางโภชนาการอื่น ๆ ของสาหร่าย

สำหรับการศึกษาคุณค่าทางโภชนาการอื่น ๆ ของสาหร่ายนั้น ทำการศึกษาปริมาณของกรดไขมันไม่อิ่มตัว ปริมาณ กรดอะมิโนและปริมาณแร่ธาตุ คือ แคลเซียม แมกนีเซียม และเหล็ก

ปริมาณกรดไขมันไม่อิ่มตัว (Unsaturated fatty acid)

กรดไขมันมีความสำคัญต่อสุขภาพของสัตว์และมนุษย์ เนื่องจากเป็นสารตั้งต้นในกระบวนการ eicosanoids biosynthesis ซึ่งเป็นสารควบคุมทางชีวภาพ (bioregulators) ที่สำคัญต่อหลาย ๆ กระบวนการของเซลล์ (cellular processes) (Khotimchenko, 2005). ตารางที่ 3 แสดงปริมาณกรดไขมันไม่อิ่มตัวในสาหร่าย 4 ชนิดคือ สาหร่ายชื้อ สาหร่ายผมนาง สาหร่ายผักกาดทะเล และสาหร่ายไส้ไก่ จากตารางจะพบว่าสาหร่ายทั้ง 4 ชนิดมีความแตกต่างทั้งชนิดและปริมาณของกรดไขมัน

ตารางที่ 3 ปริมาณกรดไขมันไม่อิ่มตัวในสาหร่ายชื้อ สาหร่ายผมนาง สาหร่ายผักกาดทะเล และสาหร่ายไส้ไก่

Fatty acid Type	Unsaturated fatty acid content (mg /100 g DW)			
	rhodophytes		chlorophytes	
	<i>G. salicornia</i>	<i>G. fisheri</i>	<i>U. lactuca</i>	<i>U. intestinalis</i>
Myristoleic acid/Tetradecenenoic (C14:1)	-	0.36 ± 0.01	-	0.09 ± 0.12
cis-10-Pentadecenoic acid (C15:1)	3.36 ± 0.01	0.57 ± 0.02	1.66 ± 0.01	0.12 ± 0.17
Palmitoleic acid/ Hexadecenoic (C16:1)	50.01 ± 0.18	-	91.60 ± 0.24	0.95 ± 0.17
cis-10-Heptadecenoic acid/Margaroleic (C17:1)	4.60 ± 0.02	0.06 ± 0.09	13.22 ± 0.03	-
Elaidic acid (C18:1n9t)	-	0.20 ± 0.11	27.20 ± 0.25	12.19 ± 0.06
Oleic acid (C18:1n9c)	285.47 ± 0.91	7.92 ± 0.08	153.40 ± 0.57	3.70 ± 0.14
Linolelaidic acid (C18:2n6t)	-	-	-	-
Linoleic acid/Octadecdieoic (C18:2n6c)	67.73 ± 0.22	0.65 ± 0.03	38.79 ± 0.00	1.86 ± 0.16
g-Linolenic acid (C18:3n6)	4.53 ± 0.02	-	6.01 ± 0.09	-
Linolenic acid (ALA) (C18:3n3)	5.13 ± 0.02	-	88.31 ± 0.24	-
cis-11-Eicosenoic acid/Ecosenic (C20:1)	6.04 ± 0.02	0.08 ± 0.12	-	0.68 ± 0.09
cis-11,14-Eicosadienoic acid (C20:2)	7.74 ± 0.25	-	-	-
cis-8,11,14-Eicosatrienoic acid (C20:3n6)	48.07 ± 0.14	-	1.53 ± 0.16	-
Arachidonic acid (C20:4n6)	285.33 ± 0.85	-	5.15 ± 0.10	-
cis-11,14,17-Eicosatrienoic acid (C20:3n3)	3.62 ± 0.01	-	0.49 ± 0.07	-
cis-5,8,11,14,17-Eicosapentaenoic acid (EPA) (C20:5n3)	6.56 ± 0.02	-	8.41 ± 0.03	-
Erucic acid/Docosaenoic (C22:1n9)	10.31 ± 0.03	0.50 ± 0.02	-	0.48 ± 0.05
cis-13,16-Docosadienoic acid (C22:2)	-	-	-	-
Nervonic acid (C24:1)	-	-	-	-
cis-4,7,10,13,16,19-Docosahexaenoic acid (DHA) (C22:6n3)	4.59 ± 0.01	-	-	-
Total	793.68 ± 2.70	10.34 ± 0.17	885.75 ± 0.00	20.06 ± 0.38

หมายเหตุ: ค่าที่แสดงในตารางคือค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน จากตัวอย่างจำนวน 2 ซ้ำ

