



บทความวิจัย (Research Article)

สารประกอบฟีนอลและฤทธิ์ทางชีวภาพของสาหร่ายพวงองุ่นและสาหร่ายขนนก

Phenolic compounds and biological activities of sea grape and green feather algae

อินทิรา ขุดแก้ว^{1,*} จิดาภา ถาวรศรีสกุล¹ ภัทราวรรณ คำบุญเรือง¹ บงกช วิชาชูเชิด¹

¹ภาควิชาวิทยาศาสตร์และนวัตกรรมชีวภาพ คณะศิลปศาสตร์และวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน อำเภอกำแพงแสน จังหวัดนครปฐม รหัสไปรษณีย์ 73140

Intira Koodkaew^{1,*} Jidapa Thawornsrisakul¹ Pattrawan Khamboonruang¹ Bongkot Wichachucherd¹

¹Department of Science and Bioinnovation, Faculty of Liberal Arts and Science, Kasetsart University Kamphaeng Saen Campus, Nakhon Pathom 73140

*Corresponding author: faasirk@ku.ac.th

Received: 16/05/2024; Revised: 30/07/2024; Accepted: 06/08/2024

บทคัดย่อ

สาหร่ายพวงองุ่นและสาหร่ายขนนกจัดเป็นสาหร่ายทะเลที่มีความสำคัญ มีการเพาะเลี้ยงเชิงพาณิชย์และนิยมนำมาบริโภค งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อเปรียบเทียบสารประกอบฟีนอล ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระโดยการตรวจสอบด้วยวิธี 2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyl radical scavenging (DPPH) วิธี ferric reducing antioxidant power (FRAP) และวิธี reducing power และฤทธิ์การยับยั้งเอนไซม์ tyrosinase และ α -glucosidase ของสารสกัดจากสาหร่ายพวงองุ่นและสาหร่ายขนนกที่เก็บมาจากจังหวัดตรังในเดือนมกราคม เมษายน และกรกฎาคม จากการศึกษาพบว่า ชนิดของสาหร่ายและช่วงเวลาเก็บตัวอย่างมีผลต่อปริมาณสารประกอบฟีนอลและฤทธิ์ทางชีวภาพของสารสกัด สาหร่าย สาหร่ายขนนกมีปริมาณสารประกอบฟีนอล ฟลาโวนอยด์ ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ และฤทธิ์การยับยั้งเอนไซม์ tyrosinase มากกว่าสาหร่ายพวงองุ่นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แต่มีฤทธิ์ในการยับยั้งเอนไซม์ α -glucosidase ไม่แตกต่างกันทางสถิติ ช่วงเวลาการเก็บตัวอย่างในเดือนมกราคม มีปริมาณฟลาโวนอยด์ ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ FRAP และการยับยั้งเอนไซม์ tyrosinase มากที่สุด เดือนเมษายน มีปริมาณฟีนอล ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ reducing power และการยับยั้งเอนไซม์ α -glucosidase มากที่สุด สารสกัดจากสาหร่ายพวงองุ่นและสาหร่ายขนนกมีฤทธิ์ในการยับยั้งเอนไซม์ tyrosinase และ α -glucosidase ค่อนข้างสูงอยู่ในช่วง 58.33% ถึง 97.55% และ 42.66% ถึง 72.27% ตามลำดับ ดังนั้นสารสกัดจากสาหร่ายพวงองุ่นและสาหร่ายขนนกจึงเป็นอีกหนึ่งทางเลือกในการแปรรูปให้เป็นอาหารเพื่อสุขภาพและด้านอุตสาหกรรมยา

คำสำคัญ: สารฟอกขาว; สารต้านอนุมูลอิสระ; ไทโรซิเนส; แอลฟา-กลูโคซิเดส

Abstract

Sea grapes and green feather algae are important seaweeds that are commercially cultivated and commonly consumed. This study aimed to compare the phenolic compounds and antioxidant



properties of these seaweed extracts using the 2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyl radical scavenging (DPPH), ferric reducing antioxidant power (FRAP) and reducing power assays, as well as their inhibitory effects on the enzymes tyrosinase and α -glucosidase. Samples of sea grapes and green feather algae were collected from Trang province in January, April and July. The results showed that seaweed species and harvested time effects on phenolic compound content and biological activities of seaweed extract. Green feather algae had significantly higher amounts of phenolic compounds, flavonoids, antioxidant properties and tyrosinase inhibitory activity than sea grapes. However, there was no significant difference in α -glucosidase inhibitory activity between the two seaweeds. The samples collected in January had the highest amounts of flavonoids, FRAP and tyrosinase inhibitory activity, while those collected in April had the highest amounts of phenolic compounds, reducing power and α -glucosidase inhibitory activity. The extracts from sea grapes and green feather algae had relatively high inhibitory activities against tyrosinase and α -glucosidase, ranging from 58.33% to 97.55% and from 42.66% to 72.27%, respectively. Therefore, the extracts from sea grapes and green feather algae could be considered as potential sources of functional food ingredients and pharmaceuticals.

Keywords: Phytochemical; Antioxidant; Tyrosinase; α -Glucosidase

บทนำ

สาหร่ายทะเล (seaweed) จัดเป็นทรัพยากรธรรมชาติที่มีความสำคัญต่อการบริโภคของมนุษย์และสัตว์ รวมถึงความสำคัญต่อระบบนิเวศ สาหร่ายทะเลสกุลหนึ่งที่นิยมนำมาบริโภคหรือใช้ประโยชน์ ได้แก่ สกุล *Caulerpa* ซึ่งเป็นสาหร่ายทะเลประเภทสาหร่ายสีเขียว (green algae) โดยมี 2 ชนิด ที่นิยมนำมาบริโภคและมีการเพาะเลี้ยงเชิงพาณิชย์ คือ สาหร่ายพวงองุ่นและสาหร่ายขนนก

สาหร่ายพวงองุ่น มีชื่อสามัญว่า sea grape หรือ green caviar และมีชื่อวิทยาศาสตร์ คือ *C. lentillifera* J. Agardh สาหร่ายชนิดนี้มักขึ้นบนบริเวณก้อนหิน หรือบริเวณแนวปะการังที่มีพื้นทรายและน้ำตื้น (Lewmanomont and Hisao, 1995) สาหร่ายพวงองุ่นสามารถพบได้ในพื้นที่เขตร้อนแถบมหาสมุทรอินเดีย และมหาสมุทรแปซิฟิก สำหรับประเทศไทยพบมากตามชายฝั่งทะเลอันดามัน และทะเลอ่าวไทยตอนบน (กองวิจัยและพัฒนาการเพาะสัตว์น้ำชายฝั่ง, 2560) สาหร่ายพวงองุ่นมีปริมาณเส้นใยอาหารสูง ไขมันต่ำ ให้พลังงานต่ำ การบริโภคสาหร่ายพวงองุ่นนั้นสามารถช่วยป้องกันกลุ่มโรคไม่ติดต่อเรื้อรัง เช่น โรคเบาหวาน โรคความดันโลหิตสูง โรคไขมันในเลือดสูง และโรคมะเร็ง นอกจากนี้ยังมีคุณสมบัติในการยับยั้งจุลินทรีย์ที่ก่อโรค และช่วยลดการอักเสบ (อรอนงค์ และคณะ, 2564) ด้วยคุณค่าทางโภชนาการที่ดีของสาหร่ายพวงองุ่นทำให้ปัจจุบันผู้บริโภคมีการบริโภคเพิ่มมากขึ้น นอกจากนี้ สาหร่ายพวงองุ่นยังจัดอยู่ในหมวดหมู่อาหารสุขภาพ เนื่องจากมีคุณค่าทางอาหารสูง มีปริมาณโปรตีน ฟอสฟอรัส แคลเซียม และแมกนีเซียมสูง (Ratana-arporn and Anong, 2006)

สาหร่ายขนนก มีชื่อสามัญว่า green feather algae มีการจำแนกออกเป็นอีกหลายชนิดย่อย จากการวิเคราะห์ทางวิวัฒนาการชาติพันธุ์ (phylogenetic analysis) ของสาหร่ายขนนกที่พบในบริเวณชายฝั่งอันดามันของประเทศไทยบ่งชี้ว่า สาหร่ายขนนกชนิด *C. corynephora* (Montagne) หรือ *C. racemosa* var. *corynephora* (Montagne) Weber-van Bosses และชนิด *C. ashmeadii* Harvey ทั้งสองชนิดจัดอยู่ในกลุ่มเดียวกับชนิด *C. macrodisca* Decaisne (Pattarach et al., 2019) สาหร่ายชนิดนี้มักแพร่กระจายทั่วไปในบริเวณชายฝั่งทะเลเขตร้อนและทะเลเขตอบอุ่น สำหรับประเทศไทยมักพบที่บริเวณชายฝั่งทะเลภาคใต้ทั้งชายฝั่งทะเลอันดามันและอ่าวไทย มักขึ้นเป็นกระจุกแน่นบนพื้นทราย เศษซากปะการัง ก้อนหิน บนรากโกงกาง บริเวณคลื่นลมสงบตามแนวชายฝั่งทะเลบริเวณน้ำขึ้น น้ำลง หรือแอ่งหินชายฝั่งที่มีน้ำท่วมซัง สาหร่ายขนนกสามารถนำมาใช้ประโยชน์ได้หลายอย่าง เช่น อาหารมนุษย์ ยาปฏิชีวนะ รักษาโรคคอพอก และลดความดันโลหิต (ศลีมาศ, 2552)

