



ใบรับรองวิทยานิพนธ์
บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต (วิทยาศาสตร์การประมง)

ปริญญา

วิทยาศาสตร์การประมง

ชีววิทยาประมง

สาขา

ภาควิชา

เรื่อง การผันแปรตามฤดูกาลขององค์ประกอบทางเคมี และฤทธิ์การยับยั้งอนุมูลอิสระในสาหร่าย
สีน้ำตาลสกุล *Sargassum* บริเวณหาดนางรอง จังหวัดชลบุรี

Seasonal Variation of Chemical Composition and Antioxidant Activities in Marine Brown
Algae Genus *Sargassum* from Nang Rong Beach, Chon Buri Province

นามผู้วิจัย นางสาวสุธาสิณี มนูญปรัชญาภรณ์

ได้พิจารณาเห็นชอบโดย

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

(อาจารย์จันทนา ไพรบูรณ์, ประ.ด.)

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม

(รองศาสตราจารย์อนงค์ จีระภัทร์, Ph.D.)

หัวหน้าภาควิชา

(รองศาสตราจารย์อนงค์ จีระภัทร์, Ph.D.)

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์รับรองแล้ว

(รองศาสตราจารย์กัญญา วีระกุล, D.Agr.)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

วันที่ เดือน พ.ศ.

วิทยานิพนธ์

เรื่อง

การผันแปรตามฤดูกาลขององค์ประกอบทางเคมี และฤทธิ์การยับยั้งอนุมูลอิสระในสาหร่าย
สีน้ำตาลสกุล *Sargassum* บริเวณหาดนางรอง จังหวัดชลบุรี

Seasonal Variation of Chemical Composition and Antioxidant Activities in Marine Brown Algae
Genus *Sargassum* from Nang Rong Beach, Chon Buri Province

โดย

นางสาวสุธาสิณี มนูญปรัชญาภรณ์

เสนอ

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

เพื่อความสมบูรณ์แห่งปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (วิทยาศาสตรการประมง)

พ.ศ. 2557

สุชาติณี มนูญปรัชญาภรณ์ 2558: ความผันแปรตามฤดูกาลขององค์ประกอบทางเคมี และ
ฤทธิ์การยับยั้งอนุมูลอิสระในสาหร่ายสีน้ำตาลสกุล *Sargassum* บริเวณหาดนางรอง
จังหวัดชลบุรี ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (วิทยาศาสตร์การประมง) สาขา
วิทยาศาสตร์การประมง ภาควิชาชีววิทยาประมง อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก:
อาจารย์จันทนา ไพรบุรณ์, ปร.ด. 151 หน้า

การศึกษาองค์ประกอบทางเคมี ความสัมพันธ์ระหว่างองค์ประกอบทางเคมีกับปัจจัย
สิ่งแวดล้อม และฤทธิ์ในการยับยั้งอนุมูลอิสระของสาหร่าย *Sargassum aquifolium* (Turner) C.
Agardh และ *Sargassum oligocystum* Montagne บริเวณหาดนางรอง อำเภอสัตหีบ จังหวัดชลบุรี
โดยเก็บตัวอย่างใน 3 ฤดูกาล ฤดูกาลละ 1 ครั้ง พบว่า *S. oligocystum* มีคุณค่าทางโภชนาการหลาย
ชนิดสูงกว่า *S. aquifolium* ได้แก่ โปรตีน กรดอะมิโน คาร์โบไฮเดรต ใยอาหาร แร่ธาตุ และวิตามิน
ซี ซึ่งคุณค่าทางโภชนาการเหล่านี้มักพบปริมาณมากในฤดูก่อนมรสุม (พฤษภาคม) นอกจากนี้ใน
S. aquifolium พบความสัมพันธ์ในเชิงลบระหว่างใยอาหารกับปัจจัยสิ่งแวดล้อม คือ ความลึก ความ
เป็นกรดเป็นด่าง และความชุ่มชื้น และปริมาณไขมันใน *S. oligocystum* มีความสัมพันธ์ในเชิงลบกับ
ความลึก และความชุ่มชื้น และเชิงบวกกับความเป็นกรดเป็นด่าง

จากการศึกษาความสามารถในการยับยั้งอนุมูล DPPH[•] ความสามารถในการรีดิวซ์ และ
ยับยั้งอนุมูล OH[•] พบว่าสารสกัดหยาบจากสาหร่าย *S. oligocystum* มีความสามารถในการยับยั้ง
อนุมูลอิสระทั้ง 3 วิธีการ ได้ดีกว่าสารสกัดหยาบจากสาหร่าย *S. aquifolium* เมื่อนำสารสกัดหยาบ
ของสาหร่ายทั้ง 2 ชนิด มาสกัดด้วยตัวทำละลายได้ส่วนสกัดย่อย 4 ส่วน ได้แก่ ปีโตรเลียมอี
เทอร์ (PE) เอทิลอะซิเตท (EA) นอร์มัลบิวทานอล (BU) สารละลายที่เหลืออยู่ (AQ) ตามลำดับ โดย
ส่วนสกัดย่อย EA ใน *S. aquifolium* และ PE ใน *S. oligocystum* มีความสามารถในการยับยั้งอนุมูล
DPPH[•] และ OH[•] ได้มากที่สุด และให้ผลดีกว่าสารต้านอนุมูลอิสระมาตรฐาน (BHT และ L-
ascorbic acid) ขณะที่ส่วนสกัดย่อย PE ใน *S. aquifolium* และ EA ใน *S. oligocystum* มี
ความสามารถในการรีดิวซ์ได้มากที่สุด แสดงให้เห็นว่าสารสำคัญที่มีส่วนในการออกฤทธิ์ยับยั้ง
อนุมูลอิสระจากสาหร่ายทั้ง 2 ชนิด เป็นสารที่จัดอยู่ในกลุ่มที่มีขั้วน้อยจนถึงมีขั้วปานกลาง

ลายมือชื่อนิติสด

ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

Suthasinee Manoonphatyaporn 2015: Seasonal Variation of Chemical Composition and Antioxidant Activities in Marine Brown Algae Genus *Sargassum* from Nang Rong Beach, Chon Buri Province. Master of Science (Fisheries Science), Major Field: Fisheries Science, Department of Fishery Biology. Thesis Advisor: Miss Jantana Praiboon, Ph.D. 151 pages.

Chemical composition, relationship between chemical composition and environmental factors, and antioxidant activities of *S. aquifolium* (Turner) C. Agardh and *S. oligocystum* Montagne from Nang Rong Beach, Chon Buri Province were studied. Samples were harvested three times representing three seasons. The results showed that *S. oligocystum* has more nutritional values (i.e. protein, amino acid, carbohydrate, fiber, minerals, and vitamin C) than *S. aquifolium*. Furthermore, nutritional values in both species were the highest during pre-monsoon (May). Fiber content of *S. aquifolium* had negative correlations with depth, pH, and turbidity. In addition, lipid content of *S. oligocystum* showed negative correlations with depth and turbidity, but had positive correlation with pH.

Antioxidant activities were evaluated by using the DPPH radical scavenging, reducing power and hydroxyl radical scavenging methods. The crude extract of *S. oligocystum* showed better antioxidant activities than *S. aquifolium* in all testing methods. The crude extracts of both species were partitioned into four fractions: petroleum ether (PE), ethyl acetate (EA), n-butanol (BU), and aqueous residue (AQ). EA fraction of *S. aquifolium* and PE fraction of *S. oligocystum* showed higher DPPH[•] and OH[•] radical scavenging activities than other fractions and positive controls (BHT and L-ascorbic acid), while PE fraction of *S. aquifolium* and EA fraction of *S. oligocystum* had higher reducing power abilities than other fractions. These results indicated that the active compounds with high antioxidant activities in these seaweeds were low and medium polar components.

Student's signature

Thesis Advisor's signature

___/___/___

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบคุณศูนย์นานาชาติสิรินธรเพื่อการวิจัยพัฒนา และถ่ายทอดเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ที่ได้สนับสนุนทุนบางส่วนเพื่อการวิจัยในครั้งนี้ ขอขอบพระคุณอาจารย์ ดร. จันทนา ไพโรบูรณ์ ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก และรองศาสตราจารย์ ดร. อนงค์จิรภัทร์ ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม ที่ได้ให้คำปรึกษาทั้งด้านในการเรียน การศึกษาวิจัย ตลอดจนการตรวจแก้ไขวิทยานิพนธ์จนกระทั่งเสร็จสมบูรณ์ และกราบขอบพระคุณรองศาสตราจารย์ชัชรี แก้วสุรลิขิต ประธานกรรมการสอบ และผู้ช่วยศาสตราจารย์ระพีพร เรืองช่วย ผู้ทรงคุณวุฒิ ที่ให้ความกรุณาตรวจแก้ไขวิทยานิพนธ์ให้เสร็จสมบูรณ์ยิ่งขึ้น

ขอกราบขอบพระคุณคณาจารย์ภาควิชาชีววิทยาประมงในการอบรมสั่งสอนความรู้ และขอขอบคุณคุณ ไศรดาภรณ์ พิมลา สำหรับคำแนะนำต่างๆ ระหว่างการศึกษา และคุณกรินทร์ สว่างเดชารักษ์ สำหรับคำแนะนำ และช่วยเหลือในด้านงานวิจัย

และสุดท้ายขอขอบพระคุณคุณพ่อ คุณแม่ ที่ได้ให้การสนับสนุนในด้านการศึกษา เพื่อนๆ และบุคคลอื่นๆ ที่อาจมิได้เอ่ยนาม ที่คอยเป็นกำลังใจให้ผู้วิจัยผ่านพ้นอุปสรรค และปัญหาได้ด้วยดี

สุชาลีณี มนูญปรัชญาภรณ์
พฤษภาคม 2558

สารบัญ

หน้า

สารบัญ	(1)
สารบัญตาราง	(2)
สารบัญภาพ	(4)
คำนำ	1
วัตถุประสงค์	3
การตรวจเอกสาร	4
อุปกรณ์และวิธีการ	32
อุปกรณ์	32
วิธีการ	36
ผลและวิจารณ์	44
สรุปและข้อเสนอแนะ	92
สรุป	92
ข้อเสนอแนะ	94
เอกสารและสิ่งอ้างอิง	96
ภาคผนวก	114
ภาคผนวก ก วิธีการวิเคราะห์คุณสมบัติของน้ำ	115
ภาคผนวก ข วิธีการวิเคราะห์ห้องค์ประกอบทางเคมี	121
ภาคผนวก ค กราฟแสดงความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ	136
ประวัติการศึกษา และการทำงาน	151

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
1 ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกที่พบในผักและผลไม้	21
2 สเทอโรลชนิดหลักที่พบในสิ่งมีชีวิต	24
3 ปริมาณกรดอะมิโนไม่จำเป็น (mg/100g ของน้ำหนักแห้ง) ในสาหร่าย <i>S. aquifolium</i> และ <i>S. oligocystum</i>	47
4 ปริมาณกรดอะมิโนจำเป็น (mg/100g ของน้ำหนักแห้ง) และปริมาณกรดอะมิโนทั้งหมดในสาหร่าย <i>S. aquifolium</i> และ <i>S. oligocystum</i>	48
5 ปริมาณกรดอะมิโนจำเป็นโดยเฉลี่ย (mg/g) ในสาหร่าย <i>S. aquifolium</i> และ <i>S. oligocystum</i>	50
6 ปริมาณแร่ธาตุหลัก (mg/g ของน้ำหนักแห้ง) ในสาหร่าย <i>S. aquifolium</i> และ <i>S. oligocystum</i> และอัตราส่วนระหว่าง Na/K	56
7 การเปรียบเทียบปริมาณแร่ธาตุหลัก (mg/g ของน้ำหนักแห้ง) จากสาหร่ายสกุล <i>Sargassum</i>	59
8 ปริมาณแร่ธาตุรอง ($\mu\text{g/g}$ ของน้ำหนักแห้ง) ในสาหร่าย <i>S. aquifolium</i> และ <i>S. oligocystum</i>	61
9 การเปรียบเทียบปริมาณแร่ธาตุรอง ($\mu\text{g/g}$ ของน้ำหนักแห้ง) จากสาหร่ายสกุล <i>Sargassum</i>	63
10 ปริมาณแร่ธาตุหลักในสาหร่าย 8 กรัม เทียบกับปริมาณแร่ธาตุที่ควรได้รับประจำวัน	64
11 ปริมาณแร่ธาตุรองในสาหร่าย 8 กรัม เทียบกับปริมาณแร่ธาตุที่ควรได้รับประจำวัน	65
12 สมบัติทางกายภาพและเคมีของน้ำทะเลบริเวณหาดนางรอง	70
13 ความยาวของลำต้น (mean \pm SD) และดัชนีความสมบูรณ์พันธุ์ (maturity index) ของสาหร่าย <i>S. aquifolium</i> และ <i>S. oligocystum</i>	74
14 ความสัมพันธ์ระหว่างองค์ประกอบทางเคมีกับปัจจัยสิ่งแวดล้อมในสาหร่าย <i>S. aquifolium</i>	77

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่		หน้า
15	ความสัมพันธ์ระหว่างองค์ประกอบทางเคมีกับปัจจัยสิ่งแวดล้อมในสาหร่าย <i>S. oligocystum</i>	79
16	ปริมาณสารสกัดจากการสกัดด้วยเมทานอล (% ของสาหร่ายแห้ง) และการสกัดด้วยตัวทำละลาย (% ของสารสกัดเมทานอล) ในสาหร่าย <i>S. aquifolium</i> และ <i>S. oligocystum</i>	84
17	ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกจากสารสกัดด้วยเมทานอล และการสกัดด้วยตัวทำละลาย (mg PGE/g extract) ของสาหร่าย <i>S. aquifolium</i> และ <i>S. oligocystum</i>	85
18	ความสามารถในการต้านอนุมูล DPPH [•] (EC ₅₀) ของสารสกัดเมทานอล และการสกัดด้วยตัวทำละลาย (μg/ml) ในสาหร่าย <i>S. aquifolium</i> และ <i>S. oligocystum</i>	87
19	ความสามารถในการรีดิวซ์อนุมูลอิสระของสารสกัดเมทานอล และการสกัดด้วยตัวทำละลาย (mg AAE/g ของน้ำหนักแห้ง) ในสาหร่าย <i>S. aquifolium</i> และ <i>S. oligocystum</i>	88
20	ความสามารถในการต้านอนุมูล OH [•] (EC ₅₀) ของสารสกัดเมทานอล และการสกัดด้วยตัวทำละลาย (μg/ml) ในสาหร่าย <i>S. aquifolium</i> และ <i>S. oligocystum</i>	90
ตารางผนวกที่		
ข1	ปริมาณคุณค่าทางอาหารโดยประมาณ (% ของน้ำหนักแห้ง) ในสาหร่าย <i>S. aquifolium</i>	132
ข2	ปริมาณคุณค่าทางอาหารโดยประมาณ (% ของน้ำหนักแห้ง) ในสาหร่าย <i>S. oligocystum</i>	132
ข3	ปริมาณแร่ธาตุอ้างอิงที่ควรได้รับประจำวันสำหรับคนไทย	133

สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
1	ลักษณะแทลลัสของสาหร่าย <i>S. aquifolium</i> (ก) และ <i>S. oligocystum</i> (ข)	6
2	วัฏจักรชีวิตของสาหร่าย <i>Sargassum</i>	8
3	โครงสร้างพื้นฐานของฟลาโวนอยด์กลุ่มต่างๆ	16
4	ตัวอย่างของกรดฟีนอลิกที่พบในธรรมชาติ	17
5	โมเลกุลแทนนิน	18
6	ตัวอย่างโครงสร้างของฟลูโรแทนนินที่พบในสาหร่ายสีน้ำตาล	19
7	โครงสร้างของเทอพินที่พบทั่วไปในธรรมชาติ	23
8	ภาพถ่ายทางอากาศ แสดงลักษณะพื้นที่ของหาดนางรอง	30
9	ลักษณะชายหาดของหาดนางรอง	31
10	แสดงขั้นตอนการสกัดด้วยตัวทำละลายโดยที่ ME = เมทานอล (Methanol), PE = ปีโตรเลียมอีเธอร์ (Petroleum ether), EA = เอทิลอะซิเตท (Ethyl acetate), BU = นอร์มัลบิวทานอล (N-butanol) และ AQ = สารละลาย (Aqueous)	41
11	ปริมาณโปรตีน (%ของน้ำหนักแห้ง) ของสาหร่าย <i>S. aquifolium</i> และ <i>S. oligocystum</i>	44
12	ปริมาณคาร์โบไฮเดรต (%ของน้ำหนักแห้ง) ของสาหร่าย <i>S. aquifolium</i> และ <i>S. oligocystum</i>	51
13	ปริมาณไขมัน (%ของน้ำหนักแห้ง) ของสาหร่าย <i>S. aquifolium</i> และ <i>S. oligocystum</i>	52
14	ปริมาณใยอาหาร (%ของน้ำหนักแห้ง) ของสาหร่าย <i>S. aquifolium</i> และ <i>S. oligocystum</i>	54
15	ปริมาณเถ้า (%ของน้ำหนักแห้ง) ของสาหร่าย <i>S. aquifolium</i> และ <i>S. oligocystum</i>	55
16	ปริมาณแร่ธาตุหลัก (mg/g ของน้ำหนักแห้ง) ในสาหร่าย <i>S. aquifolium</i> (ก) และ <i>S. oligocystum</i> (ข)	58
17	ปริมาณแร่ธาตุรอง ($\mu\text{g/g}$ ของน้ำหนักแห้ง) ในสาหร่าย <i>S. aquifolium</i> (ก) และ <i>S. oligocystum</i> (ข)	62
18	ปริมาณวิตามินซี (mg/100g ของน้ำหนักแห้ง) ในสาหร่าย <i>S. aquifolium</i> และ <i>S. oligocystum</i>	66

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่	หน้า
19 ปริมาณสารประกอบฟีนอลิก (mg/g ของน้ำหนักแห้ง) ในสาหร่าย <i>S. aquifolium</i> และ <i>S. oligocystum</i>	68
20 สาหร่าย <i>S. aquifolium</i> ในเดือนกุมภาพันธ์ พฤษภาคม และสิงหาคม	73
21 สาหร่าย <i>S. oligocystum</i> ในเดือนกุมภาพันธ์ พฤษภาคม และสิงหาคม	76
ภาพผนวกที่	
ก1 กราฟมาตรฐานของสารละลายไนไตรท์	117
ก2 กราฟมาตรฐานของสารละลายไนเตรท	119
ข1 กราฟมาตรฐานของสารละลายฟลูโรกลูซินอล (phloroglucinol)	134
ข2 กราฟมาตรฐานของสารละลายกรดแอสคอร์บิก (L-ascorbic acid)	135
ค1 ความสามารถในการต้านอนุมูล DPPH [•] (% scavenging) ของสารต้านอนุมูลอิสระมาตรฐาน BHT	137
ค2 ความสามารถในการต้านอนุมูล DPPH [•] (% scavenging) ของสารต้านอนุมูลอิสระมาตรฐาน L-ascorbic acid	137
ค3 ความสามารถในการต้านอนุมูล DPPH [•] (% scavenging) ของสารสกัดเมทานอลจากสาหร่าย <i>S. aquifolium</i>	138
ค4 ความสามารถในการต้านอนุมูล DPPH [•] (% scavenging) ของส่วนสกัดย่อย PE จากสาหร่าย <i>S. aquifolium</i>	138
ค5 ความสามารถในการต้านอนุมูล DPPH [•] (% scavenging) ของส่วนสกัดย่อย EA จากสาหร่าย <i>S. aquifolium</i>	139
ค6 ความสามารถในการต้านอนุมูล DPPH [•] (% scavenging) ของส่วนสกัดย่อย BU จากสาหร่าย <i>S. aquifolium</i>	139
ค7 ความสามารถในการต้านอนุมูล DPPH [•] (% scavenging) ของส่วนสกัดย่อย AQ จากสาหร่าย <i>S. aquifolium</i>	140

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพผนวกที่	หน้า
ค8 ความสามารถในการต้านอนุมูล DPPH [•] (% scavenging) ของสารสกัดเมทานอล จากสาหร่าย <i>S. oligocystum</i>	140
ค9 ความสามารถในการต้านอนุมูล DPPH [•] (% scavenging) ของส่วนสกัดย่อย PE จากสาหร่าย <i>S. oligocystum</i>	141
ค10 ความสามารถในการต้านอนุมูล DPPH [•] (% scavenging) ของส่วนสกัดย่อย EA จากสาหร่าย <i>S. oligocystum</i>	141
ค11 ความสามารถในการต้านอนุมูล DPPH [•] (% scavenging) ของส่วนสกัดย่อย BU จากสาหร่าย <i>S. oligocystum</i>	142
ค12 ความสามารถในการต้านอนุมูล DPPH [•] (% scavenging) ของส่วนสกัดย่อย AQ จากสาหร่าย <i>S. oligocystum</i>	142
ค13 ความสามารถในการต้านอนุมูล OH [•] (% scavenging) ของสารต้านอนุมูลอิสระ มาตรฐาน L-ascorbic acid	143
ค14 ความสามารถในการต้านอนุมูล OH [•] (% scavenging) ของสารสกัดเมทานอล จากสาหร่าย <i>S. aquifolium</i>	143
ค15 ความสามารถในการต้านอนุมูล OH [•] (% scavenging) ของส่วนสกัดย่อย PE จากสาหร่าย <i>S. aquifolium</i>	144
ค16 ความสามารถในการต้านอนุมูล OH [•] (% scavenging) ของส่วนสกัดย่อย EA จากสาหร่าย <i>S. aquifolium</i>	144
ค17 ความสามารถในการต้านอนุมูล OH [•] (% scavenging) ของส่วนสกัดย่อย BU จากสาหร่าย <i>S. aquifolium</i>	145
ค18 ความสามารถในการต้านอนุมูล OH [•] (% scavenging) ของส่วนสกัดย่อย AQ จากสาหร่าย <i>S. aquifolium</i>	145
ค19 ความสามารถในการต้านอนุมูล OH [•] (% scavenging) ของสารสกัดเมทานอล จากสาหร่าย <i>S. oligocystum</i>	146

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพผนวกที่	หน้า
ค20 ความสามารถในการต้านอนุมูล OH [•] (% scavenging) ของส่วนสกัดย่อย PE จากสาหร่าย <i>S. oligocystum</i>	146
ค21 ความสามารถในการต้านอนุมูล OH [•] (% scavenging) ของส่วนสกัดย่อย EA จากสาหร่าย <i>S. oligocystum</i>	147
ค22 ความสามารถในการต้านอนุมูล OH [•] (% scavenging) ของส่วนสกัดย่อย BU จากสาหร่าย <i>S. oligocystum</i>	147
ค23 ความสามารถในการต้านอนุมูล OH [•] (% scavenging) ของส่วนสกัดย่อย AQ จากสาหร่าย <i>S. oligocystum</i>	148
ค24 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณสารประกอบฟีนอลิก กับฤทธิ์ในการต้านอนุมูลอิสระ (EC ₅₀) ที่ตรวจสอบด้วยวิธี DPPH ของสารสกัดจากสาหร่าย <i>S. aquifolium</i>	148
ค25 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณสารประกอบฟีนอลิก กับฤทธิ์ในการต้านอนุมูลอิสระ (EC ₅₀) ที่ตรวจสอบด้วยวิธี DPPH ของสารสกัดจากสาหร่าย <i>S. oligocystum</i>	149
ค26 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณสารประกอบฟีนอลิก กับฤทธิ์ในการต้านอนุมูลอิสระ (EC ₅₀) ที่ตรวจสอบด้วยวิธี Hydroxyl ของสารสกัดจากสาหร่าย <i>S. aquifolium</i>	149
ค27 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณสารประกอบฟีนอลิก กับฤทธิ์ในการต้านอนุมูลอิสระ (EC ₅₀) ที่ตรวจสอบด้วยวิธี Hydroxyl ของสารสกัดจากสาหร่าย <i>S. oligocystum</i>	150

การผันแปรตามฤดูกาลขององค์ประกอบทางเคมี และฤทธิ์การยับยั้งอนุมูลอิสระใน
สาหร่ายสีน้ำตาลสกุล *Sargassum* บริเวณหาดนางรอง จังหวัดชลบุรี

Seasonal Variation of Chemical Composition and Antioxidant Activities in
Marine Brown Algae Genus *Sargassum* from Nang Rong Beach, Chon Buri
Province

คำนำ

สาหร่ายทุ่นมีชื่อสกุลว่า *Sargassum* C. Agardh ทั่วโลกพบสาหร่ายสกุลนี้ประมาณ 400 ชนิด แพร่กระจายอยู่ตามเขตอบอุ่นและเขตร้อน โดยเฉพาะอย่างยิ่งในบริเวณฝั่งตะวันตกของมหาสมุทรแปซิฟิก และออสเตรเลีย สำหรับในประเทศไทยพบสาหร่ายสกุลนี้แพร่กระจายตลอดแนวชายฝั่งทะเลทั้งอันดามันและอ่าวไทย (Noiraksar and Ajisaka, 2008) สาหร่ายสกุลนี้มีการนำมาใช้ประโยชน์โดยชาวจีนมานานกว่า 2,000 ปี โดยใช้เป็นยา และอาหาร โดยเฉพาะแก้โรคคอหอยพอก และลดไข้ (กาญจนภานันท์, 2548) นอกจากนี้ยังพบว่าสาหร่ายสกุลนี้อุดมไปด้วยสารอาหารที่มีประโยชน์ต่อร่างกาย ได้แก่ โปรตีน วิตามิน โยอาหาร แร่ธาตุ และกรดไขมัน (Haque *et al.*, 2009; Matanjun *et al.*, 2009) และสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพอีกมากมาย ได้แก่ สารประกอบฟีนอลิก (phenolic compounds) เปปไทด์ (peptides) และพอลิแซ็กคาไรด์ (polysaccharides) เป็นต้น ในทางอุตสาหกรรมนิยมนำสาหร่ายชนิดนี้มาเป็นวัตถุดิบในการสกัดสารพอลิแซ็กคาไรด์ ได้แก่ แอลจีเนต (alginate) ลามินาแรน (laminaran) และฟูคอยแดน (fucoidan) ซึ่งสารเหล่านี้นำมาใช้เป็นส่วนประกอบในอุตสาหกรรมต่างๆ เช่น อุตสาหกรรมอาหาร และอุตสาหกรรมกระดาษ เป็นต้น สำหรับในประเทศไทยมีการใช้ประโยชน์จากสาหร่ายสกุลนี้ไม่มากนัก โดยจำกัดเฉพาะชาวบ้านที่อาศัยอยู่ตามเกาะ และบริเวณใกล้ทะเลเท่านั้นที่นิยมนำสาหร่ายสกุลนี้มาใช้ในการประกอบอาหาร

จากการศึกษาที่ผ่านมาพบว่าสาหร่ายสกุล *Sargassum* ประกอบด้วยสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพ ได้แก่ มีโรเทอร์พีนอยด์ (meroterpenoids) ฟลูโรแทนนิน (phlorotannin) พอลิแซ็กคาไรด์ (polysaccharides) และอื่นๆ ซึ่งมีความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ (Zahra *et al.*, 2007; Liu *et al.*, 2012; Luo *et al.*, 2010) โดยอนุมูลอิสระเป็นปัจจัยที่ก่อให้เกิดความเสื่อมต่างๆ ในร่างกาย และความเสื่อมนี้อาจก่อให้เกิดโรคต่างๆ ได้ เช่น โรคชรา โรคมะเร็ง โรคหัวใจขาดเลือด โรคความจำเสื่อม โรคข้ออักเสบ โรคภูมิแพ้ โรคความดันโลหิต โรคเหนือก โรคเกี่ยวกับสายตา เกิด

ความผิดปกติของปอด และระบบประสาท เป็นต้น (บุหรัน, 2556) ทำให้นักวิจัยทั้งในและต่างประเทศหันมาสนใจสารออกฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระจากสาหร่ายสกุลนี้มากขึ้น

นอกจากนี้ยังมีรายงานว่า การเปลี่ยนแปลงตามฤดูกาลของปัจจัยแวดล้อมต่างๆ มีอิทธิพลต่อการตอบสนองทางด้านเมตาบอลิซึมของสาหร่าย เช่น การสังเคราะห์แสง และอัตราการเจริญเติบโต (Orduna-Rojas *et al.*, 2002) ส่งผลให้ปริมาณขององค์ประกอบทางเคมีต่างๆ ที่กล่าวมาข้างต้น สามารถผันแปรไปตามฤดูกาล (Ito and Hori, 1989) เช่น โพรตีนมักพบปริมาณสูงในช่วงที่การชะล้างธาตุอาหารในแผ่นดินมายังทะเล (Harnedy and FitzGerald, 2011) ปริมาณคาร์โบไฮเดรตจะพบสูงสุดในช่วงที่มีอุณหภูมิ และความเข้มแสงสูง (Rosemberg and Ramus, 1982; Rotem *et al.*, 1986) และปริมาณไขมันทั้งหมด และสารประกอบฟีนอลิกจะเพิ่มสูงขึ้นในช่วงฤดูร้อน (Connan *et al.*, 2004; Narayan *et al.*, 2006)

ดังนั้นการศึกษานี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาข้อมูลพื้นฐานด้านองค์ประกอบทางเคมี ความสัมพันธ์ระหว่างองค์ประกอบทางเคมีกับปัจจัยสิ่งแวดล้อม และความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระจากสาหร่ายสกุลนี้ โดยผลจากการศึกษานี้จะทำให้สามารถเลือกใช้ประโยชน์จากทรัพยากรได้ตรงกับความต้องการ เหมาะสมกับช่วงเวลา สามารถนำไปประยุกต์ใช้ในการพัฒนาเพื่อเป็นอาหารเสริมสุขภาพในอนาคต และเพื่อใช้ในการวางแผนการใช้ประโยชน์จากทรัพยากรได้อย่างยั่งยืนต่อไป

วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาและเปรียบเทียบปริมาณองค์ประกอบทางเคมีที่มีคุณค่าทางโภชนาการในสาหร่าย *Sargassum aquifolium* และ *S. oligocystum*
2. เพื่อศึกษาถึงความสัมพันธ์ระหว่างองค์ประกอบทางเคมีของสาหร่าย *S. aquifolium* และ *S. oligocystum* กับปัจจัยสิ่งแวดล้อม
3. เพื่อศึกษาชนิดของตัวทำลายที่มีผลต่อปริมาณสารประกอบฟีนอลิก และฤทธิ์ในการต้านอนุมูลอิสระที่พบในสาหร่าย *S. aquifolium* และ *S. oligocystum*

การตรวจเอกสาร

สาหร่าย หมายถึง พืชชั้นต่ำที่มีคลอโรพลาสต์ ไม่มีส่วนราก ลำต้น และใบที่แท้จริง มีขนาดตั้งแต่เล็กมากประกอบด้วยเซลล์เดี่ยว ซึ่งมองไม่เห็นด้วยตาเปล่า ต้องดูด้วยกล้องจุลทรรศน์ จนถึงขนาดใหญ่ที่ประกอบด้วยเซลล์จำนวนมาก อาจมีลักษณะเป็นเส้นสาย (filament) หรือคล้ายพืชชั้นสูง โดยเรียกส่วนที่คล้ายราก ลำต้น และใบ รวมกันว่า แทลลัส (thallus) (กาญจนภาชน์, 2527)

1. สาหร่ายสีน้ำตาลสกุล *Sargassum*

1.1 การจำแนกชนิดตามหลักอนุกรมวิธาน

สาหร่ายสกุล *Sargassum* เป็นสาหร่ายสีน้ำตาล มีชื่อภาษาไทยว่าสาหร่ายพูน หรือสาหร่ายใบ มีชื่อสามัญว่า gulf weed (Niermann, 1986) และมีการจัดอันดับทางอนุกรมวิธานดังนี้

Division : Ochrophyta

Class : Phaeophyceae

Order : Fucales

Family : Sargassaceae

Genus : *Sargassum*

1.2 ลักษณะทั่วไปของสาหร่ายสกุล *Sargassum*

สาหร่ายสกุล *Sargassum* แทลลัสมีลักษณะเหมือนพืชชั้นสูง มีส่วนที่เป็นรากสำหรับยึดเกาะ ตั้งตรง บางชนิดแตกแขนงได้มากจนเป็นพุ่ม แกนของต้นมีลักษณะกลมหรือแบน เบลดมีลักษณะเหมือนใบไม้ ขอบใบเป็นจักแหลม และมีแกนกลางใบ โคนใบมีตุ่มกลมเล็กๆ เกิดอยู่ (กาญจนภาชน์, 2527)

1.3 ลักษณะทั่วไปของสาหร่ายที่ใช้ในการศึกษาครั้งนี้

Sargassum aquifolium (Turner) C. Agardh (ภาพที่ 1 (ก))

สาหร่ายชนิดนี้มีการเปลี่ยนชื่อชนิดจากเดิมคือ *Sargassum binderi* Sonder ex J. Agardh เป็น *Sargassum aquifolium* สาหร่ายชนิดนี้มีรากยึดเกาะรูปถ้วย ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางสูงสุดเท่ากับ 12 มิลลิเมตร สไต้ปรูปทรงกระบอกผิวเรียบหรือขรุขระ มีเส้นผ่านศูนย์กลางสูงสุดเท่ากับ 3 มิลลิเมตร ยาวประมาณ 1 เซนติเมตร โดยมีแขนงแรก (primary branch) แดกออกจากสไต้ปเป็นวงโดยรอบประมาณ 6-8 แขนง แขนงมีลักษณะแบนเรียบ มีความยาวสูงสุดเท่ากับ 46 เซนติเมตร และกว้าง 5 มิลลิเมตร ใบมีขนาดใหญ่รูปหอกถึงรีวย ไม่สมมาตร ความยาวสูงสุดเท่ากับ 77 มิลลิเมตร และกว้าง 16 มิลลิเมตร เห็นเส้นกลางใบไม่ชัดเจน มีคริปโตสโตมา (cryptostoma) ขนาดเล็กกระจายอยู่ทั่วทั้งใบ ถุงลม (vesicle) มีขนาดกลมหรือรูปไข่ มี 2 เพศในต้นเดียวกัน อวัยวะสืบพันธุ์ (receptacle) มีลักษณะแบน และส่วนมากบิดเป็นเกลียว ความสูงสูงสุดเท่ากับ 18 มิลลิเมตร และกว้าง 2 มิลลิเมตร บริเวณขอบมีลักษณะเป็นหยักและคม เกิดขึ้นเดี่ยวๆ หรือแตกออกเป็นกิ่งก้าน (Noiraksar and Ajisaka, 2008)

Sargassum oligocystum Montagne (ภาพที่ 1 (ข))

สาหร่ายชนิดนี้มีรากยึดเกาะรูปถ้วย มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางสูงสุดเท่ากับ 12 มิลลิเมตร สไต้ปรูปทรงกระบอกผิวเรียบหรือขรุขระ มีเส้นผ่านศูนย์กลางสูงสุดเท่ากับ 4 มิลลิเมตร ยาวประมาณ 12 มิลลิเมตร โดยมีแขนงแรก (primary branch) แดกออกจากสไต้ปเป็นวงโดยรอบประมาณ 6-8 แขนง แขนงมีลักษณะแบนเรียบ มีความยาวสูงสุดเท่ากับ 49 เซนติเมตร และกว้าง 4 มิลลิเมตร ใบมีลักษณะเหมือนรูปหอก หรือใบพาย ไม่สมมาตร ความยาวสูงสุดเท่ากับ 54 มิลลิเมตร และกว้าง 18 มิลลิเมตร เห็นเส้นกลางใบไม่ชัดเจน มีคริปโตสโตมาขนาดเล็ก (cryptostoma) กระจายอยู่ทั่วทั้งใบ ถุงลม (vesicle) มีขนาดกลมหรือรูปไข่ มี 2 เพศในต้นเดียวกัน อวัยวะสืบพันธุ์ (receptacle) มีลักษณะค่อนข้างแบน ความยาวสูงสุดเท่ากับ 9 มิลลิเมตร และกว้าง 3 มิลลิเมตร มีลักษณะเป็นปุ่มปม อาจพบหนามที่บริเวณปลาย เกิดขึ้นเดี่ยวๆ หรือแตกออกเป็นกิ่งก้านได้ 2-3 ครั้ง (Noiraksar and Ajisaka, 2008)



ภาพที่ 1 ลักษณะแทลลัสของสาหร่าย *S. aquifolium* (ก) และ *S. oligocystum* (ข)

1.4 การแพร่กระจายของสาหร่ายสกุล *Sargassum*

สาหร่ายสีน้ำตาลสกุล *Sargassum* พบแพร่กระจายทั่วไปในเขตอบอุ่น และเขตร้อน โดยเฉพาะในบริเวณตะวันตกของเขตร้อนอินโด-แปซิฟิกและออสเตรเลีย โดยทั่วโลกพบสาหร่ายชนิดนี้ประมาณ 400 ชนิด (Tseng *et al.*, 1985) ในฟิลิปปินส์มีรายงานว่าพบสาหร่ายสกุล *Sargassum* ถึง 72 ชนิด (Silva *et al.*, 1987) ในญี่ปุ่นพบ 60 ชนิด (Haraguchi and Sekida, 2008) ในมาเลเซียพบสาหร่ายสกุลนี้ทั้งหมด 26 ชนิด (Zanardini, 1872; Phang and Yoshida, 1997; Ajisaka *et al.*, 1999; Ajisaka, 2002; Phang, 2006; Wong *et al.*, 2007) ในซาอุดีอาระเบียพบสาหร่ายสกุลนี้จำนวน 16 ชนิด แพร่กระจายตามแนวปะการัง ตามแนวชายฝั่งของอ่าว Arabian และอ่าว Saudi Arabia (Kareem, 2009) สำหรับในประเทศไทยพบสาหร่ายชนิดนี้แพร่กระจายตลอดแนวชายฝั่งโดยพบทั้งสิ้น 10 ชนิด ได้แก่ *S. baccularia*, *S. aquifolium*, *S. cinereum*, *S. crassifolium*, *S. longifructum*, *S. oligocystum*, *S. polycystum*, *S. siliquosum*, *S. swartzii* และไม่สามารถจำแนกชนิดได้อีก 1 ชนิด (Noiraksar and Ajisaka, 2008)