กลุ่มของสาหร่ายสีแดง 2 ชนิดคือ สาหร่ายข้อ และสาหร่ายผมนาง มีปริมาณของกรดไขมันไม่อิ่มตัวอยู่ในช่วง 3.36 - 285.47 mg/100 g DW และ 0.07 - 7.92 mg/100 g DW ตามลำดับ กรดไขมันไม่อิ่มตัวในสาหร่ายข้อพบทั้งหมดจำนวน 15 ชนิด ในขณะที่สาหร่ายผมนางพบทั้งหมด 8 ชนิด ปริมาณกรดไขมันไม่อิ่มตัวรวมทั้งหมดเท่ากับ 793.68 mg/100 g DW สำหรับสาหร่ายข้อ และ 10.34 mg/100 g DW สำหรับสาหร่ายผมนาง นอกจากนั้นสาหร่ายข้อยังพบ omega-3 คือ กรดไอโคซาเพนทาอีโนอิก (eicosapentaenoic acid: EPA) และ กรดโดโคซาเฮกซาอีโนอิก (docosahexaenoic acid : DHA) แต่ไม่พบในสาหร่ายผมนาง เมื่อพิจารณาในกลุ่มของกรดไขมันไม่อิ่มตัวที่พบจะเห็นว่า กรดโอเลอิก (oleic acid) เป็นกรดไขมันไม่อิ่มตัวที่พบมากที่สุดในการสาหร่ายข้อ ซึ่ง กรดโอเลอิก (C18:1) เป็น monounsaturated fatty acid ที่มีผลต่อการลดคอเลสเตอรอล ซึ่งส่งผลต่อการช่วยลดการอุดตันของเส้นโลหิตที่ไปเลี้ยงสมอง (stroke) ช่วยลด systolic blood pressure (ความดันช่วงหัวใจบีบตัว) และ diastolic blood pressure (ความดันช่วงหัวใจคลายตัว) ของผู้ที่มีจิตใจอ่อนแอ สะเทือนใจง่าย (Kris-Etherton, 1999) นอกจากนั้น กรดโอเลอิก ยังมีผลป้องกันภาวะแทรกซ้อนทางหัวใจและหลอดเลือด (cardiovascular complications) ของผู้เป็นเบาหวาน เพราะผลของระดับ glutathione (GSH) ไขมันทั้งหมด และ ไตรกลีเซอไรด์ (triacylglycerol, TAG) การลดแอกทีวิตีของ tissue factor (TF) ในผู้ป่วยเบาหวานที่มีไขมันสูง อาจช่วยป้องกันเนื้อเยื่อจากการเกิดลิ่มเลือดในหลอดเลือด (thrombosis) ได้ (Emekli-Alturfan *et al.*, 2010)

กลุ่มสาหร่ายสีเขียว 2 ชนิดคือสาหร่ายผักกาดทะเล และสาหร่ายไส้ไก่ มีปริมาณของกรดไขมันไม่อิ่มตัวอยู่ในช่วง 0.49 - 153.40 mg/100 g DW และ 0.09 - 12.19 mg/100 g DW ตามลำดับ กรดไขมันไม่อิ่มตัวในสาหร่ายผักกาดทะเลพบทั้งหมด 12 ชนิด ในขณะที่สาหร่ายไส้ไก่พบทั้งหมดจำนวน 8 ชนิด ปริมาณกรดไขมันไม่อิ่มตัวรวมทั้งหมดเท่ากับ 885.75 mg/100 g DW สำหรับสาหร่ายผักกาดทะเล และ 20.06 mg/100 g DW สำหรับสาหร่ายไส้ไก่ นอกจากนั้นสาหร่ายผักกาดทะเล ยังพบ omega-3 คือ EPA แต่ไม่พบในสาหร่ายไส้ไก่ เมื่อพิจารณาในกลุ่มของกรดไขมันไม่อิ่มตัวที่พบจะเห็นว่า กรดโอเลอิก เป็นกรดไขมันไม่อิ่มตัวที่พบมากที่สุดในการสาหร่ายผักกาดทะเล เช่นเดียวกับสาหร่ายข้อ

การศึกษากรดไขมันในสาหร่ายสกุล *Gracilaria* และ *Laurencia* พบว่า สาหร่ายเหล่านี้ประกอบด้วย polyunsaturated fatty acids (PUFAS) จำนวนมาก โดยเฉพาะ C20:4 (x6) และ C20:5 (x3) ในสาหร่าย *Gracilaria* C16:2 (x6) C20:2 และ C20:5 (x3) ในสาหร่ายสกุล *Laurencia* นอกจากนั้นยังพบกรดไขมันอิ่มตัว และกรดไขมันไม่อิ่มตัวชนิดอื่นด้วย แต่พบในปริมาณน้อย (Khotimchenko, 2005; Li *et al.*, 2002; Wahbeh, 1997)

ปริมาณกรดอะมิโน (Amino acid)

จากการศึกษาชนิดและปริมาณกรดอะมิโน ในตัวอย่างสาหร่าย 4 ชนิด แสดงดังตารางที่ 4

ตารางที่ 4 ปริมาณกรดอะมิโนในสาหร่ายข้าว สาหร่ายผมนาง สาหร่ายผักกาดทะเล และสาหร่ายไส้ไก่

Amino acid Type	Amino acid content (g/100g DW)			
	rhodophytes		chlorophytes	
	<i>G. salicornia</i>	<i>G. fisheri</i>	<i>U. lactuca</i>	<i>U. intestinalis</i>
Alanine	0.41	0.22	0.70	0.25
Arginine	0.15	0.40	0.60	0.42
Aspartic acid	0.37	0.39	1.15	0.39
Cystine	0.00	0.00	0.04	0.00
Glutamic acid	0.60	0.49	0.91	0.51
Glycine	0.24	0.35	0.74	0.34
Histidine	0.07	0.02	0.22	0.02
Glutamine	0.00	0.00	0.00	0.00
Hydroxyproline	0.00	0.00	0.00	0.00
Isoleucine	0.11	0.25	0.44	0.20
Leucine	0.32	0.31	0.68	0.22
Lysine	0.15	0.37	0.56	0.32
Methionine	0.11	0.11	0.23	0.05
Phenylalanine	0.24	0.21	0.63	0.18
proline	0.30	0.22	0.68	0.06
Serine	0.10	0.17	0.43	0.17
Threonine	0.10	0.22	0.64	0.36
Tryptophan	0.01	0.00	0.18	0.00
Tyrosine	0.22	0.18	0.66	0.20
Valine	0.27	0.22	0.56	0.12
Asparagine	0.00	0.00	0.00	0.00
Cysteine	0.92	0.88	1.01	0.84
Total	4.69	5.01	11.06	4.65