สาหร่ายทะเลสกุล *Caulerpa* จัดเป็นแหล่งของสารต้านอนุมูลอิสระที่สำคัญชนิดหนึ่ง (Yap et al., 2019) ประสิทธิภาพในการต้านอนุมูลอิสระของสารสกัดจากสาหร่ายที่มีความแตกต่างกันเป็นผลมาจากชนิดและปริมาณของสารต้านอนุมูลอิสระ เช่น สารประกอบฟีนอล รวมถึงชนิดของโพลีแซคคาไรด์ และสารสีแคโรทีนอยด์ (Farvin and Jacobsen, 2013) ชนิดและปริมาณขององค์ประกอบทางเคมีหรือสารประกอบทุติยภูมิของสาหร่ายทะเลขึ้นอยู่กับชนิดของสาหร่าย ถึงแม้ว่าจะอยู่ในสกุลเดียวกัน (Paul et al., 2014; Peinato et al., 2014) นอกจากนี้ ยังขึ้นอยู่กับฤดูกาล เนื่องจากการเปลี่ยนแปลงของฤดูกาลส่งผลต่อสภาพแวดล้อมที่เปลี่ยนแปลง เช่น ระดับความเค็มของน้ำทะเล ค่า pH ความเข้มของแสง ปริมาณธาตุอาหาร คลื่นทะเล และกระแสน้ำ ซึ่งปัจจัยเหล่านี้ส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงทางกระบวนการชีวเคมีและปริมาณสารอาหารของสาหร่ายทะเล (Sharma et al., 2018; Kumar et al., 2015)

เอนไซม์ tyrosinase เป็นเอนไซม์ชนิดหนึ่งในกระบวนการสร้างเม็ดสี (melanogenesis) ซึ่งกระบวนการนี้ทำให้ผิวหนังมีสีหมองคล้ำลง โดยเอนไซม์ tyrosinase มีหน้าที่เร่งปฏิกิริยาในขั้นเริ่มต้นของกระบวนการ คือ เร่งปฏิกิริยาของ L-tyrosine และ 3,4-dihydroxy-L-phenylalanine (L-DOPA) ให้เป็น DOPAquinone (Kim and Uyama, 2005) การยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ tyrosinase จะช่วยลดความผิดปกติของผิวหนังได้ (Solano et al., 2006) มีรายงานฤทธิ์การยับยั้งเอนไซม์ tyrosinase ของสาหร่ายทะเล เช่น *Sargassum ilicifolium* (Arguelles, 2021) และสาหร่ายพวงองุ่น (อุไรวรรณ และคณะ 2562)

เอนไซม์ α -glucosidase มีบทบาทสำคัญในการสลายแป้งไปเป็นน้ำตาล การยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ α -glucosidase สามารถช่วยลดหรือควบคุมระดับน้ำตาลในเลือดของผู้ป่วยโรคเบาหวานชนิดที่ 2 ได้ (Cheng and Fantus, 2005) มีรายงานการยับยั้งเอนไซม์ α -glucosidase ของสาหร่ายทะเลหลายชนิด เช่น *Cladophora wrightiana* var. *minor*, *Eisenia bicyclis*, *Ecklonia cava*, *Ishige foliacea*, *I. okamurae* และ *Asparagopsis taxiformis* (Ryu et al., 2023)

มีรายงานการศึกษาเปรียบเทียบการผลิตชีวมวล (biomass) และสมบัติทางชีวเคมีของสาหร่ายพวงองุ่นและสาหร่ายขนนกที่เพาะเลี้ยงเชิงพาณิชย์ในประเทศออสเตรเลีย พบว่าสาหร่ายพวงองุ่นมีปริมาณ frond (ส่วนที่รับประทานได้) ต่อปริมาณ stolon และความหนาแน่นของ frond ต่อพื้นที่เพาะเลี้ยงมากกว่าสาหร่ายขนนก

แต่สำหรับชาวนกมีความยาวของ frond มากกว่าสำหรับพวงอู่ และสำหรับชาวนกมีคุณค่าทางโภชนาการ (nutrition value) มากกว่าสำหรับพวงอู่ (Paul et al., 2014) แต่ยังไม่มียางานการศึกษาเปรียบเทียบสารประกอบฟีนอลิกฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ และฤทธิ์ทางชีวภาพของสำหรับพวงอู่ และสำหรับชาวนกที่พบในประเทศไทย ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อเปรียบเทียบสารประกอบฟีนอลิกฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ และฤทธิ์การยับยั้งเอนไซม์ tyrosinase และเอนไซม์ α -glucosidase ของสารสกัดจากสำหรับพวงอู่และสำหรับชาวนกที่เก็บในเวลาที่แตกต่างกันในพื้นที่อำเภอสีกา จังหวัดตรัง เนื่องจากเป็นแหล่งเพาะเลี้ยงสำหรับพวงอู่และสำหรับชาวนกเชิงเศรษฐกิจที่สำคัญแห่งหนึ่งของประเทศไทย ผลการศึกษาที่ได้เพื่อเป็นข้อมูลในการเลือกใช้ประโยชน์จากสำหรับทะเลทั้ง 2 ชนิด

อุปกรณ์และวิธีการ

การเก็บตัวอย่างสำหรับและการสกัดสาร

เก็บตัวอย่างสำหรับพวงอู่และสำหรับชาวนกจากอำเภอสีกา จังหวัดตรัง ในช่วงเดือนมกราคม เมษายน และกรกฎาคม ปี พ.ศ. 2565 ซึ่งเป็นช่วงฤดูหนาว ฤดูร้อน และฤดูฝน ของประเทศไทย ตามลำดับ หลังจากล้างทำความสะอาด นำสำหรับพวงอู่และสำหรับชาวนกมาอบแห้งที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส บดให้เป็นผงละเอียดด้วยเครื่องบดตัวอย่าง (Polymix, Kinematica, Switzerland) แล้วนำไปสกัดด้วยวิธีการแช่หมัก (maceration) โดยใช้ตัวอย่างสำหรับบดแห้ง 30 กรัม แช่ใน 95% เอทานอล วางบนเครื่องเขย่าความเร็ว 97 รอบต่อนาที ที่อุณหภูมิ 32 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 วัน จากนั้น นำสารละลายมากรองแล้วนำสารสกัดที่กรองได้ประเหยตัวทำละลายเอทานอลออกด้วยเครื่องกลั่นระเหยสูญญากาศ (rotary evaporator, R-300, Buchi, Switzerland) จะได้เป็นสารสกัดหยาบและเก็บไว้ที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส เพื่อนำไปใช้ในการทดลองต่อไป

การวิเคราะห์ปริมาณสารประกอบฟีนอลรวม

วิเคราะห์ปริมาณสารประกอบฟีนอลรวมด้วยเทคนิค Folin-Ciocalteu (Singleton and Rossi, 1965) เตรียมสารสกัดหยาบความเข้มข้น 30 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตรในเอทานอล ปริมาตร 50 ไมโครลิตร เติมสาร Folin-Ciocalteu reagent 250 ไมโครลิตร บ่มที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 8 นาที จากนั้นเติมน้ำกลั่น 950 ไมโครลิตร เขย่าให้เข้ากันและบ่มที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 30 นาที หลังจากนั้นวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 765 นาโนเมตรด้วยเครื่อง spectrophotometer (UV1800, Shimadzu, Japan) และใช้ gallic acid เป็นสารมาตรฐาน ปริมาณสารประกอบ ฟีนอลแสดงในหน่วยมิลลิกรัม gallic acid equivalent (GAE) ต่อกรัมสารสกัด วิเคราะห์จำนวน 3 ซ้ำ

การวิเคราะห์ปริมาณฟลาโวนอยด์

วิเคราะห์ปริมาณฟลาโวนอยด์ตามวิธีการของ Zhishen et al. (1999) เตรียมสารสกัดหยาบความเข้มข้น 30 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตรในเอทานอล ปริมาตร 500 ไมโครลิตร เติมน้ำกลั่นปริมาตร 2 มิลลิลิตร สารละลายโซเดียมไนไตรต์ (NaNO_2) ความเข้มข้น 5% ปริมาตร 15 ไมโครลิตร เขย่าให้เข้ากัน บ่มเป็นเวลา 6 นาที จากนั้นเติมน้ำกลั่นปริมาตร 150 ไมโครลิตร เติมน้ำกลั่นปริมาตร 150 ไมโครลิตร สารละลาย



โซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) ความเข้มข้น 2 โมลาร์ ปริมาตร 2 มิลลิลิตร และน้ำกลั่น 200 ไมโครลิตร เขย่าให้เข้ากัน บ่มที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที หลังจากนั้นวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 415 นาโนเมตร ด้วยเครื่อง spectrophotometer และใช้ quercetin เป็นสารมาตรฐาน ปริมาณสารประกอบ ฟลาโวนอยด์แสดงเป็นหน่วยมิลลิกรัม quercetin equivalent (QE) ต่อกรัมสารสกัด วิเคราะห์จำนวน 3 ซ้ำ

การวิเคราะห์ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ

วิธี 2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyl radical scavenging (DPPH)

วิเคราะห์สารต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี DPPH ตามวิธีของ Brand-Williams (1995) เตรียมสารสกัดหยาบ ความเข้มข้น 30 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตรในเอทานอล ปริมาตร 1.9 มิลลิลิตร ผสมกับสาร DPPH ความเข้มข้น 1 มิลลิโมลาร์ ปริมาตร 100 ไมโครลิตร นำไปเก็บไว้ในที่มืดเป็นเวลา 30 นาที ที่อุณหภูมิห้อง หลังจากนั้นวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 517 นาโนเมตร ด้วยเครื่อง spectrophotometer คำนวณความสามารถ ในการกำจัดอนุมูลอิสระ DPPH จากสมการ

$$\text{Radical scavenging (\%)} = [(A_{\text{control}} - A_{\text{sample}}) / A_{\text{control}}] \times 100$$

เมื่อ A_{control} คือ ค่าการดูดกลืนแสงของชุดควบคุม A_{sample} คือ ค่าการดูดกลืนแสงของชุดทดลอง วิเคราะห์จำนวน 3 ซ้ำ

วิธี ferric reducing antioxidant power (FRAP)

วิเคราะห์สารต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี FRAP ตามวิธีของ Benzie and Strain (1996) เตรียมสารสกัดหยาบ ความเข้มข้น 30 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตรในเอทานอล ปริมาตร 30 ไมโครลิตร เติมน้ำกลั่นละลาย FRAP (เตรียม FRAP ได้จากการผสม acetate buffer ความเข้มข้น 300 มิลลิโมลาร์ pH 3.6 ปริมาตร 15 มิลลิลิตร 2,4,6-tris(2-pyridyl)-s-triazine (TPTZ) ความเข้มข้น 10 มิลลิโมลาร์ ปริมาตร 1.5 มิลลิลิตร และ $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ ความเข้มข้น 10 มิลลิโมลาร์ ปริมาตร 1.5 มิลลิลิตร) ปริมาตร 900 ไมโครลิตร และน้ำกลั่น 30 ไมโครลิตร ผสมให้เข้ากัน บ่มที่อุณหภูมิห้องในที่มืดเป็นเวลา 30 นาที หลังจากนั้นวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 593 นาโนเมตร โดยใช้ ferrous sulfate เป็นสารมาตรฐาน ปริมาณสารต้านอนุมูลอิสระที่ได้จะแสดงในหน่วยมิลลิกรัมเหล็กเฟอร์รัส (Fe^{2+}) ต่อกรัมสารสกัด วิเคราะห์จำนวน 3 ซ้ำ

วิธี reducing power

การวิเคราะห์ความสามารถในการรีดิวซ์ตามวิธีการของ Yen and Chen (1995) เตรียมสารสกัดหยาบ ความเข้มข้น 30 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตรในเอทานอล ปริมาตร 0.2 มิลลิลิตร เติมน้ำกลั่นละลาย phosphate buffer (0.2 โมลาร์, pH 6.8) ปริมาตร 0.5 มิลลิลิตร และโพแทสเซียมเฟอร์ริไซยาไนด์ ($\text{K}_3\text{Fe}(\text{CN})_6$) ความเข้มข้น 1% ปริมาตร 0.5 มิลลิลิตร ผสมให้เข้ากันและนำไปบ่มในอ่างน้ำควบคุมอุณหภูมิ (water bath) ที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 20 นาที หลังจากนั้นเติมกรดไตรคลอโรอะซิติกความเข้มข้น 10% ปริมาตร 0.5 มิลลิลิตร นำไปปั่นเหวี่ยง 10,000 รอบต่อนาที เป็นเวลา 5 นาที นำส่วนที่ลอยเหนือตะกอนปริมาตร 1 มิลลิลิตร ผสมกับน้ำกลั่นปริมาตร

1 มิลลิลิตร และเฟอร์ริกคลอไรด์ (FeCl_3) ความเข้มข้น 0.1% ปริมาตร 0.1 มิลลิลิตร ผสมให้เข้ากัน หลังจากนั้นวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 700 นาโนเมตร วิเคราะห์จำนวน 3 ซ้ำ

การวิเคราะห์ฤทธิ์การยับยั้งเอนไซม์ tyrosinase

วิเคราะห์ฤทธิ์การยับยั้งเอนไซม์ tyrosinase ตามวิธีของ Neagu et al. (2016) เตรียมสารสกัดหยาบความเข้มข้น 30 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตรใน 10% dimethyl sulfoxide (DMSO) ปริมาตร 50 ไมโครลิตร เติม phosphate buffer (0.2 โมลาร์, pH 7) ปริมาตร 1,850 มิลลิลิตร และเอนไซม์ tyrosinase ความเข้มข้น 500 ยูนิตต่อมิลลิลิตร ปริมาตร 100 ไมโครลิตร ผสมให้เข้ากันแล้วนำไปบ่มใน water bath ที่อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 15 นาที เติม 3,4-dihydroxy-L-phenylalanine (L-DOPA) ปริมาตร 50 ไมโครลิตร หลังจากนั้นวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 475 นาโนเมตร ที่เวลา 0 และ 6 นาที และคำนวณการยับยั้งเอนไซม์ tyrosinase จากสมการ

$$\text{Tyrosinase inhibition (\%)} = [(\Delta A_{\text{control}} - \Delta A_{\text{sample}}) / \Delta A_{\text{control}}] \times 100$$

เมื่อ $\Delta A_{\text{control}}$ คือ ค่าการเปลี่ยนแปลงค่าการดูดกลืนแสงของชุดควบคุมที่เวลา 0 และ 6 นาที และ ΔA_{sample} คือ ค่าการเปลี่ยนแปลงค่าการดูดกลืนแสงของสารสกัดที่เวลา 0 และ 6 นาที วิเคราะห์จำนวน 3 ซ้ำ

การวิเคราะห์ฤทธิ์ยับยั้งเอนไซม์ α -glucosidase

วิเคราะห์ฤทธิ์การยับยั้งเอนไซม์ α -glucosidase โดยดัดแปลงจากวิธีการของ Nguyen et al. (2017) เตรียมสารสกัดหยาบความเข้มข้น 30 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตรใน 10% DMSO ปริมาตร 50 ไมโครลิตร เติมเอนไซม์ α -glucosidase ความเข้มข้น 1 ยูนิตต่อมิลลิลิตร ปริมาตร 100 ไมโครลิตร ผสมให้เข้ากันแล้วนำไปบ่มในอ่างน้ำควบคุมอุณหภูมิ ที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 10 นาที เติมสาร 4-nitrophenyl- α -D-glucopyranoside ปริมาตร 50 ไมโครลิตร หลังจากนั้นวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 405 นาโนเมตร ที่เวลา 0 และ 2 นาที และคำนวณการยับยั้งเอนไซม์ α -glucosidase จากสมการ

$$\alpha\text{-Glucosidase inhibition (\%)} = [(\Delta A_{\text{control}} - \Delta A_{\text{sample}}) / \Delta A_{\text{control}}] \times 100$$

โดยที่ $\Delta A_{\text{control}}$ คือ ค่าการเปลี่ยนแปลงค่าการดูดกลืนแสงของชุดควบคุมที่เวลา 0 และ 2 นาที และ ΔA_{sample} คือ ค่าการเปลี่ยนแปลงค่าการดูดกลืนแสงของสารสกัดที่เวลา 0 และ 2 นาที วิเคราะห์จำนวน 3 ซ้ำ

การวิเคราะห์ทางสถิติ

วิเคราะห์ข้อมูลโดยการวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบ 2 ทาง (Two-way ANOVA) ปัจจัยที่ 1 คือ ชนิดของสารหยาบ ปัจจัยที่ 2 คือ ช่วงเวลาที่เก็บตัวอย่าง วิเคราะห์ความแตกต่างของค่าเฉลี่ยด้วยวิธี Duncan's new multiple range test (DMRT) ที่ระดับ $p < 0.05$ โดยใช้โปรแกรม R