1.5 นิเวศวิทยาของสาหร่ายสกุล *Sargassum*

1.5.1 แหล่งอาศัย

สาหร่ายสกุล *Sargassum* โดยทั่วไปอาศัยอยู่ในพื้นที่น้ำท่วมตลอดในระดับกว่าน้ำลงต่ำสุด (subtidal) โดยพบใน 2 ลักษณะ คือ พบขึ้นยึดเกาะกับพื้นหิน หรือทราย (attached form) หรือตามแนวปะการัง โดยใช้ส่วนที่มีลักษณะคล้ายราก (holdfast) เป็นตัวยึดเกาะ และบางชนิดอาจลอยน้ำ (pelagic form) ได้ เช่น บริเวณ Sargasso sea ที่อยู่ทางตอนใต้ของหมู่เกาะเบอร์มิวดา ในมหาสมุทรแอตแลนติก ระหว่างทวีปยุโรป และอเมริกา มีกระแสน้ำอุ่น Gulf stream และ Equatorial current ไหลวนอยู่รอบๆ ซึ่งสามารถเจริญเติบโต และขยายพันธุ์โดยการขาดท่อน แต่ไม่สามารถเจริญพันธุ์แบบอาศัยเพศได้ (Bold and Wynne, 1978)

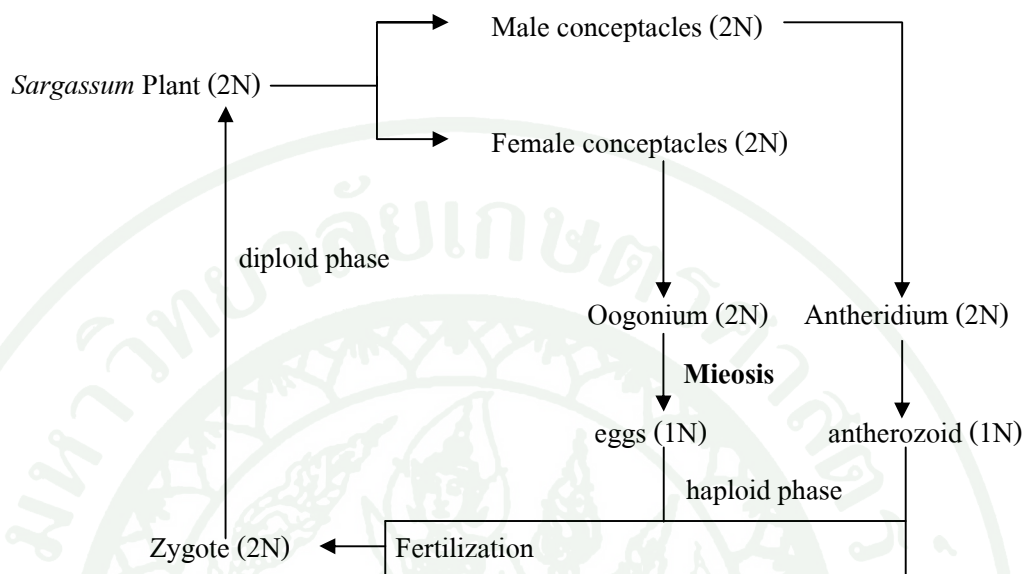
1.5.2 การสืบพันธุ์

สาหร่าย *Sargassum* สามารถสืบพันธุ์ได้ทั้งแบบอาศัยเพศ และแบบไม่อาศัยเพศ เมื่อถึงระยะสืบพันธุ์ จะสร้างริเซปตาเคิลเป็นกระจุกที่ปลายยอด หรือปลายแขนง ภายในริเซปตาเคิลจะมีลักษณะเป็นแอ่งขนาดเล็กที่เรียกว่า คอนเซปตาเคิล (conceptacle) ซึ่งเป็นที่ผลิตไข่ และสเปิร์ม โดยแอ่งของคอนเซปตาเคิลจะเปิดออก เพื่อปล่อยไข่ และสเปิร์มให้ลอยออกสู่น้ำ (Bold and Wynne, 1978) ส่วนการสืบพันธุ์แบบไม่อาศัยเพศจะเป็นการขาดท่อน โดยสามารถเจริญเติบโต และขยายพันธุ์ต่อไปได้

1.5.3 วัฏจักรชีวิต

สาหร่าย *Sargassum* มีวัฏจักรชีวิตแบบสปอร์ไฟต์เจเนอเรชัน (sporophyte generation หรือ diploid generation) (ภาพที่ 2) โดยเริ่มจากต้นสปอร์โอฟไฟต์ของ *Sargassum* ซึ่งมีจำนวนโครโมโซม 2 ชุด (diploid phase) จะสร้างอวัยวะสืบพันธุ์ที่มีลักษณะเป็นถุงที่เรียกว่า คอนเซปตาเคิล (conceptacle) ภายในจะมียูนิโลคูลา แกมีแทงเจียม ซึ่งถ้าเป็นเพศเมียจะเรียกว่า แมโครสปอแรนเจียม (macrosporangium) หรือ โอโอโกเนียม (oogonium) ถ้าเป็นเพศผู้เรียกว่า ไมโครสปอแรนเจียม (microsporangium) หรือ แอนเทอริเดียม (antheridium) โดยจะทำการแบ่งเซลล์แบบไมโอซิส (meiosis) ได้เป็นไข่ และแอนเทอโรซอइट (antherozoid) ซึ่งเป็นระยะที่มีจำนวนโครโมโซมชุด

เดี่ยว (haploid phase) เมื่อไข่ผสมกับแอนเทอโรซอยด์จะได้ไซโกตที่มีจำนวนโครโมโซม 2 ชุด ซึ่งจะงอกเป็นสปอโรไฟต์ต้นใหม่ต่อไปได้ (กาญจนภาชน์, 2527)



ภาพที่ 2 วัฏจักรชีวิตของสาหร่าย *Sargassum*

ที่มา: Vashishta (1973)

2. คุณค่าทางโภชนาการของสาหร่ายทะเล

สาหร่ายทะเลจัดเป็นแหล่งทรัพยากรที่มีคุณค่าทางโภชนาการหลายชนิด ทั้งที่มีประโยชน์ต่อคนและสัตว์ ไม่ว่าจะเป็นโปรตีน ใยอาหาร วิตามิน กรดไขมันไม่อิ่มตัว แร่ธาตุ ตลอดจนสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพ (Ortiz *et al.*, 2006) ซึ่งจากการรวบรวมเอกสาร พบว่าสาหร่ายทะเลมีคุณค่าทางโภชนาการ โดยมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

2.1 โปรตีน และกรดอะมิโน (proteins and amino acids)

โปรตีน และกรดอะมิโนที่พบในสาหร่ายทะเล จะมีความแตกต่างกันโดยขึ้นอยู่กับชนิด โดยในสาหร่ายสีน้ำตาลจะมีปริมาณโปรตีนในช่วง 5-15% ของน้ำหนักแห้ง เช่น *S. vulgare*, *S. horneri* และ *Colpomenia tomentosum* พบปริมาณโปรตีนในช่วง 9.18-19.93,

6.34-12.80 และ 6.13% ของน้ำหนักแห้ง ตามลำดับ (Marinho-Soriano *et al.*, 2005; Manivanna *et al.*, 2008; Murakami *et al.*, 2011) สำหรับสาหร่ายสีเขียว และสีแดงพบปริมาณ โปรตีนอยู่ในช่วง 10-30% ของน้ำหนักแห้ง ในสาหร่ายสีเขียว เช่น *Ulva* spp. จะพบโปรตีนในช่วง 15-20% ของน้ำหนักแห้ง และในสาหร่ายสีแดงบางชนิด เช่น *Palmaria palmata* (dulse) และ *Porphyra tenera* (nori) จะพบโปรตีนมากถึง 35 และ 47% ของน้ำหนักแห้ง ตามลำดับ และเมื่อนำมาเปรียบเทียบกับปริมาณโปรตีนที่พบในถั่วเหลือง (35% ของน้ำหนักแห้ง) จะเห็นได้ว่า *P. tenera* จะมีปริมาณโปรตีนที่สูงกว่า (Burtin, 2003)

กรดอะมิโนที่พบในสาหร่ายส่วนมากประกอบด้วย อะลานีน กรดอะมิโนบิวทีริก ทอรีน ออร์นิติน ซิทูลิน และไฮดรอกซีโพรลีน โดยปริมาณกรดอะมิโนจะแตกต่างกันไปขึ้นอยู่กับชนิดของสาหร่าย กรดอะมิโนจำเป็น (essential amino acid, EA) เช่น อาร์จินินจะพบปริมาณมากในสาหร่าย *Ulva pertusa*, *Undaria pinnatifida* และ *P. tenera* หรือไกลซีนจะพบใน *P. tenera* (Mabeau and Fleurence, 1993) โดยสาหร่าย *Sargassum* จะพบกรดอะมิโนจำเป็น ได้แก่ อาร์จินิน ทรีปโตเฟน และฟีนิลอะลานีน (Martin *et al.*, 2009)

2.2 คาร์โบไฮเดรต (carbohydrate)

คาร์โบไฮเดรต เป็นสารประกอบอินทรีย์ชนิดหนึ่งที่โมเลกุลประกอบด้วยคาร์บอน ไฮโดรเจน และออกซิเจน โดยไฮโดรเจน และออกซิเจน มีหน้าที่สำคัญคือ เป็นองค์ประกอบของโครงสร้างผนังเซลล์พืช และเป็นสารที่ให้พลังงานแก่เซลล์ของสิ่งมีชีวิต โดยอาศัยกระบวนการสังเคราะห์แสงในการสังเคราะห์คาร์โบไฮเดรตในรูปของน้ำตาลกลูโคส (นิธิยา, 2553) ปริมาณของคาร์โบไฮเดรตที่พบในสาหร่ายอยู่ในช่วง 24-44% ของน้ำหนักแห้ง (Manivanna *et al.*, 2008) ในปี 2008 Manivannan *et al.* ได้ทดสอบหาปริมาณคาร์โบไฮเดรตในสาหร่ายพบว่า สาหร่ายสีน้ำตาล *Turbinaria conoides* มีปริมาณคาร์โบไฮเดรตสูงที่สุดคือ 23.9% ของน้ำหนักแห้ง ตามด้วย *Enteromorpha intestinalis* (23.84% ของน้ำหนักแห้ง) *Hypnea valentiae* (23.60% ของน้ำหนักแห้ง) *Sargassum tenerinum* (23.55% ของน้ำหนักแห้ง) *Acanthophora spicifera* (23.54% ของน้ำหนักแห้ง) และ *S. wightii* (23.50% น้ำหนักแห้ง) นอกจากนี้ Matanjun *et al.* (2009) ได้ทดสอบหาปริมาณคาร์โบไฮเดรตสาหร่ายสีเขียว *Caulerpa lentillifera* พบว่ามีปริมาณคาร์โบไฮเดรตสูงที่สุดเท่ากับ 38.66% ของน้ำหนักแห้ง รองลงมาได้แก่ สาหร่ายสีน้ำตาล *S. polycystum* (33.49% ของน้ำหนักแห้ง) และสาหร่ายสีแดง *Euclima cottonii* (26.49% ของน้ำหนักแห้ง) จึงอาจกล่าวได้ว่าปริมาณคาร์โบไฮเดรตของสาหร่ายอาจมีความแตกต่างกันไปขึ้นอยู่กับชนิดของสาหร่าย

2.3 พอลิแซ็กคาไรด์ และใยอาหาร (polysaccharides and dietary fibers)

สาหร่ายทะเลประกอบด้วยพอลิแซ็กคาไรด์จำนวนมาก โดยส่วนใหญ่จะสะสมไว้ในผนังเซลล์ พอลิแซ็กคาไรด์ชนิดหลักที่พบในสาหร่าย ได้แก่ แอลจินेट คาราจีแนน และวุ้น ซึ่งเป็นพอลิแซ็กคาไรด์ที่นิยมใช้ในอุตสาหกรรม นอกจากนี้ยังมีพอลิแซ็กคาไรด์ชนิดรองที่สามารถพบสะสมในผนังเซลล์ได้เช่นกัน ได้แก่ ฟุกคอยแดน (fucoïdan) ไซแลน (xylan) และอูลวาน (ulvan) โดยพอลิแซ็กคาไรด์เหล่านี้จะไม่ถูกย่อยโดยน้ำย่อยของมนุษย์ แต่จะถูกย่อยโดยจุลินทรีย์บางชนิดในทางเดินอาหาร ซึ่งเรียกพอลิแซ็กคาไรด์ประเภทนี้ว่า ใยอาหาร (dietary fibers) โดยใยอาหารจะแบ่งออกเป็น 2 ส่วน คือ

2.3.1 ส่วนที่ไม่ละลายน้ำ (insoluble dietary fiber)

พอลิแซ็กคาไรด์ที่ไม่ละลายน้ำในสาหร่ายสีน้ำตาลเป็นสารในกลุ่มของอัลจินेट (alginate) ซึ่งเป็นพอลิแซ็กคาไรด์ที่ประกอบด้วย ดี-แมนนูโรนิก (D-manuronic) และแอล-กูรูโรนิก (L-guluronic) โดยปริมาณของกรดแอลจินิกจะมีความแตกต่างกันขึ้นอยู่กับชนิดของสาหร่ายแหล่งที่อยู่ และฤดูกาล (อรพินท์, 2523)

2.3.2 ส่วนที่ละลายน้ำ (soluble dietary fiber)

พอลิแซ็กคาไรด์ที่ละลายน้ำโดยส่วนใหญ่จะเป็นสารที่ให้ความหนืด ได้แก่ เพคติน (pectin) ลามินาแลน (laminaran) และฟุกคอยแดน (fucoïdan) เป็นต้น และพบว่าพอลิแซ็กคาไรด์กลุ่มนี้มีคุณสมบัติในการช่วยลดระดับคอเลสเตอรอล (hypocholesterolemic effect) และระดับน้ำตาลในกระแสเลือด (hypoglycemic effect) ได้ (Burtin, 2003)

2.4 แร่ธาตุ (minerals)

ชนิดของแร่ธาตุที่พบในสาหร่ายประกอบด้วยแร่ธาตุหลัก และแร่ธาตุรองที่จำเป็นต่อร่างกาย โดยปริมาณแร่ธาตุที่พบในสาหร่ายมีปริมาณสูงถึง 40% ของน้ำหนักแห้ง ซึ่งถือว่าเป็นปริมาณที่สูงมาก เมื่อเปรียบเทียบกับพืชบกบางชนิด เช่น ผักขมที่พบปริมาณแร่ธาตุสูงสุดเพียง 20.40% ของน้ำหนักแห้ง (Ruperez, 2002)

Burtin (2003) รายงานว่าในสาหร่ายสีน้ำตาล *Laminaria* มีไอโอดีนเป็นองค์ประกอบหลักโดยมีปริมาณเท่ากับ 1,500-8,000 ppm ของน้ำหนักแห้ง และ *Fucus* มีไอโอดีน 500-1,000 ppm ของน้ำหนักแห้ง นอกจากนี้ยังพบว่าสาหร่ายเป็นแหล่งของแคลเซียม โดยเฉพาะสาหร่ายขนาดใหญ่ที่สะสมหินปูน จะพบแคลเซียมเป็นองค์ประกอบถึง 25-34% ของน้ำหนักแห้ง เป็นต้น สำหรับในสาหร่าย *Sargassum coriifolium* พบว่าประกอบด้วยแร่ธาตุหลายชนิด (ในหน่วย mg/g ของน้ำหนักแห้ง) ได้แก่ แคลเซียม (15.86) แมกนีเซียม (15.45) โซเดียม (59.78) โพแทสเซียม (10.86) และเหล็ก (1.90) (Haque *et al.*, 2009)

2.5 ไขมัน และกรดไขมัน (lipid and fatty acid)

ไขมันเป็นสารประกอบอินทรีย์ซึ่งต่างจากโปรตีน คาร์โบไฮเดรต และกรดนิวคลีอิก ในด้านคุณสมบัติการละลาย ไขมันส่วนใหญ่ไม่ละลายน้ำ (water-soluble หรือ hydrophobic) แต่ละลายได้ดีในตัวทำละลายอินทรีย์ (organic solvents) เช่น อีเทอร์ คลอโรฟอร์ม และเบนซีน เป็นต้น (เซวานี, 2552) โมเลกุลของไขมันประกอบด้วยกลีเซอรอล ซึ่งเป็นแอลกอฮอล์ชนิดหนึ่ง กับกรดไขมัน

ไขมันทั้งหมดที่พบในสาหร่ายอยู่ในช่วง 1-5% น้ำหนักแห้ง (Burtin, 2003) และปริมาณของไขมันสามารถผันแปรได้ตามชนิดของสาหร่ายแหล่งที่อยู่ฤดูกาลอุณหภูมิความเค็มและความเข้มแสง เป็นต้น (Miyashita *et al.*, 2011) โดยสาหร่ายเป็นแหล่งของกรดไขมันไม่อิ่มตัวเชิงซ้อน (polyunsaturated fatty acid; PUFAs) ได้แก่ กรดไขมันในกลุ่มโอเมก้า 3 (omega-3(ω -3)) เช่น eicosapentanoic acid (EPA, ω 3 C20:5) ซึ่งเป็นกรดไขมันที่มีคุณสมบัติที่เป็นประโยชน์ต่อสุขภาพ เช่น การลดอัตราเสี่ยงของโรคหัวใจ ลดการอุดตันของไขมันในเส้นเลือด และภาวะหลอดเลือดแข็งตัว รวมถึงยังสามารถยับยั้งเชื้อแบคทีเรียได้อีกด้วย (Ortiz *et al.*, 2006)

2.6 วิตามิน (vitamin)

สาหร่ายในแต่ละชนิดจะประกอบด้วยวิตามินหลายชนิดแตกต่างกันไปขึ้นอยู่กับชนิดของสาหร่าย ฤดูกาล ระยะเวลาเจริญเติบโต และปัจจัยสิ่งแวดล้อม ในสาหร่ายสีแดงส่วนใหญ่จะประกอบด้วยโปรวิตามินเอ (provitamin A) วิตามินบี1 (vitamin B₁) วิตามินบี2 (vitamin B₂) และวิตามินบี12 (vitamin B₁₂) ซึ่งพบได้ทั้งในสาหร่ายสีแดง และสาหร่ายสีเขียว ขณะที่ในสาหร่ายสีน้ำตาลจะพบวิตามินได้ในปริมาณน้อย ถึงแม้ว่าในสาหร่ายสีน้ำตาลจะพบวิตามินในปริมาณน้อย อย่างไรก็ตามผลิตภัณฑ์สาหร่ายที่บริโภคโดยทั่วไปมาจากสาหร่ายสีน้ำตาล โดยในสาหร่ายสี

น้ำตาลจะพบวิตามินซีได้มากกว่าวิตามินชนิดอื่น (Mabeau and Fleurence, 1993) ซึ่งวิตามินต่างๆ มีความสำคัญ ดังนี้

วิตามินเอ หรือเรตินอล ในพืชหรือสาหร่ายไม่มีวิตามินเอ แต่มีสารประกอบคาโรทีนอยด์ ซึ่งสามารถเปลี่ยนเป็นวิตามินเอได้ที่ผนังลำไส้เล็ก ตับ และไต จึงเรียกคาโรทีนอยด์ว่าเป็น provitamin A ทำหน้าที่เป็นสารต้านออกซิเดชันให้แก่ร่างกาย (นิธิยา, 2553)

วิตามินบี 1 หรือไทอะมิน มีหน้าที่เป็นโคเอนไซม์ในเมแทบอลิซึมของคาร์โบไฮเดรต และกรดอะมิโนชนิดโซ่กิ่ง ร่างกายมนุษย์ไม่สามารถสังเคราะห์ไทอะมินได้ จำเป็นต้องได้รับจากอาหารที่กิน (กองโภชนาการ, 2546)

วิตามินบี 2 หรือไรโบฟลาวิน ทำหน้าที่เป็นองค์ประกอบในโมเลกุลของโคเอนไซม์ ฟลาวินโมโนนิวคลีโอไทด์ (FMN) และฟลาวินอะดีนีนไดนิวคลีโอไทด์ (FAD) ซึ่งเป็นโคเอนไซม์ ที่จำเป็นต่อการผลิตพลังงานของร่างกาย และการสร้างโปรตีนของเนื้อเยื่อ (นิธิยา, 2553)

วิตามินบี 12 หรือโคบาลามีน มีความสำคัญต่อการทำงานของเอนไซม์ในปฏิกิริยาต่างๆ เช่น methionine synthetase หรือ homocysteine methyltransferase (สมปอง, 2547)

วิตามินซี หรือกรดแอสคอร์บิก ทำหน้าที่เป็นสารต้านออกซิเดชัน และเกี่ยวข้องในกระบวนการสร้างโปรตีน คอลลาเจน และมีรายงานว่าในสาหร่ายสีน้ำตาลจะมีปริมาณวิตามินซีสูงกว่าสาหร่ายสีแดง และสาหร่ายสีเขียว โดยระดับวิตามินซีของสาหร่ายสีเขียว และน้ำตาล จะอยู่ในช่วง 500-3,000 mg/kg ของน้ำหนักแห้ง ส่วนสาหร่ายสีแดงจะมีปริมาณวิตามินซีอยู่ในช่วง 100-800 mg/kg ของน้ำหนักแห้ง นอกจากนี้ Burtin (2003) ได้รายงานว่า ในสาหร่าย *S. myriocystum* มีปริมาณวิตามินซีถึง 66.60 mg/100g ของน้ำหนักสด

วิตามินอี หรือโทโคเฟอรอล มีบทบาทสำคัญต่อการยับยั้งปฏิกิริยาออกซิเดชันของไขมันที่มีความหนาแน่นต่ำ (low density lipoprotein; LDL) ซึ่งเป็นไขมันที่ก่อให้เกิดภาวะหลอดเลือดแข็ง ถ้ามีปริมาณไขมันชนิดนี้ในเลือดสูงเป็นระยะเวลานานจะเกิดการคั่ง และเกาะตามหลอดเลือด ทำให้เกิดการอุดตันได้ ผลที่ตามมาคือ ภาวะที่สำคัญที่ต้องอาศัยเลือดจากหลอดเลือด เช่น หัวใจ สมอง ไต เกิดการขาดเลือดไปเลี้ยง กลายเป็นโรค เช่น หัวใจขาดเลือด อัมพาตอัมพฤกษ์ ความดันโลหิตสูง และไตวาย เป็นต้น และมีรายงานว่าสาหร่ายสีน้ำตาลจะพบปริมาณวิตามินอีสูง

กว่าสาหร่ายสีเขียว และแดง โดยสาหร่ายสีน้ำตาลใน Family Fucaceae (เช่น *Ascophyllum* และ *Fucus* sp.) มีปริมาณวิตามินอีอยู่ในช่วง 200-600 mg/kg ของน้ำหนักแห้ง (Burtin, 2003)

2.7 เถ้า (ash content)

เถ้า คือ ส่วนของสารอนินทรีย์ในสาหร่าย ซึ่งได้แก่ แร่ธาตุต่างๆ เมื่อนำไปเผาที่อุณหภูมิ 550-600 °C นาน 2 ชั่วโมง ส่วนที่เป็นสารอนินทรีย์จะถูกเผาไหม้หมดไป เหลืออยู่แต่ส่วนของสารอนินทรีย์ ค่าของเถ้าที่ได้สามารถบอกลักษณะคุณภาพของสาหร่าย หากค่าของเถ้าสูงมากกว่าปกติแสดงให้เห็นว่าอาจมีการปลอมปนของทราย เป็นต้น จากการศึกษาของ Robledo and Pelegrin (1997) ซึ่งได้วิเคราะห์ปริมาณเถ้าของสาหร่าย 6 ชนิด ได้แก่ สาหร่ายสีแดง *Gracilaria cornea*, *Eucheurna isiforme* สาหร่ายสีเขียว *Caulerpa racemosa*, *Codium isthmocladum* และสาหร่ายสีน้ำตาล *Padina gymnospora* และ *Sargassum filipendula* พบว่าสาหร่ายทั้ง 6 ชนิด ประกอบด้วยเถ้าในปริมาณสูง โดยมีปริมาณเถ้าเท่ากับ 39.06, 34.00, 55.11, 55.90, 36.61 และ 44.29% ของน้ำหนักแห้ง ตามลำดับ และ Matanjun *et al.* (2009) ได้ศึกษาปริมาณเถ้าในสาหร่ายทะเล 3 ชนิด ได้แก่ สาหร่ายสีแดง *Eucheuma cottonii* สาหร่ายสีเขียว *Caulerpa lentillifera* และสาหร่ายสีน้ำตาล *S. polycystum* พบว่าสาหร่ายมีปริมาณเถ้าเท่ากับ 46.19, 37.15 และ 42.40% ของน้ำหนักแห้ง ตามลำดับ ซึ่งจากการศึกษาของทั้งสองพบว่าสาหร่ายมีปริมาณเถ้าเป็นองค์ประกอบในปริมาณค่อนข้างสูง เมื่อเปรียบเทียบกับองค์ประกอบชนิดอื่น

3. สารประกอบฟีนอลิก (phenolic compounds)

3.1 ลักษณะของสารประกอบฟีนอลิก

สารประกอบฟีนอลิก (phenolic compounds) คือ สารประกอบที่มีหมู่ฟีนอลเป็นองค์ประกอบสำคัญ และมีการแทนที่ด้วยหมู่เคมีต่างๆ โครงสร้างทั่วไปของสารประกอบฟีนอลิกประกอบด้วยวงแหวนอะโรมาติก (aromatic group) และมีหมู่ไฮดรอกซิล (-OH) อย่างน้อย 1 หมู่ (สุวดี, 2554) สารประกอบฟีนอลิกมีโครงสร้างที่มีความหลากหลายมาก และมีการจำแนกชนิดแล้วมากกว่า 8,000 ชนิด สามารถจำแนกเป็นกลุ่มได้จากโครงสร้างที่แตกต่างกัน ได้แก่

3.1.1 ฟลาโวนอยด์ (flavonoids)

ฟลาโวนอยด์เป็นกลุ่มของสารประกอบโพลีฟีนอลที่พบมากที่สุดในพืช โดยพบมากกว่าครึ่งจาก 8,000 กลุ่มของสารประกอบฟีนอลที่พบในธรรมชาติ (Harbone *et al.*, 1999) รูปแบบความหลากหลายของฟลาโวนอยด์จะเกิดจากการแทนที่ของวงแหวนคาร์บอนในโครงสร้าง ซึ่งทำให้สามารถแบ่งฟลาโวนอยด์ออกเป็นกลุ่มหลักๆ ได้แก่ ฟลาโวนอล ฟลาโวน ฟลาวาโนน ฟลาวานอล ไอโซฟลาโวน และแอนโทไซยานิน (ภาพที่ 3)

3.1.2 กรดฟีนอลิก (phenolic acid)

กรดฟีนอลิกที่เป็นส่วนประกอบสำคัญในสารประกอบฟีนอล ซึ่งสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 กลุ่ม ตามลักษณะโครงสร้าง ได้แก่ กรดไฮดรอกซีเบนโซอิก และกรดไฮดรอกซีซินนามิก (ภาพที่ 4) โดยกรดไฮดรอกซีเบนโซอิกที่พบได้ทั่วไป ได้แก่ gallic, p-hydroxybenzoic, protocatechuic, vanillic และ syringic ส่วนกรดไฮดรอกซีซินนามิกที่พบได้ทั่วไป ได้แก่ caffeic, ferulic, p-coumaric และ sinapic (Bravo, 1998)

3.1.3 แทนนิน (tannin)

แทนนิน เป็นสารที่มีโมเลกุลใหญ่ และมีโครงสร้างซับซ้อน (ภาพที่ 5) มีฤทธิ์เป็นกรดอ่อน มีรสฝาด สามารถแบ่งได้เป็น 2 ประเภท คือ

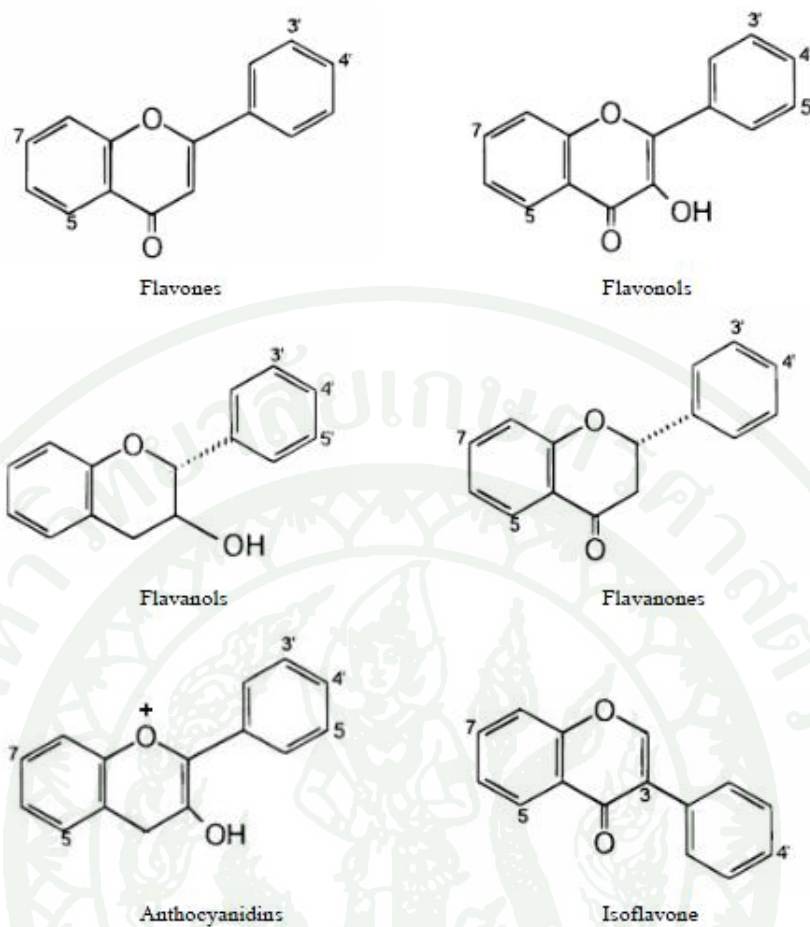
ก. Hydrolysable tannins เป็นสารประกอบที่ประกอบด้วยโครงสร้าง 2 ส่วนใหญ่ๆ คือ ส่วนแรกเป็นส่วนของน้ำตาล โดยส่วนมากพบว่าเป็นน้ำตาลกลูโคสหรืออาจเป็นสารประกอบ polyols อื่นๆ ส่วนที่สองเป็น phenolic acid เช่น gallic acid หรือ hexahydroxydiphenic acid (HHDP) หรือสารอนุพันธ์ของ HHDP

ข. Condensed tannins เป็นกลุ่มของสารประกอบฟีนอลิกที่มีความซับซ้อนและสลายตัวด้วยน้ำยากกว่า hydrolysable tannins โครงสร้างของสารประกอบฟีนอลิกในกลุ่มนี้เป็นอนุพันธ์ของสารประกอบในกลุ่มฟลาโวนอยด์

สำหรับในสาหร่ายสีน้ำตาลมีรายงานว่าอุดมไปด้วยสารประกอบฟีนอลิกในกลุ่มของฟลูโรแทนนิน (phlorotannin) ซึ่งเกิดจากปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชันของฟลูโรกลูซินอล

(1,3,5-trihydroxybenzene) และเป็นโครงสร้างของสารประกอบฟีนอลิกที่ไม่พบในพืชชั้นสูง โดยสังเคราะห์ผ่านวิถีอะซิเตท-มาโลเนท (acetate-malonate pathway) หรือเรียกอีกอย่างหนึ่งว่าวิถีพอลิคีไทด์ (polyketide pathway) มีขนาดโมเลกุลตั้งแต่ 126 Da ถึง 650 kDa สามารถแบ่งออกเป็น 4 ชนิด ตามพันธะที่เป็นองค์ประกอบ (Li *et al.*, 2011) ได้แก่

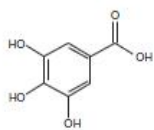
- 1) Fuhalols และ phlorethols (ether linkage)
- 2) Fucols (phenyl linkage)
- 3) Fucophloroethols (ether และ phenyl linkage)
- 4) Eckols (dibenzodioxin linkage)



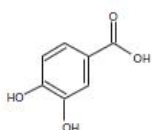
ภาพที่ 3 โครงสร้างพื้นฐานของฟลาโวนอยด์กลุ่มต่างๆ

ที่มา: Pietta (2000)

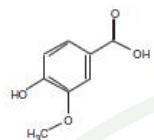
HYDROXYBENZOIC ACIDS



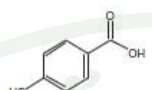
Gallic acid



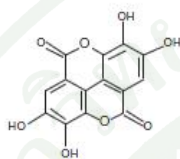
Protocatechuic acid



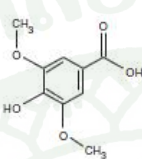
Vanillic acid



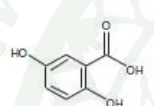
p-Hydroxybenzoic acid



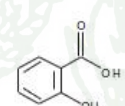
Ellagic acid



Syringic acid

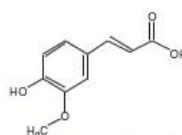


Gentisic acid

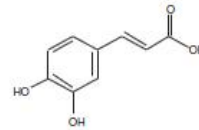


Salicylic acid

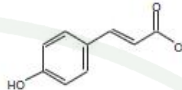
HYDROXYCINNAMIC ACIDS



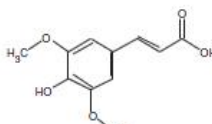
Ferulic acid



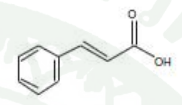
Caffeic acid



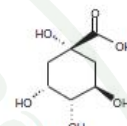
p-Coumaric acid



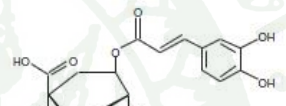
Sinapic acid



Cinnamic acid



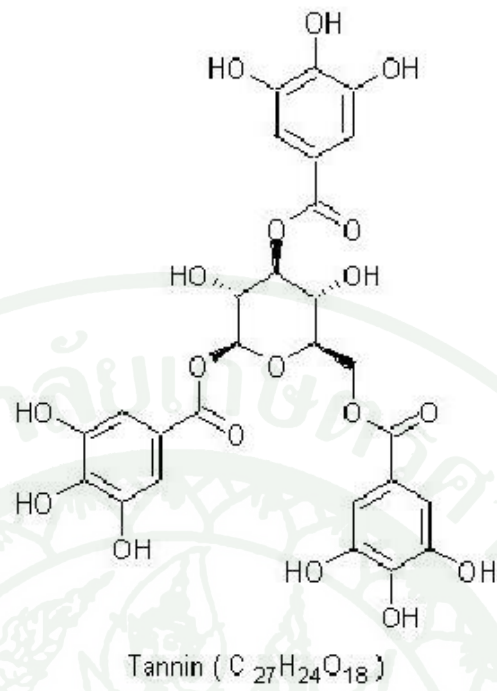
Quinic acid



Chlorogenic acid

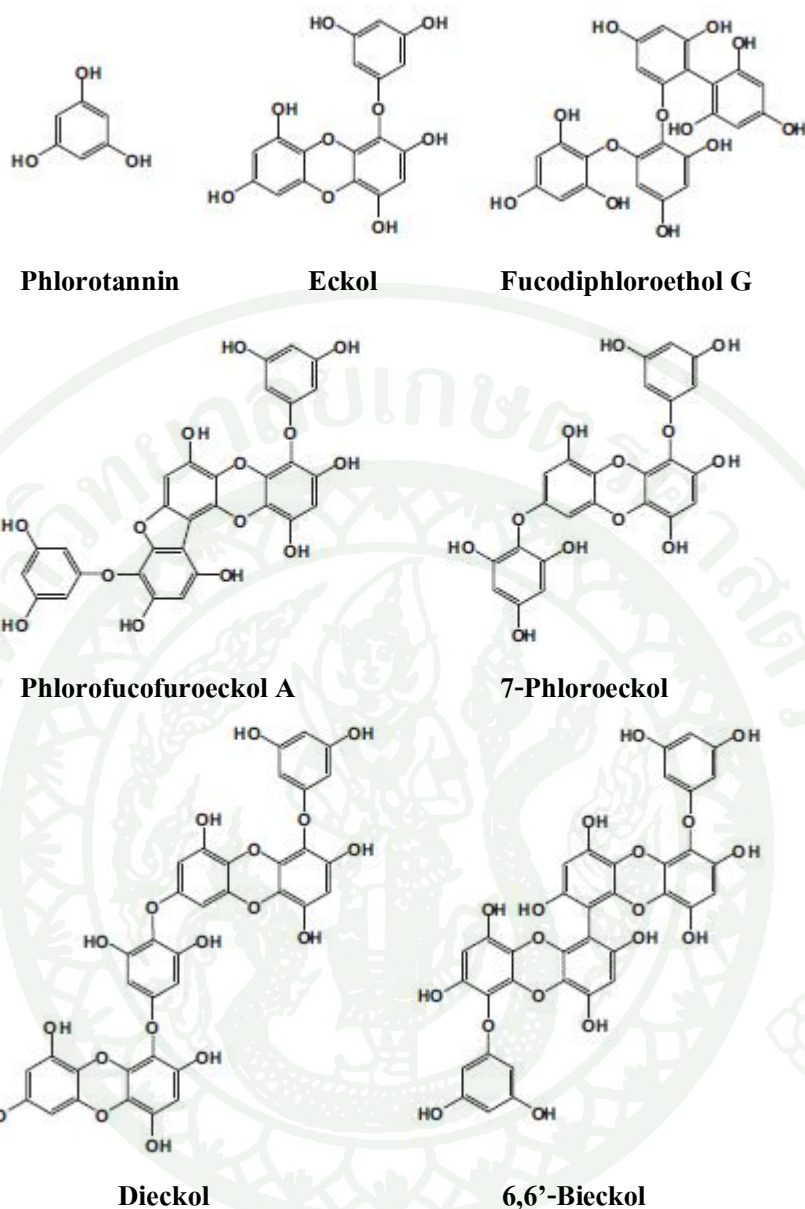
ภาพที่ 4 ตัวอย่างของกรดฟีนอลิกที่พบในธรรมชาติ