หมายเหตุ: ค่าที่แสดงในตารางคือค่าเฉลี่ย $\pm$ ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน จากตัวอย่างจำนวน 2 ซ้ำ

จากตารางที่ 4 พบว่า กลุ่มของสาหร่ายสีแดง มีปริมาณของกรดอะมิโนใกล้เคียงกันคือร้อยละ 4.69 และ 5.01 g/100 g DW ตามลำดับ โดยสาหร่ายทั้งสองชนิดคือสาหร่ายข้าวและสาหร่ายผมนางพบซิสเตอีน (cysteine) มากที่สุดคือ ปริมาณ 0.92 g/100 g DW และ 0.88 g/100 g DW ตามลำดับ รองลงมาคือ กรดกลูตามิก (glutamic acid) มีประมาณ 0.60 และ 0.49 g/100 g DW ตามลำดับ

กลุ่มสาหร่ายสีเขียว มีปริมาณกรดอะมิโน 4.65 และ 11.06 mg/100 g DW ตามลำดับ โดยสาหร่ายผักกาดทะเลมี กรดแอสพาร์ติก (aspartic acid) มากที่สุดคือ 1.15 g/100 g DW รองลงมาคือ ซิสเตอีน และ กรดกลูตามิก ปริมาณ 1.01 และ 0.91 g/100 g DW ตามลำดับ ส่วนสาหร่ายไส้ไก่มีซิสเตอีนมากที่สุดคือ 0.84 g/100 g DW

สาหร่ายส่วนใหญ่กรดอะมิโนที่พบมาก เมื่อเทียบสัดส่วนกับกรดอะมิโนทั้งหมดคือกรดแอสพาร์ติกและกรดกลูตามิก (Munda, 1977; Gressler *et al.*, 2010) โดยกรดอะมิโนทั้งสองชนิดนี้มีอยู่ในช่วงร้อยละ 22 และ ร้อยละ 44 ของกรดอะมิโนทั้งหมด (Munda, 1977) ส่วนการศึกษาของ Gressler *et al.* (2010) ซึ่งศึกษาในสาหร่าย *Gracilaria domingensis* *G. birdiae* *Laurencia filiformis* และ *L. intricata* พบกรดแอสพาร์ติกปริมาณสูงสุดเมื่อเทียบกับกรดอะมิโนชนิดอื่น โดยพบปริมาณร้อยละ 13.16 13.19 13.27 และ 14.93 ของกรดอะมิโนทั้งหมด ตามลำดับ

ปริมาณแร่ธาตุ

การศึกษาค้นคว้าครั้งนี้ศึกษาปริมาณแร่ธาตุในตัวอย่างสาหร่าย 4 ชนิด โดยศึกษาปริมาณของ แคลเซียม เหล็ก และ แมกนีเซียม ผลการศึกษาแสดงดังตารางที่ 5

ตารางที่ 5 ปริมาณแร่ธาตุในสาหร่ายข้อ สาหร่ายผมนาง สาหร่ายผักกาดทะเล และสาหร่ายไส้ไก่

Mineral Type	Mineral content			
	rhodophytes		chlorophytes	
	<i>G. salicornia</i>	<i>G. fisheri</i>	<i>U. lactuca</i>	<i>U. intestinalis</i>
Calcium (g/100g DW)	0.465 ± 0.002	25.315 ± 0.658	0.499 ± 0.000	0.393 ± 0.035
Iron (g/100g DW)	0.193 ± 0.001	0.072 ± 0.000	0.010 ± 0.000	0.061 ± 0.001
Magnesium (g/100g DW)	0.368 ± 0.001	0.560 ± 0.004	2.758 ± 0.192	0.291 ± 0.009

หมายเหตุ: ค่าที่แสดงในตารางคือค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน จากตัวอย่างจำนวน 2 ซ้ำ

กลุ่มของสาหร่ายสีแดง พบว่ามีปริมาณแคลเซียม 0.465 และ 25.315 g/100 g DW ตามลำดับ ปริมาณเหล็ก 0.193 และ 0.072 g/100 g DW ตามลำดับ และปริมาณแมกนีเซียม 0.368 และ 0.560 g/100 g DW ตามลำดับ เมื่อพิจารณาภาพรวมพบว่าสาหร่ายผมนางมีปริมาณแคลเซียมที่ค่อนข้างสูงกว่าสาหร่ายข้อ แต่สาหร่ายข้อมีปริมาณเหล็กที่สูงกว่า ดังนั้นเมื่อพิจารณาข้อมูลทางโภชนาการแล้วพบว่าสาหร่ายผมนางเป็นแหล่งแคลเซียมที่ดี ในขณะที่สาหร่ายข้อเป็นแหล่งที่ดีของธาตุเหล็ก

กลุ่มสาหร่ายสีเขียว พบว่ามีปริมาณแคลเซียม 0.499 และ 0.393 g/100 g DW ตามลำดับ ปริมาณเหล็ก 0.010 และ 0.061 g/100 g DW ตามลำดับ และปริมาณแมกนีเซียม 2.758 และ 0.291 g/100 g DW ตามลำดับ เมื่อพิจารณาภาพรวมจะเห็นว่าสาหร่ายผักกาดทะเลมีปริมาณแร่ธาตุที่ค่อนข้างสูงกว่าสาหร่ายไส้ไก่ จากการศึกษาของ Aguilera-Morales *et al.* (2005) ซึ่งศึกษาปริมาณแร่ธาตุในสาหร่ายสีเขียวหลายชนิดในสกุล *Enteromorpha* spp. ในเม็กซิโก ช่วงปี ค.ศ. 1997 และ 1998 พบว่ามีปริมาณแคลเซียมเท่ากับ 2.10 และ 2.49 g/100 g DM ตามลำดับ ปริมาณแมกนีเซียมเท่ากับ 0.43 และ 0.71 g/100 g DM ตามลำดับ