ผลการวิจัย

ปริมาณสารสกัดหยาบ

การสกัดสารสำคัญจากสารหยาบพวงอุ้งและสารหยาบขนนกด้วยเอทานอลโดยวิธีแช่หมักพบว่า ปริมาณสารสกัดหยาบของสารหยาบพวงอุ้งมีค่ามากกว่าสารหยาบขนนกในทุกเดือน โดยปริมาณสารสกัดหยาบของสารหยาบพวงอุ้งในเดือนกรกฎาคมมีปริมาณสูงที่สุดอยู่ที่ 17.07% (ตารางที่ 1)



ตารางที่ 1: ปริมาณสารสกัดหยาบ (extraction yield) ของสาหร่ายพวงองุ่นและสาหร่ายขนนกที่เก็บมาในเวลาที่แตกต่างกัน

Algae sample	Month	Extraction yield (%) ^{1/}
Sea grape	January	14.88
	April	10.84
	July	17.07
Green feather algae	January	4.00
	April	6.93
	July	5.84

^{1/} ปริมาณสารสกัดหยาบคำนวณจากสมการ:

ปริมาณสารสกัดหยาบ (%) = (น้ำหนักของสารสกัดหยาบ (g) × 100)/น้ำหนักของตัวอย่างแห้ง (g), เมื่อน้ำหนักของตัวอย่างแห้งเท่ากับ 30 g.

ปฏิสัมพันธ์ระหว่างชนิดและเวลาที่เก็บตัวอย่างต่อปริมาณสารประกอบฟีนอลและฤทธิ์ทางชีวภาพของสารสกัดสาหร่าย

การศึกษาลของชนิดสาหร่ายและเดือนที่เก็บตัวอย่างต่อปริมาณสารประกอบฟีนอล ฟลาโวนอยด์ ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระโดยวิธี DPPH FRAP และ reducing power และฤทธิ์การยับยั้งเอนไซม์ tyrosinase และ α -glucosidase พบว่าทั้ง 2 ปัจจัยมีผลต่อปริมาณสารประกอบฟีนอล ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ และฤทธิ์การยับยั้งเอนไซม์ จากผลการศึกษานี้ของสาหร่าย พบว่าสาหร่ายขนนกมีปริมาณสารประกอบฟีนอล ฟลาโวนอยด์ ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ และฤทธิ์ในการยับยั้งเอนไซม์ tyrosinase มากกว่าสาหร่ายพวงองุ่นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แต่มีฤทธิ์การยับยั้งเอนไซม์ α -glucosidase ไม่แตกต่างกันทางสถิติ (ตารางที่ 2) การศึกษาช่วงเวลาการเก็บเกี่ยวสาหร่ายพวงองุ่นและสาหร่ายขนนกในเดือนมกราคม เมษายน และกรกฎาคม พบว่าปริมาณฟีนอล ฟลาโวนอยด์ ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ และฤทธิ์ในการยับยั้งเอนไซม์ tyrosinase และการยับยั้งเอนไซม์ α -glucosidase มีความผันแปรในแต่ละเดือนที่เก็บตัวอย่าง โดยในเดือนมกราคมมีปริมาณฟลาโวนอยด์ ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระโดยวิธี FRAP และการยับยั้งเอนไซม์ tyrosinase สูงที่สุด ขณะที่เดือนเมษายนมีปริมาณสารประกอบฟีนอล สมบัติรีดิวซ์ และการยับยั้งเอนไซม์ α -glucosidase สูงที่สุด (ตารางที่ 2)

ปฏิสัมพันธ์ระหว่างชนิดและเดือนที่เก็บตัวอย่างต่อปริมาณสารประกอบฟีนอลและฟลาโวนอยด์ พบว่าสารสกัดหยาบจากสาหร่ายขนนกในเดือนเมษายนมีปริมาณสารประกอบฟีนอลสูงที่สุด (113.97 mg GAE/g) และสาหร่ายพวงองุ่นในเดือนกรกฎาคมมีปริมาณสารประกอบฟีนอลต่ำที่สุด (37.26 mg GAE/g) แต่ไม่แตกต่างทางสถิติกับสาหร่ายพวงองุ่นในเดือนมกราคม (ภาพที่ 1A) การศึกษาปริมาณฟลาโวนอยด์ พบว่าสาหร่ายขนนกในเดือน



มกราคม มีปริมาณฟลาโวนอยด์สูงที่สุด (237.27 mg QE/g) และสาหร่ายพวงองุ่นในเดือนกรกฎาคมมีปริมาณฟลาโวนอยด์ ต่ำที่สุด (47.06 mg QE/g) โดยไม่แตกต่างทางสถิติกับสาหร่ายพวงองุ่นในเดือนมกราคม (ภาพที่ 1B)

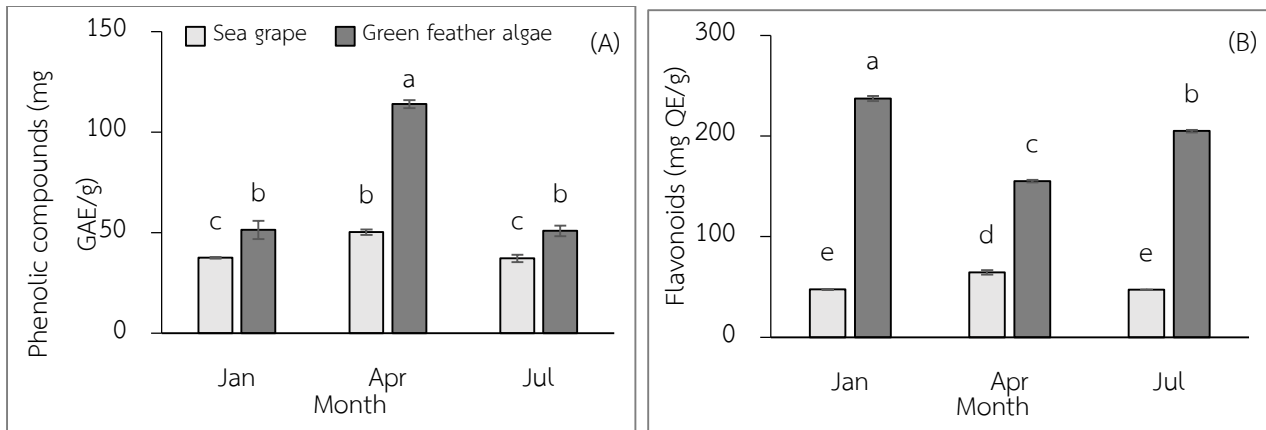
ปฏิสัมพันธ์ระหว่างชนิดและเดือนที่เก็บตัวอย่างต่อฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระเมื่อวิเคราะห์ด้วยวิธี DPPH พบว่าสาหร่ายขนนกในเดือนมกราคมมีฤทธิ์การกำจัดอนุมูลอิสระ DPPH สูงที่สุดคือ 97.03% และสาหร่ายพวงองุ่นในเดือนมกราคมมีฤทธิ์การกำจัดอนุมูลอิสระ DPPH ต่ำที่สุดคือ 31.29% (ภาพที่ 2A) เมื่อศึกษาโดยวิธี FRAP พบว่าสาหร่ายขนนกในเดือนมกราคมมีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระโดยวิธี FRAP สูงที่สุดคือ 380.11 mg Fe²⁺/g และสาหร่ายพวงองุ่นในเดือนมกราคมมีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระโดยวิธี FRAP ต่ำที่สุดคือ 95.09 mg Fe²⁺/g (ภาพที่ 2B) เมื่อศึกษาสมบัติรีดิวซ์โดยวิธี reducing power พบว่าสาหร่ายขนนกในเดือนเมษายนมีสมบัติการรีดิวซ์สูงที่สุด และสาหร่ายพวงองุ่นในเดือนมกราคมมีสมบัติการรีดิวซ์ต่ำที่สุด (ภาพที่ 2C)

ตารางที่ 2: ตารางวิเคราะห์ความแปรปรวนและการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของสารประกอบฟีนอล ฟลาโวนอยด์ ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระและการยับยั้งเอนไซม์ ของสารสกัดจากสาหร่ายพวงองุ่นและสาหร่ายขนนกที่เก็บมาในเวลาที่แตกต่างกัน