ที่มา: Martin *et al.* (2011)



ภาพที่ 5 โมเลกุลแทนนิน

ที่มา: ฤทัยรัตน์ (2551)



ภาพที่ 6 ตัวอย่างโครงสร้างของฟลูโรแทนนินที่พบในสาหร่ายสีน้ำตาล

ที่มา: Li *et al.* (2011)

3.2 แหล่งของสารประกอบฟีนอลิก

3.2.1 พืช และผลไม้ ปริมาณของสารประกอบฟีนอลิกในพืช และผลไม้จะมีปริมาณแตกต่างกันไป ในพืช และผลไม้ชนิดเดียวกันอาจมีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกที่ต่างกัน (ตารางที่ 1) ทั้งนี้เนื่องมาจากช่วงการรายงานที่ต่างกัน ความซับซ้อนของสารประกอบในกลุ่มนี้

และวิธีการสกัด หรือการวิเคราะห์ที่แตกต่างกัน นอกจากนี้ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกยังขึ้นอยู่กับปัจจัยภายใน เช่น สกุนต ชนิด และสายพันธุ์ และปัจจัยภายนอก เช่น การเพาะปลูก สิ่งแวดล้อม และวิธีการเก็บรักษาผลผลิต (Balasundram *et al.*, 2006)

3.2.2 เครื่องดื่มได้แก่ ชา กาแฟ และไวน์ เป็นแหล่งของสารประกอบฟีนอลิกที่สำคัญสำหรับมนุษย์ ในชาเขียวจะพบสารแคทชิตินหลายชนิด ได้แก่ α -epigallocatechin-3-gallate (EGCG), α -epigallocatechin (EC), α -epicatechin-3-gallate (ECG), α -gallocatechin และ β -catechin ในชาดำจะพบสารประกอบฟีนอลิกที่มีความซับซ้อนกว่าในชาเขียว เนื่องจากกระบวนการหมัก ได้แก่ theaflavins และ thearubigins ในไวน์กลุ่มของสารประกอบฟีนอลิกชนิดหลักที่พบ ได้แก่ กรดไฮดรอกซีเบนโซอิก (hydroxybenzoic acid) และกรดไฮดรอกซีซินนามิก (hydroxycinnamic acid) ตลอดจนฟลาโวนอล (quercetin และ myricetin) และฟลาวานอล (catechin และ epicatechin) โดยปริมาณและองค์ประกอบของสารประกอบฟีนอลิกในไวน์จะมีความหลากหลายมาก ขึ้นอยู่กับหลายๆ ปัจจัย ได้แก่ ชนิดขององุ่นที่ใช้ สภาพที่ใช้ปลูก เทคนิคในการผลิตไวน์ และความสมบูรณ์ผล เป็นต้น (Balasundram *et al.*, 2006)

3.2.3 สาหร่ายสารประกอบฟีนอลิกที่พบในสาหร่ายสีเขียว น้ำตาล และแดง ได้แก่ catechin และ epicatechin มากถึง 4.77 mg/g ของน้ำหนักแห้งหรือ rutin มากถึง 11.4 mg/g ของน้ำหนักแห้ง สาหร่ายสีเขียว และสีแดงจะมีความเข้มข้นของสารประกอบฟีนอลิกต่ำ เมื่อเปรียบเทียบกับสาหร่ายสีน้ำตาล ซึ่งมีสารประกอบฟีนอลิกในกลุ่มของฟลูโรแทนนินในปริมาณสูง โดยปริมาณของสารประกอบฟีนอลิกในสาหร่ายสีน้ำตาลจะอยู่ในช่วงต่ำกว่า 1-14% ของน้ำหนักแห้ง (Ragan and Glombitza, 1986; Targett and Arnoid, 1998)

ตารางที่ 1 ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกที่พบในผักและผลไม้

ชนิดอาหาร	สารประกอบฟีนอลิก		สารประกอบฟีนอลิก ทั้งหมด (ไมโครกรัม/100 กรัม)
	ทั้งหมด(ไมโครกรัม/100 กรัม)	ชนิดอาหาร	
ผัก		ผลไม้	
บร็อกโคลี่	101.6±2.4 ^a	แอปเปิ้ล	296.3±6.4 ^a
	87.5±8.1 ^b	กล้วย	90.4±3.2 ^a
กะหล่ำดาว	68.8±1.3 ^b	บลูเบอร์รี่ (Rabbiteye)	270-930 ^a
กะหล่ำปลี	56.4±5.1 ^a	เชอร์รี่	105.4±2.7 ^b
	55.0±0.9 ^b	มะม่วง	56.0±2.1 ^a
แตงกวา	19.5±1.6 ^a	สับปะรด	94.3±1.5 ^a
	48.0±0.9 ^b	มะละกอ	57.6±4.1 ^a
ผักขม	91.0±8.5 ^a	สตอเบอรี่	160.0±1.2 ^a
มะเขือเทศ	29.9±9.0 ^c		
	68.0±1.6 ^b		

^a Gallic acid, ^b Catechin และ ^c Ferulic acid

ที่มา: Balasundram *et al.* (2006)

4. เทอร์พีน (terpenes)

4.1 ลักษณะของเทอร์พีน

เทอร์พีน (terpenes) เป็นกลุ่มของสารประกอบไฮโดรคาร์บอนที่เกิดจากสารไอโซพรีน (isoprene) ซึ่งเป็นสารที่มีคาร์บอน 5 อะตอมมาเรียงต่อกัน (ภาพที่ 7) โดยส่วนใหญ่จะเรียงต่อกันในลักษณะหัวต่อหาง (head-to-tail) แต่สามารถถูกสร้างจากองค์ประกอบชนิดอื่นได้ โดยขึ้นอยู่กับจำนวนของพันธะคู่ หมู่งฟังก์ชัน และการปิดวง (ring closure) สามารถแบ่งออกเป็น 6 กลุ่มได้ตามจำนวนของไอโซพรีนที่พบ (Krishnaswamy, 2010) ได้แก่

4.1.1 Monoterpenes (C₁₀H₁₆) ประกอบด้วยไอโซพรีนจำนวน 2 หน่วย

4.1.2 Sesquiterpenes (C₁₅H₂₄) ประกอบด้วยไอโซพรีนจำนวน 3 หน่วย

4.1.3 Diterpenes ($C_{20}H_{32}$) ประกอบด้วยไอโซพรีนจำนวน 4 หน่วย

4.1.4 Sesterterpenes ($C_{25}H_{40}$) ประกอบด้วยไอโซพรีนจำนวน 5 หน่วย

4.1.5 Triterpenes ($C_{30}H_{48}$) ประกอบด้วยไอโซพรีนจำนวน 6 หน่วย

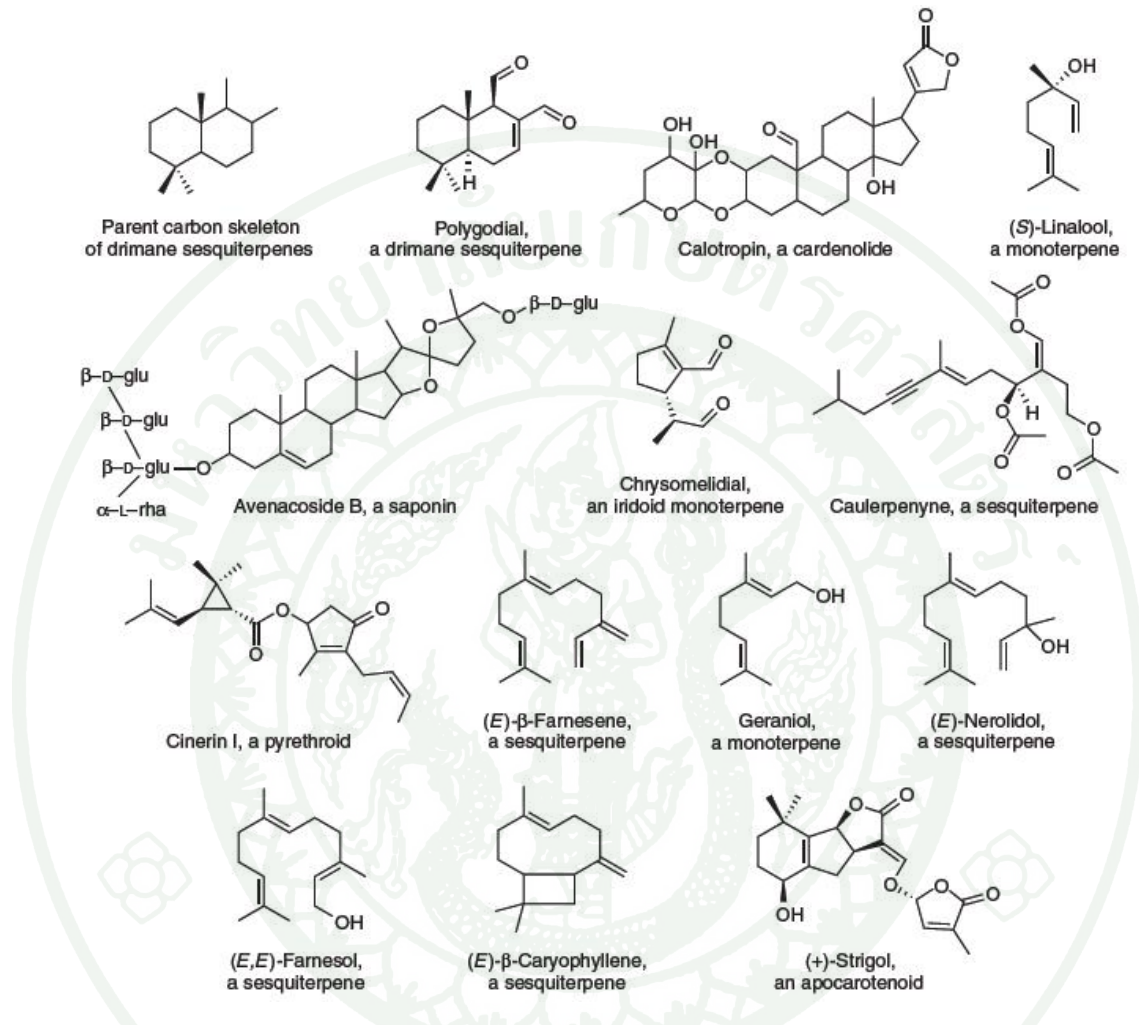
4.2 แหล่งของเทอร์พีน

4.2.1 พืช เป็นแหล่งของเทอร์พีนที่พบบ่อย โดยส่วนใหญ่จะพบอยู่ในรูปโครงสร้างอย่างง่าย โดยเฉพาะ monoterpenes ซึ่งเป็นส่วนประกอบของน้ำมันหอมระเหย (essential oil) ที่ได้จากการกลั่นเป็นไอจากส่วนต่างๆ ของพืช ชนิดของพืชที่เป็นแหล่งของน้ำมันหอมระเหย ได้แก่ ยูคาลิปตัส ตะไคร้ เจอราเนียม กลุ่มของสน และพืชตระกูลส้ม เป็นต้น (Krishmaswamy, 2010) โดยมากพืชจะใช้เทอร์พีนในการดึงดูดแมลงสำหรับการผสมเกสรหรือใช้ในการขับไล่สัตว์ที่กินมันเป็นอาหาร (Breitmaier, 2006)

4.2.2 แมลง ผลิตเทอร์พีนออกมาโดยตรงเพื่อใช้ในการป้องกันศัตรู เทอร์พีนที่พบในแมลง ได้แก่ iridoid monoterpenes ในด้วงเต่า (leaf beetle) และ sticky monoterpene, sesquiterpene และ diterpene ซึ่งพบว่าเป็นองค์ประกอบในสารที่ปลวกหลั่งออกมา นอกจากนี้โครงสร้างของเทอร์พีนที่พบในแมลงยังมีลักษณะคล้ายกับที่พบในพืช ซึ่งได้จากการกินพืชเข้าไป และอาจมีการปรับเปลี่ยนโครงสร้างเพียงเล็กน้อย เช่น iridoid glycosides และ cardenolides ที่สะสมในแมลง Order Lepidoptera และ monoterpenes และ diterpenes ที่สะสมในต่อสน (pine sawfly) (Gershenzon and Dudareva, 2007)

4.2.3 สาหร่าย เทอร์พีนที่พบในสาหร่ายสีเขียวส่วนใหญ่เป็น sesquiterpenes และ diterpenes ซึ่งจะเก็บสะสมไว้ในรูปของ polyacetates และสามารถเปลี่ยนรูปไปเป็น 1,4-dialdehydes ได้อย่างรวดเร็วโดยเอนไซม์ esterase เมื่อเนื้อเยื่อสาหร่ายเกิดการฉีกขาด สำหรับในสาหร่ายสีน้ำตาล Order Fucales และ Dictyotales จะพบเทอร์พีนได้ 2 ชนิด คือ diterpenes และ sesquiterpenes และในสาหร่ายสีแดงซึ่งเป็นแหล่งของ halogenated terpenes สามารถพบเทอร์พีนได้หลายชนิด ได้แก่ monoterpenes, sesquiterpenes, diterpenes และ triterpenes (Luis, 1991) นอกจากนี้ยังพบว่าสารสกัดเทอร์พีนจากสาหร่ายทะเลเป็นแหล่งของสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพที่เป็นประโยชน์ต่อสุขภาพ ได้แก่ การต้านอนุมูลอิสระ (antioxidant) การต้านเชื้อรา (antifungal) ต้านการ

ยึดเกาะจากสิ่งแปลกปลอม (antifouling) ต้านจุลชีพ (antibiotic) และเป็นพิษต่อเซลล์แปลกปลอม (cytotoxic) เป็นต้น



ภาพที่ 7 โครงสร้างของเทอร์พีนที่พบทั่วไปในธรรมชาติ

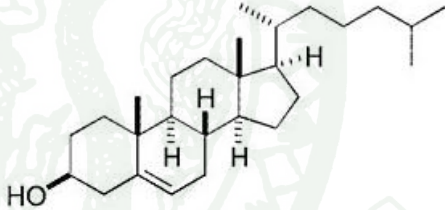
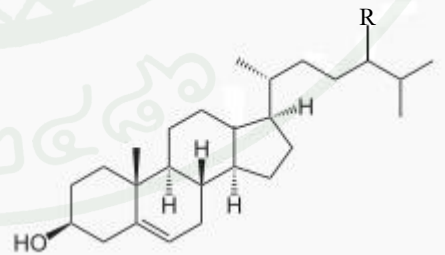
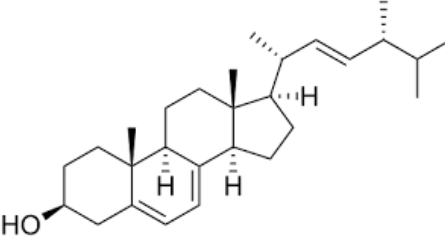
ที่มา: Gershenson and Dudareva (2007)

5. สเตอรอล (sterols)

สเตอรอล (sterols) เป็นกลุ่มของสารประกอบสเตอรอยด์ ที่มีหมู่ไฮดรอกซิลเกาะอยู่ที่คาร์บอนตำแหน่งที่ 3 และมีสาย aliphatic chain เกาะอยู่ที่คาร์บอนตำแหน่งที่ 17 อย่างน้อย 8 คาร์บอนอะตอม (นิธิยา, 2553) สามารถจำแนกเป็นกลุ่มได้ตามแหล่งที่พบ (ตารางที่ 2) ดังนี้

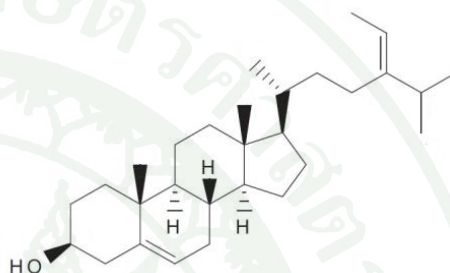
- 5.1 Zoosterols เป็นสเตอรอลที่มีแหล่งที่มาจากสัตว์ เช่น 5 α -cholestan-3 β -ol;
5 β -cholestan-3 β -ol
- 5.2 Phytosterols เป็นสเตอรอลที่พบในพืช เช่น stigmasterol
- 5.3 Mycoosterols เป็นสเตอรอลที่พบในยีสต์ รา เช่น mycoosterol
- 5.4 Marine sterols เป็นสเตอรอลที่พบในสิ่งมีชีวิตในทะเล เช่น ฟองน้ำ สาหร่าย ปะการัง เป็นต้น

ตารางที่ 2 สเตอรอลชนิดหลักที่พบในสิ่งมีชีวิต

สิ่งมีชีวิต	สเตอรอลชนิดหลัก
สัตว์มีกระดูกสันหลัง (zoosterols)	Cholesterol 
พืช (phytosterols)	campesterol (R=methyl) sitosterol (R=ethyl) stigmasterol (R=ethyl, Δ^{22}) 
เห็ดรา (mycoosterols)	ergosterol (ยกเว้นในบางชนิดที่ไม่พบ) 

ตารางที่ 2 (ต่อ)

สิ่งมีชีวิต	สเตอรอลชนิดหลัก
สาหร่าย (marine Sterols)	ergosterol (ยกเว้นในบางชนิด)
สีเขียว	ergosterol
สีแดง	cholesterol
สีน้ำตาล	fucosterol



ที่มา: Hannich *et al.* (2011)

6. ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการเปลี่ยนแปลงปริมาณองค์ประกอบทางเคมีของสาหร่าย

องค์ประกอบทางเคมีในสาหร่ายขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายชนิด ได้แก่ ชนิดของสาหร่าย แสง อุณหภูมิ และระยะเวลาเจริญเติบโต (Gatenby *et al.*, 2003) จากการรวบรวมเอกสารพบว่าสภาวะแวดล้อมที่มีอิทธิพลต่อปริมาณองค์ประกอบทางเคมี รวมถึงปริมาณสารประกอบฟีนอลิกในสาหร่าย ได้แก่

6.1 ปัจจัยทางชีวภาพ

6.1.1 ชนิดของสาหร่าย เป็นปัจจัยที่ทำให้องค์ประกอบทางเคมีของสาหร่ายมีปริมาณแตกต่างกัน เช่น สาหร่าย *Sargassum duplicatum* มีปริมาณไขมันทั้งหมด และสารฟิวโคแซนทิน เท่ากับ 21.30 ± 0.10 และ 1.01 ± 0.10 mg/g ของน้ำหนักแห้ง ตามลำดับ ซึ่งมีค่ามากกว่าปริมาณไขมันทั้งหมด และสารฟิวโคแซนทินที่พบในสาหร่าย *S. aquifolium* อย่างมีนัยสำคัญที่มีค่าเท่ากับ 16.60 ± 4.10 และ 0.73 ± 0.39 mg/g ของน้ำหนักแห้ง ตามลำดับ (Noviendri *et al.*, 2011)

6.1.2 ระยะการเจริญเติบโต แทลัสของสาหร่ายมีการเจริญเติบโต และมีการเปลี่ยนแปลงทางสรีรวิทยาหลายอย่าง เช่น การเพิ่มขนาดของแทลลัส การสร้างอวัยวะสืบพันธุ์ จากการศึกษานี้ของ Murakami *et al.* (2011) พบว่าองค์ประกอบทางเคมีของ *S. horneri* จะแปรผันตามการเจริญเติบโต และความสมบูรณ์ของแทลลัส โดยปริมาณเส้นใยจะเพิ่มขึ้นหลังจากการสร้างอวัยวะสืบพันธุ์ (receptacles)

6.2 ปัจจัยทางกายภาพ

6.2.1 แสง (light) เป็นปัจจัยที่ส่งผลให้เกิดการสลายตัวของคาโรทีนอยด์ โดยแสงจะเป็นตัวเร่งให้เกิดปฏิกิริยา trans-cis isomerisation ซึ่งจะเกิดขึ้นพร้อมกับการสร้างสารประกอบใหม่เนื่องจากปฏิกิริยาออกซิเดชัน ทำให้เม็ดสี (pigment) มีสีจางลง และส่งผลให้เกิดการเปลี่ยนแปลงทางด้านโครงสร้างของคาโรทีนอยด์ (Arita *et al.*, 2005) นอกจากนี้แสงยังส่งผลต่อปริมาณของสารประกอบทุติยภูมิบางชนิด โดย Pavia and Toth (2000) รายงานว่าแสงเป็นปัจจัยสำคัญที่มีอิทธิพลต่อการเพิ่มขึ้นของปริมาณฟลูโรแทนนิน เมื่อทำการทดลองในธรรมชาติ โดยเปรียบเทียบระหว่างสาหร่าย *Fucus vesiculosus* และ *Ascophyllum nodosum* ที่สัมผัสแสง (sunlight plants) และไม่สัมผัสแสง (shade plants) พบว่าสาหร่ายที่สัมผัสแสงทั้งสองชนิดจะมีปริมาณฟลูโรแทนนินมากกว่าสาหร่ายที่ไม่สัมผัสแสง

6.2.2 อุณหภูมิ (temperature) เป็นปัจจัยที่มีผลต่อการเจริญเติบโต และการแพร่พันธุ์ของสิ่งมีชีวิต มีผลกระทบต่อกระบวนการสังเคราะห์แสง นอกจากนี้อุณหภูมียังมีผลต่อปริมาณองค์ประกอบทางเคมีของสาหร่ายอีกด้วย โดย Jiang *et al.* (2009) รายงานว่าอุณหภูมิจะส่งผลกระทบต่อปริมาณของคลอโรฟิลล์เอ และสารฟุโคแซนทินของ *Sargassum thunbergii* โดยปริมาณคลอโรฟิลล์เอ และสารฟุโคแซนทินจะเพิ่มขึ้น เมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้น

6.3 ปัจจัยทางเคมีภาพ

ปริมาณธาตุอาหาร นอกจากจะส่งผลต่ออัตราการเจริญเติบโตของสาหร่ายแล้วยังส่งผลต่อปริมาณของสารประกอบทุติยภูมิด้วย Chan *et al.* (1997) ได้ศึกษาผลของการเพิ่มขึ้นของธาตุอาหาร ได้แก่ ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และเหล็ก ที่มีผลต่ออัตราเจริญเติบโต และปริมาณฟลูโรแทนนินในเอ็มบริโอของ *Fucus gardneri* ผลการศึกษาพบว่า การเพิ่มของไนโตรเจนจะส่งผลให้อัตราการเจริญเติบโตเพิ่มขึ้น แต่จะทำให้ความเข้มข้นของฟลูโรแทนนินลดลง ส่วนการเพิ่มของฟอสฟอรัสไม่ส่งผลต่ออัตราการเจริญเติบโต แต่จะทำให้ความเข้มข้นของฟลูโรแทนนินลดลงอย่าง

มีนัยสำคัญ และการเพิ่มของเหล็กจะส่งผลกระทบต่ออัตราการเจริญเติบโตเท่านั้น ซึ่งจะส่งผลในด้านการเปลี่ยนแปลงรูปร่างของเอ็มบริโอมากกว่าการเพิ่มขนาด และเมื่อเพิ่มปริมาณของฟอสฟอรัส และเหล็กในเวลาเดียวกันจะส่งผลให้อัตราการเจริญเติบโตลดลง และปริมาณความเข้มข้นของฟลูโรแทนนินมากกว่าการเพิ่มของธาตุอาหารเพียงชนิดเดียว

7. ประโยชน์ของสารสกัดจากสาหร่ายทะเล

7.1 ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ

Ahn *et al.* (2007) ได้ทำการทดสอบฤทธิ์ในการต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี electron spin resonance spectrometry (ESR) เพื่อกำจัดอนุมูลอิสระ เช่น 1,1-diphenyl-2-picrylhydrazyl (DPPH[•]), alkyl, hydroxyl (HO[•]) และ superoxide anion radical (O₂^{•-}) และวิธี comet assay สำหรับการกำจัด H₂O₂-mediated DNA damage โดยใช้สารประกอบฟีนอลิก (สารฟลูโรแทนนิน) ซึ่งสกัดได้จากสาหร่าย *Ecklonia cava* ได้แก่ phloroglucinol, eckol และ dieckol จากการศึกษพบว่าสารฟลูโรแทนนินทุกชนิดสามารถยับยั้งอนุมูล DPPH[•], alkyl, hydroxyl และ superoxide ได้ โดยเฉพาะ eckol ที่ความเข้มข้นของ 0.25, 0.5, และ 1 mg/ml สามารถยับยั้งอนุมูล DPPH[•] ได้ประมาณ 93% ซึ่งสูงกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับฟลูโรแทนนินชนิดอื่น (phloroglucinol และ dieckol) นอกจากนี้ยังสามารถต่อต้านอนุมูลอิสระที่เกิดจาก H₂O₂-mediated DNA damage เมื่อเพิ่มความเข้มข้นของสารฟลูโรแทนนินในหนูทดลองที่มีเซลล์มะเร็งต่อมน้ำเหลืองชนิด T-cell (L5178Y-R) สอดคล้องกับการศึกษาของ Shibata *et al.* (2008) ซึ่งทดสอบฤทธิ์ในการต้านอนุมูลอิสระของสารสกัดจากสาหร่ายสีน้ำตาล *Eisenia bicyclis*, *Ecklonia cava* และ *Ecklonia kurome* โดยพบว่าโพลิโกเมอร์ของฟลูโรกลูซินอล (phloroglucinol; 1,3,5-hydroxybenzene), eckol (a trimer), phlorofucofuroeckol A (a pentamer), dieckol และ 8,8-bieckol (hexamers) สามารถยับยั้งอนุมูลอิสระที่เกิดจาก phospholipid peroxidation ในไลโปโซม (liposome) ที่ระดับความเข้มข้น 1 μM นอกจากนี้ฟลูโรแทนนินยังสามารถกำจัดอนุมูลอิสระที่เกิดจาก superoxide anion และ DPPH[•] ได้ถึง 50% ที่ระดับความเข้มข้น 6.5-8.4 และ 12-26 μM ตามลำดับ และพบว่าสารสกัดจากสาหร่าย *S. ringgoldianum* สามารถยับยั้งอนุมูลอิสระที่เกิดจาก superoxide anion โดยมีค่าความเข้มข้นของสารที่ออกฤทธิ์ยับยั้งได้ 50% (inhibitory concentration: IC₅₀) เท่ากับ 5.1 μg/ml (Nakai *et al.*, 2006)

7.2 ฤทธิ์ในการยับยั้งเซลล์มะเร็ง

Yang *et al.* (2010) รายงานว่า สารสกัดฟลูโรแทนนินจากสาหร่ายสีน้ำตาล *Laminaria japonica* มีฤทธิ์ในการยับยั้งการแบ่งตัว (antiproliferative) ของเซลล์มะเร็งตับชนิด BEL-7402 และเซลล์มะเร็งเม็ดเลือดขาวชนิด P388 โดยฤทธิ์ในการยับยั้งนี้จะแปรผันตามความเข้มข้นของสารสกัดฟลูโรแทนนิน โดยค่าความเข้มข้นของสารสกัดฟลูโรแทนนินที่ออกฤทธิ์ยับยั้งได้ 50% (IC₅₀) ของ BEL-7402 และ P388 เท่ากับ 120 µg/ml และมากกว่า 200 µg/ml ตามลำดับ สอดคล้องกับการศึกษาของ Yuan and Walsh (2006) ที่ทดสอบฤทธิ์ในการยับยั้งการเจริญของเซลล์มะเร็งปากมดลูก (human cervical adnecarcinoma cell line; HeLa cell) ด้วยสารสกัดจากสาหร่ายสีน้ำตาล *Laminariasetchellii*, *Macrocystis integrifolia*, *Nereocystis leutkeana* และ *Palmaria palmate* พบว่าฤทธิ์ในการยับยั้งเซลล์มะเร็งจะแปรผันตามกับปริมาณสารประกอบฟีนอลิก (ในหน่วย µg gallic acid equivalent/mg) ที่พบในสารสกัด โดย *P. palmate* ซึ่งมีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกมากที่สุดคือเท่ากับ 12.8 µg GAE/mg จะมีฤทธิ์ในการยับยั้งเซลล์มะเร็งมากที่สุด ตามด้วย *M. integrifolia* (3.95 µg GAE/mg) และ *N. leutkeana* (3.94 µg GAE/mg) และน้อยที่สุดใน *L. setchellii* (1.84 µg GAE/mg) จึงอาจสรุปได้ว่าสารประกอบฟีนอลิกจากสาหร่ายสีน้ำตาลมีฤทธิ์ในการยับยั้งเซลล์มะเร็ง

7.3 ฤทธิ์ในการยับยั้งเชื้อแบคทีเรีย

Cox *et al.* (2010) ได้ทำการทดสอบฤทธิ์ในการยับยั้งเชื้อแบคทีเรีย 4 ชนิด (*Listeria monocytogenes*, *Salmonella abony*, *Enterococcus faecalis* และ *Psuedomonas aeruginosa*) ด้วยวิธี microtitre method โดยใช้สารสกัดเมทานอลจากสาหร่าย 6 ชนิด คือ *Laminaria digitata*, *L. saccharina*, *Himanthalia elongata*, *P. palmate*, *Chondrus crispus*, *Enteromorpha spirulina* พบว่าสารสกัดจากสาหร่ายสีแดง และสีเขียว มีความสามารถในการยับยั้งเชื้อแบคทีเรียได้น้อยกว่าสาหร่ายสีน้ำตาลอย่างมีนัยสำคัญ โดยสาหร่ายสีน้ำตาล *H. elongata* สามารถยับยั้งเชื้อแบคทีเรียได้สูงสุดถึง 100% ที่ความเข้มข้น 6.4 mg/ml และสอดคล้องกับการศึกษาของ Vijayabaskar and Shiyamala (2011) ซึ่งพบว่าฤทธิ์ในการยับยั้งเชื้อแบคทีเรียจากสารสกัดเมทานอลของสาหร่ายสีน้ำตาล 2 ชนิด คือ *S. wightii* และ *Turbinaria ornata* ด้วยวิธีการ well diffusion method พบว่าสาหร่ายทั้ง 2 ชนิด มีความสามารถในการยับยั้งเชื้อแบคทีเรียทั้งแกรมบวก และแกรมลบ โดยที่ *T. ornata* จะมีประสิทธิภาพในการยับยั้งเชื้อแบคทีเรียได้ดีกว่า โดยมีความสัมพันธ์ในเชิงบวกกับปริมาณสารประกอบฟีนอลิกที่พบใน *T. ornata* ซึ่งมีปริมาณมากกว่า *S. wightii*

8. พื้นที่ศึกษา

หาดนางรอง ตั้งอยู่ในละติจูดที่ $12^{\circ} 36' 52''$ เหนือ และ $100^{\circ} 55' 22''$ ตะวันออก อยู่ในพื้นที่ทำเรื่อน้ำลึกลับเสม็ด แหลมจุกเสม็ด อำเภอสัตหีบ จังหวัดชลบุรี อยู่ในความรับผิดชอบของฐานทัพเรือสัตหีบ กองทัพเรือ

8.1 ลักษณะทั่วไป

หาดนางรอง (ภาพที่ 9) มีลักษณะพื้นที่ทะเลเป็นหาดทรายขาวละเอียด สลับกับมีโขดหินเป็นระยะๆ มีความยาวประมาณ 200 เมตร

8.2 ลักษณะทางอุตุนิยมวิทยา

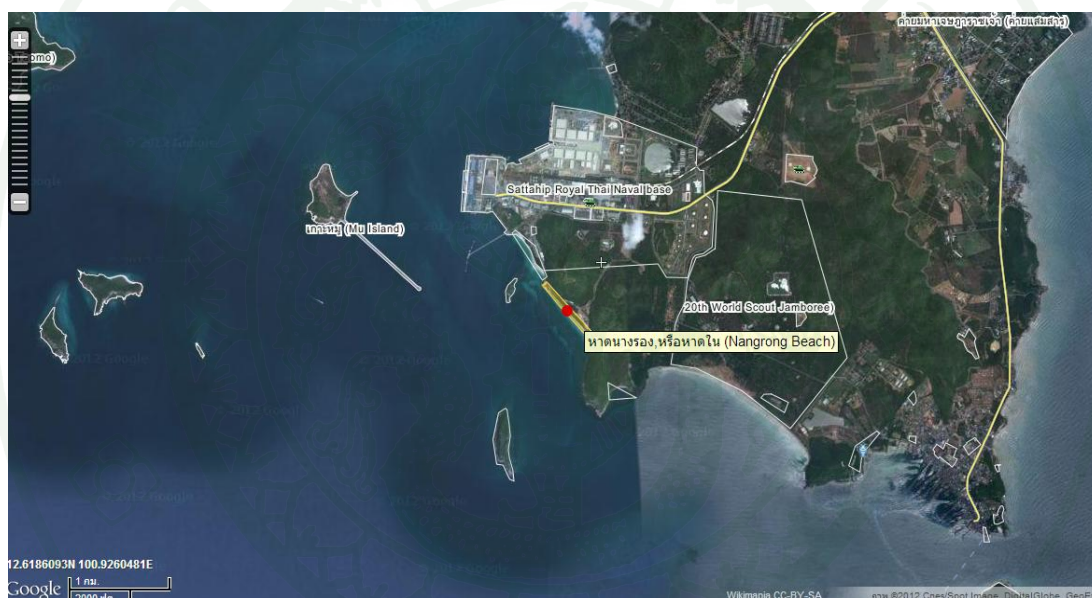
หาดนางรองตั้งอยู่บริเวณอ่าวไทยฝั่งตะวันออก ลักษณะดินฟ้าอากาศได้รับอิทธิพลจากลมมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ และมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือ นอกจากลมมรสุมนี้แล้ว ในอ่าวไทยยังมีลมประจำทิศอีกกระแสหนึ่ง ซึ่งเข้าพัดสู่อ่าวไทยในระยะเปลี่ยนฤดู จากมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือเป็นมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ กระแสลมนี้พัดในทิศใต้ หรือตะวันออกเฉียงใต้จากทะเลจีนใต้ ชาวทะเลเรียกว่า ลมตะเภา พัดในทิศทางประจำเป็นระยะเวลา 2-3 เดือน คือระหว่างเดือนกุมภาพันธ์ถึงเดือนเมษายน มรสุมตะวันตกเฉียงใต้จะทำให้ฝนตกชุกทางฝั่งตะวันออก ส่วนมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือทำให้ฝนตกชุกทางฝั่งตะวันตกของอ่าวไทย ความชื้นสูงเกือบตลอดปี อุณหภูมิสม่ำเสมอ โดยมีฤดูกาล ดังนี้ (กรมอุตุนิยมวิทยา กองทัพเรือ, 2541)

8.2.1. ฤดูฝนทางฝั่งตะวันออกของอ่าวไทย จะเปิดรับลมมรสุมตะวันตกเฉียงใต้อย่างเต็มที่ จะมีลมแรง และคลื่นค่อนข้างจัด และจะมีพายุฝนฟ้าคะนองในตอนบ่าย และตอนเย็นเป็นครั้งคราว ลักษณะเช่นนี้จะเป็นอยู่ตลอดเดือนพฤษภาคมถึงเดือนกันยายน ส่วนในเดือนตุลาคมจะมีฝนตกหนักพร้อมด้วยฟ้าแลบ และฟ้าคะนอง เป็นระยะเวลาสั้นๆ ประมาณ 3-5 วัน อันเป็นสัญลักษณ์การสิ้นสุดของฤดูฝน

8.2.2 ฤดูหนาว เริ่มตั้งแต่เดือนพฤศจิกายนถึงเดือนมกราคม ทางฝั่งตะวันออกของอ่าวไทยมีคลื่นลมค่อนข้างสงบ มรสุมตะวันออกเฉียงเหนือมีกำลังอ่อน แต่ทวีกำลังขึ้นเป็นครั้งคราว โดยสัมพันธ์กับหย่อมความกดอากาศสูงในประเทศจีน หากหย่อมความกดอากาศสูงมีกำลังแรงขึ้นทำ

ให้คลื่นลมแรงขึ้น แต่ถ้าห่อมความกดอากาศสูงอ่อนกำลังมรสุมก็จะอ่อนกำลังลงไปด้วย คลื่นลมก็จะสงบ

8.2.3 ฤดูร้อน เริ่มตั้งแต่เดือนกุมภาพันธ์ มรสุมตะวันออกเฉียงเหนือจะอ่อนกำลังลงจนเกือบหมดสิ้น จะมีลมจากทะเลจีนใต้พัดเข้ามาแทนที่ในระหว่างทิศใต้ และตะวันออกเฉียงใต้ ถึงแม้จะมีแหล่งกำเนิดจากน้ำในทะเลจีนใต้ ก็ไม่ทำให้ฝนตก เนื่องจากเป็นลมที่ไหลลงมาจากเบื้องบนสู่เบื้องล่างจึงมีอุณหภูมิสูง ไม่ทำให้เกิดเมฆและฝน เมื่อลมนี้พัดเข้าสู่อ่าวไทยจึงทำให้เกิดลักษณะอากาศแล้งขึ้นทั่วไป ลมมรสุมตะวันออกเฉียงใต้นี้ปกคลุมทั่วอ่าวไทยรวมระยะเวลาทั้งสิ้นประมาณ 3 เดือน



ภาพที่ 8 ภาพถ่ายทางอากาศ แสดงลักษณะพื้นที่ของหาดนางรอง

ที่มา: Google Maps (2013)