องค์ประกอบทางเคมีอื่น ๆ

พืชน้ำเป็นที่ยอมรับกันดีว่าเป็นอาหารที่มีคุณค่าทางโภชนาการสูง เช่น วิตามิน โปรตีน แร่ธาตุ เยื่อใย และกรดไขมันที่มีความจำเป็น (Ortiz *et al.*, 2006) และสาหร่ายสามารถรับประทานได้ในหลายรูปแบบ ทั้งในรูปอาหารและเครื่องปรุงอาหาร (Aguilera-Morales *et al.*, 2005) สาหร่ายสีแดงและน้ำตาลเป็นสาหร่ายสำคัญที่นำมาเป็นแหล่งอาหาร และสาหร่ายเหล่านี้เป็นสาหร่ายที่นิยมนำมาใช้ในอาหาร จีน ญี่ปุ่น และ เกาหลี (Dawczynski *et al.*, 2007)

การศึกษาค้นคว้าครั้งนี้ศึกษาองค์ประกอบทางเคมีในตัวอย่างสาหร่าย 4 ชนิด โดยศึกษาปริมาณความชื้น โปรตีน ไขมัน ถั่ว และคาร์โบไฮเดรต ผลการศึกษาแสดงดัง ตารางที่ 6

ตารางที่ 6 องค์ประกอบทางเคมีในสาหร่ายข้อ สาหร่ายผมนาง สาหร่ายผักกาดทะเล และสาหร่ายไส้ไก่

Chemical composition	Chemical composition content			
	rhodophytes		chlorophytes	
	<i>G. salicornia</i>	<i>G. fisheri</i>	<i>U. lactuca</i>	<i>U. intestinalis</i>
Moisture content (%)	15.63 ± 0.32	18.41 ± 0.12	44.15 ± 0.21	9.38 ± 0.27
Protein (%)	11.49 ± 0.08	12.16 ± 0.06	26.39 ± 0.43	4.21 ± 0.00
Fat (%)	0.11 ± 0.01	0.04 ± 0.00	0.04 ± 0.00	0.15 ± 0.00
Ash (%)	32.29 ± 0.01	8.53 ± 0.35	27.45 ± 0.23	69.70 ± 0.35
Carbohydrate (%)	40.49 ± 0.30	60.85 ± 0.25	1.96 ± 0.76	16.56 ± 0.45

หมายเหตุ: ค่าที่แสดงในตารางคือค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน จากตัวอย่างจำนวน 3 ซ้ำ

จากตารางที่ 6 กลุ่มของสาหร่ายสีแดง พบว่ามีปริมาณความชื้น โปรตีน ไขมัน เกล็ด และคาร์โบไฮเดรต ของสาหร่ายข้อเท่ากับ 15.63% 11.49% 0.11% 32.29% และ 40.49% ตามลำดับ ปริมาณความชื้น โปรตีน ไขมัน เกล็ด และคาร์โบไฮเดรต ของสาหร่ายผมนางเท่ากับ 18.41% 12.16% 0.04% 8.53% และ 60.85% ตามลำดับ องค์ประกอบต่าง ๆ ของสาหร่ายทั้งสองชนิดค่อนข้างใกล้เคียงกัน ยกเว้นปริมาณเถ้าและปริมาณคาร์โบไฮเดรตที่แตกต่างกัน

กลุ่มสาหร่ายสีเขียว พบว่ามีปริมาณความชื้น โปรตีน ไขมัน เกล็ด และคาร์โบไฮเดรต เท่ากับ 44.15% 26.39% 0.04% 27.45% และ 1.96% ตามลำดับ สำหรับสาหร่ายผักกาดทะเล ปริมาณความชื้น โปรตีน ไขมัน เกล็ด และคาร์โบไฮเดรต ของสาหร่ายไส้ไก่เท่ากับ 9.38% 4.21% 0.15% 69.70% และ 16.56% ตามลำดับ องค์ประกอบต่าง ๆ ของสาหร่ายทั้งสองชนิดมีปริมาณที่ค่อนข้างแตกต่างกัน

โปรตีนประกอบด้วยกรดอะมิโนหลายชนิด ดังนั้นคุณค่าทางโภชนาการสามารถวัดได้จากปริมาณของโปรตีน สัดส่วนและชนิดของกรดอะมิโน การศึกษาวิเคราะห์ปริมาณของโปรตีนในสาหร่ายจึงนิยมทำกันเพื่อหาแหล่งของโปรตีนเสริมแหล่งใหม่ ๆ ในสาหร่าย *Gracilaria* และ *Laurencia* ปริมาณโปรตีนที่พบอยู่ในช่วง 5.6% - 24.0% และ 2.7% - 24.5% ตามลำดับ (Wahbeh, 1997; McDermid and Stuercke, 2003; Marrion *et al.*, 2005; Renaud and Luong-Van, 2006; Wen *et al.*, 2006; Marinho-Soriano *et al.*, 2007) การศึกษาของ Aguilera-Morales *et al.* (2005) ซึ่งศึกษาปริมาณแร่ธาตุในสาหร่ายสีเขียวหลายชนิดในสกุล *Enteromorpha* spp. ในเม็กซิโก ช่วงปี ค.ศ. 1997 และ 1998 พบว่าสาหร่ายสกุล *Enteromorpha* spp. มีปริมาณโปรตีนร้อยละ 9.45 และ 14.10 ตามลำดับ