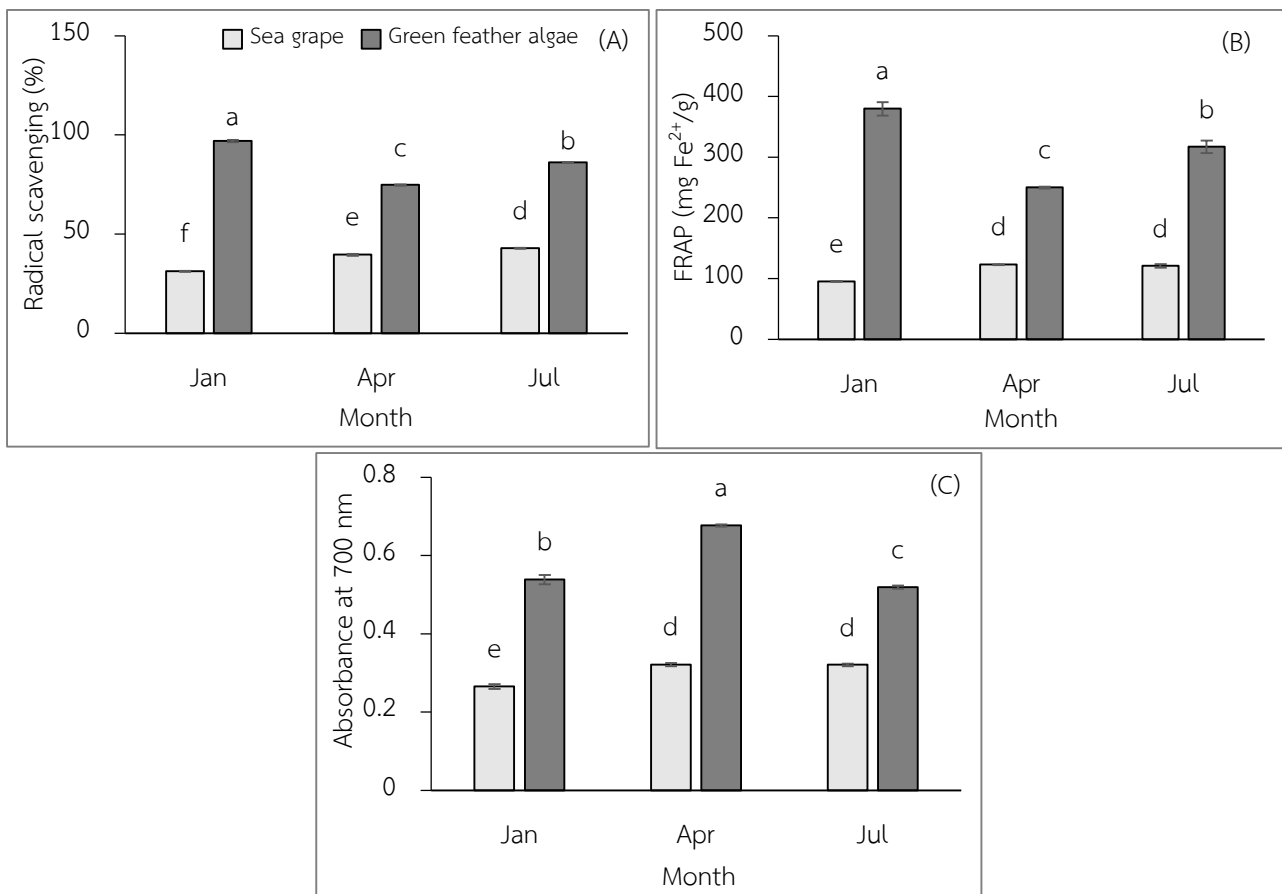
	Phenols	Flavonoids	Antioxidant			Tyrosinase	α -
	(mg GAE/g)	(mg QE/g)	DPPH (%)	FRAP (mg Fe ²⁺ /g)	Reducing power	inhibition (%)	Glucosidase inhibition (%)
Algae Sample (S)							
Sea grape	55.60b	53.00b	37.93b	112.98b	0.30b	72.06b	62.53a
GFA ^{1/}	96.11a	199.13a	86.02a	315.86a	0.58a	82.41a	58.78a
Month (M)							
January	59.26B	142.36A	64.12B	237.6A	0.40C	93.38A	48.10B
April	109.53A	109.85C	57.24C	186.51C	0.50A	62.34C	68.52A
July	58.78B	125.98B	64.53A	219.16B	0.42B	75.98B	65.35A
Significance							
S	***	***	***	***	***	**	ns
M	***	***	***	***	***	***	**
S×M	***	***	***	***	***	***	ns
CV. (%)	5.68	2.14	1.05	5.14	2.44	6.73	12.49

^{1/} GFA, green feather algae

ค่าเฉลี่ยที่ตามด้วยตัวอักษรที่ต่างกันในแต่ละคอลัมน์มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ $p < 0.05$ เมื่อวิเคราะห์ด้วยวิธี Duncan's multiple range test, ns หมายถึงไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ (not significant), ** และ *** หมายถึงมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ $p < 0.01$ และ 0.001 ตามลำดับ

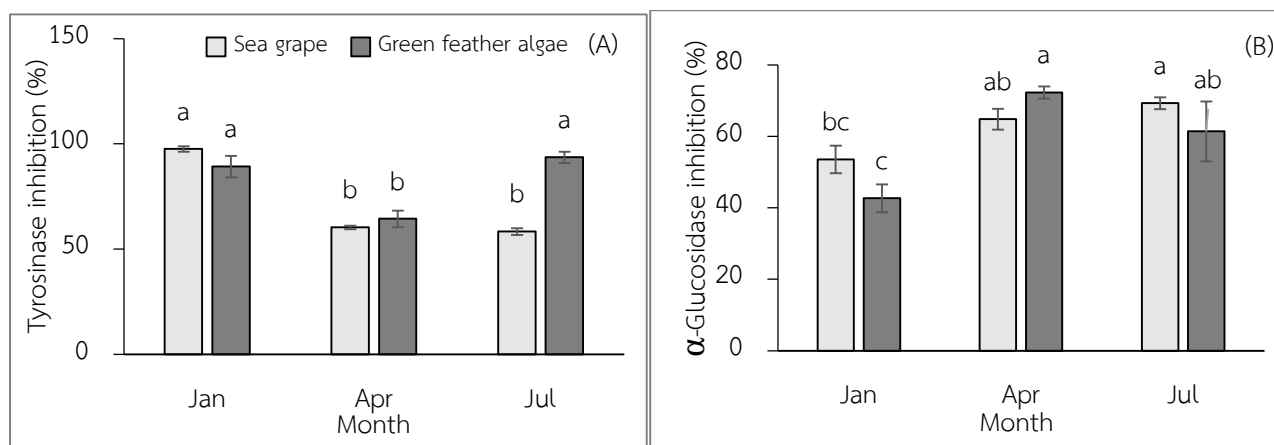


ภาพที่ 1: ปริมาณสารประกอบฟีนอล (A) และฟลาโวนอยด์ (B) ของสารสกัดจากสาหร่ายพวงองุ่นและสาหร่ายขนนก ที่เก็บมาในเวลาที่แตกต่างกัน ตัวอักษรที่ต่างกันที่กำกับที่ปลายกราฟแท่งมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ $p < 0.05$ เมื่อวิเคราะห์ด้วยวิธี Duncan's multiple range test



ภาพที่ 2: ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ เมื่อวิเคราะห์ด้วยวิธี DPPH (A), FRAP (B) และ reducing power (C) ของสารสกัดจากสาหร่ายพวงองุ่นและสาหร่ายขนนกที่เก็บมาในเวลาที่แตกต่างกัน ตัวอักษรที่ต่างกันที่กำกับที่ปลายกราฟแท่งมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ $p < 0.05$ เมื่อวิเคราะห์ด้วยวิธี Duncan's multiple range test

ปฏิสัมพันธ์ระหว่างชนิดของสาหร่ายและเดือนที่เก็บตัวอย่างต่อฤทธิ์การยับยั้งเอนไซม์ tyrosinase และ α -glucosidase พบว่าสาหร่ายพวงองุ่นในเดือนมกราคมมีฤทธิ์การยับยั้งเอนไซม์ tyrosinase สูงที่สุดคือ 97.55% แต่ไม่แตกต่างทางสถิติกับสาหร่ายขนนกในเดือนมกราคม และกรกฎาคม และสาหร่ายพวงองุ่นในเดือนกรกฎาคมมีฤทธิ์การยับยั้งเอนไซม์ tyrosinase ต่ำที่สุดคือ 58.33% (ภาพที่ 3A) การศึกษาฤทธิ์การยับยั้งเอนไซม์ α -glucosidase พบว่าการยับยั้งเอนไซม์ α -glucosidase อยู่ในช่วง 42.66% ถึง 72.27% โดยสาหร่ายขนนกในเดือนเมษายนมีฤทธิ์การยับยั้งเอนไซม์ α -glucosidase สูงที่สุดคือ 72.27% และสาหร่ายขนนกในเดือนมกราคมมีฤทธิ์การยับยั้งเอนไซม์ α -glucosidase ต่ำที่สุดคือ 42.66% (ภาพที่ 3B)