ภาพที่ 9 ลักษณะชายหาดของหาดนางรอง

อุปกรณ์ และวิธีการ

อุปกรณ์

1. อุปกรณ์สำหรับเก็บตัวอย่างสาหร่าย
 - 1.1 อุปกรณ์ค้ำน้ำ
 - 1.2 ถุงตาข่าย
 - 1.3 มีดแซะ
 - 1.4 กล้องถ่ายรูปใต้น้ำ ยี่ห้อ Canon รุ่น S100 พร้อมกับ waterproof case
2. อุปกรณ์สำหรับวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี
 - 2.1 ชุดเครื่องมือวิเคราะห์หาปริมาณ โปรตีน ประกอบด้วย
 - 2.1.1 หน่วยกลั่น ยี่ห้อ Buchi รุ่น 323
 - 2.1.2 หน่วยย่อย ยี่ห้อ Buchi รุ่น 425
 - 2.1.3 เครื่องจับไอกรด ยี่ห้อ Buchi รุ่น B-412
 - 2.2 ชุดเครื่องมือวิเคราะห์ปริมาณ ไบโอมัน soxhlet extraction ยี่ห้อ BUCHI รุ่น B-811
 - 2.3 ชุดเครื่องมือวิเคราะห์ปริมาณเส้นใย ยี่ห้อ Fibertec System รุ่น M 1020
 - 2.4 อุปกรณ์วิเคราะห์ปริมาณเถ้าประกอบด้วย
 - 2.4.1 เตาเผาอุณหภูมิสูง (muffle furnace) ยี่ห้อ CARBOLITE รุ่น RHF14/8
 - 2.4.2 ตู้อบที่ควบคุมอุณหภูมิได้ (hot air oven)
 - 2.4.3 โถดูดความชื้น (desiccators) และคีมคีบ
 - 2.4.4 ถ้วยกระเบื้อง (crucible)
 - 2.5 อุปกรณ์วิเคราะห์ปริมาณความชื้น
 - 2.5.1 ภาชนะอลูมิเนียมพร้อมฝาปิด (aluminium can)
 - 2.5.2 ตู้อบที่ควบคุมอุณหภูมิได้ (hot air oven)
 - 2.5.3 โถดูดความชื้น (desiccators) และคีมคีบ
 - 2.6 เครื่องชั่งละเอียด 4 ตำแหน่ง
3. อุปกรณ์และสารเคมีในเก็บตัวอย่าง และวิเคราะห์คุณภาพน้ำ
 - 3.1 ขวดพลาสติกสำหรับใส่ตัวอย่างน้ำ
 - 3.2 กระดาษกรองขนาด 0.45 μm

1700

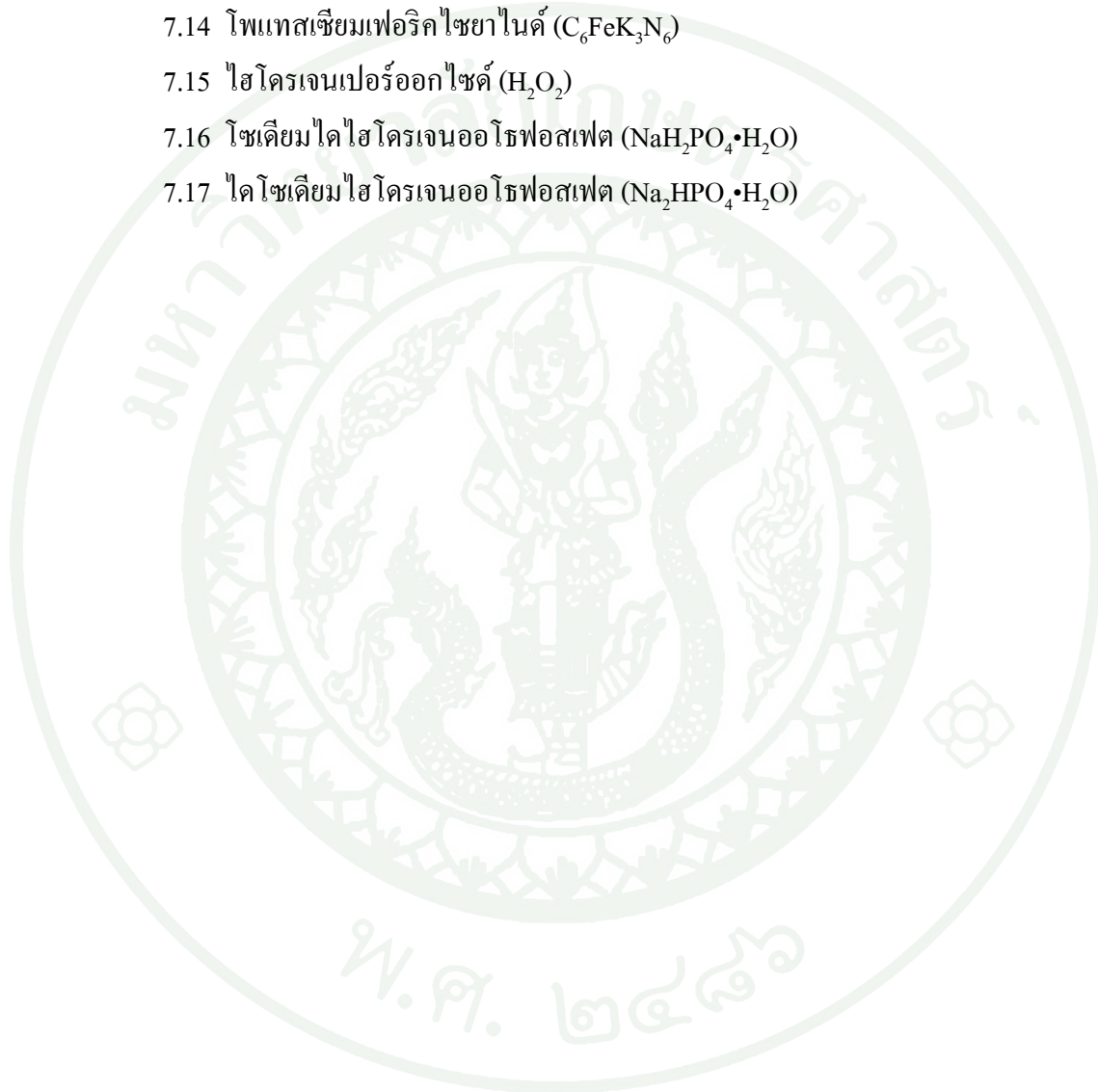
- 3.3 เครื่องวัดออกซิเจนละลาย (dissolved oxygen meter) ยี่ห้อ YSI รุ่น Pro20
 - 3.4 เครื่องวัดความขุ่น (turbiditymeter) ยี่ห้อ HACH รุ่น 2100Q Portable
 - 3.5 เครื่องวัดความเค็ม (salinity refractometer) ยี่ห้อ ATAG รุ่น ATC-20E
 - 3.6 เครื่องวัดความเป็นกรดเป็นด่าง (pH meter) ยี่ห้อ CHAMRAS รุ่น HM-20PUV-
- 1700
- 3.7 เครื่องวัดค่าการดูดกลืนแสง (spectrophotometer) ยี่ห้อ SHIMADZU รุ่น
 - 3.8 น้ำกลั่นปราศจากไอออน (deionized distilled water)
 - 3.9 สารละลายซัลฟานิลาไมด์ (sulfanilamide reagent)
 - 3.10 สารละลายเมอคิวริกคลอไรด์ (HgCl_2 solution)
 - 3.11 สารละลาย 1-เนฟธิลเอทิลีนไดอะมีนไดไฮโดรคลอไรด์ (N-(1-naphthyl)-ethylenediamine dihydrochloride solution)
 - 3.12 สารละลายกรดซัลฟูริก (H_2SO_4 solution)
 - 3.13 กรดไฮโดรคลอริก (HCl) ความเข้มข้น 1% โดยปริมาตร
 - 3.14 กรดไฮโดรคลอริก (HCl) ความเข้มข้น 5% โดยปริมาตร
 - 3.15 ฟีนอล์ฟทาเลอิน อินดิเคเตอร์ (phenolphthalein indicator)
 - 3.16 แอมโมเนียมคลอไรด์ชนิดเจือจาง (dilute ammonium chloride solution)
 - 3.17 โพแทสเซียมเปอร์ซัลเฟต ($\text{K}_2\text{S}_2\text{O}_8$)
 - 3.18 โซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) 1 N
4. อุปกรณ์ และสารเคมีในการสกัดสารจากสาหร่าย
 - 4.1 เครื่อง rotary evaporator รุ่น BÜCHI Rotavapor R 200
 - 4.2 กระดาษกรอง Whatman เบอร์ 2
 - 4.3 เครื่องชั่งไฟฟ้า 4 ตำแหน่ง ยี่ห้อ DENVER INSTRUMENT รุ่น SI-234
 - 4.4 เครื่องเขย่า (shaker)
 - 4.5 กรวยแยก (separating funnel) ขนาด 500 ml
 - 4.6 พลาสเจอร์ปิเปต (pasteur pipet) ขนาดยาว 9 นิ้ว พร้อมจุกยาง
 - 4.7 ขวดเก็บตัวอย่าง (vial) ขนาด 20 ml
 - 4.8 ขวดระเหย (evaporation flask)
 - 4.9 โถดูดความชื้น
 - 4.10 ตู้แช่ $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$
 - 4.11 เมทานอล 95%
 - 4.12 ก๊าซไนโตรเจน

5. อุปกรณ์ และสารเคมีสำหรับการสกัดด้วยตัวทำละลาย
 - 5.1 กรวยแยก (separating funnel) ขนาด 500 ml
 - 5.2 ขาตั้ง (stand) ประกอบด้วยฐาน (base) และเสา (post) พร้อมโอริง (O-Ring) ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 3.0 นิ้ว
 - 5.3 เครื่อง rotary evaporator รุ่น BÜCHI Rotavapor R 200
 - 5.4 ปิโตรเลียมอีเทอร์ (petroleum ether) จุดเดือด 35-60 °C
 - 5.5 เอทิลอะซิเตท (ethyl acetate)
 - 5.6 นอร์มัลบิวทานอล (n-butanol)
 - 5.7 ไดเมทิลซัลฟอกไซด์ (dimethyl sulphoxide)

6. อุปกรณ์ และสารเคมีสำหรับวิเคราะห์หาปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด
 - 6.1 หลอด eppendorf ขนาด 1.5 ml
 - 6.2 สารละลายฟอลินซีโอแคลตู (Folin-Ciocalteu's reagent) ความเข้มข้น 10% โดยปริมาตร
 - 6.3 โซเดียมคาร์บอเนต (Na_2CO_3) ความเข้มข้น 6%
 - 6.4 ฟลูโรกลูซินอล (phloroglucinol) ยี่ห้อ SIGMA-ALDRICH
 - 6.5 เครื่องชั่งทศนิยม 4 ตำแหน่งยี่ห้อ DENVER INSTRUMENT รุ่น SI-234
 - 6.6 ตู้อบ (hot air oven)
 - 6.7 เครื่องวัดค่าการดูดกลืนแสง (spectrophotometer) ยี่ห้อ SHIMADZU รุ่น UV-1700
 - 6.8 ภาชนะใส่สาร (cuvette)
 - 6.9 เมทานอล 95%
 - 6.10 ขวดปรับปริมาตรขนาด 10 ml

7. อุปกรณ์ และสารเคมีสำหรับทดสอบหาฤทธิ์ในการต้านอนุมูลอิสระ
 - 7.1 หลอดเก็บตัวอย่าง (eppendorf)
 - 7.2 ปีเปตอัตโนมัติ (autopipette)
 - 7.3 เครื่องวัดค่าการดูดกลืนแสง (spectrophotometer) SHIMADZU รุ่น UV-1700
 - 7.4 ตู้บ่ม (incubator) ยี่ห้อ Contherm รุ่น series five
 - 7.5 อ่างน้ำควบคุมอุณหภูมิ (water bath) ยี่ห้อ Memmert รุ่น G/WB14/22
 - 7.6 เครื่องเหวี่ยงสาร (centrifuge)
 - 7.7 ไดเมทิลซัลฟอกไซด์ (dimethyl sulphoxide)
 - 7.8 เมทานอล 95%

- 7.9 butylated hydroxytoluene (BHT)
- 7.10 2, 2-diphenyl-1-picrylhydrazyl (DPPH)
- 7.11 1,10-phenanthroline
- 7.12 เฟอร์ริกคลอไรด์ (FeCl_3)
- 7.13 เฟอร์ริกคลอไรด์เตตระไฮเดรต ($\text{FeCl}_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$)
- 7.14 โพแทสเซียมเฟอร์ริกไซยาไนด์ ($\text{C}_6\text{FeK}_3\text{N}_6$)
- 7.15 ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ (H_2O_2)
- 7.16 โซเดียมไดไฮโดรเจนออร์โธฟอสเฟต ($\text{NaH}_2\text{PO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$)
- 7.17 ไดโซเดียมไฮโดรเจนออร์โธฟอสเฟต ($\text{Na}_2\text{HPO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$)



วิธีการ

1. การเก็บตัวอย่าง

1.1 การเก็บตัวอย่างสาหร่าย

เก็บรวบรวมตัวอย่างสาหร่าย *S. aquifolium* และ *S. oligocystum* จากหาดนางรอง ต.แสมสาร อ.สัตหีบ จ.ชลบุรี ใน 4 ครั้ง ได้แก่ เดือนกุมภาพันธ์ (ฤดูร้อน) เดือนพฤษภาคม (ก่อนมรสุม) เดือนสิงหาคม (มรสุม) และเดือนธันวาคม (ฤดูหนาว) โดยเก็บตัวอย่างเดือนละ 1 ครั้ง ถ้าช่วงใดที่มีน้ำขึ้นสูงจะใช้วิธีการดำผิวน้ำ (skin diving) ในการเก็บตัวอย่าง และใช้วิธีการเดินเก็บถ้าระดับน้ำลดต่ำ

1.2 การเตรียมตัวอย่างสาหร่าย

นำตัวอย่างสาหร่าย *S. aquifolium* และ *S. oligocystum* ที่เก็บรวบรวมได้ โดยเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิประมาณ 4 °C ก่อนนำกลับมายังห้องปฏิบัติการ และล้างตัวอย่างด้วยน้ำประปาให้สะอาดอีกครั้งหนึ่ง แยกเศษตะกอน และสาหร่ายชนิดอื่นที่เกาะอยู่บนตัวอย่างออกให้หมด สะเด็ดน้ำให้ออกมากที่สุด โดยแบ่งตัวอย่างสาหร่ายออกเป็น 3 ส่วน ส่วนที่หนึ่งนำไปตากให้แห้งที่อุณหภูมิห้อง เพื่อใช้สำหรับการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี ได้แก่ โปรตีน คาร์โบไฮเดรต ไขมัน โยอาหาร และเถ้า ส่วนที่สองเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ -20 °C เพื่อเก็บไว้ใช้ในการสกัดสารสกัด และส่วนที่สามนำไปอัดแห้ง (herbarium) เพื่อไว้ใช้ตรวจดูลักษณะทางสัณฐานวิทยา ดังนี้

1.2.1 ดัชนีความสมบูรณ์พันธุ์ (% maturity index)

ความสมบูรณ์พันธุ์ของสาหร่ายสามารถประเมินได้จากการสร้างอวัยวะสืบพันธุ์ (receptile) โดยแสดงค่าเป็นอัตราส่วนระหว่างจำนวนแทลลัสที่สร้างอวัยวะสืบพันธุ์ต่อตัวอย่างสาหร่ายทั้งหมด (Murakami *et al.*, 2011) ซึ่งสามารถคำนวณได้ตามสูตรดังต่อไปนี้

$$\text{ดัชนีความสมบูรณ์พันธุ์ (\%)} = \frac{\text{จำนวนต้นที่สร้างเซลล์สืบพันธุ์}}{\text{จำนวนตัวอย่างทั้งหมด}} \times 100$$

1.2.2 ความสูง

วัดความสูงของสาหร่ายจากโคนถึงปลายของแขนงแรก (primary branch)

การตรวจวัดลักษณะทางสัณฐานวิทยาของสาหร่าย *S. aquifolium* และ *S. oligocystum* ในแต่ละเดือน จะทำการตรวจวัดในทุกตัวอย่างที่เก็บมาได้

2. การวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี

การศึกษาองค์ประกอบทางเคมีของสาหร่าย *S. aquifolium* และ *S. oligocystum* จะทำการวิเคราะห์ประเภทละ 3 ซ้ำ โดยประเภทขององค์ประกอบทางเคมีที่ทำการศึกษามีดังต่อไปนี้

2.1 ความชื้น (moisture) วิเคราะห์ด้วยวิธี drying method (A.O.A.C, 2000) โดยการนำสาหร่ายไปอบที่อุณหภูมิ 102 ± 3 °C จนสาหร่ายมีน้ำหนักคงที่ โดยสามารถคำนวณหาปริมาณความชื้นได้จากสูตร ตามรายละเอียดในภาคผนวก ก

2.2 เถ้า วิเคราะห์ด้วยวิธี dry ashing method (A.O.A.C., 2000) โดยการนำสาหร่ายไปเผาที่อุณหภูมิ 550 °C จนได้เถ้าสีเทาอ่อน หรือขาวสม่ำเสมอ และสามารถคำนวณหาปริมาณเถ้าได้จากสูตร ตามรายละเอียดในภาคผนวก ก

การศึกษาองค์ประกอบทางเคมีในข้อ 2.1 และ 2.2 จะทำการวิเคราะห์ที่ศูนย์วิจัยทรัพยากรชีวภาพสาหร่าย คณะประมง มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

2.3 โปรตีน (protein) วิเคราะห์ด้วยวิธี Kjeldahl method (A.O.A.C., 2000) ซึ่งเป็นการวิเคราะห์หาปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดที่มีอยู่ในตัวอย่าง แล้วคูณด้วย 5.38 เป็นร้อยละของโปรตีน (Lorenco *et al.*, 2002) โดยสามารถคำนวณหาค่าไนโตรเจนได้จากสูตร ตามรายละเอียดในภาคผนวก ก

2.4 ไขมัน (lipid) วิเคราะห์ด้วยวิธี direct extraction method (A.O.A.C., 2000) ซึ่งเป็นวิธีการสกัดด้วยตัวทำละลาย และสามารถคำนวณหาปริมาณไขมันได้จากสูตร ตามรายละเอียดในภาคผนวก ก

2.5 ใยอาหาร (fiber) วิเคราะห์ด้วยวิธี total dietary fiber method (สุทิน, 2552) ใยอาหารจะเป็นส่วนที่เหลือจากการย่อยด้วยกรด และด่าง ซึ่งสามารถคำนวณหาปริมาณใยอาหารได้จากสูตรตามรายละเอียดคในภาคผนวก ก

การศึกษาองค์ประกอบทางเคมีข้อ 2.3-2.5 ทำการวิเคราะห์ด้วยตนเองที่ศูนย์พัฒนาเทคโนโลยีอาหารสัตว์น้ำ คณะประมง วิทยาเขตบางเขน

2.6 คาร์โบไฮเดรต โดยวิธีคำนวณ (นิธิยา, 2554)

การหาปริมาณคาร์โบไฮเดรตทั้งหมด โดยวิธีการคำนวณ ดังนี้

$$\text{คาร์โบไฮเดรต (\%)} = 100\% - (\% \text{โปรตีน} + \% \text{ไขมัน} + \% \text{ใยอาหาร} + \% \text{เถ้า})$$

2.7 กรดอะมิโน (amino acid profile) ด้วยเครื่อง HPLC ตามวิธีการดัดแปลงจาก Petritis *et al.* (2000) กรดอะมิโนที่วิเคราะห์ทั้งสิ้น 18 ชนิด ได้แก่ กรดแอสพาร์ติก กรดกลูตามิก เซอรีน ฮิสทีดีน ทรีโอนีน ไกลซีน อาร์จินีน อะลานีน ไทโรซีน วาลีน เมทไทโอนีน ซิสทีน ไอโซลิวซีน ฟีนิลอะลานีน ทริปโตเฟน ลิวซีน ไลซีน และ โพรลีน

2.7.1 การคำนวณคะแนนกรดอะมิโน (amino acid score)

การหาคะแนนกรดอะมิโน สามารถคำนวณได้ ดังนี้

คะแนนกรดอะมิโน (%) = มิลลิกรัมของกรดอะมิโนจำเป็นที่น้อยที่สุดต่อกรัมของโปรตีนในสหาราย/มิลลิกรัมของกรดอะมิโนจำเป็นที่น้อยที่สุดต่อกรัมของโปรตีนในไข่ x 100 โดยคิดจากค่าโปรตีนที่พบสูงสุดในสหารายแต่ละชนิด

2.8 วิตามินซี วิเคราะห์โดยด้วยเครื่อง HPLC ด้วยการสกัด และวิเคราะห์ปริมาณวิตามินซีตามวิธีการของ Sanchez-Machado *et al.* (2002)

2.9 แร่ธาตุ วิเคราะห์ด้วย วิธี ICP Method โดยหลักการของอะตอมมิกสเปกโทรสโกปี (atomic spectroscopy) ซึ่งเป็นวิธีวิเคราะห์โดยอาศัยกระบวนการคายพลังงานของอะตอม (atomic

emission) ได้แก่ แคลเซียม (Ca) เหล็ก (Fe) สังกะสี (Zn) ทองแดง (Cu) ซีลีเนียม (Se) โพแทสเซียม (K) โซเดียม (Na) แมกนีเซียม (Mg) และไอโอดีน (I)

การศึกษาร่วมกับประกอบทางเคมีข้อ 2.7-2.9 ทำการวิเคราะห์โดยสถาบันค้นคว้าและพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหาร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

3. การวิเคราะห์คุณภาพน้ำ

3.1 การวิเคราะห์คุณภาพน้ำในภาคสนาม

ระหว่างการสำรวจเก็บตัวอย่างสาหร่ายในภาคสนามในแต่ละเดือนจะทำการวัดคุณภาพน้ำในภาคสนาม ได้แก่ อุณหภูมิอากาศ โดยใช้เทอร์โมมิเตอร์ (thermometer) ออกซิเจนละลาย และอุณหภูมิน้ำ โดยใช้ dissolved oxygen meter ยี่ห้อ YSI รุ่น Pro200 ความขุ่นโดยใช้ turbiditymeter ยี่ห้อ HACH รุ่น 2100Q Portable ความเค็ม โดยใช้ salinity refractometer ยี่ห้อ ATAG รุ่น ATC-20E และความเป็นกรดเป็นด่าง โดยใช้ pH meter ยี่ห้อ CHAMRAS รุ่น HM-20P

3.2 การวิเคราะห์ตัวอย่างน้ำในห้องปฏิบัติการ

เก็บตัวอย่างน้ำทะเลจากบริเวณที่เก็บตัวอย่างสาหร่าย โดยใช้ขวดเก็บตัวอย่างน้ำพลาสติกขนาด 500 ml นำขวดตัวอย่างน้ำแช่ในถังโฟมที่มีอุณหภูมิต่ำ เพื่อนำมาตรวจวัดคุณสมบัติของน้ำทางเคมี ได้แก่ ไนโตรเจน ไนเตรท ในห้องปฏิบัติการต่อไป

4. การสกัดสารสกัดหยาบ (crude extract) จากสาหร่าย *S. aquifolium* และ *S. oligocystum* และการหาเปอร์เซ็นต์ปริมาณผลผลิต (yield)

4.1 การสกัดสารสกัดหยาบจากสาหร่าย *S. aquifolium* และ *S. oligocystum*

นำตัวอย่างสาหร่ายที่เก็บไว้ในตู้แช่ที่ $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ มาละลายน้ำแข็งออก แล้วชั่งน้ำหนักออกจากตัวอย่างให้หมด จากนั้นชั่งน้ำหนักสาหร่ายแล้วนำมาสกัดด้วยเมทานอล (ความเข้มข้น 95%) โดยใช้อัตราส่วนระหว่างสาหร่ายสดต่อเมทานอลเท่ากับ 1:10 w/v สกัดตัวอย่างเป็นเวลา 24 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิห้อง ในที่มืด โดยใช้เครื่องเขย่า (shaker) เพื่อให้สาหร่าย และสารละลายเกิดการผสมกัน

หลังจากครบ 24 ชั่วโมง นำมากรองแยกกาก แล้วนำไปสกัดซ้ำด้วยวิธีเดียวกันอีก 2 ครั้ง จากนั้นนำสารสกัดที่กรองได้แต่ละครั้งมารวมกัน แล้วนำไปทำให้แห้งด้วยเครื่อง rotary evaporator ที่อุณหภูมิ 40 °C ชั่งน้ำหนักของสารสกัดที่ได้ แล้วจึงละลายสารสกัดที่แห้งแล้วด้วยเมทานอล ปริมาณเล็กน้อย เป่าด้วยก๊าซไนโตรเจน และเก็บใส่ขวดสีชาที่อุณหภูมิ -20 °C จนกว่าจะนำไปศึกษาในขั้นตอนต่อไป

4.2 การหาร้อยละของปริมาณสารสกัดหยาบ (crude extract)

นำสารสกัดที่ได้จากข้อ 4 นำมาคำนวณหาปริมาณสารสกัดหยาบเทียบกับน้ำหนักเริ่มของตัวอย่างสำหรับแห้งที่นำมาสกัด (%yield) ตามสูตรต่อไปนี้

$$\text{ร้อยละของปริมาณสารสกัดที่ได้ (\%w/w)} = \frac{\text{น้ำหนัก crude extract}}{\text{น้ำหนักตัวอย่างแห้งที่นำมาสกัด}} \times 100$$

5. การสกัดด้วยตัวทำละลาย (liquid-liquid extraction)

นำสารสกัดหยาบจากข้อ 4.1 มาแยกส่วน ตามวิธีการของ Duan *et al.* (2006) ด้วยสารละลายปิโตรเลียมอีเธอร์ (PE) จะทำให้สารละลายเกิดการแยกส่วนออกเป็น 2 ชั้น เก็บสารละลายส่วนบน ซึ่งเป็นชั้นของ PE จากนั้นนำส่วนที่ละลายอยู่ในชั้นเมทานอล (ME) หรือส่วนล่างไปทำให้แห้ง ชะด้วยน้ำกลั่น แล้วจึงนำมาแยกส่วนต่อด้วยสารละลายเอทิลอะซิเตท จะทำให้สารละลายเกิดการแยกส่วนออกเป็น 2 ชั้น เก็บส่วนบนที่เป็นชั้นของ EA และนำส่วนที่ละลายอยู่ในน้ำกลั่น หรือส่วนล่างมาแยกส่วนครั้งสุดท้ายด้วยนอร์มัลบิวทานอล จะทำให้สารละลายเกิดการแยกส่วนออกเป็น 2 ชั้น เก็บส่วนบนที่เป็นชั้นของ BU และส่วนล่างที่เป็นชั้นของ AQ อัตราส่วนระหว่างสารสกัด และตัวทำละลายเท่ากับ 1:1 โดยสกัด 3 ชั่วโมง ต่อตัวทำละลาย 1 ชนิด จากวิธีการนี้จะได้สารสกัดทั้งหมด 4 ส่วน ได้แก่ PE, EA, BU และ AQ (ภาพที่ 10) นำสารสกัดแต่ละส่วนไปทำให้แห้ง และคำนวณหาปริมาณสารสกัดตามวิธีการในข้อ 4.2 จากนั้นนำมาชะด้วยสารละลาย dimethyl sulfoxide (DMSO) เพื่อนำไปหาปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด และทดสอบฤทธิ์ในการต้านอนุมูลอิสระ

concentration; EC₅₀) เปรียบเทียบกับวิตามินซี (L-ascorbic acid) และ butylated hydroxytoluene (BHT) ซึ่งเป็นสารต้านอนุมูลอิสระมาตรฐาน

7.1 วิธี DPPH radical scavenging activity (Bondet *et al.*, 1997)

นำตัวอย่างสารจากข้อ 4 และ 5 จำนวน 750 µl มาใส่หลอด eppendorf จากนั้นเติมสารละลาย DPPH ความเข้มข้น 0.16 mM (เตรียมโดยชั่ง DPPH 0.0315 กรัม ในเมทานอล 250 ml) 750 µl ผสมให้เข้ากัน ทิ้งไว้ในที่มืด 30 นาที จึงนำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ 517 นาโนเมตร แล้วนำไปคำนวณหาความสามารถในการยับยั้งตามสูตร

$$\text{การยับยั้ง (\%)} = [1 - (A_S - A_B) / A_C] \times 100$$

โดยที่ A_S = ค่าการดูดกลืนแสงที่วัดได้ของสารสกัดผสมกับ DPPH

A_B = ค่าการดูดกลืนแสงที่วัดได้ของเมทานอลผสมกับการสกัด

A_C = ค่าการดูดกลืนแสงที่วัดได้ของเมทานอลผสมกับ DPPH

6.2 วิธี Reducing power (Athukorala *et al.*, 2006)

นำตัวอย่างสารจากข้อ 4 และ 5 จำนวน 1 ml ผสมกับ phosphate buffer pH 6.6 จำนวน 2.5 ml จากนั้นเติมโพแทสเซียมเฟอร์ริกไซยาไนด์ (K₃Fe(CN)₆) จำนวน 2.5 ml นำหลอดทดลองไปบ่มที่อุณหภูมิ 50 °C ใน water bath เป็นเวลา 20 นาที จากนั้นเติมกรดไตรคลอโรอะซิติกจำนวน 2.5 ml นำปั่นเหวี่ยงด้วยเครื่องเหวี่ยงสารที่ 3,000 rpm เป็นเวลา 10 นาที จากนั้นนำส่วนของสารละลายที่อยู่ด้านบน (upper layer) มาผสมกับน้ำกลั่น จำนวน 2.5 ml และเฟอร์ริกคลอไรด์จำนวน 0.5 ml วัดค่าการดูดกลืนแสงที่ 700 นาโนเมตร หาความสามารถในการรีดิวซ์ โดยการคำนวณเปรียบเทียบกับกราฟมาตรฐานของสารละลายกรดแอสคอร์บิก (ภาคผนวกที่ ข2)

6.3 วิธี Hydroxyl radical scavenging assay (Jin *et al.*, 1996)

ปีเปตสารละลาย phenanthroline ความเข้มข้น 7.5 mM มาจำนวน 500 µl เติม phosphate buffer ความเข้มข้น 200 mM pH 7.4 จำนวน 2 ml จากนั้นเติม FeSO₄ ความเข้มข้น 7.5 mM และ H₂O₂ ความเข้มข้น 0.1% อย่างละ 500 µl ตามลำดับ เติมสารสกัดที่ได้จากข้อ 4 และ 5 แล้ว

นำไปป้อนที่อุณหภูมิ 37 °C เป็นเวลา 1 ชั่วโมง วัดค่าการดูดกลืนแสงที่ 536 นาโนเมตร คำนวณหาความสามารถในการยับยั้งตามสูตร

$$\text{การยับยั้ง (\%)} = [(A_s - A_B) / (A_0 - A_B)] \times 100$$

โดยที่ A_s = ค่าการดูดกลืนแสงของระบบที่มีตัวอย่าง

A_B = ค่าการดูดกลืนแสงของระบบที่ปราศจากตัวอย่าง

A_0 = ค่าการดูดกลืนแสงของระบบที่ปราศจากตัวอย่าง และ H_2O_2

7. การวิเคราะห์ทางสถิติ

นำข้อมูลที่ได้จากการรวบรวมมาประมวลผล เพื่อนำเสนอข้อมูลทางสถิติ โดยวิเคราะห์หาค่าเฉลี่ย ทดสอบหาความแตกต่างทางสถิติ และทดสอบความสัมพันธ์ ในการทดสอบความแตกต่างทางสถิติ ทำการวิเคราะห์ความแตกต่างทางสถิติแบบ one-way ANOVA การทดสอบความสัมพันธ์ ใช้การหาค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ หากพบว่าชุดข้อมูลมีการแจกแจงแบบปกติจะเลือกใช้การวิเคราะห์หาค่าสหสัมพันธ์ของเพียร์สัน (Pearson's correlation) และหากพบว่าชุดข้อมูลมีการแจกแจงแบบไม่ปกติจะเลือกใช้การวิเคราะห์หาค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของสเปียร์แมน (Spearman's correlation coefficient) (สำนักงานสถิติแห่งชาติ, 2547)

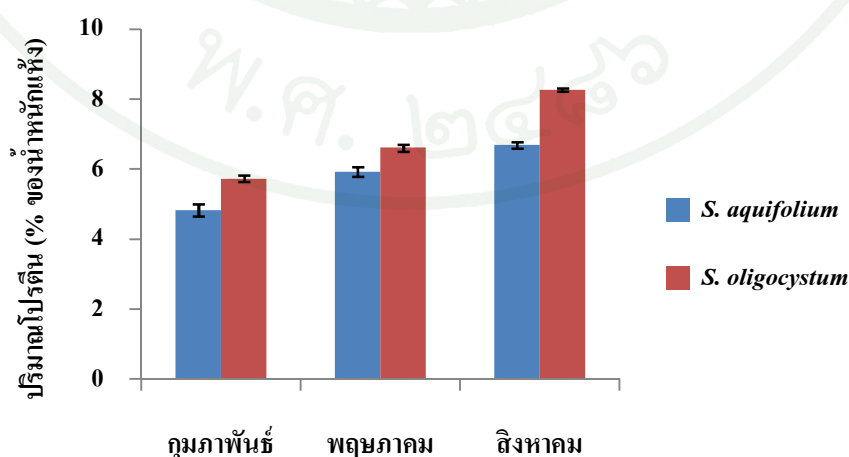
ผลและวิจารณ์

1. การศึกษาปริมาณองค์ประกอบทางเคมีของสาหร่าย *S. aquifolium* และ *S. oligocystum*

จากการศึกษาปริมาณองค์ประกอบทางเคมีของสาหร่าย *S. aquifolium* และ *S. oligocystum* จากจุดสำรวจหาดนางรอง ในปี 2555 โดยการเก็บตัวอย่างทั้งหมด 4 ครั้ง สามารถเก็บตัวอย่างได้ในเดือนกุมภาพันธ์ พฤษภาคม และสิงหาคม ส่วนในเดือนธันวาคมไม่สามารถเก็บตัวอย่างสาหร่ายได้เนื่องจากสาหร่ายมีลักษณะขาดท่อน เหลือเพียงตอ และอีกส่วนหนึ่งมีลักษณะเป็นต้นอ่อน (ความยาวประมาณ 1-2 เซนติเมตร) จึงยากต่อการจำแนกชนิด และมีปริมาณน้อย ทำให้ไม่เพียงพอต่อการนำมาวิเคราะห์ และใช้ประโยชน์ โดยผลจากการศึกษามีรายละเอียดดังต่อไปนี้

1.1 โปรตีน

โปรตีนเป็นส่วนประกอบของอาหารที่จำเป็นต่อการดำรงชีพของคน และสัตว์ เป็นสารตั้งต้นในกระบวนการชีวเคมีต่างๆ และยังเป็นแหล่งของพลังงานที่สำคัญของร่างกาย (Cerna, 2011) การวิเคราะห์หาปริมาณโปรตีนทั้งหมดในสาหร่าย *Sargassum* ทั้ง 2 ชนิด วิเคราะห์จากการหรร้อยละของไนโตรเจนทั้งหมด แล้วคูณด้วย 5.38 (Lorenco *et al.*, 2002) เนื่องจากไนโตรเจน 1 กรัม ในสาหร่ายสีน้ำตาล มีโปรตีนอยู่ 5.38 กรัม จึงใช้ค่า 5.38 คูณปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดที่วิเคราะห์ได้ ซึ่งผลการศึกษาปริมาณโปรตีนของสาหร่ายทั้ง 2 ชนิด ในแต่ละฤดูกาลมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) (ภาพที่ 11) (ตารางผนวกที่ ข1 และ ข2)



ภาพที่ 11 ปริมาณโปรตีน (%ของน้ำหนักแห้ง) ของสาหร่าย *S. aquifolium* และ *S. oligocystum*

จากการศึกษาในครั้งนี้พบว่าปริมาณโปรตีนของสาหร่าย *S. aquifolium* มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นจากเดือนกุมภาพันธ์ถึงสิงหาคม (ภาพที่ 11) โดยค่าเฉลี่ยสูงสุดอยู่ในเดือนสิงหาคม ($6.69 \pm 0.09\%$ ของน้ำหนักแห้ง) และต่ำสุดในเดือนกุมภาพันธ์ ($4.83 \pm 0.17\%$ ของน้ำหนักแห้ง) เช่นเดียวกับสาหร่าย *S. oligocystum* ที่มีค่าเฉลี่ยของโปรตีนสูงสุดอยู่ในเดือนสิงหาคม ($8.27 \pm 0.04\%$ ของน้ำหนักแห้ง) และต่ำสุดในเดือนกุมภาพันธ์ ($5.73 \pm 0.09\%$ ของน้ำหนักแห้ง) โดยปริมาณโปรตีนที่พบในสาหร่าย *S. oligocystum* มีปริมาณมากกว่าสาหร่าย *S. aquifolium* ในทุกฤดูกาล นอกจากนี้ยังพบว่าปริมาณโปรตีนของสาหร่ายจากการศึกษาในครั้งนี้มีค่าอยู่ในช่วง 4.83-8.27% ของน้ำหนักแห้ง ซึ่งเป็นปริมาณที่น้อยกว่าสาหร่าย *S. horneri* ที่มีปริมาณโปรตีนอยู่ในช่วง 6.34-12.80% ของน้ำหนักแห้ง (Manivanna *et al.*, 2008) และใกล้เคียงกับปริมาณโปรตีนในสาหร่าย *S. polycystum* (5.4% ของน้ำหนักแห้ง) (Matanjun *et al.*, 2009) ถึงแม้ว่าจะเป็นปริมาณโปรตีนจากสาหร่ายสกุล *Sargassum* เหมือนกัน แต่ก็ยังมีปริมาณที่แตกต่างกัน เนื่องจากปริมาณโปรตีนของสาหร่ายสามารถแปรผันตามชนิดของสาหร่าย ฤดูกาล และภูมิศาสตร์ (Fleurence, 1999; Haroon, 2000; Ratana-arporn and Chirapat, 2006)