จากการศึกษาของ Murakami *et al.* (2011) ซึ่งศึกษาผลของฤดูกาลต่อการเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบทางเคมีของสาหร่ายสีน้ำตาล *Sargassum horneri* โดยเก็บตัวอย่างจาก Chikuzen Sea ประเทศญี่ปุ่น ในช่วงเดือนพฤศจิกายน ปี ค.ศ. 2004 ถึงเดือนมิถุนายน ปี ค.ศ. 2005 เพื่อเก็บข้อมูลด้านต่าง ๆ ส่วนการศึกษาการเปลี่ยนแปลงขององค์ประกอบทางเคมีทำการศึกษาในช่วงเดือนมกราคม ถึงเดือนพฤษภาคม ปี ค.ศ. 2005 ผลการศึกษาพบว่าปริมาณความชื้นค่อนข้างคงที่ตลอดช่วงฤดูกาล (860 - 904 mg/g FW) และไม่มีมีความแตกต่างระหว่างสาหร่ายเพศผู้และเพศเมีย โดยสาหร่ายจะแยกเพศได้ชัดเจนในเดือนมีนาคม ซึ่งมีความสมบูรณ์ทางเพศ (maturity index = 100%) ปริมาณโปรตีนเท่ากับ 9.4 mg/g FW ในเดือนมกราคม เพิ่มขึ้นสูงสุดเป็น 13.8 mg/g FW (ประมาณ 130 mg/g DW) ประมาณช่วงกลางเดือนกุมภาพันธ์ หลังจากนั้นลดลงตลอดช่วงของการศึกษา ปริมาณของไขมันไม่ค่อยมีการเปลี่ยนแปลงตลอดฤดูกาล ปริมาณไขมันในสาหร่ายเพศผู้จะสูงกว่าเพศเมีย ปริมาณไขมันอยู่ในช่วง 5 - 12 mg/g DW ซึ่งไขมันจะมีปริมาณน้อยที่สุดเมื่อเทียบกับองค์ประกอบทางเคมีอื่น ๆ ปริมาณเถ้าอยู่ในช่วง 367 - 218 mg/g DW ปริมาณเถ้าของสาหร่ายเพศผู้จะมีค่าสูงกว่าเพศเมียในเดือนกุมภาพันธ์ และต่ำกว่าเพศเมียในเดือนมีนาคมและเดือนเมษายน ปริมาณ total dietary fiber เริ่มเพิ่มในเดือนกุมภาพันธ์และสูงสุด (66.8

mg/g FW) ในช่วงปลายเดือนมีนาคม โดยปริมาณ total dietary fiber เพิ่มขึ้นหลังจากที่สาหร่ายเจริญเติบโตเต็มที่ ปริมาณแร่ธาตุในสาหร่าย *S. horneri* มีการเปลี่ยนแปลงน้อยมากตลอดช่วงฤดูกาลปริมาณแคลเซียมอยู่ในช่วง 1.33 - 1.75 mg/100 g FW (10.3 - 14.7 mg/g DW) ปริมาณแมกนีเซียมอยู่ในช่วง 1.73 - 2.68 mg/100 g FW (12.1 - 19.8 mg/g DW) ปริมาณสังกะสี (zinc) อยู่ในช่วง 3.49 - 5.52 mg/100 g FW (132.8 - 46.5 mg/g DW) นั่นคือ *S. horneri* มีศักยภาพเป็นแหล่งของ dietary fiber และแร่ธาตุที่ดี

สรุปผลการวิจัย

จากการศึกษาการสกัดสเตอรอลในสาหร่าย 4 ชนิดพบว่า การสกัดสเตอรอลด้วย hexane ให้ผลในการสกัดดีที่สุด โดยชนิดและปริมาณของสเตอรอลในสาหร่ายแต่ละชนิดมีความแตกต่างกันคือ กลุ่มของสาหร่ายสีแดงคือ สาหร่ายข้อพบ desmosterol ส่วนสาหร่ายผมนางพบ campesterol กลุ่มของสาหร่ายสีเขียวคือสาหร่ายผักกาดทะเลพบ fucosterol และสาหร่ายไส้ไก่ พบ β -sitosterol และ desmosterol กลุ่มของสาหร่ายสีแดงพบกรดไขมันไม่อิ่มตัวทั้งหมดจำนวน 15 ชนิด ในสาหร่ายข้อ ขณะที่สาหร่ายผมนางพบทั้งหมด 8 ชนิด และสาหร่ายข้อยังพบ omega-3 คือ EPA และ DHA แต่ไม่พบในสาหร่ายผมนาง สาหร่ายทั้งสองชนิดมีปริมาณของกรดอะมิโนใกล้เคียงกัน สำหรับแร่ธาตุของกลุ่มสาหร่ายสีแดงพบว่า สาหร่ายผมนางมีปริมาณแคลเซียมที่ค่อนข้างสูงกว่าสาหร่ายข้อ แต่สาหร่ายข้อมีปริมาณเหล็กที่สูงกว่า องค์ประกอบทางเคมีคือ ปริมาณความชื้น โปรตีน ไขมัน เกลือ และคาร์โบไฮเดรต ของสาหร่ายทั้งสองชนิดค่อนข้างใกล้เคียงกันยกเว้นปริมาณเกลือ และปริมาณคาร์โบไฮเดรตที่แตกต่างกัน สำหรับกลุ่มสาหร่ายสีเขียว ปริมาณของกรดไขมันไม่อิ่มตัวในสาหร่ายไส้ไก่พบทั้งหมดจำนวน 8 ชนิด ในขณะที่สาหร่ายผักกาดทะเลพบทั้งหมด 12 ชนิด นอกจากนั้น สาหร่ายผักกาดทะเล ยังพบ omega-3 คือ EPA แต่ไม่พบในสาหร่ายไส้ไก่ เมื่อพิจารณาในกลุ่มของกรดไขมันไม่อิ่มตัวที่พบจะเห็นว่ากรดโอเลอิกเป็นกรดไขมันไม่อิ่มตัวที่พบมากที่สุด ในสาหร่ายผักกาดทะเล เช่นเดียวกับสาหร่ายข้อ เมื่อพิจารณากรดอะมิโน พบว่าสาหร่ายไส้ไก่มีซิสเตอีนมากที่สุด ส่วนสาหร่ายผักกาดทะเลมีกรดแอสพาร์ติกมากที่สุด แร่ธาตุของกลุ่มสาหร่ายสีเขียวพบว่าสาหร่ายผักกาดทะเลมีปริมาณแมกนีเซียมที่ค่อนข้างสูง องค์ประกอบทางเคมีคือ ปริมาณความชื้น โปรตีน ไขมัน เกลือ และคาร์โบไฮเดรต ของสาหร่ายทั้งสองข้างแตกต่างกันมากในทุกองค์ประกอบ การศึกษครั้งนี้แสดงให้เห็นถึงศักยภาพของสาหร่ายสีแดงและสาหร่ายสีเขียวในแง่ของการเป็นแหล่งคุณค่าทางโภชนาการที่ดี และการนำไปใช้ในการแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์อาหาร รวมทั้งการนำไปใช้เพื่อวางแผนในการส่งเสริมการเพาะเลี้ยงสาหร่ายเหล่านี้ในเชิงพาณิชย์