ภาพที่ 3: ฤทธิ์การยับยั้งกิจกรรมของเอนไซม์ tyrosinase (A) และ α -glucosidase (B) ของสารสกัดจากสาหร่ายพวงองุ่นและสาหร่ายขนนกที่เก็บมาในเวลาที่แตกต่างกัน ตัวอักษรที่ต่างกันที่กำกับที่ปลายกราฟแท่งมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ $p < 0.05$ เมื่อวิเคราะห์ด้วยวิธี Duncan's multiple range test

วิจารณ์ผลและข้อเสนอแนะ

การศึกษาปริมาณสารสกัดหยาบของสาหร่ายพวงองุ่นและสาหร่ายขนนกที่เก็บในเดือนมกราคม เมษายน และกรกฎาคมด้วยเอทานอล พบว่าปริมาณสารสกัดหยาบของสาหร่ายพวงองุ่นในเดือนกรกฎาคมมีปริมาณสารสกัดหยาบสูงที่สุด และมีปริมาณสารสกัดอยู่ในช่วง 10.84% ถึง 17.07% สอดคล้องกับรายงานของวสันต์ และคณะ (2557) พบว่าการสกัดสารจากสาหร่ายพวงองุ่นโดยใช้เอทานอลให้ปริมาณสารสกัดหยาบจากสาหร่ายพวงองุ่นเท่ากับ 17.46% จากผลการศึกษาพบว่า ปริมาณสารสกัดหยาบของสาหร่ายขนนกอยู่ในช่วง 4.00% ถึง 6.93% ซึ่งมีค่าน้อยกว่าสาหร่ายพวงองุ่น อาจเนื่องมาจากสมบัติทางชีวมวล (biomass property) ที่แตกต่างกัน

กล่าวคือ สาหร่ายพวงองุ่นมีจำนวนและความหนาแน่นของ frond มากกว่าสาหร่ายขนนกประมาณ 1.5 เท่า (Paul et al., 2014) จึงทำให้ได้ปริมาณสารสกัดหยาบมากกว่า จากผลการศึกษาจะเห็นว่าปริมาณสารสกัดหยาบของสาหร่ายทั้งสองชนิดมีค่าค่อนข้างดี เหมาะสมที่จะนำไปใช้ต่อไปในระดับอุตสาหกรรม

จากผลการศึกษาพบว่าปริมาณสารประกอบทุติยภูมิ และฤทธิ์ทางชีวภาพของสารสกัดจากสาหร่ายผันแปรตามชนิดของสาหร่ายและเดือนหรือฤดูกาลเก็บเกี่ยว สอดคล้องกับ Peinado et al. (2014) รายงานว่าสารประกอบเคมีของสาหร่ายทะเล *Fucus vesiculosus*, *F. spiralis* และ *Ascophyllum nodosum* มีความผันแปรตามปริมาณโปรตีน ซึ่งขึ้นอยู่กับชนิดของสาหร่ายที่แตกต่างกันและฤดูกาลเก็บเกี่ยว และ de Melo et al. (2021) รายงานว่าฤดูกาล (ฤดูแล้งและฤดูฝน) และชนิดของสาหร่ายมีผลต่อองค์ประกอบทางเคมีของสาหร่ายทะเล *Ulva fasciata*, *Crassiphycus corneus* และ *Sargassum vulgare*

การศึกษาชนิดของสาหร่าย พบว่าสาหร่ายต่างชนิดกันมีปริมาณสารเคมีและฤทธิ์ทางชีวภาพที่แตกต่างกัน โดยสาหร่ายขนนกมีปริมาณสารประกอบฟีนอล ฟลาโวนอยด์ ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ และฤทธิ์ในการยับยั้งเอนไซม์ tyrosinase มากกว่าสาหร่ายพวงองุ่นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ สอดคล้องกับการศึกษาก่อนหน้านี้ที่พบว่าสาหร่ายขนนกมีคุณค่าทางโภชนาการ ได้แก่ polyunsaturated fatty acids และสารสี (คลอโรฟิลล์ เอ, คลอโรฟิลล์ บี และเบต้าแคโรทีน) สารประกอบฟีนอล ฟลาโวนอยด์ และฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระมากกว่าสาหร่ายพวงองุ่น (Paul et al., 2014; Yap et al., 2019) โดยทั่วไป ปริมาณสารประกอบทุติยภูมิ หรือสารต้านอนุมูลอิสระในพืชหรือสาหร่ายแปรผันตามสภาพแวดล้อม หากสภาพแวดล้อมไม่เหมาะสมจะส่งผลต่อการสร้างสารประกอบทุติยภูมิที่เพิ่มขึ้น ปริมาณสารประกอบฟีนอล ฟลาโวนอยด์ และสารต้านอนุมูลอิสระที่แตกต่างกันในสาหร่ายพวงองุ่นและสาหร่ายขนนก อาจเนื่องมาจากปัจจัยต่าง ๆ ที่มีผลกระทบต่อวงจรชีวิตของสาหร่าย ได้แก่ ความเค็ม อุณหภูมิ ความลึกของน้ำ และออกซิเจนที่ละลายในน้ำ (Estrada et al., 2020) ซึ่งปัจจัยเหล่านี้มีอิทธิพลต่อการเกิดสภาวะเครียด (stress) สาหร่ายจึงต้องผลิตสารประกอบทุติยภูมิในการรักษาความสมดุลของเซลล์เพื่อการอยู่รอด (de Melo et al., 2021) โดยสาหร่ายขนนกอาจจะได้รับสภาวะเครียดจากสภาพแวดล้อมที่มากกว่าสาหร่ายพวงองุ่น ทำให้สาหร่ายขนนกมีการสร้างสารประกอบฟีนอล ฟลาโวนอยด์ และฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระที่มากกว่าเพื่อปรับตัวให้รอดในสภาพแวดล้อมที่ไม่เหมาะสม นอกจากนี้ สภาพแวดล้อมที่แตกต่างกัน ยังส่งผลให้ลักษณะทางสัณฐานวิทยาของสาหร่ายพวงองุ่นและสาหร่ายขนนกแตกต่างกัน (Estrada et al., 2020)

การศึกษาเวลาการเก็บเกี่ยวสาหร่ายพวงองุ่นและสาหร่ายขนนกในเดือนมกราคม เมษายน และกรกฎาคม ต่อปริมาณสารประกอบฟีนอลและฤทธิ์ทางชีวภาพพบว่ามีความแตกต่างกันทางสถิติ อาจเนื่องมาจากความผันแปรทางสภาพภูมิอากาศในแต่ละเดือนที่เก็บตัวอย่าง (Peinado et al., 2014; de Melo et al., 2021) จากข้อมูลของกรมอุตุนิยมวิทยา ประเทศไทย ในปี พ.ศ. 2565 ของจังหวัดตรัง พบว่าเดือนมกราคมซึ่งเป็นฤดูหนาวของประเทศไทยมีปริมาณน้ำฝน อุณหภูมิเฉลี่ย และความชื้นสัมพัทธ์ต่ำกว่าเดือนเมษายน และเดือนกรกฎาคม ขณะที่เดือนเมษายนซึ่งเป็นฤดูร้อนมีอุณหภูมิเฉลี่ยสูงกว่าเดือนมกราคมและเดือนกรกฎาคม และเดือนกรกฎาคมซึ่งเป็นฤดูฝนมีปริมาณน้ำฝนสูงที่สุด (ตารางที่ 3) จากผลการศึกษา เดือนเมษายนมีปริมาณสารประกอบฟีนอลสูงที่สุด อาจเนื่องมาจากอุณหภูมิที่สูง และเดือนมกราคมมีปริมาณสารฟลาโวนอยด์และสารต้านอนุมูลอิสระ (FRAP) มากที่สุด

อาจเนื่องมาจากปริมาณน้ำฝนน้อย จึงส่งผลต่อระดับความเค็มในน้ำทะเล Estrada and Dioniso-sese (2020) รายงานว่าฤดูกาลที่ต่างกันในประเทศฟิลิปปินส์ส่งผลต่อการเจริญเติบโตของสาหร่ายพวงองุ่น ในฤดูร้อนคือเดือนมกราคม-เมษายน เป็นช่วงที่อุณหภูมิและระดับความเค็มในทะเลสูงขึ้น ทำให้สาหร่ายทะเลเจริญเติบโตได้ดีและอุดมไปด้วยแร่ธาตุและสารอาหาร แต่ในฤดูฝนคือเดือนพฤษภาคม-สิงหาคม เป็นช่วงระดับความเค็มในทะเลลดลงเนื่องจากปริมาณน้ำฝนที่เพิ่มขึ้น ทำให้มีผลต่อการเจริญเติบโตที่ลดลง