เมื่อเปรียบเทียบปริมาณโปรตีนในสาหร่าย *Sargassum* ทั้ง 2 ชนิดนี้กับพืชชั้นสูงพบว่าสาหร่ายทั้ง 2 ชนิด มีปริมาณโปรตีนใกล้เคียงกับผักโขม (Water Spinach) ซึ่งเท่ากับ $6.30 \pm 0.26\%$ ของน้ำหนักแห้ง (Umar *et al.*, 2007) แต่ยังมีปริมาณโปรตีนน้อยกว่าถั่วเหลือง (90% ของน้ำหนักแห้ง) (Berk, 1992) ซึ่งเป็นพืชโปรตีนสูง อย่างไรก็ตามเราสามารถบริโภคสาหร่าย เพื่อเสริมความต้องการโปรตีนในแต่ละวันได้

1.2 กรดอะมิโน

กรดอะมิโนทำหน้าที่เป็นหน่วยโครงสร้างของโปรตีน เป็นแหล่งของพลังงาน และยังเป็นสารตั้งต้นสำหรับการสังเคราะห์ชีวโมเลกุลหลายชนิด (Sharer, 2014) โดยสัตว์มีความต้องการใช้กรดอะมิโนทั้งหมด 22 ชนิด ซึ่งแบ่งออกเป็น 2 กลุ่ม กลุ่มแรกเป็นกรดอะมิโนไม่จำเป็น (nonessential amino acid; nEAA) คือ กรดอะมิโนที่ร่างกายสามารถสังเคราะห์จากกรดอะมิโนจำเป็นได้อย่างเพียงพอ ไม่จำเป็นต้องได้รับจากอาหารในปริมาณที่มาก กลุ่มที่สองเป็นกรดอะมิโนจำเป็น (essential amino acid; EAA) คือ กรดอะมิโนชนิดที่ร่างกายไม่สามารถสังเคราะห์ขึ้นเองได้ หรือสังเคราะห์ได้แต่ไม่เพียงพอต่อความต้องการจึงจำเป็นต้องได้รับจากอาหาร (ศรีสกุล และรัชชย, 2539)

การศึกษาปริมาณกรดอะมิโนที่เปลี่ยนแปลงตามฤดูกาล โดยรวมพบว่ากรดอะมิโนไม่จำเป็นของสาหร่าย *S. aquifolium* มีปริมาณมากที่สุดในเดือนพฤษภาคม (ตารางที่ 3) และมีกรดอะมิโนจำเป็นมากที่สุดในเดือนสิงหาคม (ตารางที่ 4) ขณะที่สาหร่าย *S. oligocystum* มีปริมาณกรดอะมิโนไม่จำเป็น และกรดอะมิโนจำเป็นมากที่สุดในเดือนพฤษภาคม โดยกรดอะมิโนไม่จำเป็นที่พบปริมาณมากในสาหร่ายทั้ง 2 ชนิดได้แก่ กรดแอสพาร์ติก (aspartic acid) และกรดกลูตามิก (glutamic acid) สอดคล้องกับรายงานของ Abou-EI-Wafa *et al.* (2011) ซึ่งพบว่ากรดอะมิโนจำเป็นที่พบมากที่สุดสาหร่าย *S. sunrepandum* คือ กรดแอสพาร์ติก และกรดกลูตามิก นอกจากนี้ยังมีรายงานว่ากรดอะมิโนไม่จำเป็นทั้ง 2 ชนิดนี้ มีประโยชน์ในการช่วยเพิ่มรสชาติของอาหารให้ดีขึ้น (Matanjun *et al.*, 2009) สำหรับกรดอะมิโนจำเป็นที่พบมากในสาหร่าย *Sargassum* ทั้ง 2 ชนิดได้แก่ ลิวซีน (leucine) ไลซีน (lysine) และวาลีน (valine) (ตารางที่ 4) สอดคล้องกับการศึกษาที่ผ่านมาพบว่า กรดอะมิโนที่พบมากในสาหร่ายสีน้ำตาลมีหลายชนิด ได้แก่ ทรีโอนีน (threonine) ลิวซีน (leucine) ไลซีน (lysine) วาลีน (valine) ไกลซีน (glycine) และ อะลานีน (alanine) ขณะที่ซิสทีน (cystine) เมทไทโอนีน (methionine) ฮิสทีดีน (histidine) ทริปโตเฟน (tryptophan) และไทโรซีน (tyrosine) จะพบได้ในปริมาณน้อย (Dawczynski *et al.*, 2007; Fujinara-Arasaki *et al.*, 1984) นอกจากนี้ปริมาณกรดอะมิโนทั้งหมดในสาหร่ายทั้ง 2 ชนิดพบได้สูงสุดในเดือนพฤษภาคม โดยมีปริมาณเท่ากับ 4,704.16 mg/100g ของน้ำหนักแห้ง ในสาหร่าย *S. aquifolium* และ 10,059.70 mg/100g ของน้ำหนักแห้ง ในสาหร่าย *S. oligocystum* โดยจะเห็นได้ว่า *S. oligocystum* มีปริมาณกรดอะมิโนทั้งหมดมากกว่า *S. aquifolium*

ตารางที่ 3 ปริมาณกรดอะมิโนไม่จำเป็น (mg/100g ของน้ำหนักแห้ง) ในสาหร่าย *S. aquifolium* และ *S. oligocystum*

กรดอะมิโน	<i>S. aquifolium</i>			<i>S. oligocystum</i>		
	กุมภาพันธ์	พฤษภาคม	สิงหาคม	กุมภาพันธ์	พฤษภาคม	สิงหาคม
กรดแอสพาร์ติก	549.44±19.44 ^c	654.75±8.34 ^d	312.44±10.43 ^a	816.63±6.70 ^c	1,703.01±20.39 ^f	501.72±20.10 ^b
กรดกลูตามิก	466.95±24.71 ^a	992.54±26.04 ^d	690.03±24.73 ^b	715.56±8.86 ^b	1,771.59±7.48 ^e	774.87±14.75 ^c
เซอรีน	191.45±14.01 ^a	202.96±10.50 ^a	198.82±15.31 ^a	247.55±3.35 ^b	444.12±2.83 ^d	288.02±28.61 ^c
ไกลซีน	242.81±9.34 ^a	237.71±8.34 ^a	359.22±7.66 ^b	338.44±6.7 ^b	522.50±7.48 ^c	501.72±34.81 ^c
อาร์จินีน	191.45±9.34 ^a	209.91±4.18 ^b	317.45±10.43 ^d	236.02±3.35 ^c	450.65±8.48 ^e	470.13±11.60 ^f
อะลานีน	303.52±9.34 ^b	318.34±4.82 ^c	217.20±5.79 ^a	439.01±8.86 ^c	689.04±11.31 ^f	367.92±5.57 ^d
ซิสทีน	63.82±2.70 ^c	16.68±0.00 ^a	168.75±10.43 ^c	127.67±5.8 ^d	48.98±4.90 ^b	200.69±9.66 ^f
ไทโรซีน	107.40±4.67 ^a	130.67±2.41 ^b	207.18±2.89 ^c	141.18±3.35 ^b	277.58±18.55 ^d	310.32±8.52 ^e
โพรลีน	325.31±15.01 ^a	357.26±10.5 ^a	481.19±0.00 ^b	531.84±17.72 ^c	796.81±22.09 ^e	655.95±30.70 ^d
รวม	2,442.15	3,120.82	2,952.28	3,593.90	6,704.28	4,071.61

ตัวอักษร a-f ในแนวนอนหมายถึงแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

ตารางที่ 4 ปริมาณกรดอะมิโนจำเป็น (mg/100g ของน้ำหนักแห้ง) และปริมาณกรดอะมิโนทั้งหมดในสาหร่าย *S. aquifolium* และ *S. oligocystum*

กรดอะมิโน	<i>S. aquifolium</i>			<i>S. oligocystum</i>		
	กุมภาพันธ์	พฤษภาคม	สิงหาคม	กุมภาพันธ์	พฤษภาคม	สิงหาคม
ฮิสทีดีน	63.81±5.39 ^a	66.73±4.17 ^a	108.60±2.89 ^b	71.56±3.35 ^a	155.12±2.83 ^c	157.95±16.09 ^c
ทรีโอนีน	236.59±7.13 ^b	216.86±35.36 ^{ab}	203.84±7.66 ^a	326.84±3.35 ^c	525.76±5.66 ^d	301.03±11.15 ^c
วาเลีน	242.81±4.67 ^b	253.00±4.82 ^b	145.36±5.01 ^a	340.37±8.86 ^c	571.48±5.66 ^d	245.28±5.57 ^b
เมทไทโอนีน	84.05±4.67 ^d	70.70±4.17 ^c	113.61±2.89 ^c	63.82±0.00 ^b	0.00±0.00 ^a	156.09±0.00 ^f
ไอโซลิวซีน	236.59±9.72 ^b	175.15±11.03 ^a	155.38±0.00 ^a	324.90±15.35 ^c	334.72±7.48 ^c	250.86±20.10 ^b
ฟีนิลอะลานีน	203.90±2.70 ^b	209.91±4.82 ^{bc}	100.25±8.68 ^a	299.76±18.65 ^d	445.76±0.00 ^e	226.70±11.60 ^c
ทริปโตเฟน	18.68±0.00 ^c	5.56±2.40 ^b	15.04±0.00 ^c	17.41±0.00 ^d	4.90±0.00 ^a	27.87±0.00 ^f
ลิวซีน	362.66±2.70 ^c	337.80±4.17 ^b	292.39±11.58 ^a	510.56±15.35 ^e	759.25±9.80 ^f	484.99±16.72 ^d
ไลซีน	263.05±7.13 ^a	247.44±2.21 ^a	284.03±23.15 ^b	359.71±0.00 ^c	558.42±4.90 ^e	479.42±11.15 ^c
รวม	1,685.14	1,583.15	2,233.86	2,314.93	3,355.41	2,330.19
กรดอะมิโนทั้งหมด	4,154.27	4704.16	4,370.77	5,935.29	10,059.70	6401.54

ตัวอักษร a-f ในแนวนอนหมายถึงแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

สาหร่ายทั้ง 2 ชนิด ประกอบด้วยกรดอะมิโนจำเป็นในสัดส่วนที่แตกต่างกัน เมื่อประเมินคุณภาพโปรตีนด้วยวิธีทดสอบทางเคมี ซึ่งเป็นการวิเคราะห์ปริมาณโปรตีน และกรดอะมิโนในสาหร่าย ถ้าสาหร่ายมีปริมาณโปรตีนสูง และมีกรดอะมิโนจำเป็นมากเพียงพอแก่ความต้องการของร่างกาย แสดงว่าเป็นโปรตีนที่มีคุณภาพดี โดยประเมินจากค่า amino acid score (ตารางที่ 5) ซึ่งเป็นการวิเคราะห์หาส่วนประกอบของกรดอะมิโนของโปรตีนในสาหร่าย แล้วเปรียบเทียบกับปริมาณกรดอะมิโนจำเป็นในอาหาร โปรตีนที่เป็นมาตรฐาน (ดูตัวอย่างการคำนวณได้ในภาคผนวก ข (4)) ในที่นี้จะใช้ปริมาณกรดอะมิโนจำเป็นของไข่เป็นโปรตีนมาตรฐาน เนื่องจากเป็นโปรตีนที่เข้าไปในร่างกายแล้ว ร่างกายสามารถนำไปใช้ได้เกือบทั้งหมด ไม่ต้องบริโภคอาหารอย่างอื่นเสริมเข้าไป (สิริพันธุ์, 2553) จากผลการศึกษาพบว่ากรดอะมิโนจำเป็นที่มีปริมาณน้อยที่สุด (limiting amino acid) ในสาหร่ายทั้ง 2 ชนิด คือ ทริปโตเฟน และฮิสทีดีน แต่เนื่องจากทริปโตเฟนอาจถูกทำลาย หรือไฮโดรไลซ์ด้วยกรดในขณะที่ทำการวิเคราะห์ (Hill, 1965) และฮิสทีดีนเป็นกรดอะมิโนที่จำเป็นในระยะที่ร่างกายเจริญเติบโต แต่ไม่จำเป็นสำหรับผู้ใหญ่ เนื่องจากผู้ใหญ่สามารถสังเคราะห์ฮิสทีดีนได้ (พัทธนันท์, 2554) ทำให้กรดอะมิโนจำเป็นทั้ง 2 ชนิด ไม่จัดเป็น limiting amino acid ดังนั้นการคำนวณ amino acid score จากการศึกษาในครั้งนี้จะคำนวณโดยใช้ไอโซลิวซีนซึ่งจัดเป็น limiting amino acid แทน

ผลจากการคำนวณ amino acid score พบว่าสาหร่าย *S. aquifolium* และ *S. oligocystum* มีค่าของ amino acid score เท่ากับ 80.57 และ 101.28% ตามลำดับ ซึ่งมีค่าสูงกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับสาหร่าย *S. polycystum* (67.4%) (Matanjun *et al.*, 2009) การที่สาหร่ายในสกุลเดียวกัน แต่มีปริมาณกรดอะมิโนต่างกัน อาจเป็นผลเนื่องจากปริมาณกรดอะมิโนของสาหร่ายสามารถผันแปรได้ตามชนิดของสาหร่าย และฤดูกาล (Dawczynkiet *al.*, 2007 and Khairy and El-Shafay, 2013) จึงทำให้ค่า amino acid score มีความแตกต่างกันไป โดย amino acid score ที่คำนวณได้จากสาหร่ายทั้ง 2 ชนิด โดยคำนวณได้จากค่าของโปรตีนที่พบสูงสุด ซึ่งอยู่ในเดือนสิงหาคม แม้ว่าสาหร่ายทั้ง 2 ชนิด จะมีโปรตีนเป็นองค์ประกอบอยู่จำนวนน้อย (4.83-8.27% ของน้ำหนักแห้ง) แต่อย่างไรก็ตาม amino acid score ของสาหร่ายทั้ง 2 ชนิด กลับมีค่าสูงเมื่อเปรียบเทียบกับโปรตีนของนม (casein) (58%) ข้าวโอ๊ต (57%) ข้าว (56%) ถั่วเหลือง (47%) ข้าวสาลี (43%) และถั่วลิสง (55%) (Brody, 1999) แสดงให้เห็นว่าร่างกายสามารถใช้โปรตีนจากสาหร่ายทั้ง 2 ชนิด ได้อย่างมีประสิทธิภาพสูงกว่าโปรตีนจากแหล่งอื่นๆ ที่กล่าวมา สาหร่ายทั้ง 2 ชนิด จึงเป็นแหล่งของโปรตีนที่มีคุณภาพสูง และมีกรดอะมิโนจำเป็นครบถ้วน

ตารางที่ 5 ปริมาณกรดอะมิโนจำเป็นโดยเฉลี่ย (mg/g ของน้ำหนักแห้ง) ในสาหร่าย *S. aquifolium* และ *S. oligocystum*

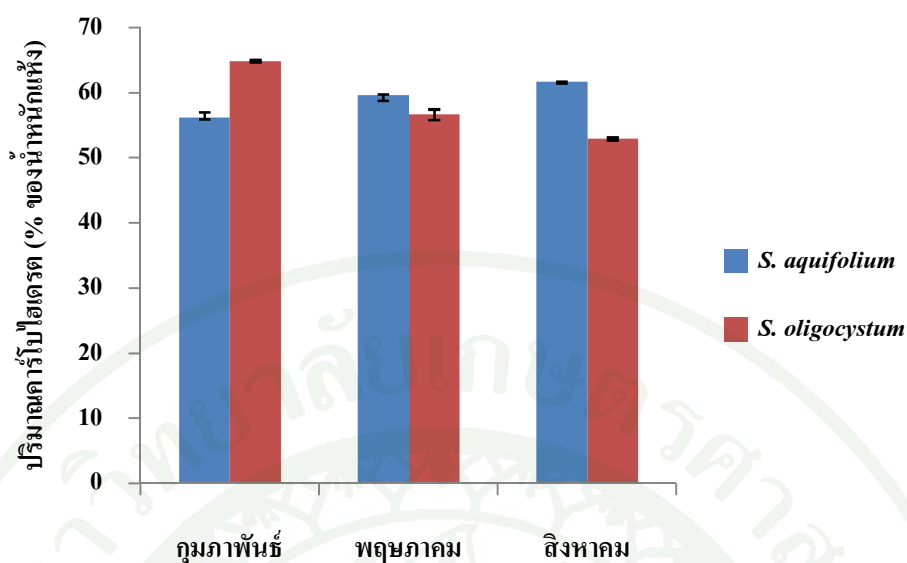
กรดอะมิโนจำเป็น	mg/g reference protein*	สาหร่าย (mg/g ของน้ำหนักแห้ง) ^β	
		<i>S. aquifolium</i>	<i>S. oligocystum</i>
ฮิสทีดีน	0	1.09±0.25	1.58±0.16
ทรีโอนีน	40	2.37±0.07	5.26±0.06
วาเลีน	50	2.53±0.05	5.71±0.06
เมทไทโอนีน+ซิสทีน	35	2.83	3.57
ไอโซลิวซีน	40	2.37±0.10	3.35±0.07
ฟีนิลอะลานีน+ไทโรซีน	60	3.41	5.37
ทริปโตเฟน	10	0.19±0.00	0.28±0.00
ลิวซีน	70	3.63±0.03	5.11±0.15
ไลซีน	55	2.84±0.23	5.58±0.05
กรดอะมิโนจำเป็นที่มีปริมาณน้อยที่สุด		ทรีโอนีน และไอโซลิวซีน	ไอโซลิวซีน
Amino acid score (%)		80.57	101.28
โปรตีน (%)		6.69±0.99	8.27±1.37

*reference protein หมายถึง โปรตีนมาตรฐาน (ไข่) ของ FAO/WHO

^βปริมาณกรดอะมิโนจำเป็นโดยคำนวณจากค่าสูงสุดของกรดอะมิโนนั้นๆ ในสาหร่ายแต่ละชนิด

1.3 คาร์โบไฮเดรต

คาร์โบไฮเดรตเป็นสารอาหารที่มีปริมาณมากที่สุดในโลก มีหน้าที่สำคัญคือ เป็นองค์ประกอบของโครงสร้างผนังเซลล์ของพืช และเป็นสารที่ให้พลังงานแก่เซลล์ของสิ่งมีชีวิต (นิธิยา, 2553) สาหร่ายสีน้ำตาลโดยเฉพาะใน Order Fucales มีปริมาณคาร์โบไฮเดรตสูง ประมาณ 54-66% ของน้ำหนักแห้ง ชนิดของคาร์โบไฮเดรตที่มักพบในสาหร่ายสีน้ำตาล ได้แก่ fucoidans และ alginic acid ซึ่งช่วยให้โครงสร้างผนังเซลล์ของสาหร่ายมีความเหนียว และยืดหยุ่น (Garcia-Rios *et al.*, 2012)

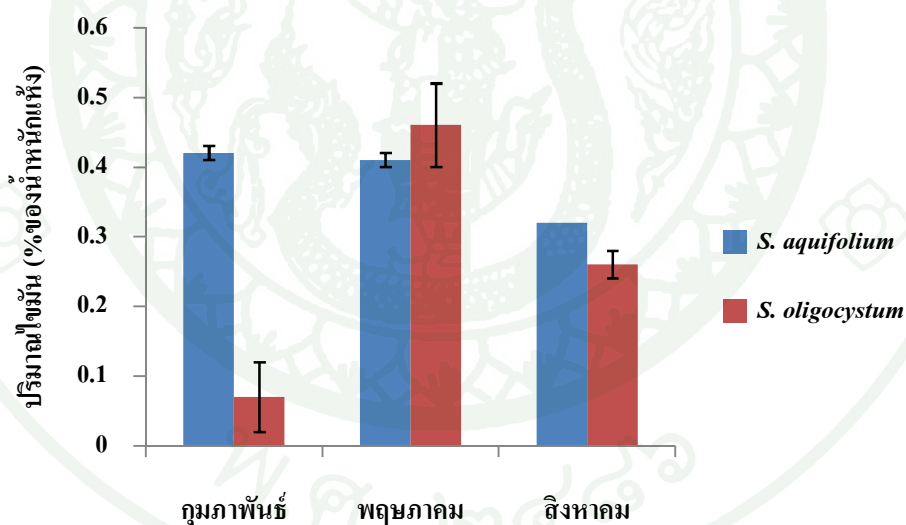


ภาพที่ 12 ปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ (%ของน้ำหนักแห้ง) ของสาหร่าย *S. aquifolium* และ *S. oligocystum*

ปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ของสาหร่ายทั้ง 2 ชนิด จากการศึกษานี้มีการผันแปรตามฤดูกาล (ภาพที่ 12) (ตารางผนวกที่ ข1 และ ข2) โดยปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ของสาหร่าย *S. aquifolium* มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นจากเดือนกุมภาพันธ์ ทำให้มีค่าเฉลี่ยสูงสุดในเดือนสิงหาคม (61.63% ของน้ำหนักแห้ง) และต่ำสุดในเดือนกุมภาพันธ์ (56.11% ของน้ำหนักแห้ง) ในทางกลับกัน ปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ของสาหร่าย *S. oligocystum* มีแนวโน้มลดลงจากเดือนกุมภาพันธ์ ทำให้มีค่าเฉลี่ยสูงสุดในเดือนกุมภาพันธ์ (64.84% ของน้ำหนักแห้ง) และต่ำสุดในเดือนสิงหาคม (52.95% ของน้ำหนักแห้ง) โดยในภาพรวมพบว่าสาหร่าย *S. aquifolium* มีปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ใกล้เคียงกับสาหร่าย *S. oligocystum* และปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์จากการศึกษานี้มีปริมาณมากกว่าปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ที่พบในสาหร่าย *S. tenerinum* และ *S. wightii* (23.55% และ 23.50% ของน้ำหนักแห้ง) จากประเทศอินเดีย (Manivannan *et al.*, 2008) จากผลการศึกษาดังกล่าวชี้ให้เห็นว่าปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ของสาหร่ายสามารถผันแปรไปตามชนิด และฤดูกาล นอกจากนี้ปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ยังแปรผันตามกับอุณหภูมิ และความเข้มแสง เนื่องจากในช่วงที่มีการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิ และความเข้มแสง เป็นช่วงที่กิจกรรมการสังเคราะห์แสงเพิ่มสูงขึ้น จึงส่งผลให้เกิดการสังเคราะห์คาร์บอนไดออกไซด์เพิ่มขึ้น (Munda and Kremer, 1977; Rosemberg and Ramus, 1982; Perfeto, 1998; Marinho-Soriano *et al.*, 2006)

1.4 ไขมัน

ไขมันให้พลังงาน และความร้อนแก่ร่างกาย เป็นส่วนประกอบของร่างกาย โครงสร้างผนังเซลล์ และเซลล์ในร่างกายเกือบทั้งหมด นอกจากนี้ยังสามารถเปลี่ยนเป็นคาร์โบไฮเดรต และกรดอะมิโนที่ไม่จำเป็นแก่ร่างกายได้เมื่อร่างกายต้องการ (อัจฉรา, 2556) ไขมันเป็นสารอาหารที่พบในปริมาณน้อยที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับองค์ประกอบชนิดอื่นๆ ในสาหร่ายทะเล (Marinho-Sariano *et al.*, 2006) โดยไขมันทั้งหมดที่พบในสาหร่ายมีอยู่ประมาณ 1-5% ของน้ำหนักแห้ง (Burtin, 2003) จากผลการศึกษาพบว่าปริมาณไขมันของสาหร่าย *S. aquifolium* มีค่าอยู่ระหว่าง 0.32-0.42% ของน้ำหนักแห้ง โดยพบปริมาณน้อยที่สุดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ในเดือนสิงหาคม คือเท่ากับ $0.32 \pm 0.00\%$ ของน้ำหนักแห้ง สำหรับปริมาณไขมันของสาหร่าย *S. oligocystum* มีความแตกต่างกันระหว่างฤดูกาลอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) (ตารางผนวกที่ ข1 และ ข2) โดยมีค่าเฉลี่ยของปริมาณไขมันอยู่ระหว่าง 0.07-0.46% ของน้ำหนักแห้ง และพบค่าเฉลี่ยสูงสุดในเดือนพฤษภาคม (ภาพที่ 13)



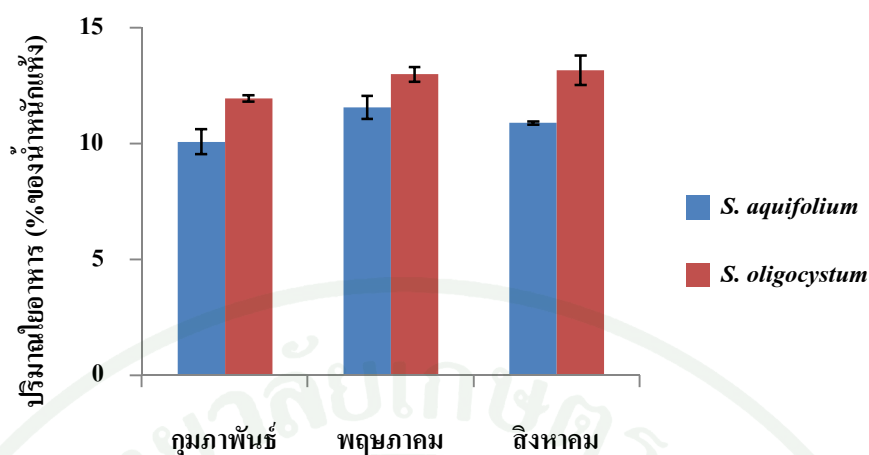
ภาพที่ 13 ปริมาณไขมัน (%ของน้ำหนักแห้ง) ของสาหร่าย *S. aquifolium* และ *S. oligocystum*

โดยทั่วไปสาหร่ายจะสังเคราะห์กรดไขมันไม่อิ่มตัวในช่วงที่มีอากาศเย็น และปริมาณไขมันทั้งหมดจะเพิ่มสูงขึ้นในช่วงฤดูร้อน (Narayan *et al.*, 2006) แต่เนื่องจากประเทศไทยตั้งอยู่ในเขตร้อน สภาพอากาศโดยทั่วไปจึงร้อนอบอ้าวเกือบตลอดทั้งปี และความผันแปรของอุณหภูมิระหว่างฤดูกาลในพื้นที่มีน้อย ทำให้มีปริมาณไขมันในสาหร่ายจากการศึกษาในครั้งนี้มีค่าน้อย และปริมาณไขมันจากการศึกษาในครั้งนี้ยังมีค่าน้อยกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับปริมาณไขมันของสาหร่าย *S. decurrens* และ *S. filifolium* จากการศึกษาของ Renaud and Van (2006) ที่มีค่าเท่ากับ 3.3 และ 4.0% ของน้ำหนักแห้ง ตามลำดับ นอกปริมาณไขมันจะผันแปรไปตามอุณหภูมิแล้ว ปริมาณไขมันยังสามารถผันแปรไปตามชนิด และแหล่งที่สาหร่ายเจริญอยู่ ฤดูกาล ความเค็ม และความเข้มแสง (Miyashita *et al.*, 2011) รวมถึงการใช้ตัวทำละลาย และวิธีการสกัดไขมันที่แตกต่างกัน จะทำให้ได้ปริมาณไขมันที่แตกต่างกันอีกด้วย (Ambrozova *et al.*, 2014)

1.5 โยอาหารทั้งหมด

โยอาหารเป็นสารอาหารที่ไม่มีคุณค่าทางโภชนาการ แต่มีความสำคัญต่อร่างกาย โดยเกี่ยวข้องต่อการส่งเสริมสุขภาพทางเดินอาหาร ซึ่งช่วยลดการเกิดมะเร็งลำไส้ใหญ่ ลำไส้อักเสบ และความผิดปกติของช่องท้อง ส่งเสริมระบบขับถ่าย และช่วยสนับสนุนการเจริญเติบโตของโปรไบโอติกส์ (probiotic) ในลำไส้ จากผลการศึกษาปริมาณโยอาหาร (ตารางผนวกที่ ข1 และ ข2) พบว่าสาหร่าย *S. aquifolium* มีค่าเฉลี่ยโยอาหารสูงสุดในเดือนพฤษภาคม ($11.55 \pm 0.501\%$ ของน้ำหนักแห้ง) ขณะที่สาหร่าย *S. oligocystum* มีค่าเฉลี่ยสูงสุดของโยอาหารอยู่ในเดือนสิงหาคม ($13.16 \pm 0.63\%$ ของน้ำหนักแห้ง) (ภาพที่ 14)

สาหร่ายทั้ง 2 ชนิด มีปริมาณโยอาหารแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) สาหร่าย *S. aquifolium* และ *S. oligocystum* มีปริมาณโยอาหารเฉลี่ยต่ำที่สุดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ในเดือนกุมภาพันธ์ โดยมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 10.07 ± 0.54 และ $11.94 \pm 0.14\%$ ของน้ำหนักแห้ง ตามลำดับ เนื่องจากในเดือนกุมภาพันธ์เป็นช่วงที่สาหร่ายทั้ง 2 ชนิดมีการเจริญพันธุ์ค่า maturity index ต่ำ (ตารางที่ 13) ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ Murakami *et al.* (2011) ที่รายงานว่าปริมาณโยอาหารของสาหร่าย *S. honeri* จะมีค่าสูงสุดในช่วงที่สาหร่ายมีการเจริญพันธุ์สูงสุดซึ่งสังเกตได้จากปริมาณสารขุ่นเหนียว (viscous exudates) ของสาหร่ายที่เพิ่มขึ้น นอกจากนี้สาหร่าย

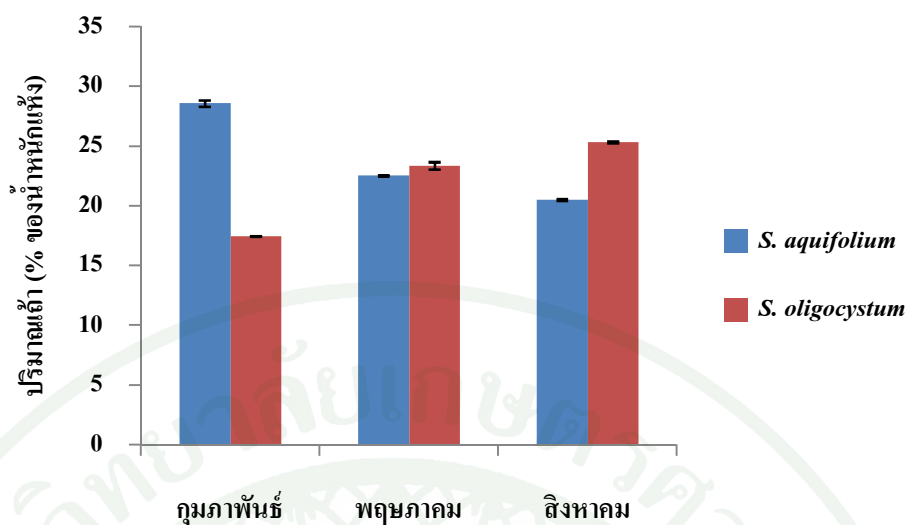


ภาพที่ 14 ปริมาณใยอาหาร (%ของน้ำหนักแห้ง) ของสาหร่าย *S. aquifolium* และ *S. oligocystum*

ทั้ง 2 ชนิด จากการศึกษาในครั้งนี้ยังมีปริมาณใยอาหารมากกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับสาหร่าย *S. filipendula* ($7.00 \pm 0.27\%$ ของน้ำหนักแห้ง) (Abou-El-Wafa *et al.*, 2011) และเมื่อคำนวณปริมาณใยอาหาร (คิดจากค่าสูงสุด) ในสาหร่าย 8 กรัม ซึ่งเป็นปริมาณสาหร่ายโดยเฉลี่ยที่คนเอเชียรับประทานเทียบกับปริมาณใยอาหารที่ควรได้รับต่อวันของคนไทย (RDI) พบว่าการบริโภคสาหร่ายทั้ง 2 ชนิด จะทำให้ร่างกายได้รับปริมาณใยอาหารเพิ่มขึ้นจากการบริโภคอาหารหลักชนิดอื่นๆ คิดเป็น 3.70% (ใน *S. aquifolium*) และ 4.21% (ใน *S. oligocystum*) ของ RDI

1.6 ถั่ว

สาหร่ายโดยทั่วไปจะประกอบด้วยถั่วในปริมาณมาก โดยปริมาณถั่วสามารถบ่งชี้ถึงปริมาณแร่ธาตุทั้งหมดที่มีอยู่ในสาหร่าย โดยในสาหร่ายทะเลสามารถพบปริมาณแร่ธาตุได้สูงสุดถึง 36% ของน้ำหนักแห้ง (Rajapakse and Kim, 2011) จากผลการศึกษาในครั้งนี้พบว่าปริมาณถั่วของสาหร่ายทั้ง 2 ชนิด ในแต่ละฤดูกาลมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) (ตารางผนวกที่ ข1 และ ข2) โดย *S. aquifolium* มีปริมาณถั่วสูงสุดในเดือนกุมภาพันธ์ ($28.56 \pm 0.27\%$ ของน้ำหนักแห้ง) และต่ำสุดในเดือนสิงหาคม ($20.48 \pm 0.09\%$ ของน้ำหนักแห้ง) ขณะที่สาหร่าย *S. oligocystum* มีปริมาณถั่วสูงสุดในเดือนสิงหาคม ($25.31 \pm 0.07\%$ ของน้ำหนักแห้ง) และต่ำสุดในเดือนกุมภาพันธ์ ($17.42 \pm 0.27\%$ ของน้ำหนักแห้ง) (ภาพที่ 15)



ภาพที่ 15 ปริมาณเอ็กต์ (%ของน้ำน้กแห้ง) ของสาหร่าย *S. aquifolium* และ *S. oligocystum*

ปริมาณเอ็กต์จากการศึกษาในครั้งนี้มีมากกว่าปริมาณเอ็กต์ที่พบในสาหร่าย *S. vulgare* ซึ่งมีค่าเท่ากับ 19.43% ของน้ำน้กแห้ง (Marinho-Soriano *et al.*, 2006) แต่ยังมีปริมาณน้อยเมื่อเปรียบเทียบกับสาหร่าย *S. horneri* ซึ่งมีค่าเท่ากับ 37% ของน้ำน้กแห้ง (Murakami *et al.*, 2011) ผลการศึกษาในครั้งนี้แสดงให้เห็นว่าปริมาณเอ็กต์สามารถผันแปรไปตามฤดูกาล และชนิดสาหร่าย โดยปริมาณเอ็กต์จะแปรผกผันกับปริมาณคาร์โบไฮเดรต เนื่องจากการเพิ่มขึ้นของอัตราการสังเคราะห์แสง จะส่งผลให้เกิดการเพิ่มขึ้นของปริมาณคาร์โบไฮเดรต และการลดลงของปริมาณเอ็กต์และโปรตีน (Perfeto, 1998)

1.7 แร่ธาตุ

สาหร่ายอุดมไปด้วยแร่ธาตุต่างๆ มากมาย แร่ธาตุที่มักพบในเนื้อเยื่อของสาหร่าย ได้แก่ เหล็ก (Fe) และไอโอดีน (I) โดยองค์ประกอบของแร่ธาตุในสาหร่ายจะเปลี่ยนแปลงไปมาก โดยขึ้นอยู่กับสิ่งแวดล้อมที่สาหร่ายอาศัยอยู่ และภายในเซลล์สาหร่ายเอง นอกจากนี้ยังขึ้นอยู่กับความเข้มข้นของธาตุอาหารในน้ำทะเล หรืออาหารที่สาหร่ายใช้ในการเจริญเติบโต (Misurcova *et al.*, 2011) สำหรับการศึกษาในครั้งนี้สามารถแบ่งแร่ธาตุออกเป็น 2 ชนิด คือ แร่ธาตุหลัก (macroelements) และแร่ธาตุรอง (microelements) โดยมีรายละเอียดผลการศึกษาคงต่อไปนี้

1.7.1 แร่ธาตุหลัก

แร่ธาตุหลักเป็นแร่ธาตุที่ร่างกายต้องการในปริมาณไม่น้อยกว่า 100 mg/วัน (พัทธานนท์, 2554) ได้แก่ แคลเซียม (Ca) โพแทสเซียม (K) โซเดียม (Na) และแมกนีเซียม (Mg)

แคลเซียมเป็นแร่ธาตุที่มีความสำคัญในการสร้างกระดูก และฟัน นอกจากนี้ยังช่วยส่งเสริมการทำงานของระบบประสาท และกล้ามเนื้อ ช่วยในการแข็งตัวของเลือด และช่วยกระตุ้นเอนไซม์ที่มีหน้าที่เปลี่ยนอาหารให้เป็นพลังงาน แคลเซียมจากการศึกษาในครั้งนี้เป็นแร่ธาตุที่มีปริมาณมากเป็นอันดับ 2 รองจากโพแทสเซียม ผลการศึกษาพบว่าสาหร่าย *S. aquifolium* มีปริมาณแคลเซียมอยู่ในช่วง 14.39-25.25 mg/g ของน้ำหนักแห้ง และสาหร่าย *S. oligocystum* มีปริมาณอยู่ในช่วง 9.85-32.23 mg/g ของน้ำหนักแห้ง (ตารางที่ 6 และ ภาพที่ 16) ซึ่งเป็นปริมาณที่มากกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับสาหร่าย *Sargassum* ชนิดอื่นๆ (ตารางที่ 7) โดยสาหร่ายทั้ง 2 ชนิด มีปริมาณแคลเซียมสูงสุดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ในเดือนสิงหาคม นอกจากนี้มีรายงานว่าแคลเซียมที่พบในสาหร่ายจะอยู่ในรูปของแคลเซียมฟอสเฟต ($\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$) ซึ่งเป็นรูปที่คงตัวและสามารถดูดซึมได้ดีกว่าแคลเซียมคาร์บอเนต (CaCO_3) ที่พบในนมวัว (Rajapakse and Kim, 2011)