เอกสารอ้างอิง

- Abidi, S.L. (2001). Review: chromatographic analysis of plant sterols in foods and vegetable oils. *Journal of Chromatography A* 935(1-2): 173 - 201.
- Aguilera-Morales, M., Casas-Valdez, M., Carrillo-Dominguez, S., González-Acosta, B. and Pérez-Gil, F. (2005). Chemical composition and microbiological assays of marine algae *Enteromorpha* spp. as a potential food source. *Journal of Food Composition and Analysis* 18(1): 79 - 88.
- Ahmad, V.U., Memon, A.H., Ali, M.S., Perveen, S. and Shameel, M. (1996). Somalenone, A C_{26} sterol from the marine red alga *Melanothamnus somalensis*. *Phytochemistry* 42(4): 1141 - 1143.
- Al Easa, H.A., Kornprobst, J.M. and Rizk, A.M. (1995). Major sterol composition of some algae from Qatar. *Phytochemistry* 39(2): 373 - 374.
- AOAC. (2000). Official methods of analysis of AOAC International. 17th edition. Gaithersburg, M. D., USA: Association of Analytical Communities.

- AOAC. (2005). Official methods of analysis of AOAC International. 18th edition. Gaithersburg, M. D., USA: Association of Analytical Communities.
- Awad, A.B., von Holtz, R.L., Cone, J.P., Fink, C.S. and Chen, Y.C. (1998). beta-Sitosterol inhibits growth of HT-29 human colon cancer cells by activating the sphingomyelin cycle. *Anticancer Research* 18(1A): 471 - 473.
- Catani, M.V., Gasperi, V., Bisogno, T. and Maccarrone, M. (2018). Essential dietary bioactive lipids in Neuroinflammatory diseases. *Antioxidants & Redox Signaling* 29(1): 37 - 60. doi: 10.1089/ars.2016.6958.
- Dawczynski, C., Schubert, R. and Jahreis, G. (2007). Amino acids, fatty acids, and dietary fibre in edible seaweed products. *Food Chemistry* 103(3): 891 - 899.
- Derdemezis, C.S., Filippatos, T.D., Mikhailidis, D.P. and Elisaf, M.S. (2010). Review article: effects of plant sterols and stanols beyond low density lipoprotein cholesterol lowering. *Journal of Cardiovascular Pharmacology and Therapeutics* 15(2): 120 - 134. doi: 10.1177/1074248409357921.
- DMSc. (2003). Compendium of methods for food analysis. Department of Medical sciences (DMSc), National Bureau of Agricultural Commodity and Food Standards (ACFS).
- Emekli-Alturfan, E., Kasikci, E. and Yarat, A. (2010). Effects of oleic acid on the tissue factor activity, blood lipids, antioxidant and oxidant parameters of streptozotocin induced diabetic rats fed a high cholesterol diet. *Medicinal Chemistry Research* 19: 1011 - 1024.
- Gamero-Vega, G., Palacios-Palacios, M. and Quiral, V. (2020). Nutritional Composition and Bioactive Compounds of Red Seaweed: A Mini-Review. *Journal of Food and Nutrition Research* 8(8): 431 - 440.
- Gressler, V., Yokoya, N.S., Fujii, M.T., Colepicolo, P., Filho, J.M., Torres, R.P. and Pinto, E. (2010). Lipid, fatty acid, protein, amino acid and ash contents in four Brazilian red algae species. *Food Chemistry* 120(2): 585 - 590.
- Goad, L.J. (1978). The sterols of marine invertebrates, composition, biosynthesis and metabolites. In: Scheuer, P.J. (Ed.), *Marine Natural Products, Chemical and Biological Perspectives* Vol. 2, pp. 75 - 172. New York: Academic Press.
- Gylling, H., Plat, J., Turley, S., Ginsberg, H.N., Ellegard, L., Jessup, W., Jones, P.J., Lutjohann, D., Maerz, W., Masana, L., Silbernagel, G., Staels, B., Boren, J., Catapano, A.L., De Backer, G., Deanfield, J., Descamps, O.S., Kovanen, P.T., Riccardi, G., Tokgozoglu, L. and Chapman, M.J. (2014). Plant sterols and plant stanols in the management of dyslipidemia and prevention of cardiovascular disease. *Atherosclerosis* 232(2): 346 - 360.
- Hannan, M.A., Sohag, A.A.M., Dash, R., Haque, M.N., Mohibbullah, M., Oktaviani, D.F., Hossain, M.T., Choi, H.J. and Moon, I.S. (2020). Phytosterols of marine algae: Insights into the potential health benefits and molecular pharmacology. *Phytomedicine* 69(Suppl. 1): 153201.