จากผลการศึกษาปริมาณสารประกอบฟีนอล ฟลาโวนอยด์ของสารสกัดหยาบจากสาหร่ายพวงองุ่นและสาหร่ายขนนก พบว่าสาหร่ายพวงองุ่นมีปริมาณสารประกอบฟีนอลและฟลาโวนอยด์อยู่ในช่วง 49.68–67.09 mg GAE/g และ 47.06–64.48 mg QE/g ตามลำดับ และสาหร่ายขนนกมีปริมาณสารประกอบฟีนอลและฟลาโวนอยด์อยู่ในช่วง 67.89–151.96 mg GAE/g และ 155.21–237.27 mg QE/g ตามลำดับ ซึ่งการศึกษาก่อนหน้า รายงานว่าสารสกัดหยาบด้วยเมทานอลจากสาหร่ายพวงองุ่นที่เก็บจากประเทศมาเลเซียมีปริมาณสารประกอบฟีนอลและฟลาโวนอยด์เท่ากับ 4.52 ± 0.42 mg GAE/g และ 4.93 ± 0.27 mg QE/g ตามลำดับ และสารสกัดหยาบด้วยเมทานอลจากสาหร่ายขนนกมีปริมาณสารประกอบฟีนอลและฟลาโวนอยด์เท่ากับ 10.33 ± 0.02 mg GAE/g และ 24.52 ± 2.17 mg QE/g ตามลำดับ (Yap et al., 2019) จะเห็นว่าการทดลองครั้งนี้ สารสกัดหยาบจากสาหร่ายพวงองุ่นและสาหร่ายขนนกมีปริมาณสารประกอบฟีนอลและฟลาโวนอยด์มากกว่าสารสกัดหยาบจากสาหร่ายของ Yap et al. (2019) อาจเป็นผลมาจากการเก็บตัวอย่างสาหร่ายในพื้นที่หรือสภาพแวดล้อมที่ต่างกัน รวมถึงตัวทำละลายที่ใช้ในการสกัดต่างกัน

จากผลการศึกษาฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ เมื่อวิเคราะห์ด้วยวิธี DPPH, FRAP และ reducing power ของสารสกัดหยาบจากสาหร่ายพวงองุ่นและสาหร่ายขนนก พบว่าสาหร่ายพวงองุ่นและสาหร่ายขนนกมีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระที่ต่างกัน เช่น สมบัติการรีดิวซ์ของสาหร่ายขนนกในเดือนเมษายนมีค่าสูงที่สุด ขณะที่สาหร่ายพวงองุ่นในเดือนมกราคมมีสมบัติการรีดิวซ์ต่ำที่สุด ทั้งนี้เป็นผลมาจากทั้งปัจจัยด้านชนิดของสาหร่ายและเวลาที่เก็บตัวอย่าง โดยเดือนเมษายนมีอุณหภูมิสูงกว่าเดือนมกราคม ปัจจัยด้านอุณหภูมิ อาจส่งผลต่อสมบัติการรีดิวซ์ของสาหร่าย นอกจากนี้ ผลการศึกษาพบว่าสาหร่ายขนนกมีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระมากกว่าสาหร่ายพวงองุ่น น่าจะเป็นผลมาจากการมีสารประกอบฟีนอล และฟลาโวนอยด์ที่สูงกว่า เนื่องจากสารกลุ่มนี้มีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ สอดคล้องกับ Ismail et al. (2020) รายงานถึงการศึกษาฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ เมื่อวิเคราะห์ด้วยวิธี DPPH ของสารสกัดจากสาหร่ายพวงองุ่นและสาหร่ายขนนกในประเทศมาเลเซีย พบว่าสาหร่ายขนนกมีสารฟลักซ์เคมี มีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระสูงกว่าสาหร่ายพวงองุ่น เมื่อเปรียบเทียบกับกันด้วยค่า half maximal effective concentration (EC_{50}) ซึ่งยังมีค่าน้อยแสดงถึงการมีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระที่สูง โดยสาหร่ายพวงองุ่นมีค่า EC_{50} เท่ากับ 28.77 mg/mL ขณะที่สาหร่ายขนนกมีค่า EC_{50} เท่ากับ 24.16 mg/mL และ Yap et al. (2019) พบว่าสาหร่ายขนนกมีฤทธิ์กำจัดอนุมูลอิสระ DPPH สูงกว่าสาหร่ายพวงองุ่น โดยมีค่า EC_{50} เท่ากับ 2.51 ± 0.09 mg/mL และ 9.74 ± 0.59 mg/mL ของสาหร่ายขนนกและสาหร่ายพวงองุ่น ตามลำดับ



ตารางที่ 3: ข้อมูลสภาพภูมิอากาศรายเดือนของจังหวัดตรัง ปี พ.ศ. 2565

Month	Rainfall (mm)	Maximum temperature (°C)	Minimum temperature (°C)	Mean temperature (°C)	Relative humidity (%)	Atmospheric pressure (hPa)
January	61.1	32.9	23.1	28.5	73	1010.6
February	160.6	32.9	24.0	28.9	76	1009.3
March	167.9	34.2	24.2	29.5	79	1008.6
April	142.9	33.7	24.3	29.6	82	1008.6
May	237.0	32.8	24.8	29.4	85	1008.0
June	369.8	32.9	24.4	29.4	84	1008.6
July	309.1	33.0	24.7	29.2	83	1007.7
August	229.8	32.5	24.3	29.2	83	1008.4
September	285.6	32.6	24.1	29.1	84	1009.5
October	485.9	31.7	24.1	28.7	86	1009.7
November	193.5	31.8	24.0	28.5	85	1009.3
December	238.5	30.4	23.6	26.9	80	1009.4
Mean	240.1	32.6	24.1	28.9	82	1009.0

แหล่งที่มา: กรมอุตุนิยมวิทยา ประเทศไทย (2565)

จากผลการศึกษาฤทธิ์การยับยั้งเอนไซม์ tyrosinase พบว่าสารสกัดหยาบจากสาหร่ายพวงองุ่นและสาหร่ายขนนกสามารถยับยั้งเอนไซม์ tyrosinase ได้สอดคล้องกับอุไรวรรณ และคณะ (2562) รายงานถึงฤทธิ์การยับยั้งเอนไซม์ tyrosinase ของสาหร่ายพวงองุ่นในสถานะที่แตกต่างกัน ได้แก่สาหร่ายแห้ง สาหร่ายเก็บในอุณหภูมิตู้เย็น สาหร่ายแช่แข็ง และสาหร่ายดองเกลือ

จากผลการศึกษาพบว่าสาหร่ายพวงองุ่นและสาหร่ายขนนกมีฤทธิ์การยับยั้งเอนไซม์ α -glucosidase ได้สอดคล้องกับ Fajriah et al. (2021) ได้ทดสอบฤทธิ์ต้านเบาหวานต่อเอนไซม์ α -glucosidase ของสาหร่ายพวงองุ่น พบว่าสามารถยับยั้งเอนไซม์ α -glucosidase ได้ โดยมีค่า EC_{50} เท่ากับ $134.81 \pm 2.0 \mu\text{g/mL}$ จากการศึกษาแสดงให้เห็นว่าสาหร่ายพวงองุ่นและสาหร่ายขนนกมีศักยภาพในการยับยั้งเอนไซม์ α -glucosidase ซึ่งอาจนำมาศึกษาต่อเพื่อให้สำหรับผู้ป่วยโรคเบาหวานชนิดที่ 2 ได้



บทสรุป

ปริมาณสารประกอบฟีนอล ฟลาโวนอยด์ ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ และฤทธิ์ในการยับยั้งเอนไซม์ tyrosinase และ α -glucosidase ของสารสกัดด้วยเอทานอลจากสาหร่ายพวงองุ่นและสาหร่ายขนนก ขึ้นอยู่กับชนิดของสาหร่าย และฤดูกาลที่เก็บตัวอย่าง สารสกัดจากสาหร่ายขนนกมีปริมาณสารประกอบฟีนอล ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ และการยับยั้งเอนไซม์ tyrosinase มากกว่าสาหร่ายพวงองุ่น อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ สาหร่ายขนนกที่เก็บในเดือนมกราคม มีปริมาณสารประกอบฟีนอล ฟลาโวนอยด์ ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ และการยับยั้งเอนไซม์ tyrosinase ที่สูง ขณะที่ในเดือนเมษายนมีปริมาณสารประกอบฟีนอล และมีฤทธิ์การยับยั้งเอนไซม์ α -glucosidase ที่สูง จากผลการศึกษาจะเห็นว่าสารสกัดจากสาหร่ายพวงองุ่นและสาหร่ายขนนกมีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระและมีฤทธิ์ทางชีวภาพสูง จึงจัดเป็นอาหารที่มีประโยชน์ทางโภชนาการ และเป็นอีกทางเลือกหนึ่งในการแปรรูปเป็นอาหารเพื่อสุขภาพและด้านอุตสาหกรรมยาต่อไป