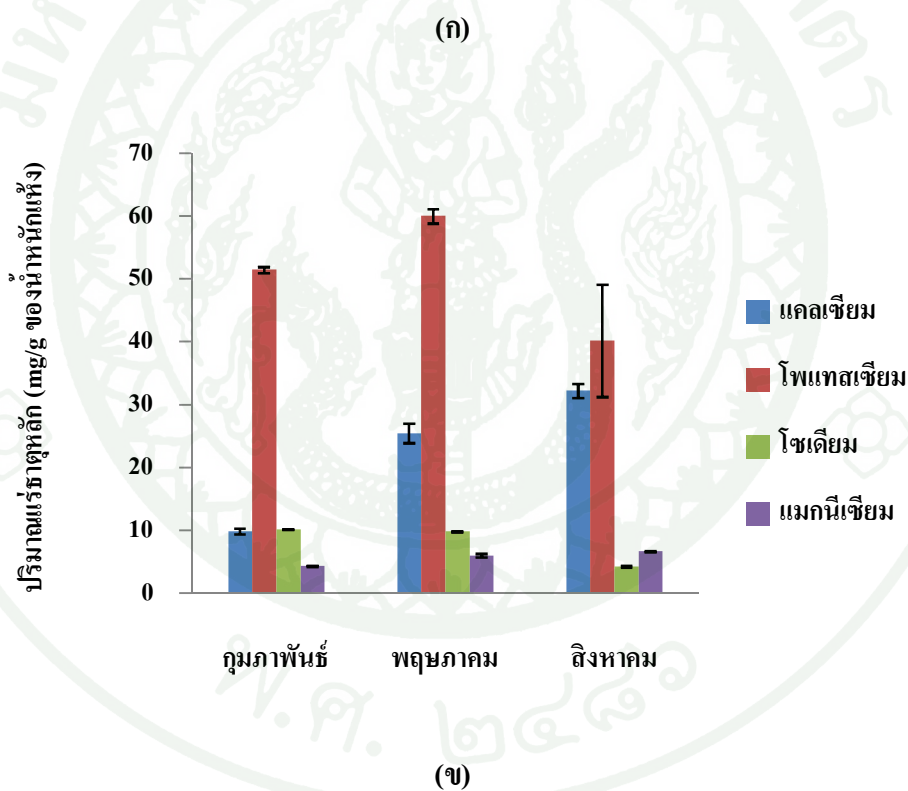
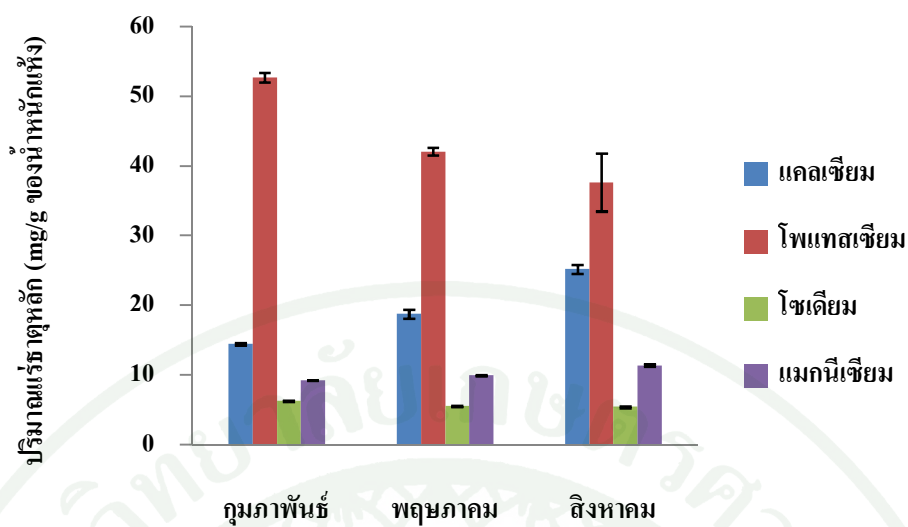
ตารางที่ 6 ปริมาณแร่ธาตุหลัก (mg/g ของน้ำหนักแห้ง) ในสาหร่าย *S. aquifolium* และ *S. oligocystum* และอัตราส่วนระหว่าง Na/K

แร่ธาตุหลัก	<i>S. aquifolium</i>			<i>S. oligocystum</i>		
	กุมภาพันธ์	พฤษภาคม	สิงหาคม	กุมภาพันธ์	พฤษภาคม	สิงหาคม
แคลเซียม (Ca)	14.39±0.15 ^b	18.72±0.67 ^c	25.25±0.64 ^d	9.85±0.43 ^a	25.48±1.57 ^d	32.23±1.15 ^c
โพแทสเซียม (K)	52.66±0.69 ^b	42.02±0.55 ^a	37.62±4.17 ^a	51.45±0.48 ^b	60.00±1.16 ^c	40.17±8.92 ^a
โซเดียม (Na)	6.23±0.05 ^c	5.49±0.03 ^b	5.42±0.03 ^b	10.17±0.09 ^c	9.83±0.10 ^d	4.26±0.14 ^a
แมกนีเซียม (Mg)	9.19±0.07 ^d	9.88±0.07 ^c	11.34±0.18 ^f	4.33±0.07 ^a	6.03±0.27 ^b	6.67±0.13 ^c
Na/K ratio	0.12	0.13	0.14	0.20	0.16	0.10

ตัวอักษร a-f ในแนวนอนหมายถึงแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

โพแทสเซียมมีอิทธิพลต่อการกระจายของน้ำในร่างกาย หน้าที่ที่สำคัญของโพแทสเซียมคือ รักษาระดับความเข้มข้นของออสโมลาริตีในของเหลวภายในเซลล์ ด้วยการปรับสมดุลของน้ำ ความเป็นกรด-ด่างภายในร่างกาย โดยให้น้ำผ่านเข้าหรือออกจากเซลล์ ช่วยในการหดตัวของกล้ามเนื้อ การนำความรู้สึกทางประสาท และช่วยในการทำงานของเอนไซม์ภายในเซลล์ หลายชนิดที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการเมตาบอลิซึม (กองโภชนาการ, 2546) จากการศึกษาในครั้งนี้ โพแทสเซียมเป็นธาตุอาหารที่พบมากที่สุดใบในสาหร่ายทั้ง 2 ชนิด ซึ่งในสาหร่าย *S. aquifolium* มีค่าอยู่ระหว่าง 37.62-52.66 mg/g ของน้ำหนักแห้ง โดยพบปริมาณสูงสุดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ในเดือนกุมภาพันธ์ และสาหร่าย *S. oligocystum* มีปริมาณโพแทสเซียมอยู่ในช่วง 40.17-60.00 mg/g ของน้ำหนักแห้ง โดยพบปริมาณสูงสุดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ในเดือนพฤษภาคมสำหรับสาหร่าย *S. oligocystum* (ตารางที่ 6) โดยสาหร่ายสกุล *Sargassum* จะมีปริมาณโพแทสเซียมอยู่ในช่วง 44-95 mg/g ของน้ำหนักแห้ง (Kumar *et al.*, 2015) ซึ่งเป็นปริมาณที่ใกล้เคียงกับการศึกษาในครั้งนี้ และเมื่อเปรียบเทียบกับสาหร่ายสกุล *Sargassum* ชนิดอื่นๆ ในตารางที่ 7 พบว่าในสาหร่าย *Sargassum* ทั้ง 2 ชนิด ในการศึกษาครั้งนี้มีปริมาณโพแทสเซียมมากกว่า อย่างไรก็ตามยังมีปริมาณน้อยกว่าสาหร่าย *S. polycystum*

โซเดียมมีอิทธิพลต่อการกระจายของน้ำในร่างกาย หน้าที่ที่สำคัญของโซเดียมคือ รักษาระดับความเข้มข้นของออสโมลาริตีในของเหลวภายนอกเซลล์ โดยการให้น้ำผ่านเข้าหรือออกจากเซลล์ ปริมาณน้ำภายนอกเซลล์จะต้องมีเพียงพอ โดยเฉพาะในส่วนของของเหลวในเลือด เพื่อให้เลือดไหลเวียน นำอาหารและออกซิเจนไปเลี้ยงส่วนต่างๆ ได้ (กองโภชนาการ, 2546) โดยปริมาณโซเดียมของสาหร่าย *S. aquifolium* ในการศึกษาครั้งนี้มีค่าอยู่ระหว่าง 5.42-6.23 mg/g ของน้ำหนักแห้ง และสาหร่าย *S. oligocystum* อยู่ในช่วง 4.26-10.17 mg/g ของน้ำหนักแห้ง (ตารางที่ 6) ซึ่งมิต่ำน้อยเมื่อเปรียบเทียบกับสาหร่าย *Sargassum* ชนิดอื่นๆ (ตารางที่ 7) โดยสาหร่ายทั้ง 2 ชนิด มีปริมาณโซเดียมสูงสุดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ในเดือนกุมภาพันธ์ (ภาพที่ 16)



ภาพที่ 16 ปริมาณแร่ธาตุหลัก (mg/g ของน้ำหนักแห้ง) ในสาหร่าย *S. aquifolium* (ก) และ *S. oligocystum* (ข)

แมกนีเซียมมีบทบาทสำคัญในร่างกาย คือ เป็นโคแฟกเตอร์ของเอนไซม์จำนวนมาก มีบทบาทในการควบคุมอุณหภูมิ การยืดหดของกล้ามเนื้อ การสังเคราะห์โปรตีน ถ้าปริมาณแมกนีเซียมในเลือดต่ำจะมีความสัมพันธ์กับความเสี่ยงต่อการเกิดโรคเรื้อรังต่างๆ เช่น โรคหัวใจและหลอดเลือด โรคความดันโลหิตสูง และโรคกระดูกพรุน เป็นต้น (กองโภชนาการ, 2546) จากการศึกษาครั้งนี้ปริมาณแมกนีเซียมของสาหร่าย *S. aquifolium* มีค่าอยู่ระหว่าง 9.19-11.34 mg/g ของน้ำหนักแห้ง และสาหร่าย *S. oligocystum* จะอยู่ในช่วง 4.33-6.67 mg/g ของน้ำหนักแห้ง (ตารางที่ 6) แมกนีเซียมจากการศึกษาในครั้งนี้เป็นแร่ธาตุหลักที่พบได้ค่อนข้างน้อยเมื่อเปรียบเทียบกับสาหร่าย *Sargassum* ชนิดอื่นๆ (ตารางที่ 7) โดยสาหร่ายทั้ง 2 ชนิด มีปริมาณแมกนีเซียมสูงสุดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ในเดือนกุมภาพันธ์ (ภาพที่ 16) แต่ยังมีปริมาณน้อยกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับพืชแมกนีเซียมสูงอย่างผักโขม (0.79 mg/g ของน้ำหนักแห้ง) (Maeda *et al.*, 2010)

ตารางที่ 7 การเปรียบเทียบปริมาณแร่ธาตุหลัก (mg/g ของน้ำหนักแห้ง) จากสาหร่ายสกุล *Sargassum*

สาหร่าย	แร่ธาตุหลัก				ที่มา
	แคลเซียม	โพแทสเซียม	โซเดียม	แมกนีเซียม	
<i>S. polycystum</i>	37.92	83.71	13.63	48.78	Matanjun <i>et al.</i> , 2009
<i>S. coriifolium</i>	15.86	10.86	59.78	15.45	Haque <i>et al.</i> , 2009
<i>S. ilicifolium</i>	-	8.77	-	0.82	Rohani-Ghadikolaie <i>et al.</i> , 2010
<i>S. hornschi</i>	19.9	3.15	22.25	-	Sham El Din and El-
<i>S. vulgare</i>	20.27	6.2	30.58	-	Sherif, 2012
<i>S. aquifolium</i>	14.39-25.25	37.62-52.66	5.42-6.23	9.19-11.34	การศึกษานี้
<i>S. oligocystum</i>	9.85-32.23	40.17-60.00	4.26-10.17	4.33-6.57	

ชนิดของแร่ธาตุหลักที่พบมากในการศึกษานี้ยังสอดคล้องกับการศึกษาของ Matanjun *et al.* (2009) ซึ่งพบว่า *S. polycystum* ประกอบด้วยแร่ธาตุชนิดหลัก ได้แก่ โพแทสเซียม แคลเซียม และ โซเดียม ในสาหร่ายสีน้ำตาลจะมีการสะสมโพแทสเซียมในปริมาณที่มากกว่า โซเดียม เนื่องจากสาหร่ายมีความต้องการโพแทสเซียมเพื่อใช้ในการกำจัดโซเดียมออกจากเซลล์

โดยการควบคุมความเข้มข้นของโซเดียมภายในเซลล์ (Sirivakumar and Arunkumar, 2009) เมื่อคำนวณอัตราส่วนระหว่าง Na/K ในสาหร่ายทั้ง 2 ชนิด (ตารางที่ 6) พบว่ามีค่าอยู่ระหว่าง 0.10-0.20 ซึ่งเป็นอัตราส่วนที่เหมาะสมต่อการบริโภค เพื่อปรับสัดส่วนด้านโภชนาการในผู้ป่วยที่มีปัญหาความดันโลหิตสูง (Matanjun *et al.*, 2009) และจากการเปรียบเทียบปริมาณแร่ธาตุหลักในสาหร่าย *Sargassum* ทั้ง 2 ชนิด กับสาหร่าย *Sargassum* ชนิดอื่นๆ ในตารางที่ 7 พบว่าปริมาณแร่ธาตุหลักจากการศึกษาในครั้งนี้จะมีปริมาณแตกต่างจากการศึกษาอื่นๆ เนื่องจากปริมาณแร่ธาตุของสาหร่ายสามารถผันแปรไปตามชนิด ลักษณะทางภูมิศาสตร์ และสภาพแวดล้อม (Mabeau and Fleurence, 1993) ปริมาณแร่ธาตุหลักที่สะสมในสาหร่ายยังมีปริมาณมากกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับแหล่งของแร่ธาตุหลักซึ่งเป็นที่รู้จักกันดี ได้แก่ เนื้อสัตว์ และผักโขม (Kumar *et al.*, 2015) ดังนั้นการบริโภคสาหร่ายจึงสามารถเสริมความต้องการแร่ธาตุหลักที่ควรได้รับประจำวันเพิ่มเติมจากอาหารหลักได้ (ตารางที่ 10)

1.7.2 แร่ธาตุรอง

แร่ธาตุรองเป็นแร่ธาตุที่ร่างกายต้องการในปริมาณน้อยกว่า 100 มิลลิกรัมต่อวัน (พัทธานนท์, 2554) ได้แก่ เหล็ก (Fe) สังกะสี (Zn) ทองแดง (Cu) ซีลีเนียม (Se) และไอโอดีน (I) จากการศึกษานี้พบปริมาณแร่ธาตุรองต่างๆ ดังนี้

เหล็กเป็นแร่ธาตุที่ร่างกายต้องการในปริมาณน้อย แต่สำคัญเนื่องจากเป็นส่วนประกอบของฮีโมโกลบินในเม็ดเลือดแดง การขาดธาตุเหล็กจะทำให้เป็นโรคโลหิตจาง ธาตุเหล็กมีความสำคัญในทุกกลุ่มอายุ ในช่วง 2 ขวบปีแรก ธาตุเหล็กมีความสำคัญต่อพัฒนาการและการเรียนรู้ ในเด็กโตและผู้ใหญ่ธาตุเหล็กมีความสำคัญต่อการพัฒนาศักยภาพด้านสมรรถภาพการทำงาน (กองโภชนาการ, 2546) จากผลการศึกษาพบปริมาณเหล็กในสาหร่าย *S. aquifolium* อยู่ในช่วง 143.75-335.16 $\mu\text{g/g}$ ของน้ำหนักแห้ง (ตารางที่ 8) โดยมีปริมาณสูงสุดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ในเดือนกุมภาพันธ์ (ภาพที่ 17) และในสาหร่าย *S. oligocystum* มีปริมาณเหล็กอยู่ในช่วง 251.94-434.19 $\mu\text{g/g}$ ของน้ำหนักแห้ง (ตารางที่ 8) โดยมีปริมาณสูงสุดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) อยู่ในเดือนสิงหาคม (ภาพที่ 17) ซึ่งเป็นปริมาณที่น้อยกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับสาหร่าย *Sargassum* ชนิดอื่นๆ (ตารางที่ 9)

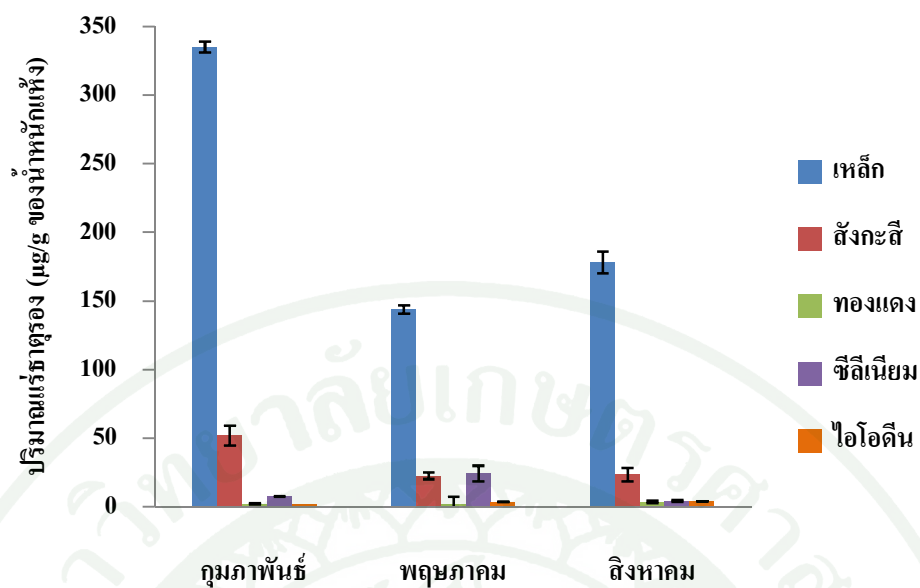
ตารางที่ 8 ปริมาณแร่ธาตุรอง ($\mu\text{g/g}$ ของน้ำหนักแห้ง) ในสาหร่าย *S. aquifolium* และ *S. oligocystum*

แร่ธาตุรอง	<i>S. aquifolium</i>			<i>S. oligocystum</i>		
	กุมภาพันธ์	พฤษภาคม	สิงหาคม	กุมภาพันธ์	พฤษภาคม	สิงหาคม
เหล็ก (Fe)	335.16 \pm 4.03 ^d	143.75 \pm 3.03 ^a	178.04 \pm 8 ^b	251.94 \pm 10.51 ^c	382.65 \pm 12.89 ^c	434.19 \pm 3.77 ^f
สังกะสี (Zn)	51.77 \pm 7.23 ^b	22.58 \pm 2.52 ^a	23.27 \pm 5.03 ^a	54.67 \pm 9.77 ^b	23.38 \pm 2.59 ^a	22.74 \pm 3.74 ^a
ทองแดง (Cu)	2.10 \pm 0.26 ^{bc}	1.46 \pm 0.11 ^{ab}	3.44 \pm 0.90 ^d	1.35 \pm 0.12 ^a	0.93 \pm 0.13 ^a	2.32 \pm 0.18 ^c
ซีลีเนียม (Se)	7.35 \pm 0.26 ^{ab}	24.20 \pm 5.69 ^c	4.21 \pm 0.76 ^a	12.01 \pm 0.8 ^b	30.14 \pm 4.31 ^d	4.27 \pm 0.68 ^a
ไอโอดีน (I)	1.68 \pm 0.00 ^a	3.45 \pm 0.04 ^b	4.08 \pm 0.03 ^c	50.73 \pm 0.48 ^c	7.22 \pm 0.01 ^d	3.95 \pm 0.01 ^c

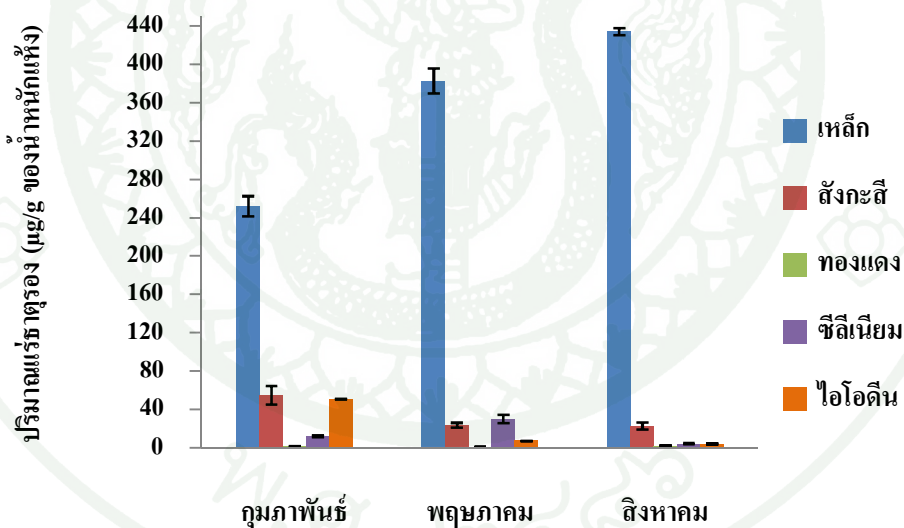
ตัวอักษร a-f ในแนวนอนหมายถึงแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

สังกะสีมีความสำคัญต่อการทำงานของเอนไซม์โปรตีน และการแสดงออกของหน่วยพันธุกรรมในทุกะบบของสิ่งมีชีวิต ภาวะการขาดธาตุสังกะสีก่อให้เกิดความผิดปกติของการเจริญเติบโต ระบบภูมิคุ้มกันการทำงานของอวัยวะสืบพันธุ์ และระบบประสาทที่ควบคุมพฤติกรรมต่างๆ (กองโภชนาการ, 2546) จากผลการศึกษาปริมาณสังกะสีของสาหร่าย *S. aquifolium* มีปริมาณอยู่ในช่วง 22.58-51.77 $\mu\text{g/g}$ ของน้ำหนักแห้ง และสาหร่าย *S. oligocystum* มีอยู่ในช่วง 22.74-54.67 $\mu\text{g/g}$ ของน้ำหนักแห้ง (ตารางที่ 8) โดยสาหร่ายทั้ง 2 ชนิด มีปริมาณสังกะสีสูงสุดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) อยู่ในเดือนกุมภาพันธ์ (ภาพที่ 17) ซึ่งเป็นปริมาณที่มากกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับปริมาณสังกะสีจากสาหร่าย *Sargassum* ชนิดอื่นๆ (ตารางที่ 9)

ทองแดงเป็นแร่ธาตุที่ร่างกายต้องการปริมาณน้อย แต่ขาดไม่ได้ เนื่องจากทองแดงเป็นองค์ประกอบในโมเลกุลของเอนไซม์บางชนิด เป็น prooxidant ที่ช่วยเร่งปฏิกิริยาออกซิเดชันของกรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัว และวิตามินซี (นิธิยา, 2553) จากผลการศึกษาพบว่าปริมาณทองแดงในสาหร่าย *S. aquifolium* อยู่ในช่วง 1.46-3.44 $\mu\text{g/g}$ ของน้ำหนักแห้ง และสาหร่าย *S. oligocystum* อยู่ในช่วง 0.93-2.32 $\mu\text{g/g}$ ของน้ำหนักแห้ง (ตารางที่ 8) โดยมีปริมาณทองแดงสูงสุดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) อยู่ในเดือนสิงหาคม (ภาพที่ 17) ซึ่งเป็นปริมาณที่น้อยกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับสาหร่าย *Sargassum* ชนิดอื่นๆ (ตารางที่ 9)



(ก)



(ข)

ภาพที่ 17 ปริมาณแร่ธาตุรอง ($\mu\text{g/g}$ ของน้ำหนักแห้ง) ในสาหร่าย *S. aquifolium* (ก) และ *S. oligocystum* (ข)

ซีลีเนียมมีความสำคัญในแง่เป็นส่วนประกอบของเอนไซม์ และโปรตีน ประมาณ 18 ชนิด โดยอยู่ในรูปของกรดอะมิโน selenocysteine และเป็นส่วนประกอบของแอนติออกซิแดนท์เอนไซม์ที่มีชื่อว่า glutathione peroxidase (กองโภชนาการ, 2546) ปริมาณซีลีเนียมจากสาหร่าย *S. aquifolium* มีค่าอยู่ในช่วง 4.21-24.20 $\mu\text{g/g}$ ของน้ำหนักแห้ง และสาหร่าย *S. oligocystum* มีค่าอยู่ในช่วง 4.27-30.14 $\mu\text{g/g}$ ของน้ำหนักแห้ง (ตารางที่ 8) โดยมีปริมาณซีลีเนียมสูงสุดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) อยู่ในเดือนพฤษภาคม (ภาพที่ 17) ซึ่งเป็นปริมาณที่มากกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับสาหร่าย *Sargassum* ชนิดอื่นๆ (ตารางที่ 9)

ไอโอดีนเป็นแร่ธาตุที่จำเป็นต่อการผลิตฮอร์โมนของต่อมไทรอยด์ ซึ่งมีหน้าที่สำคัญในการควบคุมกระบวนการทำงานของอวัยวะต่างๆ ให้เป็นไปตามปกติ (Haldimann *et al.*, 2005) เป็นแร่ธาตุที่พบได้น้อยมากในอาหาร ยกเว้นในอาหารทะเล (นิธิยา, 2553) จากผลการศึกษพบว่าปริมาณไอโอดีนของสาหร่าย *S. aquifolium* มีค่าอยู่ในช่วง 1.68-4.08 $\mu\text{g/g}$ ของน้ำหนักแห้ง (ตารางที่ 8) โดยมีค่าสูงสุดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) อยู่ในเดือนสิงหาคม (ภาพที่ 17) และสาหร่าย *S. oligocystum* มีค่าของไอโอดีนอยู่ในช่วง 3.95-50.73 $\mu\text{g/g}$ ของน้ำหนักแห้ง (ตารางที่ 8) โดยมีค่าสูงสุดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) อยู่ในเดือนกุมภาพันธ์ (ภาพที่ 17) ซึ่งเป็นปริมาณที่น้อยกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับสาหร่าย *Sargassum* ชนิดอื่นๆ (ตารางที่ 9)

ตารางที่ 9 การเปรียบเทียบปริมาณแร่ธาตุรอง ($\mu\text{g/g}$ ของน้ำหนักแห้ง) จากสาหร่ายสกุล *Sargassum*

สาหร่าย	แร่ธาตุหลัก					ที่มา
	เหล็ก	สังกะสี	ทองแดง	ซีลีเนียม	ไอโอดีน	
<i>S. polycystum</i>	680	20	300	10	70	Matanjun <i>et al.</i> , 2009
<i>S. coriifolium</i>	1,900	-	-	-	-	Haque <i>et al.</i> , 2009
<i>S. ilicifolium</i>	590	20	280	-	-	Rohani-Ghadikolaie <i>et al.</i> , 2012
<i>S. hornschiucii</i>	-	-	-	-	300	Shams El Din and
<i>S. vulgare</i>	-	-	-	-	236	El Sherif, 2012

ตารางที่ 9 (ต่อ)

สาหร่าย	แร่ธาตุหลัก					ที่มา
	เหล็ก	สังกะสี	ทองแดง	ซีลีเนียม	ไอโอดีน	
<i>S. aquifolium</i>	143.75-335.16	22.58-51.77	1.46-3.44	4.21-24.20	1.68-4.08	การศึกษานี้
<i>S. oligocystum</i>	251.94-434.19	22.38-54.67	0.93-2.32	4.27-30.14	3.95-50.37	

ตารางที่ 10 ปริมาณแร่ธาตุหลักในสาหร่าย 8 กรัม เทียบกับปริมาณแร่ธาตุที่ควรได้รับประจำวัน

แร่ธาตุ	g/kg*	mg ใน 8g**	%RDA***			
			อายุ 19-30 ปี		อายุ 31-50 ปี	
			ช	ญ	ช	ญ
<i>S. aquifolium</i>						
แคลเซียม	25.25	202	13.69-40.40	16.83-50.50	16.83-42.53	16.83-50.50
โพแทสเซียม	52.66	421.28	10.03-16.68	12.39-20.55	10.28-17.20	12.39-20.55
โซเดียม	6.23	49.84	3.38-9.97	4.15-12.46	3.44-10.49	4.15-12.46
แมกนีเซียม	11.34	90.72	29.26	36.29	28.35	36.29
<i>S. oligocystum</i>						
แคลเซียม	32.23	257.84	17.48-51.57	21.49-64.46	17.78-54.28	21.49-64.46
โพแทสเซียม	60.00	480	11.43-19.01	14.11-23.41	11.71-19.59	14.11-23.41
โซเดียม	10.17	81.36	5.52-16.27	6.78-20.34	5.61-17.13	6.78-20.34
แมกนีเซียม	6.67	53.36	17.19	21.34	16.68	21.34

*ปริมาณสูงสุดที่พบในสาหร่าย

**ปริมาณแร่ธาตุในสาหร่าย 8 กรัม

***ปริมาณแร่ธาตุในสาหร่าย 8 กรัม เทียบกับปริมาณแร่ธาตุที่ควรได้รับประจำวัน (ตารางผนวกที่

ข1

แร่ธาตุรองที่พบปริมาณมากจากการศึกษาในครั้งนี้ ได้แก่ เหล็ก (Fe) และสังกะสี (Zn) ตามลำดับ (ตารางที่ 8) จากการเปรียบเทียบปริมาณแร่ธาตุรองในสาหร่าย *Sargassum*

ทั้ง 2 ชนิด กับสาหร่าย *Sargassum* ชนิดอื่นๆ ในตารางที่ 9 พบว่าปริมาณแร่ธาตุรองจากการศึกษาในครั้งนี้จะมีปริมาณแตกต่างจากการศึกษาอื่นๆ เนื่องจากปริมาณแร่ธาตุของสาหร่ายสามารถผันแปรไปตามชนิด ลักษณะทางภูมิศาสตร์ และสภาพแวดล้อม (Mabeau and Fleurence, 1993)

การรับประทานอาหารใน 1 มื้อ อาจได้รับปริมาณแร่ธาตุรองไม่ครบถ้วน หรือเพียงพอต่อความต้องการแร่ธาตุรองของร่างกายในแต่ละวัน การบริโภคสาหร่ายโดยเฉลี่ย 8 กรัมต่อวัน (ตารางที่ 11) จะสามารถเสริมปริมาณแร่ธาตุรองให้เพียงพอต่อความต้องการในแต่ละวันได้

ตารางที่ 11 ปริมาณแร่ธาตุรองในสาหร่าย 8 กรัม เทียบกับปริมาณแร่ธาตุที่ควรได้รับประจำวัน

แร่ธาตุ	g/kg*	mg ใน 8g**	%RDA			
			อายุ 19-30 ปี		อายุ 31-50 ปี	
			ช	ญ	ช	ญ
<i>S. aquifolium</i>						
เหล็ก	335.16	2,680.28	25.76	10.85	25.76	10.85
สังกะสี	51.77	414.16	3.19	5.92	3.19	5.92
ทองแดง	3.44	27.52	3.06	3.06	3.06	3.06
ซีลีเนียม	24.20	193.6	352	352	352	352
ไอโอดีน	4.08	32.64	21.76	21.76	21.76	21.76
<i>S. oligocystum</i>						
เหล็ก	434.19	3,473.52	33.40	14.06	33.40	14.06
สังกะสี	54.67	437.36	3.36	6.25	3.36	6.25
ทองแดง	2.32	18.56	2.06	2.06	2.06	2.06
ซีลีเนียม	30.14	241.12	438.4	438.4	438.4	438.4
ไอโอดีน	50.73	405.84	270.56	270.56	270.56	270.56

*ปริมาณสูงสุดที่พบในสาหร่าย

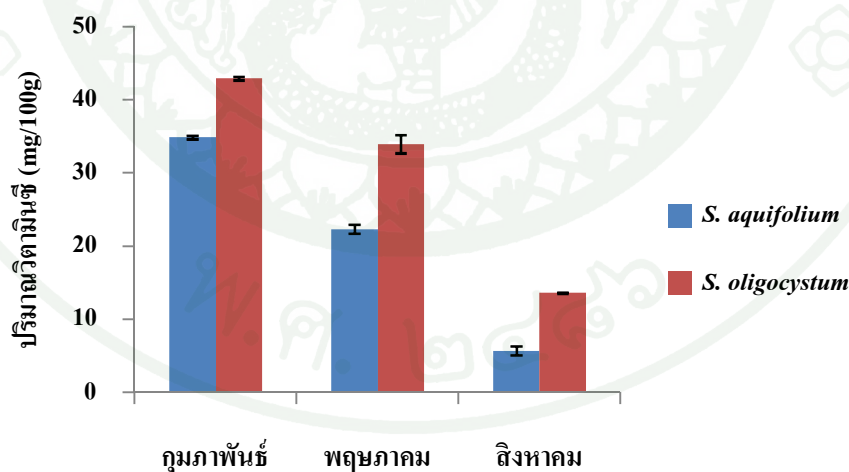
**ปริมาณแร่ธาตุในสาหร่าย 8 กรัม

***ปริมาณแร่ธาตุในสาหร่าย 8 กรัม เทียบกับปริมาณแร่ธาตุที่ควรได้รับประจำวัน (ตารางผนวกที่ ข1)

1.8 วิตามินซี

วิตามินซี หรือกรดแอสคอร์บิกละลายได้ดีในน้ำ ทำหน้าที่สังเคราะห์คอลลาเจน ทำให้ผนังเส้นเลือดแข็งแรง เสริมความต้านทานต่อต้านการติดเชื้อทั้งไวรัส และแบคทีเรียจากภายนอก ร่างกาย นอกจากนี้ยังเป็นสารต้านออกซิเดชัน (antioxidant) ช่วยกำจัดอนุมูลอิสระภายในร่างกายที่อาจก่อให้เกิดโรคต่างๆ (สิริพันธุ์, 2553) โดยมีรายงานว่าสาหร่ายสีน้ำตาลมีปริมาณวิตามินซีอยู่ในช่วง 500-3,000 mg/kg ของน้ำหนักแห้ง (Burtin, 2003)

จากการผลศึกษาในครั้งนี้พบว่าปริมาณวิตามินซีของสาหร่าย *Sargassum* ทั้ง 2 ชนิด ในแต่ละฤดูกาลมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) โดยปริมาณวิตามินซีของสาหร่าย *S. aquifolium* มีแนวโน้มลดลงจากเดือนกุมภาพันธ์ถึงสิงหาคม (ภาพที่ 18) โดยมีปริมาณสูงสุดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ในเดือนกุมภาพันธ์คือเท่ากับ 34.84 ± 0.42 mg/100g ของน้ำหนักแห้ง เช่นเดียวกับสาหร่าย *S. oligocystum* ที่มีปริมาณวิตามินซีสูงสุดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) อยู่ในเดือนกุมภาพันธ์ (42.90 ± 0.24 mg/100g ของน้ำหนักแห้ง) ซึ่งเป็นช่วงที่มีอุณหภูมิอากาศ และความเค็มของน้ำสูง และมีรายงานว่าในสภาวะเช่นนี้สาหร่ายต้องสัมผัสกับอุณหภูมิสูง และปริมาณออกซิเจนมาก จะทำให้เกิดอนุมูลอิสระขึ้นภายในเซลล์ สาหร่ายจึงจำเป็น



ภาพที่ 18 ปริมาณวิตามินซี (mg/100g ของน้ำหนักแห้ง) ในสาหร่าย *S. aquifolium* และ *S. oligocystum*

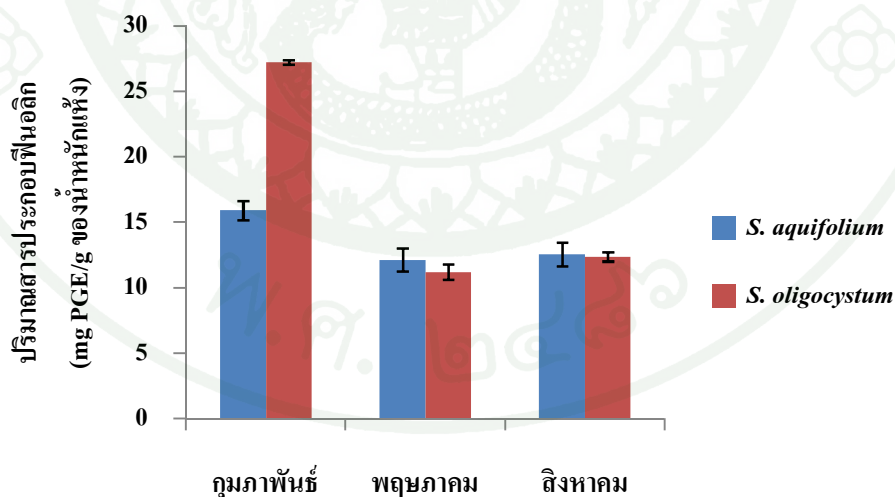
ต้องสร้างสารประกอบที่ใช้ในการป้องกันตัวเองจากปัจจัยภายนอก หรือสิ่งแวดล้อม เช่น มลพิษ ความเครียด รังสียูวี การผิ๊งแห้ง ซึ่งเกิดจากการขึ้นลงของน้ำ ความเค็ม และธาตุอาหารที่มีจำกัด ฯลฯ (Gupta and Abu-Ghannam, 2011; Tommaso, 2012)