- Hendriks, H.F.J., Weststrate, J.A., van Vliet, T. and Meijer, G.W. (1999). Spreads enriched with three different levels of vegetable oil sterols and the degree of cholesterol lowering in normocholesterolaemic and mildly hypercholesterolaemic subjects. *European Journal of Clinical Nutrition* 53(4): 319 - 327.
- Jiménez, P., Bustamante, A., Echeverría, F., Sambra, V., Rincón-Cervera, M.Á., Fariás, C. and Valenzuela, R. (2023). Metabolic Benefits of Phytosterols: Chemical, Nutritional, and Functional Aspects. *Food Reviews International* 40(9): 1 - 23.
- Kapetanovic, R., Sladic, D., Popo, S., Zlatovic, M., Kljajic, Z. and Gasic, M. J. (2005). Sterol composition of the Adriatic Sea algae *Ulva lactuca*, *Codium dichotomum*, *Cystoseira adriatica* and *Fucus virsoides*. *Journal of Serbian Chemical Society* 70(12): 1395 - 1400.
- Kazir, M., Abuhassira, Y., Robin, A., Nahor, O., Luo, J., Israel, A., Golberg, A. and Livney, Y.D. (2019). Extraction of proteins from two marine macroalgae, *Ulva* sp. and *Gracilaria* sp., for food application, and evaluating digestibility, amino acid composition and antioxidant properties of the protein concentrates. *Food Hydrocolloids* 87(1): 194 - 203.
- Khotimchenko, S.V. (2005). Lipids from the marine alga *Gracilaria verrucosa*. *Chemistry of Natural Compounds* 41(3): 285 - 288.
- Kris-Etherton, P.M. (1999). Monounsaturated Fatty Acids and Risk of Cardiovascular Disease. *Circulation* 100(11): 1253 - 1258. doi: 10.1161/01.CIR.100.11.1253.
- Li, X., Fan, X., Han, L. and Lou, Q. (2002). Fatty acids of some algae from the Bohai Sea. *Phytochemistry* 59(2): 157 - 161.
- Lin, A.S., Engel, S., Smith, B.A., Fairchild, C.R., Aalbersberg, W., Hay, M.E. and Kubanek, J. (2010). Structure and biological evaluation of novel cytotoxic sterol glycosides from the marine red alga *Peyssonnelia* sp. *Bioorganic & Medicinal Chemistry* 18(23): 8264 - 8269.
- Lopes, G., Sousa, C., Bernardo, J., Andrade, P.B., Valentão, P., Ferreres, F. and Mouga, T. (2011). Sterol profiles in 18 macroalgae of the Portuguese coast. *Journal of Phycology* 47(5): 1210 - 1218. doi: 10.1111/j.1529-8817.2011.01028.x
- Lopes, G., Sousa, C., Valentão, P. and Andrade, P.B. (2013). Sterols in Algae and Health. In *Bioactive Compounds from Marine Foods*. USA: John Wiley & Sons, Inc. 173 - 191.
- MaCartain, P., Gill, C.I.R., Brooks, M., Campbell, R. and Rowland, I.R. (2007). Nutritional value of edible seaweeds. *Nutrition Reviews* 65(12): 535 - 543.
- Marinho-Soriano, E., Camara, M.R., Cabral, T.M. and Carneiro, M.A.A. (2007). Preliminary evaluation of the seaweed *Gracilaria cervicornis* (Rhodophyta) as a partial substitute for the industrial feeds used in shrimp (*Litopenaeus vannamei*) farming. *Aquaculture Research* 38(2): 182 - 187.
- Marrion, O., Fleurence, J., Schwertz, A., Guant, J.L., Mamelouk, L., Ksouri, J. and Villaume, C. (2005). Evaluation of protein in vitro digestibility of *Palmaria palmata* and *Gracilaria verrucosa*. *Journal of Applied Phycology* 17(2): 99 - 102.
- Mazzuca, M. and Balzaretto, V. (2003). Fatty acids, sterols and other steroids from seeds of Patagonian *Prosopis* species. *Journal of the Science of Food and Agriculture* 83(10): 1072 - 1075.