กิตติกรรมประกาศ

การศึกษานี้ได้รับทุนสนับสนุนจากทุนสนับสนุนงานวิจัยมูลฐาน (Fundamental Fund) รหัสแผนงานวิจัย FF(KU)15.65

เอกสารอ้างอิง

- กองวิจัยและพัฒนาการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำชายฝั่ง. (2560). การแพร่กระจายของสาหร่ายพวงองุ่น การจัดการความรู้ การเพาะเลี้ยงและการจัดการสาหร่ายพวงองุ่นหลังการเก็บเกี่ยว จังหวัดเพชรบุรี.
- วสันต์ สุมินทิลี, ปณิดา บรรจงสินศิริ, จันทรา ไพโรบูรณ์, และวรรณวิมล คล้ายประดิษฐ์. (2557). กิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระของสารสกัดหยาบจากสาหร่ายพวงองุ่น (*Caulerpa lentillifera*) สาหร่ายทุ่น (*Sargassum oilgocystum*) และสาหร่ายเขากวาง (*Gracilaria changii*). วารสารเทคโนโลยีการอาหาร มหาวิทยาลัยสยาม, 9(1), 63–75.
- ศุภมาส สุทธิเนียม. (2552). การใช้สาหร่ายขนนก *Caulerpa sertularioides* บำบัดไนโตรเจนและฟอสฟอรัสในน้ำจากการเลี้ยงกุ้งขาวแวนนาไม *Penaeus vannamei* แบบพัฒนา [วิทยานิพนธ์ปริญญาโท]. มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์. <http://kb.psu.ac.th/psukb/handle/2010/6074>
- อรอนงค์ ศรีพาทกุล, มณฑกานติ ท้ามติม, และประพัฒน์ กอสวัสดิ์พัฒน์. (2564). การพัฒนาผลิตภัณฑ์ผงโรยข้าวปลาเสริมสาหร่ายพวงองุ่น. วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรธานี, 9(2), 69–82.
- อุไรวรรณ วัฒนกุล, วัฒนา วัฒนกุล, และมาโนช ขำเจริญ. (2562). คุณค่าทางโภชนาการและสารพฤกษเคมีที่สำคัญในสาหร่ายพวงองุ่น (*Caulerpa lentillifera*) ที่เลี้ยงด้วยระดับธาตุอาหารต่างกัน. รายงานการวิจัย คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการประมง, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย.



- Arguelles, E. D. L. R. (2021). Evaluation of antioxidant capacity, tyrosinase inhibition, and antibacterial activities of brown seaweed, *Sargassum ilicifolium* (Turner) C. Agardh 1820 for cosmeceutical application. *Journal of Fisheries and Environment*, 45, 64–77.
- Benzie, F. F., & Strain, J. J. (1996). The ferric reducing ability of plasma (FRAP) as a measure of “antioxidant power”: the FRAP assay. *Analytical Biochemistry*, 239(1), 70–76.
- Brand-Williams, W., Cuvelier, M. E., & Berset, C. (1995). Use of a free radical method to evaluate antioxidant activity. *LWT-Food Science and Technology*, 28(1), 25–30.
- Cheng, A. Y. Y., & Fantus, I. G. (2005). Oral antihyperglycemic therapy for type 2 diabetes mellitus. *Canadian Medicinal Association Journal*, 172(2), 213–226.
- de Melo, N. S. M., Cardoso, L. G., de Castro Nunes, J. M. C., Brito, G. B., Caires, T. A., de Souza, C. O., Portz, L., & Druzian J. I. (2021). Effects of dry and rainy seasons on the chemical composition of *Ulva fasciata*, *Crassiphycus corneus*, and *Sargassum vulgare* seaweeds in tropical environment. *Brazilian Journal of Botany*, 44, 331–344.
- Estrada, J. L., & Dioniso-sese, M. L. (2020). Sea Grapes (*Caulerpa* spp.) (Chlorophyta: Caulerpaceae) from Coron, Northern Palawan, Philippines with notes on their harvest and production. *Tropical Natural History*, 20(3), 255–264.
- Estrada, J. L., Bautista, N. S., & Dioniso-sese, M. L. (2020). Morphological variation of two common sea grapes (*Caulerpa lentillifera*) and (*Caulerpa racemose*) from selected regions in the Philippines. *Biodiversitas*, 21(5), 1823–1832.
- Fajriah, S., Rizki, I. F., & Sinurat, E. (2021). Characterization and analysis of the antidiabetic activities of sulphated polysaccharide extract from *Caulerpa lentillifera*. *Pharmacia*, 68(4), 869–875.
- Farvin, K. H. S., & Jacobsen, C. (2013). Phenolic compounds and antioxidant activities of selected species of seaweeds from Danish Coast. *Food Chemistry*, 138, 1670–1681.
- Ismail, M. F., Ramaiya, S. D., Zakaria, M. H., Ikhsan, N. F. M., & Awang, M. A. (2020). Mineral content and phytochemical properties of selected *Caulerpa* species from Malaysia. *Malaysia Journal of Science*, 39(3), 115–131.
- Kim, Y. J., & Uyama, H. (2005). Tyrosinase inhibitors from natural and synthetic source: structure, inhibition mechanism and prospective for the future. *Cellular and Molecular Life Sciences*, 62, 1707–1723.
- Kumar, S., Sahoo, D., & Levine, I. (2015). Assessment of nutritional value in a brown seaweed *Sargassum wightii* and their seasonal variations. *Algal Research*, 9, 117–125.



- Lewmanomont, K., & Hisao, O. (1995). *Common seaweeds and seagrasses of Thailand*. Faculty of Fisheries, Kasetsart University.
- Neagu, E., Radu, G. L., Albu, C., & Paun, G. (2016). Antioxidant activity, acetylcholinesterase and tyrosinase inhibitory potential of *Pulmonaria officinalis* and *Centarium umbellatum* extracts. *Saudi Journal of Biological Science*, 25, 578–585.
- Nguyen, D., Novakava, A., Spurna, K., Hricko, J., Phung, H., Viktorova, J., Stranska, M., Hajslova, J., & Ruml, T. (2017). Antidiabetic compounds in stem juice from banana. *Czech Journal of Food Science*, 35(5), 407–413.
- Pattarach, K., Mayakun, J., & Draisma, S. G. A. (2019). An enigmatic *Caulerpa macrodisca* Decaisne (Chlorophyta) from the mangrove channels on the Andaman Sea Coast of Thailand. *Journal of Fisheries and Environment*, 43(2), 27–42.
- Paul, N. A., Neveux, N., Magnusson, M., & de Nys, N. (2014). Comparative production and nutritional value of “sea grapes” the tropical green seaweeds *Caulerpa lentillifera* and *C. racemose*. *Journal of Applied Phycology*, 26, 1833–1844.
- Peinado, I., Girón, J., Koutsidis, G., & Ames, J. M. (2014) Chemical composition, antioxidant activity and sensory evaluation of five different species of brown edible seaweeds. *Food Research International*, 66, 36–44.
- Ratana-arporn, P., & Anong, C. (2006). Nutritional evaluation of tropical green seaweeds *Caulerpa lentillifera* and *Ulva reticulata*. *Kasetsart Journal – Natural Science*, 40, 75–83.
- Ryu, J. W., Lee, M. S., Yim, M. J., Lee, J. M., Lee, D. S., Kim, Y. M., & Eom, S. H. (2023). α -amylase and α -glucosidase inhibition effects of Korean edible brown, green, and red seaweed extracts. *Fisheries and Aquatic Science*, 26, 181–187.
- Sharma, S. L., Neves, J., Funderud, L.T., Mydland, M., & Verland, S. J. H. (2018). Seasonal and depth variations in the chemical composition of cultivated *Saccharina latissima*. *Algal Research*, 32, 107–112.
- Singleton, V. L., & Rossi, J. A. (1965). Colorimetry of total phenolics with phosphomolybdic-phosphotungstic acid reagents. *American Journal Enology Viticulture*, 16, 144–158.
- Solano, F., Briganti, S., Picardo, M., & Ghanem, G. (2006). Hypopigmenting agents: an updated review on biological, chemical and clinical aspects. *Pigment Cell Research*, 19, 550–571.
- Yap, F., Tay, V., Tan, H., Yow, Y., & Chew, J. (2019). Decoding antioxidant and antibacterial potentials of Malaysian green seaweeds: *Caulerpa racemosa* and *Caulerpa lentillifera*. *Antibiotics*, 8(3). <https://doi.org/10.3390/antibiotics8030152>



- Yen, G. C., & Chen, H. Y. (1995). Antioxidant activity of various tea extracts in relation to their antimutagenicity. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 43, 27–32.
- Zhishen, J., Mengcheng, T., & Jianming, W. (1999). The determination of flavonoid contents in mulberry and their scavenging effects on superoxide radicals. *Food Chemistry*, 64, 555–559.