สาหร่าย *S. oligocystum* จะมีปริมาณวิตามินซีมากกว่าสาหร่าย *S. aquifolium* อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ปริมาณวิตามินซีจากการศึกษาในครั้งนี้ยังใกล้เคียงกับปริมาณวิตามินซีจากการศึกษาของ Matanjun *et al.* (2009) ในสาหร่าย *S. polycystum* (11.25 mg/100g ของน้ำหนักแห้ง) แต่ยังเป็นปริมาณที่น้อยเมื่อเปรียบเทียบกับ *S. hemiphylum* (153.8 mg/100g ของน้ำหนักแห้ง) จากการศึกษานี้ของ Chan *et al.* (1997) เนื่องจากปริมาณวิตามินของสาหร่ายสามารถผันแปรไปตามชนิดของสาหร่าย ช่วงการเจริญเติบโตของสาหร่าย ลักษณะทางภูมิศาสตร์ ความเค็ม ฤดูกาล การสัมผัสกับแสง และอุณหภูมิของน้ำทะเล (Mabeau and Fleurence, 1993; Norziah and Ching, 2000) และเมื่อเปรียบเทียบกับปริมาณวิตามินซีจากผักและผลไม้พบว่าสาหร่ายทั้ง 2 ชนิด มีปริมาณวิตามินซีใกล้เคียงกับถั่วลิสง (34 mg/100g ของน้ำหนักแห้ง) (กองโภชนาการ, 2553) และเกือบเทียบเท่ากับส้ม หรือมะนาว (50 mg/100g ของน้ำหนักแห้ง) (นิธิยา, 2553) ซึ่งเป็นผลไม้ที่ให้วิตามินซีสูง แสดงให้เห็นว่าสาหร่ายจัดเป็นพืชทางเลือกอีกชนิดหนึ่งที่อุดมไปด้วยวิตามินซี นอกจากการบริโภคโดยตรงแล้ว ยังอาจยังสามารถใช้พัฒนาเพื่อเป็นส่วนผสมในอาหารเพื่อสุขภาพได้อีกด้วย

1.9 สารประกอบฟีนอลิก

สารประกอบฟีนอลิกเป็นทุติยภูมิ (secondary metabolites) ซึ่งเป็นสารประกอบที่สังเคราะห์ขึ้นผ่านกระบวนการ pentose phosphate, shikimate และ phenylpropanoid ในพืชเป็นกลุ่มของสารพฤษเคมีที่พบได้หลากหลาย มีบทบาทสำคัญต่อการเจริญเติบโต การสืบพันธุ์ รวมไปถึงการต่อต้านเชื้อโรค และศัตรูพืช (Bravo, 1998) สำหรับในสาหร่ายสีน้ำตาลกลุ่มของสารประกอบฟีนอลิกที่พบได้มากที่สุดคือ ฟลูโรแทนนิน (phlorotannin) ซึ่งเป็นพอลิเมอร์ของฟลูโรกลูซินอล (phloroglucinol) ที่ได้จากสังเคราะห์ขึ้นผ่านกระบวนการอะซิเตท-มาโลเนต (acetate-malonate pathway) (Li *et al.*, 2011) จากการศึกษาที่ผ่านมาพบว่าสารประกอบฟีนอลิกจากสาหร่ายสีน้ำตาลเป็นสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพที่ส่งผลดีต่อสุขภาพ เช่น การต้านอนุมูลอิสระ ต้านเซลล์มะเร็ง ต้านเชื้อแบคทีเรีย ปกป้องรังสียูวี เป็นต้น ซึ่งมีศักยภาพที่จะนำมาพัฒนาเป็นอาหารเสริมสุขภาพได้ในอนาคต

จากการศึกษาในครั้งนี้พบปริมาณสารประกอบฟีนอลิกของสาหร่าย *S. aquifolium* และ *S. oligocystum* อยู่ในช่วง 12.14-15.92 และ 11.20-27.22 mg/g ของสาหร่ายแห้ง ตามลำดับ (ภาพที่ 19) โดยสาหร่ายทั้ง 2 ชนิด มีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกสูงสุดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) อยู่ในเดือนกุมภาพันธ์คือเท่ากับ 15.92 ± 0.73 และ 27.22 ± 0.17 mg/g ของสาหร่ายแห้ง ตามลำดับ การผันแปรตามฤดูกาลของสารประกอบฟีนอลิกในสาหร่ายสีน้ำตาลนี้จะขึ้นอยู่กับชนิดของสาหร่าย โดยมีรายงานว่าปริมาณสารประกอบฟีนอลิกสูงสุดที่พบทั่วไปโดยมากจะอยู่ในช่วงฤดูร้อน เนื่องจากเป็นช่วงที่สาหร่ายสัมผัสกับรังสียูวีมาก ทำให้สาหร่ายต้องสะสมสารประกอบฟีนอลิก เพื่อป้องกันอันตรายจากรังสียูวี (Connan *et al.*, 2004) สอดคล้องกับการศึกษาในครั้งนี้ที่ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกสูงสุดในเดือนกุมภาพันธ์ นอกจากนี้ยังพบว่าความเค็มเป็นอีกปัจจัยหนึ่งที่ส่งผลต่อปริมาณสารประกอบฟีนอลิก โดยปริมาณสารประกอบฟีนอลิกจะเพิ่มขึ้น เมื่อความเค็มเพิ่มขึ้น (Pedersen, 1984) โดยในการศึกษาครั้งนี้เดือนกุมภาพันธ์เป็นช่วงที่ความเค็มสูงกว่าในเดือนพฤษภาคม และสิงหาคม แต่ไม่สอดคล้องกับรายงานของ Plouguerne *et al.* (2006) ซึ่งพบว่าสาหร่าย *S. muticum* จะมีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกสูงสุดในช่วงที่มีการสร้างเซลล์สืบพันธุ์ การสังเคราะห์สารประกอบฟีนอลิกในช่วงนี้จะช่วยปกป้องสาหร่ายจากผู้ล่า แสงอาทิตย์ และเชื้อโรค ซึ่งในเดือนกุมภาพันธ์สาหร่ายทั้ง 2 ชนิด ในการศึกษานี้มีการสร้างเซลล์สืบพันธุ์ต่ำที่สุด แต่กลับเป็นช่วงที่มีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกสูงที่สุด



ภาพที่ 19 ปริมาณสารประกอบฟีนอลิก (mg/g ของน้ำหนักแห้ง) ในสาหร่าย *S. aquifolium* และ *S. oligocystum*

จากการศึกษาปริมาณองค์ประกอบทางเคมีของสาหร่าย *S. aquifolium* และ *S. oligocystum* สาหร่ายทั้ง 2 ชนิด มีชนิดของปริมาณองค์ประกอบทางเคมีสูงหลายชนิด ได้แก่ กรดอะมิโน คาร์โบไฮเดรต ใยอาหาร เถ้า แร่ธาตุ วิตามินซี และสารประกอบฟีนอลิก ซึ่งองค์ประกอบทางเคมีเหล่านี้ล้วนแต่เป็นโภชนาการพื้นฐานที่จำเป็นสำหรับคน สาหร่าย *Sargassum* ทั้ง 2 ชนิด จึงมีศักยภาพในการนำมาใช้เป็นอาหาร ซึ่งจะช่วยเสริมคุณค่าทางโภชนาการเพิ่มเติมจากอาหารมื้อหลัก เพื่อให้ร่างกายได้รับโภชนาการได้อย่างครบถ้วนในแต่ละวัน

2. การศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างองค์ประกอบทางเคมีกับปัจจัยสิ่งแวดล้อม

2.1 สมบัติทางกายภาพ และเคมีภพของน้ำทะเลบริเวณหาดนางรอง

การตรวจสอบคุณสมบัติทางกายภาพ และเคมีของน้ำทะเล บริเวณหาดนางรอง ต.แสมสาร อ.สัตหีบ จ.ชลบุรี ในรอบ 1 ปี จากการเก็บตัวอย่างน้ำทั้งสิ้น 4 ครั้ง ได้แก่ เดือนกุมภาพันธ์ (ฤดูร้อน) พฤษภาคม (ก่อนมรสุม) สิงหาคม (มรสุม) และธันวาคม (ฤดูหนาว) ปี พ.ศ. 2555 โดยแสดงในตารางที่ 12

2.1.1 ปัจจัยทางกายภาพ

อุณหภูมิอากาศและน้ำมีค่าอยู่ในช่วง 28-31 และ 27.1-30.2 °C ตามลำดับ อุณหภูมิอากาศมีค่าสูงสุดในเดือนกุมภาพันธ์ และพฤษภาคม โดยมีอุณหภูมิเท่ากับ 31 °C และอุณหภูมิน้ำมีค่าสูงสุดอยู่ในเดือนพฤษภาคมเท่ากับ 30.5 °C ในแต่ละฤดูกาลอุณหภูมิอากาศมีความแตกต่างกัน 3-3.5 °C เช่นเดียวกับอุณหภูมิของน้ำที่มีความแตกต่างกันเพียง 0.3-3.4 °C เนื่องจากประเทศไทยตั้งอยู่ในเขตร้อน สภาพอากาศโดยทั่วไปจึงร้อนอบอ้าวเกือบตลอดปี อุณหภูมิเฉลี่ยตลอดทั้งปีมีค่าประมาณ 27 °C สำหรับพื้นที่ที่อยู่ติดทะเล ได้แก่ ภาคใต้ และโดยเฉพาะภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ซึ่งประกอบด้วยจังหวัดระยอง จันทบุรี ตราด และชลบุรี ซึ่งเป็นพื้นที่ศึกษาใน

ตารางที่ 12 สมบัติทางกายภาพและเคมีของน้ำทะเลบริเวณหาดนางรอง

	กุมภาพันธ์	พฤษภาคม	สิงหาคม	ธันวาคม	ค่ามาตรฐาน**
ปัจจัยกายภาพ					
อุณหภูมิอากาศ (°C)	31	31	28	28.5	-
อุณหภูมิน้ำ (°C)	30.2	30.5	27.1	28	เปลี่ยนแปลงเพิ่มขึ้นไม่เกิน 1
ปริมาณน้ำฝน (มม.)*	77.4	215.6	47.9	3.7	-
ความขุ่น (NTU)	2.4	0.95	2.04	0.98	-
ความลึก (เมตร)	1.3	0.3	0.5	1	-
ปัจจัยทางเคมี					
ความเป็นกรดเป็นด่าง	7.72	8.16	8.05	8.06	7.0-8.5
ปริมาณออกซิเจนละลาย (mg/L)	7.3	8.0	6.7	8.1	ไม่น้อยกว่า 4
ความเค็ม (psu)	29	28	28	30	เปลี่ยนแปลงได้ไม่เกิน 10% ของค่าต่ำสุด
ไนเตรท-ไนโตรเจน (µg/L)	10±0.01	30±0.00	30±0.00	10±0.01	ไม่เกิน 20

*ข้อมูลปริมาณน้ำฝนจากกรมอุตุนิยมวิทยา

**มาตรฐานคุณภาพน้ำทะเล ประเภทที่ 1 เพื่อการอนุรักษ์ทรัพยากรธรรมชาติ (กรมควบคุมมลพิษ, 2540)

ครั้งนี้ ความผันแปรของอุณหภูมิตั้งแต่กลางวัน กลางคืน และฤดูกาลจะน้อยกว่าพื้นที่ที่อยู่ลึกเข้าไปในแผ่นดิน โดยฤดูร้อนอากาศไม่ร้อนจัด และฤดูหนาวอากาศไม่ค่อยหนาวเมื่อเปรียบเทียบกับพื้นที่ที่อยู่ลึกเข้าไปในแผ่นดิน (กรมอุตุนิยมวิทยา, 2547)

ปริมาณน้ำฝนจากการรายงานของกรมอุตุนิยมวิทยา (กรมอุตุนิยมวิทยา, 2555) ในช่วงการศึกษามีการเปลี่ยนแปลงตามฤดูกาลอย่างชัดเจน โดยมีค่าสูงสุดอยู่ในเดือนพฤษภาคม เฉลี่ยเท่ากับ 215.6 มิลลิเมตร เนื่องจากในเดือนนี้ได้รับอิทธิพลจากลมมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ จึงก่อให้เกิดฝนฟ้าคะนอง และต่ำสุดในเดือนธันวาคม คือเท่ากับ 3.7 มิลลิเมตร เนื่องจากไม่ได้รับอิทธิพลของลมมรสุมตะวันตกเฉียงใต้

ความขุ่นของน้ำมีค่าอยู่ระหว่าง 0.95-2.4 NTU โดยมีค่าสูงสุดในเดือนกุมภาพันธ์ เนื่องจาก ณ จุดเก็บตัวอย่างในเดือนกุมภาพันธ์ เป็นช่วงที่มีน้ำขึ้นสูง เกิดการปะทะของคลื่น และลมมาก เป็นสาเหตุให้ความขุ่นของน้ำมีค่ามาก และต่ำสุดในเดือนพฤษภาคม เนื่องจาก ณ จุดเก็บตัวอย่างในเดือนพฤษภาคม เป็นช่วงที่น้ำลงต่ำสุด และยังมีโคลนหินกระจายอยู่ทั่วไป ทำให้เกิดการบังของคลื่น และลม เป็นสาเหตุให้ความขุ่นของน้ำมีค่าต่ำ

ระดับความลึกของน้ำ ณ จุดเก็บตัวอย่างมีค่าอยู่ระหว่าง 0.3-1.5 เมตร ระดับความลึกสูงสุดอยู่ในเดือนกุมภาพันธ์ จากการตรวจสอบข้อมูลตารางน้ำ (กรมอุทกศาสตร์ กองทัพเรือ, 2555) พบว่า ณ ช่วงเวลาที่เก็บตัวอย่างในเดือนกุมภาพันธ์ เป็นช่วงที่มีการเพิ่มขึ้นของระดับน้ำสูงสุดคือเท่ากับ 2.5 เมตร และต่ำสุดในเดือนพฤษภาคม เนื่องจาก ณ ช่วงเวลาที่เก็บตัวอย่างในเดือนพฤษภาคม เป็นช่วงที่มีการลดลงของระดับต่ำสุด คือเท่ากับ 0.6 เมตร จากข้อมูลนี้ชี้ให้เห็นว่าระดับความลึกนี้เป็นปัจจัยที่เปลี่ยนแปลงไปตามระดับการขึ้นลงของน้ำ

2.1.2 ปัจจัยทางเคมี

ความเป็นกรดต่างจากเกณฑ์มาตรฐานคุณภาพน้ำทะเล เพื่อการอนุรักษ์ทรัพยากรธรรมชาติ (กรมควบคุมมลพิษ, 2540) มีค่าอยู่ระหว่าง 7.0-8.5 ซึ่งความเป็นกรดเป็นด่างของน้ำจากการศึกษาในครั้งนี้จัดอยู่ในช่วงค่ามาตรฐาน โดยมีค่าอยู่ในช่วง 7.72-8.16 พบค่าสูงสุดในเดือนพฤษภาคม และต่ำสุดในเดือนกุมภาพันธ์ (ตารางที่ 12)

ความสามารถในการละลายของออกซิเจนในน้ำแปรผันโดยตรงกับความขุ่น และแปรผกผันกับอุณหภูมิ และความเค็ม ออกซิเจนละลายในช่วงการศึกษามีค่าอยู่ระหว่าง 6.7-8.1 mg/L โดยมีค่าสูงสุดในเดือนพฤษภาคม และต่ำสุดในเดือนธันวาคม ผลจากการศึกษาในครั้งนี้ ปริมาณออกซิเจนละลายไม่ได้เพิ่มขึ้น เมื่อมีการลดลงของอุณหภูมิ และความเค็มของน้ำ ซึ่งอาจมีสาเหตุมาจากความขุ่นของน้ำทะเลที่เป็นตัวปิดกั้นปริมาณแสงที่จำเป็นต่อการสังเคราะห์แสงของแพลงก์ตอนพืช และสาหร่าย ซึ่งเป็นผู้ผลิตออกซิเจนในแหล่งน้ำ (McDonald and Thomas, 1970) จากตารางที่ 12 ชี้ให้เห็นว่าปริมาณความขุ่นเพิ่มขึ้น ส่งผลให้ปริมาณออกซิเจนละลายจะลดลง

โดยปกติความเค็มเฉลี่ยของน้ำทะเลมีค่าประมาณ 35 psu ในแต่ละบริเวณความเค็มของน้ำทะเลอาจแตกต่างกัน ขึ้นอยู่กับลักษณะภูมิประเทศ การระเหยของน้ำ ปริมาณน้ำฝน ตลอดจนน้ำจากแผ่นดิน (สมถวิล, 2540) ความเค็มในช่วงการศึกษามีการเปลี่ยนแปลงเพียงเล็กน้อย มีค่าอยู่ระหว่าง 28-30 psu โดยมีค่าสูงสุดในเดือนธันวาคม เนื่องจากเป็นฤดูหนาวที่มีฝนตกน้อย และต่ำสุดในเดือนพฤษภาคม และสิงหาคมเนื่องจากเป็นช่วงที่มีฝนตกมาก ประกอบกับอุณหภูมิอากาศที่ค่อนข้างต่ำ ทำให้การระเหยของน้ำมีน้อย

ปริมาณไนเตรทในช่วงการศึกษามีค่าอยู่ในช่วง 10-30 $\mu\text{g/L}$ (ตารางที่ 12) ซึ่งจากการตรวจสอบข้อมูลมาตรฐานคุณภาพน้ำทะเล เพื่อการอนุรักษ์ทรัพยากรธรรมชาติ (กรมควบคุมมลพิษ, 2540) พบว่าปริมาณไนเตรทในเดือนพฤษภาคม และสิงหาคม มีค่าเกินมาตรฐานคือเท่ากับ 30 $\mu\text{g/L}$ เนื่องจากช่วงเวลาดังกล่าวเป็นช่วงที่มีฝนตกมาก อาจทำให้เกิดการชะล้างของปริมาณไนเตรทจากแผ่นดินลงสู่ทะเลมาก และอาจเนื่องมาจากช่วงเวลาดังกล่าวเป็นฤดูกาลที่มีแสงน้อย อัตราการสังเคราะห์แสงต่ำ ทำให้แพลงก์ตอนพืช และสาหร่ายดิ่งไนเตรทจากน้ำทะเลไปใช้น้อย และต่ำสุดในเดือนกุมภาพันธ์ และธันวาคม (10 $\mu\text{g/L}$) เนื่องจากเป็นช่วงที่มีฝนตกน้อย และเป็นช่วงเวลาที่แสงแดดส่องยาวนานกว่าในฤดูหนาว จึงทำให้แพลงก์ตอนพืชเจริญเติบโตอย่างรวดเร็ว ซึ่งมีผลทำให้ธาตุอาหาร ในที่นี้คือไนโตรเจนลดลงตามไปด้วย (สมถวิล, 2540)

2.2 ลักษณะทางสัณฐานวิทยาของสาหร่าย *S. aquifolium* และ *S. oligocystum*

สาหร่าย *Sargassum* หรือสาหร่ายทุ่น ทั่วโลกสามารถพบสาหร่ายชนิดนี้ประมาณ 400 ชนิด แพร่กระจายตามเขตอบอุ่น และเขตร้อน โดยเฉพาะอย่างยิ่งในบริเวณตะวันตกของมหาสมุทรแปซิฟิก และออสเตรเลีย สำหรับในประเทศไทยสาหร่ายชนิดนี้แพร่กระจายตลอดแนวชายฝั่งอันดามัน และอ่าวไทย มีระยะทางประมาณ 770 และ 1,880 กิโลเมตร ตามลำดับ (Noiraksar and Ajisaka, 2008) สำหรับลักษณะทั่วไปของสาหร่าย *Sargassum* 2 ชนิดที่ใช้ในการศึกษาครั้งนี้มีดังนี้



กุมภาพันธ์



พฤษภาคม



สิงหาคม

ภาพที่ 20 สำหรับ *S. aquifolium* ในเดือนกุมภาพันธ์ พฤษภาคม และสิงหาคม

2.2.1 ลักษณะของ *S. aquifolium*

ลักษณะทั่วไปของสาหร่าย *S. aquifolium* คือ มีราก หรือ holdfast ขนาดใหญ่ รูปถ้วย แพลตัสตั้งตรง เรียบ มีลักษณะค่อนข้างแบน อวบน้ำ และสั้น (ภาพที่ 20) มี 2 เพศ ใน 1 แพลตัส (monoecious) อวัยวะสืบพันธุ์ (receptacles) มีลักษณะแบน และมักบิดเป็นเกลียว โดยที่ ส่วนปลายมีลักษณะแหลมเป็นฟันเลื่อย มีการแตกแขนงเป็นง่าม (furcate) 1 ครั้ง และเรียงตัวใน ลักษณะเป็นช่อ ซึ่งจะมีขนาดความยาว และจำนวนของแพลตัสที่สร้างเซลล์สืบพันธุ์ที่แตกต่างกัน ไปในแต่ละฤดูกาล (ตารางที่ 13) ความยาวของแพลตัสในช่วงเดือนกุมภาพันธ์-สิงหาคมมีค่าอยู่ ระหว่าง 8.3-25.5 เซนติเมตร มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 14.24 ± 4.08 เซนติเมตร พบค่าเฉลี่ยสูงสุดในเดือน

ตารางที่ 13 ความยาวของลำต้น (mean±SD) และดัชนีความสมบูรณ์พันธุ์ (maturity index) ของ สาหร่าย *S. aquifolium* และ *S. oligocystum*

เดือน/ฤดูกาล	<i>S. aquifolium</i>		<i>S. oligocystum</i>	
	ความสูงเฉลี่ย ^b (ซม.)	Maturity index ^a (%)	ความสูงเฉลี่ย ^b (ซม.)	Maturity index ^a (%)
กุมภาพันธ์ (ฤดูร้อน)	14.88±3.20 (10.3-22.2)	6.45 (n=31) ^c	26.31±7.81 (17.0-32.5)	3.85 (n=26)
พฤษภาคม (ก่อนมรสุม)	12.94±3.29 (8.5-25.0)	100 (n=36) ^c	15.55±6.06 (5.7-35.8)	100 (n=22)
สิงหาคม (มรสุม)	16.04±6.01 (9.0-26.0)	73.33 (n=15) ^c	21.16±8.67 (9.0-46.5)	100 (n=21)
ธันวาคม (ฤดูหนาว)	ไม่สามารถเก็บตัวอย่างได้เนื่องจากเป็นต้นแก่ที่ขาดเหลือแต่โคนต้น ตาย (senescence) หรือพบเป็นต้นอ่อนที่มีขนาดเล็กและมีปริมาณน้อย			

^amaturity index (%) คำนวณจากอัตราส่วนของต้นที่สร้างเซลล์สืบพันธุ์ต่อจำนวนตัวอย่างทั้งหมดที่ สุ่มนำมาวัดขนาด

^bช่วงของความยาวของต้นวัดจาก โคนถึงปลายของ primary branch (ขนาดเล็กที่สุด-ขนาดใหญ่ที่สุด)

^cจำนวนตัวอย่างที่สุ่มนำมาวัดขนาดและตรวจดูการสร้างเซลล์สืบพันธุ์ในเดือนนั้น

สิงหาคมเท่ากับ 16.04 ± 6.00 เซนติเมตร ในเดือนพฤษภาคมสาหร่ายมีการสร้างเซลล์สืบพันธุ์ในทุกแทลลัส โดยมีค่า maturity index เท่ากับ 100% ส่วน maturity index ของเดือนสิงหาคมมีค่าเท่ากับ 73.33% ในขณะที่เดือนกุมภาพันธ์พบการสร้างเซลล์สืบพันธุ์น้อยมาก (6.45%)

2.2.2 ลักษณะของ *S. oligocystum*

ลักษณะทั่วไปของสาหร่าย *S. oligocystum* แทลลัสมีลักษณะแบน ไม่อวบน้ำ และยาว (ภาพที่ 21) มี 2 เพศ ใน 1 แทลลัส อวัยวะสืบพันธุ์ (receptacles) มีลักษณะแบน มีปุ่มปมหรือหนามเล็กน้อยที่บริเวณส่วนปลาย มีการแตกแขนงเป็นง่าม (furcates) 2-3 ครั้ง และเรียงตัวในลักษณะเป็นช่อ ซึ่งจะมีขนาดความยาว และจำนวนของแทลลัสที่สร้างเซลล์สืบพันธุ์ที่แตกต่างกันไปในแต่ละฤดูกาล (ตารางที่ 13) ความยาวของแทลลัสในช่วงเดือนกุมภาพันธ์-สิงหาคมมีค่าอยู่ระหว่าง 9-46.5 เซนติเมตร พบค่าเฉลี่ยสูงสุดในเดือนกุมภาพันธ์เท่ากับ 26.31 ± 7.81 เซนติเมตร พบการสร้างเซลล์สืบพันธุ์ของทุกแทลลัสในเดือนพฤษภาคม โดยมี maturity index เท่ากับ 100% รองลงมาคือเดือนสิงหาคม (21.16%) ขณะที่เดือนกุมภาพันธ์พบการสร้างเซลล์สืบพันธุ์เพียง 3.85% จากตัวอย่างทั้งหมดในเดือนนั้น



กุมภาพันธ์



พฤษภาคม



สิงหาคม

ภาพที่ 21 สำหรับ *S. oligocystum* ในเดือนกุมภาพันธ์ พฤษภาคม และสิงหาคม

2.3 การวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างองค์ประกอบทางเคมีกับปัจจัยสิ่งแวดล้อม

จากการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างองค์ประกอบทางเคมีกับปัจจัยสิ่งแวดล้อม โดยการวิเคราะห์ค่าสหสัมพันธ์ด้วยวิธีของสเปียร์แมน (Spearman's correlation coefficient) (ตารางที่ 14 และ 15) พบความสัมพันธ์ระหว่างองค์ประกอบทางเคมีกับปัจจัยสิ่งแวดล้อม และความสัมพันธ์ระหว่างองค์ประกอบทางเคมีด้วยกันเอง ดังนี้

ตารางที่ 14 ความสัมพันธ์ระหว่างองค์ประกอบทางเคมีกับปัจจัยสิ่งแวดล้อมในสาหร่าย *S. aquifolium*

	โปรตีน	คาร์โบไฮเดรต	ไขมัน	ใยอาหาร	เถ้า	วิตามินซี	สารประกอบฟีนอลิก
อุณหภูมิอากาศ	-0.866	0.866	0.866	0.000	0.866	0.866	0.000
อุณหภูมิน้ำ	-0.500	0.500	0.500	0.500	0.500	0.500	-0.500
ปริมาณน้ำฝน	-0.500	0.500	0.500	0.500	0.500	0.500	-0.500
ความลึก	-0.500	0.500	0.500	-1.000**	0.500	0.500	1.000**
ความเป็นกรดต่าง	0.500	-0.500	-0.500	-1.000**	-0.500	-0.500	-1.000**
ออกซิเจนละลาย	-0.500	0.500	0.500	0.500	0.500	0.500	-0.500
ความเค็ม	-0.866	0.866	0.866	-0.866	0.866	0.866	0.866
ความขุ่น	-0.500	0.500	0.500	-1.000**	0.500	0.500	1.000**
ไนเตรท	0.866	-0.866	-0.866	0.866	-0.866	-0.866	-0.866
ดัชนีสมบูรณ์พันธุ์	0.500	-0.866	-0.500	1.000**	-0.500	-0.500	-1.000**
โปรตีน		1.000**	-1.000**	0.500	-1.000**	-1.000**	-0.500
คาร์โบไฮเดรต			-1.000**	0.500	-1.000**	-1.000**	-0.500
ไขมัน				-0.500	1.000**	1.000**	0.500
ใยอาหาร					-0.500	0.500	-1.000**
เถ้า						1.000**	0.500
วิตามินซี							0.500

ความสัมพันธ์แตกต่างกันทางสถิติมีที่ระดับความเชื่อมั่น *95% และ **99%

การวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างองค์ประกอบทางเคมีกับปัจจัยสิ่งแวดล้อม ในตารางที่ 14 พบว่าปริมาณ โปรตีน คาร์โบไฮเดรต ไขมัน เถ้า และวิตามินซี ของสาหร่าย *S. aquifolium* ไม่มีความสัมพันธ์กับปัจจัยสิ่งแวดล้อม แต่พบความสัมพันธ์ในลักษณะแปรผกผันของปริมาณใยอาหารกับความลึก ความเป็นกรดเป็นด่าง และความขุ่น เนื่องจากในช่วงที่มีการสังเคราะห์แสงสูง จะทำให้สาหร่ายมีปริมาณคาร์โบไฮเดรตสูง ซึ่งสังเกตได้จากการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิ ความเค็ม และความเข้มแสง (Marinho-Soriano *et al.*, 2006) จากการศึกษาในครั้งนี้ความลึก และความขุ่นที่เพิ่มขึ้น อาจช่วยไปบดบังแสงที่ส่องลงไปใต้น้ำลดลง ส่งผลต่ออัตราการสังเคราะห์แสง และทำให้การสะสมคาร์โบไฮเดรตลดลง โดยปัจจัยเหล่านี้จะส่งผลทางอ้อมทำให้ปริมาณใยอาหารลดลง แสดงให้เห็นว่าปริมาณใยอาหารจะแปรผันตามกับปริมาณคาร์โบไฮเดรต เนื่องจากใยอาหารเป็นส่วนประกอบของอาหารจำพวกคาร์โบไฮเดรต ประเภทน้ำตาลหลายชั้น (polysaccharides) (สิริพันธุ์, 2553) การสะสมคาร์โบไฮเดรตจึงอาจทำให้ปริมาณใยอาหารเพิ่มขึ้น

ตารางที่ 15 ความสัมพันธ์ระหว่างองค์ประกอบทางเคมีกับปัจจัยสิ่งแวดล้อมในสาหร่าย

S. oligocystum

	โปรตีน	คาร์โบไฮเดรต	ไขมัน	ใยอาหาร	เถ้า	วิตามินซี	สารประกอบฟีนอลิก
อุณหภูมิอากาศ	-0.866	0.866	0.000	-0.866	-0.500	0.866	0.000
อุณหภูมิน้ำ	-0.500	-0.500	0.500	-0.500	-0.500	0.500	-0.500
ปริมาณน้ำฝน	-0.500	-0.500	0.500	-0.500	-0.500	0.500	-0.500
ความลึก	-0.500	-0.500	-1.000**	-0.500	0.500	0.500	1.000**
ความเป็นกรดต่าง	0.500	0.500	1.000**	0.500	-0.500	-0.500	-1.000**
ออกซิเจนละลาย	-0.500	0.500	0.500	-0.500	-0.500	0.500	-0.500
ความเค็ม	-0.866	0.866	-0.866	-0.866	-0.866	0.866	0.866
ความขุ่น	-0.500	0.500	-1.000**	-0.500	-0.500	0.500	1.000**
ไนเตรท	0.866	-0.866	0.866	0.866	0.866	-0.866	-0.866
ดัชนีสมบูรณ์พันธุ์	0.866	-0.866	0.866	0.866	0.866	-0.866	-0.866
โปรตีน		-1.000**	0.500	1.000**	1.000**	-1.000**	-0.500
คาร์โบไฮเดรต			-0.500	-1.000**	-1.000**	1.000**	0.500
ไขมัน				0.500	0.500	-0.500	-1.000**
ใยอาหาร					1.000**	-1.000**	-0.500
เถ้า						-1.000**	-0.500
วิตามินซี							0.500

ความสัมพันธ์แตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น *95% และ **99%

การวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างองค์ประกอบทางเคมีกับปัจจัยสิ่งแวดล้อม ในตารางที่ 15 พบว่าปริมาณ โปรตีน คาร์โบไฮเดรต ใยอาหาร เถ้า และวิตามินซี ของสาหร่าย *S. aquifolium* ไม่มีความสัมพันธ์กับปัจจัยสิ่งแวดล้อม แต่พบความสัมพันธ์ในลักษณะแปรผกผันของปริมาณไขมันกับความลึก และความขุ่น และแปรผันตามกับความเป็นกรดเป็นด่าง

ปริมาณไขมัน และกรดไขมัน จะแปรผันตามสภาพแวดล้อม ได้แก่ ความเข้มแสงและความเค็ม นอกจากนี้ยังขึ้นอยู่กับชนิดของสาหร่ายอีกด้วย จากการศึกษาของ Floreto and Teshima (1998) พบว่า ปริมาณกรดไขมันของสาหร่าย *Ulva pertusa* จะเพิ่มขึ้นหลังจากสัมผัสกับ

แสงความเข้มสูง ขณะที่สาหร่าย *S. piluliferum* กลับมีปริมาณกรดไขมันลดลง จากการศึกษาในครั้งนี้ ความลึก และความขุ่นอาจเป็นปัจจัยที่ช่วยในการชะลอแสงดวงอาทิตย์จากด้านบน จึงอาจทำสาหร่ายสัมผัสกับแสงน้อยลง จึงมีผลต่อปริมาณไขมัน โดยปริมาณไขมันของการศึกษาค้างนี้จะลดลง ส่วนความสัมพันธ์ในเชิงบวกระหว่างปริมาณไขมัน กับความเป็นกรดเป็นด่าง ยังไม่มีการศึกษาที่สามารถอธิบายความสัมพันธ์ในลักษณะนี้ได้

นอกจากนี้ยังพบว่าปริมาณสารประกอบฟีนอลิกของสาหร่ายทั้ง 2 ชนิด มีความสัมพันธ์ในเชิงบวกกับความลึก และความขุ่น และมีความสัมพันธ์ในเชิงลบกับความเป็นกรดเป็นด่าง (ตารางที่ 14 และ 15)

ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกในสาหร่าย *S. aquifolium* และ *S. oligocystum* มีความสัมพันธ์ในเชิงบวกกับความลึก และความขุ่น ($r = 1.000, p \leq 0.01$) (ตารางที่ 14 และ 15) ซึ่งไม่สอดคล้องกับการศึกษาของ Lamm *et al.* (2012) ซึ่งพบว่าปริมาณสารประกอบฟีนอลิกจะมีความสัมพันธ์ในลบกับความลึก เนื่องจากรังสียูวีจะส่งผลให้เกิดการเพิ่มขึ้นของปริมาณสารประกอบฟีนอลิก ดังที่ได้กล่าวมาแล้วในข้อ 1.9 น้ำทะเลที่ระดับความลึก และเพิ่มขึ้นจะช่วยกรองรังสียูวีให้เบาบางลง สาหร่ายที่อาศัยอยู่ในระดับลึกจึงมีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกต่ำ เนื่องจากสัมผัสกับรังสียูวีน้อย เช่นเดียวกันกับความขุ่นของน้ำทะเลที่เพิ่มขึ้น ก็อาจเป็นตัวช่วยยับยั้งปริมาณของรังสียูวีด้วยเช่นกัน นอกจากนี้ยังพบความสัมพันธ์ในเชิงลบกับดัชนีสมบูรณ์พันธุ์ในสาหร่าย *S. aquifolium* นั่นคือจะพบปริมาณสารประกอบฟีนอลิกสูงในช่วงที่สาหร่ายมีการเจริญพันธุ์ต่ำ ซึ่งไม่สอดคล้องกับการศึกษาปริมาณสารประกอบฟีนอลิกของ Plouguerne *et al.* (2006) ซึ่งพบว่าสาหร่าย *S. muticum* จะมีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกสูงสุดในช่วงที่มีการสร้างเซลล์สืบพันธุ์ และยังพบอีกว่าสาหร่ายจะมีการสร้างสารประกอบฟีนอลิกสูงในระยะต้นอ่อน เนื่องจากในต้นอ่อนเซลล์ของสาหร่ายจะมีขนาดเล็ก และเนื้อเยื่อบาง จึงทำให้ถูกสัตว์กินพืชกัดกินได้ง่ายกว่าในต้นแก่ (Lubchenco, 1983) สาหร่ายจึงจำเป็นต้องสร้างสารประกอบฟีนอลิกเพื่อป้องกันจากการถูกรบกวนดังกล่าว (Kamiya *et al.*, 2010) แต่การศึกษาในครั้งนี้ไม่ได้ทำการแยกต้นอ่อน และต้นแก่ออกจากกัน จึงไม่สามารถอธิบายความสัมพันธ์ในกรณีนี้ได้ ขณะที่ความสัมพันธ์ในเชิงลบระหว่างปริมาณสารประกอบฟีนอลิกกับความเป็นกรดเป็นด่างยังไม่มีการศึกษาที่สามารถอธิบายความสัมพันธ์ในลักษณะนี้ได้

นอกจากความสัมพันธ์ระหว่างองค์ประกอบทางเคมีกับปัจจัยสิ่งแวดล้อมแล้ว ยังพบความสัมพันธ์ระหว่างองค์ประกอบทางเคมี ดังนี้

ปริมาณคาร์โบไฮเดรตของสาหร่าย *S. aquifolium* มีลักษณะแปรผันตามปริมาณโปรตีน ($r = 1.000, p \leq 0.01$) (ตารางที่ 14) ลักษณะความสัมพันธ์ของคาร์โบไฮเดรต และโปรตีนที่แปรผันตามกันนี้สอดคล้องกับการศึกษาของ Renaud and Van (2006) ซึ่งพบว่าสาหร่ายสีน้ำตาล *Dictyota ciliolate* จะมีปริมาณคาร์โบไฮเดรต และโปรตีนที่แปรผันตามฤดูกาลอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) โดยพบปริมาณของคาร์โบไฮเดรต และโปรตีนสูงสุดในฤดูหนาว โดยไม่สามารถอธิบายถึงความสัมพันธ์ในลักษณะนี้ได้ชัดเจน ขณะที่ปริมาณโปรตีนในสาหร่าย *S. oligocystum* กลับมีความสัมพันธ์ในเชิงลบกับคาร์โบไฮเดรต ($r = -1.000, p \leq 0.01$) (ตารางที่ 15) คือ เมื่อปริมาณโปรตีนเพิ่มขึ้น ปริมาณคาร์โบไฮเดรตจะลดลง ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ Harnedy and FitzGerald (2011) ซึ่งกล่าวว่าเมื่อปริมาณโปรตีนเพิ่มขึ้น ปริมาณคาร์โบไฮเดรตจะลดลง ความสัมพันธ์ในทางตรงกันข้ามระหว่างคาร์โบไฮเดรตกับโปรตีนนี้จะสัมพันธ์กับอุณหภูมิ และความเค็ม ซึ่งเป็นรูปแบบที่พบได้ในสาหร่ายหลายชนิด (Mourandi-Giverhaud *et al.*, 1993) แนวโน้มดังกล่าวนี้อาจเนื่องมาจากการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิ ความเข้มแสง และการลดลงของไนโตรเจนที่ใช้สำหรับการสังเคราะห์คาร์โบไฮเดรต ดังนั้นในช่วงที่มีการสังเคราะห์คาร์โบไฮเดรตจึงส่งผลให้เกิดการลดลงของโปรตีน (Rosemberg and Ramus, 1982; Rotem *et al.*, 1986)