- McDermid, K.J. and Stuercke, B. (2003). Nutritional composition of edible Hawaiian seaweeds. *Journal of Applied Psychology* 15(6): 513 - 524.
- Miettinen, T. A., Puska, P., Gylling, H., Vanhanen, H. and Vartiainen, E. (1995). Reduction of Serum Cholesterol with Sitostanol-Ester Margarine in a Mildly Hypercholesterolemic Population. *New England Journal of Medicine* 333(20): 1308 - 1312. doi: 10.1056/NEJM199511163332002.
- Moreau, R.A., Powell, M.J. and Hicks, K.B. (1996). Extraction and quantitative analysis of oil from commercial corn fiber. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 44(8): 2149 - 2154.
- Munda, I.M. (1977). Differences in amino acid composition of estuarine and marine fucoids. *Aquatic Botany* 3(1): 273 - 280.
- Murakami, K., Yamaguchi, Y., Noda, K., Fujii, T., Shinohara, N., Ushirokawa, T., Sugawa-Katayama, Y. and Katayama, M. (2011). Seasonal variation in the chemical composition of a marine brown alga, *Sargassum horneri* (Turner) C. Agardh. *Journal of Food Composition and Analysis* 24(2): 231 - 236.
- Okano, M., Fukamiya, N., Mizui, F. and Aratani, T. (1982). Seasonal variation of sterol, hydrocarbon, and fatty acid fractions in *Cladophora densa* HARVEY. *Bulletin of the Japanese Society of Scientific Fisheries* 48(6): 815 - 819.
- Ortiz, J., Romero, N., Robert, P., Araya, J., Lopez-Hernández, J., Bozzo, C., Navarrete, E., A., Osorio, A. and Rios, A. (2006). Dietary fiber, amino acid, fatty acid and tocopherol contents of the edible seaweeds *Ulva lactuca* and *Durvillaea antarctica*. *Food Chemistry* 99(1): 98 - 104.
- Paiva, L., Lima, E., Neto, A.I., Marcone, M. and Baptista, J. (2017). Nutritional and functional bioactivity value of selected Azorean macroalgae: *Ulva compressa*, *Ulva rigida*, *Gelidium microdon*, and *Pterocladia capillacea*. *Journal of Food Science* 82(7): 1757 - 1764.
- Plat, J., Baumgartner, S., Vanmierlo, T., Lutjohann, D., Calkins, K.L., Burrin, D.G., Guthrie, G., Thijs, C., Te Velde, A.A., Vreugdenhil, A.C.E., Sverdllov, R., Garssen, J., Wouters, K., Trautwein, E.A., Wolfs, T.G., van Gorp, C., Mulder, M.T., Riksen, N.P., Groen, A.K. and Mensink, R.P. (2019). Plant-based sterols and stanols in health & disease: “Consequences of human development in a plant-based environment?”. *Progress in Lipid Research* 74(1): 87 - 102.
- Rao, V.A. and Janezic, S.A. (1992). The role of dietary phytosterol in colon carcinogenesis. *Nutrition and Cancer* 18(1): 43 - 52. doi: 10.1080/01635589209514203.
- Renaud, S.M. and Luong-Van, J.T. (2006). Seasonal variation in the chemical composition of tropical Australian marine macroalgae. *Journal of Applied Phycology* 18(1): 381 - 387.
- Sarwar, G., Botting, H.G. and Peace, R.W. (1988). Complete amino acid analysis in hydrolysates of foods and feces by liquid chromatography of precolumn phenylisothiocyanate derivatives. *Journal Association of Official Analytical Chemistry* 71(6): 1172 - 1175.
- Shahzad, N., Khan, W., Md, S., Ali, A., Saluja, S.S., Sharma, S., Al-Allaf, F.A., Abduljaleel, Z., Ibrahim, I.A.A., Abdel-Wahab, A. F., Afify, M. A. and Al-Ghamdi, S. S. (2017). Phytosterols as a natural anticancer agent: current status and future perspective. *Biomedicine & Pharmacotherapy* 88(Suppl. 1): 786 - 794.

- Sheu, J.H., Wang, G.U., Sung, P.J., Chiu, Y.H. and Duh, C.Y. (1997). Cytotoxic Sterols from the Formosan Brown Alga *Turbinaria ornate*. *Planta Medica* 63(6): 571 - 572.
- Stefanov, K., Dimitrov, K., Dimitrova-Konaklieva, S., Kirisheva, I. and Popov, S. (1996). Lipid and sterol composition of the freshwater alga *Spirogyra crassa* (L.) Kutz (Chlorophyta). *Archiv für Hydrobiologie* 135(4): 523 - 527.
- U.S. Environmental Protection Agency. (1996) Test Methods for Evaluating Solid Waste, Physical/Chemical Methods, Method 6010B, Inductively Coupled Plasma-Atomic Emission Spectrometry, in publication SW 846,. Office of Solid Waste.
- Vieira, E.F., Soares, C., Machado, S., Correia, M., Ramalhosa, M.J., Oliveira- teles, M.T., Paula Carvalho, A., Domingues, V.F., Antunes, F., Oliveira, T.A.C., Morais, S. and Delerue-Matos, C. (2018). Seaweeds from the Portuguese coast as a source of proteinaceous material: Total and free amino acid composition profile. *Food Chemistry* 269(15): 264 - 275. doi: 10.1016/j.foodchem.2018.06.145.
- Wachter, G.A., Franzblau, S.G., Montenegro, G., Hoffmann, J.J., Maiese, W.M. and Timmermann, B.N. (2001). Inhibition of *Mycobacterium tuberculosis* growth by saringosterol from *Lessonia nigrescens*. *Journal of Natural Products* 64(11): 1463 - 1464.
- Wahbeh, M.I. (1997). Amino acid and fatty acid profiles of four species of macroalgae from Aqaba and their suitability for use in fish diets. *Aquaculture* 159(1-2): 101 - 109.
- Wells, M.L., Potin, P., Craigie, J.S., Raven, J.A., Merchant, S.S., Helliwell, K.E., Smith, A.G., Camire, M.E. and Brawley, S.H. (2017). Algae as nutritional and functional food sources: Revisiting our understanding. *Journal of Applied Phycology* 29(2): 949 - 982. doi: 10.1007/s10811-016-0974-5.
- Wen, X., Peng, C., Zhou, H., Lin, Z., Lin, G., Chen, S. and Li, P. (2006). Nutritional composition and assessment of *Gracilaria lemaneiformis* Bory. *Journal of Integrative Plant Biology* 48(9): 1047 - 1053.
- Yuan, Y.V. and Walsh, N.A. (2006). Antioxidative and antiproliferative activities of extracts from a variety of edible seaweeds. *Food and Chemical Toxicology* 44(7): 1144 - 1150. doi: 10.1016/j.fct.2006.02.002.