ปริมาณใยอาหารของ *S. aquifolium* มีความสัมพันธ์ในเชิงบวกกับดัชนีสมบรูณ์พันธุ์ (maturity index) ($r = 1.000, p \leq 0.01$) (ตารางที่ 14) นั่นคือเมื่อสาหร่ายมีดัชนีสมบรูณ์พันธุ์มาก จะทำให้ปริมาณใยอาหารเพิ่มขึ้นตาม สอดคล้องกับการศึกษาปริมาณใยอาหารของสาหร่าย *S. horneri* ซึ่งพบว่าสาหร่ายจะมีปริมาณใยอาหารสูงสุดในช่วงที่มีการเจริญพันธุ์สูงสุด โดยสังเกตได้จากปริมาณสารขุ่นเหนียว (viscous exudates) ของสาหร่ายที่เพิ่มขึ้น (Murakami *et al.*, 2011) ซึ่งปริมาณใยอาหารของสาหร่ายสามารถเปลี่ยนแปลงไป โดยขึ้นอยู่กับฤดูกาล อายุ ชนิดของสาหร่าย และลักษณะทางภูมิศาสตร์ (Kim, 2012)

ปริมาณเถ้าในสาหร่าย *S. oligocystum* มีความสัมพันธ์ในเชิงบวกกับโปรตีน ($r = 1.000, p \leq 0.01$) และเชิงลบกับคาร์โบไฮเดรต ($r = -1.000, p \leq 0.01$) สอดคล้องกับผลการศึกษาของ

Marinho-Sariano *et al.* (2006) เนื่องจากการเพิ่มขึ้นของอัตราการผลิตแสงจะทำให้ปริมาณคาร์โบไฮเดรตเพิ่มขึ้น จึงส่งผลให้ปริมาณเถ้า และ โปรตีนลดลง (Perfeto, 1998)

ปริมาณวิตามินซีในสาหร่าย *S. aquifolium* และ *S. oligocystum* มีความสัมพันธ์ในเชิงลบกับโปรตีน (ตารางที่ 14 และ 15) ($r = -1.000, p \leq 0.01$) ในธรรมชาติเมื่อปริมาณวิตามินซีเพิ่มขึ้น ปริมาณโปรตีน และ ไนเตรทจะลดลง สอดคล้องกับการศึกษาของ Wang *et al.* (2008) กล่าวว่า การใช้ปุ๋ยเกินขนาดในพืช โดยเฉพาะปุ๋ยไนโตรเจน จะส่งผลให้เกิดการเพิ่มขึ้นของไนเตรท และ ยังส่งผลให้เกิดการลดลงของปริมาณวิตามินซีอีกด้วย แต่อย่างไรก็ตามจากตารางที่ 14 และ 15 จะไม่ปรากฏความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณโปรตีน กับไนเตรท แต่จะปรากฏความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณวิตามินซีกับโปรตีนดังที่ได้กล่าวมาแล้ว

การศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างองค์ประกอบทางเคมีกับปัจจัยสิ่งแวดล้อมของสาหร่าย *S. aquifolium* และ *S. oligocystum* อาจไม่สามารถอธิบายถึงความสัมพันธ์ได้ชัดเจนนัก เนื่องจากขาดความต่อเนื่องของข้อมูลเชิงเวลา ดังนั้นในอนาคตควรมีการศึกษาอย่างต่อเนื่อง ซึ่งจะทำให้ได้ข้อที่ทำให้สามารถอธิบายถึงการเปลี่ยนแปลง และความสัมพันธ์ระหว่างองค์ประกอบทางเคมีกับปัจจัยสิ่งแวดล้อมได้ชัดเจนมากยิ่งขึ้น

3. การศึกษาชนิดของตัวทำละลายที่มีผลต่อปริมาณสารประกอบฟีนอลิก และฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระในสาหร่าย *S. aquifolium* และ *S. oligocystum*

จากผลการศึกษาข้างต้นพบว่าปริมาณสารประกอบฟีนอลิกจากสารสกัดเมทานอล ในสาหร่าย *S. aquifolium* และ *S. oligocystum* ในเดือนกุมภาพันธ์เป็นช่วงที่มีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกมากที่สุด (ภาพที่ 21) จึงนำสารสกัดเมทานอลของสาหร่ายทั้ง 2 ชนิด จากเดือนกุมภาพันธ์ มาสกัดด้วยตัวทำละลาย (liquid-liquid extraction) เนื่องจากผลการศึกษาของ Luo *et al.* (2010) พบว่าสารประกอบฟีนอลิกในสาหร่าย *Sargassum* 5 ชนิด ซึ่งละลายในสารละลายที่มีขี้ผึ้งเป็นกลาง (ethyl acetate) มีความสามารถในการยับยั้งอนุมูลอิสระได้ดี การศึกษาในครั้งนี้จึงได้ทำการสกัดแยกส่วนด้วยตัวทำละลาย เพื่อให้สารที่มีความบริสุทธิ์มากขึ้น โดยเริ่มต้นจากตัวทำละลายที่มีขี้ผึ้งน้อยไปยังตัวทำละลายที่มีขี้ผึ้งมาก ได้แก่

- สารละลายปิโตรเลียมอีเทอร์ (Petroleum ether; PE, polarity index = 0.1) ใ้ค้กลุ่มของสารที่เป็นพวกไขมัน (Fats)

- เอทิลอะซิเตท (Etyl acetate; EA, polarity index = 4.4) ใ้ค้กลุ่มของสารที่เป็นพวกอะไกลโคน (aglycones)

- นอร์มัลบิวทานอล (n-butanol; BU, polarity index = 4.0) ใ้ค้กลุ่มของสารที่เป็นพวกไกลโคไซด์ (glycosides)

- ส่วนสกัดย่อยของสารละลายที่เหลืออยู่ (Aqueous residue; AQ, polarity index = 9.0) ใ้ค้กลุ่มของสารที่เป็นพวกกรดอะมิโน และน้ำตาล

จากวิธีการนี้ทำให้ได้ส่วนสกัดย่อย (fractions) จำนวน 4 ส่วน ได้แก่ ส่วนสกัดย่อย PE, EA, BU และ AQ หรือส่วนสกัดย่อยของสารละลายที่เหลืออยู่ และวิเคราะห์หาได้ปริมาณสารสกัดหยาบ และปริมาณสารประกอบฟีนอลิก และฤทธิ์ในการยับยั้งอนุมูลอิสระในแต่ละส่วนสกัดย่อยจากการสกัดแยกส่วน โดยมีรายละเอียดดังนี้

3.1 ปริมาณสารสกัดหยาบ

การศึกษาในครั้งนี้พบปริมาณสารสกัดหยาบจากสารสกัดเมทานอลของสาหร่าย *S. oligocystum* มากกว่า *S. aquifolium* อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) (ตารางที่ 16) และจากการนำสารสกัดเมทานอลมาสกัดด้วยตัวทำละลายทั้ง 3 ชนิด ในสาหร่าย *S. aquifolium* พบว่าส่วนสกัดย่อย AQ เป็นส่วนที่มีปริมาณสารสกัดหยาบมากที่สุดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) คือ $38.15 \pm 0.30\%$ ของสารสกัดเมทานอล (ตารางที่ 16) สอดคล้องกับการศึกษาของ Luo *et al.* (2010) ที่ศึกษาในสาหร่าย *Sargassum* 5 ชนิด พบว่าส่วนของสารละลายที่เหลืออยู่ (AQ) เป็นส่วนสกัดย่อยที่มีปริมาณสารสกัดมากที่สุด เนื่องจากสาหร่ายประกอบด้วยพอลิแซ็กคาไรด์จำนวนมาก ซึ่งส่วนสกัดย่อย AQ สามารถสกัดพอลิแซ็กคาไรด์ออกมาจากสาหร่ายได้มากที่สุด ขณะที่สาหร่าย *S. oligocystum* จากการศึกษานี้พบปริมาณสารสกัดหยาบจากการสกัดด้วยตัวทำละลายมากที่สุดในส่วนสกัดย่อย AQ คือ $28.41 \pm 0.69\%$ ของสารสกัดเมทานอล แต่ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมี

นัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) กับส่วนสกัดย่อยอื่นๆ ซึ่งได้แก่ ส่วนสกัดย่อย PE และ EA (ตารางที่ 16)

ตารางที่ 16 ปริมาณสารสกัดจากการสกัดด้วยเมทานอล (% ของสาหร่ายแห้ง) และการสกัดด้วยตัวทำละลาย (% ของสารสกัดเมทานอล) ในสาหร่าย *S. aquifolium* และ *S. oligocystum*

สาหร่าย	สารสกัด เมทานอล (% ของสาหร่าย แห้ง)	ส่วนสกัดย่อย (% ของสารสกัดเมทานอล)			
		ปิโตรเลียม อีเทอร์ (PE)	เอทิล อะซีเตท (EA)	นอร์มัล บิวทานอล (BU)	สารละลายที่ เหลืออยู่ (AQ)
<i>S. aquifolium</i>	12.81±0.76	34.79±0.55 ^C	16.61±1.09 ^B	10.45±0.25 ^A	38.15±0.30 ^D
<i>S. oligocystum</i>	15.72±0.38	27.70±2.52 ^B	28.29±0.04 ^B	8.35±0.42 ^A	28.41±0.69 ^B

ตัวอักษร A-D ในแนวนอนหมายถึงแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

จากการศึกษาปริมาณสารสกัดหยาบจากส่วนสกัดย่อยแสดงให้เห็นว่าองค์ประกอบหลักในสาหร่ายทั้ง 2 ชนิด เป็นสารที่สามารถละลายได้ดีในน้ำ ซึ่งมีความเป็นขั้วสูงถึงปานกลาง นอกจากนี้จากการศึกษาของ Chandini *et al.* (2008) พบว่าปริมาณสารสกัดหยาบจากสารสกัดเมทานอลที่สกัดด้วยตัวทำละลายของสาหร่ายแห้งสีน้ำตาล *Turbinaria conoides*, *Padina tetrastomatica* และ *S. marginatum* มีปริมาณสูงสุดในส่วนสกัดย่อย PE (28.70%), EA (27.54%) และ AQ (30.27%) ตามลำดับ แสดงให้เห็นว่าถึงแม้จะเป็นสาหร่ายในกลุ่มสีน้ำตาลเหมือนกัน แต่ต่างวงศ์ หรือชนิดก็อาจทำให้ได้ปริมาณสารสกัดในแต่ละส่วนสกัดย่อยแตกต่างกัน ซึ่งอาจขึ้นอยู่กับองค์ประกอบภายในเซลล์ของสาหร่ายที่แตกต่างกัน รวมถึงวิธีการสกัดที่ต่างกัน

3.2 ปริมาณสารประกอบฟีนอลิก

สารประกอบฟีนอลิกเป็นกลุ่มของสารที่มีความหลากหลายมากในพืช มีความสามารถในการออกฤทธิ์ทางชีวภาพที่หลากหลาย รวมถึงฤทธิ์ในการต้านอนุมูลอิสระ จากการการศึกษาที่ผ่านมาพบว่าสารสกัดจากสาหร่าย โดยเฉพาะอย่างยิ่งสารประกอบฟีนอลิกมีความสามารถในการต้าน

อนุมูลอิสระ (Yan *et al.*, 1999; Duan *et al.*, 2006; Chandini *et al.*, 2008; Ganesan *et al.*, 2008; Wang *et al.*, 2009)

ตารางที่ 17 ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกจากสารสกัดด้วยเมทานอล และการสกัดด้วยตัวทำละลาย (mg PGE/g extract) ในสาหร่าย *S. aquifolium* และ *S. oligocystum*

สาหร่าย	สารสกัด เมทานอล (ME)	ส่วนสกัดย่อย (fractions)			สารละลายที่ เหล็อยู่ (AQ)
		ปีโตรเลียม อีเธอร์ (PE)	เอทิล อะซีเตท (EA)	นอร์มัล บิวทานอล (BU)	
<i>S. aquifolium</i>	124.34±5.73	128.51±11.15 ^B	246.29±34.34 ^A	72.48±7.51 ^C	23.42±1.65 ^D
<i>S. oligocystum</i>	173.32±1.10	421.88±14.14 ^A	382.24±34.70 ^B	320.61±11.12 ^C	101.68±19.78 ^D

ตัวอักษร A-D ในแนวนอนหมายถึงแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

สารประกอบฟีนอลิกของสาหร่ายที่สกัดด้วยเมทานอล ซึ่งได้จากการคำนวณเปรียบเทียบกับกราฟมาตรฐานฟลูโรกลูซินอล (ภาพผนวกที่ ข1) โดยแสดงค่าในรูปของ mg PGE/g extract จากการศึกษาในครั้งนี้สารสกัดเมทานอลของสาหร่าย *S. oligocystum* มีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกมากกว่าสาหร่าย *S. aquifolium* (ตารางที่ 17) นอกจากนี้ยังพบว่าส่วนสกัดย่อย EA ของสาหร่าย *S. aquifolium* และ PE ของ *S. oligocystum* เป็นส่วนที่มีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกมากที่สุดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) คือ 246.29±34.34 และ 421.88±14.14 mg PGE/g extract แสดงให้เห็นว่ากลุ่มของสารประกอบฟีนอลิกจากสาหร่ายทั้ง 2 ชนิด สามารถละลายได้ดีในตัวทำละลายที่มีขั้วต่ำจนถึงขั้วปานกลาง โดยใกล้เคียงกับการศึกษาของ Luo *et al.* (2010) ซึ่งพบว่าส่วนสกัดย่อย EA จากสาหร่าย *Sargassum* 4 ชนิด มีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกมากที่สุดแตกต่างจากผลการศึกษาของ Chandini *et al.* (2008) ซึ่งพบว่าสาหร่าย *P. tetrastomatica*, *S. marginatum* และ *T. conoides* มีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกสูงสุดในส่วนสกัดย่อย AQ ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกที่แตกต่างในแต่ละส่วนสกัดย่อยนี้ อาจเกิดจากสมบัติทางเคมีที่แตกต่างกันในด้านความมีขั้วของสารละลายที่นำมาสกัด ประกอบกับสาหร่ายในแต่ละชนิดอาจประกอบด้วยองค์ประกอบทางเคมีที่แตกต่างกัน ส่งผลให้ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกในแต่ละส่วนสกัดย่อยมีปริมาณแตกต่างกัน อีกทั้งสารประกอบฟีนอลิกเป็นกลุ่มของสารที่มีโครงสร้างที่หลากหลาย จึงประกอบด้วยกลุ่มที่มีขั้วต่ำที่สามารถละลายได้ในตัวทำละลายที่มีขั้วต่ำไปจนถึงขั้วสูงที่สามารถ

ละลายได้ในตัวทำละลายที่มีขั้วสูง นอกจากนี้ความมีขั้วของสารละลายที่แตกต่างกันยังส่งผลต่อปริมาณของสารสกัด และฤทธิ์ในการยับยั้งอนุมูลอิสระอีกด้วย

3.3 ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ

การศึกษาในครั้งนี้ได้นำสารสกัดหยาบเมทานอล และสารสกัดด้วยตัวทำละลายของสาหร่ายทั้ง 2 ชนิด มาทดสอบความสามารถในการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระในหลอดทดลองทั้งหมด 3 วิธี ได้แก่ DPPH radical scavenging activity (Bondet *et al.*, 1997), Reducing power (Athukorala *et al.*, 2006) และ Hydroxyl radical scavenging assay (Jin *et al.*, 1996) โดยเปรียบเทียบกับสารต้านอนุมูลอิสระมาตรฐาน (positive control) และแสดงผลในรูปของค่าความเข้มข้นของสารสกัดที่สามารถต้านอนุมูลอิสระที่ร้อยละ 50 (effective Concentration; EC_{50}) ดังนี้

3.3.1 วิธี DPPH radical scavenging activity (Bondet *et al.*, 1997)

การหาความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธีการทำลายอนุมูล DPPH[•] เป็นการทดสอบในหลอดทดลอง โดยใช้สารที่มีคุณสมบัติเป็นอนุมูลอิสระในที่นี้ก็คืออนุมูล DPPH[•] ซึ่งเป็นสารที่อยู่ในรูปอนุมูลอิสระที่คงตัว มีสีม่วง และสามารถดูดกลืนคลื่นแสงที่มีความยาวคลื่น 517 นาโนเมตร เมื่อ DPPH[•] ทำปฏิกิริยากับสารสกัดที่นำมาทดสอบจะทำให้สีม่วงจางลงจนเป็นสีเหลืองอ่อน

จากการทดสอบความสามารถในการต้านอนุมูล DPPH[•] ของสารสกัดเมทานอล และส่วนสกัดย่อย (ตารางที่ 18) ผลจากการศึกษาพบว่าสารสกัดเมทานอลในสาหร่าย *S. oligocystum* มีความสามารถในการต้านอนุมูล DPPH[•] มากกว่าสาหร่าย *S. aquifolium* และจากการทดสอบความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระจากส่วนสกัดย่อยพบว่าส่วนสกัดย่อย EA

ตารางที่ 18 ความสามารถในการต้านอนุมูล DPPH[•] (EC₅₀) ของสารสกัดเมทานอล และการสกัดด้วยตัวทำละลาย (µg/ml) ในสาหร่าย *S. aquifolium* และ *S. oligocystum*

สาหร่าย	สารสกัด เมทานอล (ME)	ส่วนสกัดย่อย (fractions)			สารละลายที่ เหลืออยู่ (AQ)
		ปิโตรเลียม อีเธอร์ (PE)	เอทิล อะซีเตท (EA)	นอร์มัล บิวทานอล (BU)	
<i>S. aquifolium</i>	417.07±5.78 ^b	133.93±7.80 ^B	62.83±1.69 ^A	246.30±4.02 ^C	583.35±4.76 ^D
<i>S. oligocystum</i>	113.23±13.59 ^a	35.43±0.51 ^A	108.2±0.26 ^B	383.63±2.00 ^C	906.20±6.32 ^D
L-ascorbic acid			5.54		
BHT			75.59		

ตัวอักษร a-b ในแนวตั้ง A-D ในแนวนอนหมายถึงแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

ในสาหร่าย *S. aquifolium* มีความสามารถในการต้านอนุมูล DPPH[•] สูงสุดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) คือมีค่า EC₅₀ เท่ากับ 62.83±1.69 µg/ml รองลงมาได้แก่ ส่วนสกัดย่อย PE, BU และ AQ ตามลำดับ ขณะที่ในสาหร่าย *S. oligocystum* พบความสามารถในการต้านอนุมูล DPPH[•] สูงสุดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ในส่วนสกัดย่อย PE คือมีค่า EC₅₀ เท่ากับ 35.43±0.51 µg/ml รองลงมาได้แก่ ส่วนสกัดย่อย EA, BU และ AQ ตามลำดับ โดยส่วนสกัดย่อย EA ใน *S. aquifolium* และส่วนสกัดย่อย PE ใน *S. oligocystum* มีความสามารถในการต้านอนุมูล DPPH[•] ได้มากกว่าสารสกัดหยาบจากเมทานอล และ BHT ที่เป็นสารต้านอนุมูลอิสระมาตรฐาน แต่ยังมีประสิทธิภาพต่ำกว่า L-ascorbic acid (ตารางที่ 18, ภาพผนวกที่ ค2) ผลจากการศึกษาในครั้งนี้สอดคล้องกับการศึกษาของ Luo *et al.* (2010) ซึ่งได้ทำการศึกษาความสามารถในการต้านอนุมูล DPPH[•] ของสาหร่าย *Sargassum* 5 ชนิด ที่สกัดด้วยตัวทำละลาย โดยพบว่าส่วนสกัดย่อย PE และ EA เป็นส่วนที่มีความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระได้มากกว่าส่วนสกัดย่อย BU และ AQ และสอดคล้องกับการศึกษาความสามารถในการต้านอนุมูล DPPH[•] ของ Chandini *et al.* (2007) ในสาหร่ายสีน้ำตาล 3 ชนิด ที่สกัดด้วยตัวทำละลาย โดยพบว่าส่วนสกัดย่อย EA ของสาหร่าย *S. marginatum* มีความสามารถในการต้านอนุมูล DPPH[•] ได้มากที่สุด ส่วนสาหร่ายอีก 2 ชนิด คือ *P. tetrastomatica* และ *T. conoides* พบความสามารถในการต้านอนุมูล DPPH[•] สูงสุดในส่วนสกัดย่อย PE แสดงให้

เห็นว่ากลุ่มของสารที่มีฤทธิ์ในการต้านอนุมูล DPPH[•] เป็นสารที่ละลายได้ดีในสารละลายปิโตรเลียมอีเทอร์ที่มีความเป็นขั้วต่ำ (polarity index = 0.1) และสารละลายเอทิลอะซิเตทที่มีขั้วปานกลาง (polarity index = 4.4)

3.3.2 วิธี Reducing power (Athukorala *et al.*, 2006)

วิธีนี้เป็นการศึกษาความสามารถในการรีดิวซ์ หรือให้อิเล็กตรอนของสารสกัดที่นำมาทดสอบแก่อนุมูลอิสระที่สังเคราะห์ขึ้นภายในระบบ โดยสารสกัดจะเป็นตัวให้อิเล็กตรอนแก่อนุมูลอิสระ แล้วทำให้เปลี่ยนเป็นสารที่คงตัวโดยวัดความสามารถในการรีดิวซ์ของ $Fe^{3+}(CN)_6$ ไปเป็น $Fe^{2+}(CN)_6$ ได้จากการวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ 700 นาโนเมตร ซึ่งจะทำการเปลี่ยนเป็นสีน้ำเงินที่เข้มขึ้น และแสดงความสามารถในการรีดิวซ์ในรูปแบบลิทมิกรัมสมมูลของกรดแอสคอร์บิกในสารสกัดแห้ง 1 กรัม (mg ascorbic acid equivalent (AAE)/g ของสารสกัด) (ภาพผนวกที่ ข2) โดยคำนวณจากกราฟของสารละลายมาตรฐานกรดแอสคอร์บิก ผลการศึกษาแสดงดังตารางที่ 19

ตารางที่ 19 ความสามารถในการรีดิวซ์อนุมูลอิสระของสารสกัดเมทานอล และการสกัดด้วยตัวทำละลาย (mg AAE/g ของสารสกัด) ในสาหร่าย *S. aquifolium* และ *S. oligocystum*

สาหร่าย	สารสกัด หยาบ เมทานอล	ส่วนสกัดย่อย			
		ปิโตรเลียม อีเทอร์	เอทิลอะซิเตท	นอร์มัล บิวทานอล	สารละลายที่ เหลืออยู่
<i>S. aquifolium</i>	121.05±5.26 ^a	52.03±1.44 ^D	45.08±5.13 ^C	25.27±1.53 ^B	13.01±0.60 ^A
<i>S. oligocystum</i>	172.93±2.53 ^b	136.05±2.55 ^C	210.16±3.23 ^D	119.85±2.65 ^B	26.97±15.51 ^A

ตัวอักษร a-b ในแนวตั้ง และ A-D ในแนวนอนหมายถึงแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

การทดสอบความสามารถในการรีดิวซ์อนุมูลอิสระของสารสกัดเมทานอล และสารสกัดด้วยตัวทำละลาย (ตารางที่ 19) ซึ่งคำนวณได้จากกราฟมาตรฐานของสารละลายกรดแอสคอร์บิก (L-ascorbic acid) (ภาพผนวกที่ ข2) พบว่าสารสกัดเมทานอลในสาหร่าย *S. oligocystum* มีความสามารถในการรีดิวซ์มากกว่าสาหร่าย *S. aquifolium* โดยสารสกัดเมทานอลใน

สาหร่ายทั้ง 2 ชนิด มีความสามารถในการรีดิวซ์อนุมูลอิสระมากกว่าส่วนสกัดย่อยอื่นๆ (ยกเว้น EA ใน *S. oligocystum*) และจากการทดสอบความสามารถในการรีดิวซ์ของสารสกัดด้วยตัวทำละลาย พบว่า ส่วนสกัดย่อย PE ในสาหร่าย *S. aquifolium* มีความสามารถในการรีดิวซ์อนุมูลอิสระมากที่สุดคือเท่ากับ 52.03 ± 5.26 mg AAE/g ของสารสกัด รองลงมาได้แก่ ส่วนสกัดย่อย EA, BU และ AQ ตามลำดับ ขณะที่ในสาหร่าย *S. oligocystum* มีความสามารถในการรีดิวซ์มากที่สุดในส่วนสกัดย่อย EA เท่ากับ 210.16 ± 3.23 mg AAE/g ของสารสกัด รองลงมาได้แก่ PE, BU และ AQ ตามลำดับ สอดคล้องกับการศึกษาของ Luo *et al.* (2010) ซึ่งพบว่าส่วนสกัดย่อย EA มีความสามารถในการรีดิวซ์มากที่สุด เมื่อเปรียบเทียบกับส่วนสกัดย่อย PE, BU และ AQ และยังพบว่าสารสกัดเมทานอลจากสาหร่ายทั้ง 2 ชนิด มีความสามารถในการรีดิวซ์อนุมูลอิสระได้มากกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับส่วนสกัดย่อยอื่นๆ ความสามารถในการยับยั้งอนุมูลอิสระของสารสกัดเมทานอลที่สูงกว่าส่วนสกัดย่อยอื่นๆ นี้ อาจเนื่องมาจากการออกฤทธิ์เสริมกัน (synergistic effect) ของสารประกอบหลายชนิด ได้แก่ คลอโรฟิลล์ คาโรทีนอยด์ และสารประกอบฟีนอลิก (Shanab *et al.*, 2011)

3.3.3 วิธี Hydroxyl radical scavenging assay (Jin *et al.*, 1996)

Hydroxyl radical (OH^\bullet) เป็นอนุมูลอิสระที่มีความว่องไวสูง สามารถเข้าทำปฏิกิริยากับสารต่างๆ ที่อยู่รอบข้างในทันทีที่ถูกสร้างขึ้น จึงเป็นอันตรายต่อสารชีวโมเลกุลในสิ่งมีชีวิตมากกว่าอนุมูลชนิดอื่นๆ ในการศึกษาความสามารถในการยับยั้งอนุมูล OH^\bullet ของสารสกัด โดย OH^\bullet จะถูกสังเคราะห์ขึ้นจาก H_2O_2 โดยปฏิกิริยา Fenton's reaction เริ่มจากการทำปฏิกิริยาของ FeSO_4 กับ 1,10-phenanthroline เกิดเป็นสารประกอบที่มีสีส้มแดง (1,10-phenanthroline- Fe^{2+}) และเมื่อทำปฏิกิริยากับ H_2O_2 จะทำให้เกิดเป็นอนุมูล OH^\bullet โดยสารที่มีความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระจะไปแย่งจับกับ H_2O_2 เพื่อไม่ให้ H_2O_2 ไปออกซิไดซ์ Fe^{2+} จนกลายเป็น Fe^{3+} และ OH^\bullet

การทดสอบความสามารถในการต้านอนุมูล OH^\bullet ของสารสกัดเมทานอลและสารสกัดด้วยตัวทำละลาย (ตารางที่ 20) พบว่าสารสกัดหยาบเมทานอลในสาหร่าย *S. oligocystum* มีความสามารถในการต้านอนุมูล OH^\bullet มากกว่าสาหร่าย *S. aquifolium* และจากการ

ตารางที่ 20 ความสามารถในการต้านอนุมูล OH[•] (EC₅₀) ของสารสกัดเมทานอล และการสกัดด้วยตัวทำละลาย (µg/ml) ในสาหร่าย *S. aquifolium* และ *S. oligocystum*

สาหร่าย	สารสกัดหยาบเมทานอล	ส่วนสกัดย่อย (fractions)			สารละลายที่เหลืออยู่
		ปิโตรเลียมอีเทอร์	เอทิลอะซิเตท	นอร์มัลบิวทานอล	
<i>S. aquifolium</i>	9,316.53±170.79 ^b	384.00±13.52 ^B	220.20±1.90 ^A	495.00±17.14 ^C	2,081.40±128.53 ^D
<i>S. oligocystum</i>	737.13±7.16 ^a	125.43±6.53 ^A	398.70±9.27 ^B	1,386.80±47.17 ^D	898.77±31.34 ^C
L-ascorbic acid			467.78		

ตัวอักษร a-b ในแนวนอน และ A-D ในแนวอนหมายถึงแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

ทดสอบความสามารถในการยับยั้งอนุมูล OH[•] ของสารสกัดด้วยตัวทำละลายพบว่าส่วนสกัดย่อย EA ของสาหร่าย *S. aquifolium* มีความสามารถในการการยับยั้งอนุมูล OH[•] ได้มากที่สุด เมื่อเปรียบเทียบกับส่วนสกัดย่อยอื่นๆ สารสกัดหยาบเมทานอล และ L-ascorbic acid ซึ่งเป็นสารยับยั้งอนุมูลอิสระมาตรฐาน โดยมีค่า EC₅₀ เท่ากับ 220.20±1.90 µg/ml และส่วนสกัดย่อย PE และ EA ของสาหร่าย *S. oligocystum* มีความสามารถในการยับยั้งอนุมูล OH[•] ได้มากกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับส่วนสกัดย่อยอื่นๆ สารสกัดหยาบเมทานอล และ L-ascorbic acid โดยมีค่า EC₅₀ เท่ากับ 125.43±6.53 และ 398.70±9.27 µg/ml ตามลำดับ และยังเป็นค่าที่มากกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับ L-ascorbic acid ซึ่งเป็นสารยับยั้งอนุมูลอิสระมาตรฐาน (ภาพผนวกที่ ค13) แสดงให้เห็นว่ากลุ่มของสารที่มีความสามารถในการยับยั้งอนุมูล OH[•] จากปฏิกิริยา Fenton's reaction อยู่ในกลุ่มของสารที่มีชีวปานกลางจนถึงไม่มีชีว ผลจากการศึกษาในครั้งนี้ยังใกล้เคียงจากการศึกษาของ Luo *et al.* (2010) ในสาหร่าย *Sargassum* 5 ชนิด ซึ่งพบว่าส่วนสกัดย่อย EA มีความสามารถในการยับยั้งอนุมูล OH[•] ได้มากที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับส่วนสกัดย่อย PE, BU และ AQ

การศึกษาความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระของส่วนสกัดย่อย ด้วยวิธีการทดสอบ 3 วิธี ได้แก่ DPPH radical scavenging activity, Reducing power และ Hydroxyl radical scavenging assay ในสาหร่ายทั้ง 2 ชนิด ในภาพรวมพบว่าส่วนสกัดย่อย PE เป็นส่วนที่มีความสามารถในการยับยั้งอนุมูลอิสระที่หลากหลาย คือมีความสามารถในการต้านอนุมูล DPPH[•], OH[•] และรีดิวซ์อนุมูลอิสระได้ครอบคลุมทั้ง 3 วิธีการที่กล่าวมาแสดงให้เห็นว่ากลุ่มของสารที่มี

ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระจากสาหร่ายทั้ง 2 ชนิด ซึ่งละลายได้ดีในสารละลายปิโตรเลียมอีเทอร์เป็นสารที่มีความเป็นขี้ผึ้งถึงปานกลาง

3.4 การศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณสารประกอบฟีนอลิกกับฤทธิ์ในการต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี DPPH และ Hydroxyl

การหาความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณสารประกอบฟีนอลิกกับฤทธิ์ในการต้านอนุมูลอิสระของสารสกัดเมทานอล และสารสกัดด้วยตัวทำละลายที่ตรวจสอบด้วย 2 วิธี คือ DPPH และ Hydroxyl ที่รายงานผลในหน่วยของ EC_{50} โดยการวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้น (linear regression analysis) จากการศึกษาครั้งนี้พบว่าปริมาณสารประกอบฟีนอลิกกับฤทธิ์ในการต้านอนุมูลอิสระที่ตรวจสอบทั้ง 2 วิธีของสารสกัดจากสาหร่าย *S. aquifolium* และ *S. oligocystum* ไม่มีความสัมพันธ์กัน (ภาพผนวกที่ ค24-ค27) โดยสอดคล้องกับการศึกษาของ Lim *et al.*, (2002) ซึ่งพบว่าปริมาณสารประกอบฟีนอลิกของสาหร่าย *S. silisquastrum* ไม่มีความสัมพันธ์กับฤทธิ์ในการต้านอนุมูลอิสระ เนื่องจากการตรวจสอบปริมาณสารประกอบฟีนอลิกด้วยวิธี Folin-Cocalteu's reagent วิธีนี้อาจมีการปนเปื้อนจากสารอื่นๆ ได้ โดยเฉพาะอย่างยิ่งพวกน้ำตาล สารประกอบอะโรมาติก ซัลเฟอร์ไดออกไซด์ และกรดแอสคอร์บิก เป็นต้น (Prio *et al.*, 2005)

เนื่องจากการศึกษาจำนวนมากที่พบว่าสารประกอบฟีนอลิกของสารสกัดจากสาหร่ายทะเลมีฤทธิ์ในการยับยั้งอนุมูลอิสระ โดยสารประกอบฟีนอลิกที่พบในสาหร่ายสีน้ำตาล ได้แก่ ฟลูโรกลูซิโนล และอนุพันธ์ของฟลูโรกลูซิโนลนั้นมีรายงานว่ามีความสามารถในการยับยั้งอนุมูลอิสระ (Liet *al.*, 2011) นอกจากสารประกอบฟีนอลิกแล้ว ก็ยังมีการศึกษาอื่นๆ ที่พบว่าสาหร่ายสีน้ำตาลยังประกอบไปด้วยสารสำคัญชนิดอื่นๆ ที่มีความสามารถในการยับยั้งอนุมูลอิสระ ได้แก่ fucoxanthin (Yan *et al.*, 1999) pyropheophytina (Cahyana *et al.*, 1992) และวิตามินอี (α -tocopherol) (Skrovankova, 2011) เป็นต้น จึงเป็นไปได้ว่าความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระจากสาหร่ายทั้ง 2 ชนิด อาจเกิดจากสารสำคัญชนิดอื่นที่ไม่ใช่สารในกลุ่มของสารประกอบฟีนอลิก ซึ่งต้องมีการศึกษาเพิ่มเติมต่อไป

สรุปและข้อเสนอแนะ

สรุป

1. องค์ประกอบทางเคมีของสาหร่าย *S. aquifolium* และ *S. oligocystum*

คาร์โบไฮเดรตเป็นคุณค่าทางอาหารโดยประมาณ (proximate compositions) ที่มีสัดส่วนมากที่สุดในสาหร่ายทั้ง 2 ชนิด โดยมีค่าอยู่ในช่วง 56.25-61.65% ของน้ำหนักแห้ง ในสาหร่าย *S. aquifolium* และ 52.58-64.80% ของน้ำหนักแห้ง รองลงมาได้แก่ เถ้า ใยอาหาร โปรตีน และไขมัน ตามลำดับ นอกจากนี้ยังพบว่าสาหร่ายทั้ง 2 ชนิด ยังจัดเป็นแหล่งของกรดอะมิโนจำเป็น เนื่องจากมีค่า amino acid score เท่ากับ 80.57% ใน *S. aquifolium* และ 101.28% ใน *S. oligocystum* ซึ่งแสดงให้เห็นว่าโปรตีนของสาหร่ายทั้ง 2 ชนิด จัดเป็นโปรตีนที่มีคุณภาพดี และมีกรดอะมิโนจำเป็นมากเพียงพอแก่ความต้องการของร่างกาย และอัตราส่วนระหว่าง Na/K ในสาหร่ายทั้ง 2 ชนิด ซึ่งมีค่าอยู่ระหว่าง 0.10-0.20 ซึ่งเป็นอัตราส่วนที่เหมาะสมต่อการบริโภค เพื่อปรับสัดส่วนด้านโภชนาการในผู้ป่วยที่มีปัญหาด้านความดันโลหิตสูง (Matanjun *et al.*, 2009) นอกจากนี้ยังพบว่าสาหร่ายทั้ง 2 ชนิด จัดเป็นแหล่งของซีลีเนียมที่สำคัญ โดยสามารถนำมาบริโภคเพื่อเสริมความต้องการซีลีเนียมในแต่ละวันได้

สำหรับคุณค่าทางโภชนาการอื่นๆ ที่เป็นส่วนช่วยในการเสริมสุขภาพ ได้แก่ วิตามินซี ซึ่งพบปริมาณสูงสุดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ในเดือนกุมภาพันธ์ คือเท่ากับ 34.84 ± 0.42 mg/100g ของน้ำหนักแห้ง สำหรับสาหร่าย *S. aquifolium* และ 42.90 ± 0.24 mg/100g ของน้ำหนักแห้ง สำหรับสาหร่าย *S. oligocystum* ซึ่งเป็นปริมาณที่ค่อนข้างสูง เมื่อเปรียบเทียบกับส้ม หรือมะนาว (50 mg/100g ของน้ำหนักแห้ง) ที่เป็นผลไม้ที่ให้วิตามินซีสูง และสารประกอบฟีนอลิก ซึ่งพบปริมาณสูงสุดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ในเดือนกุมภาพันธ์ คือเท่ากับ 15.92 ± 0.73 mg/g ของน้ำหนักแห้ง สำหรับสาหร่าย *S. aquifolium* และ 27.22 ± 0.17 mg/g ของน้ำหนักแห้ง สำหรับสาหร่าย *S. oligocystum*

จากข้อมูลดังกล่าวแสดงให้เห็นว่าสาหร่ายทั้ง 2 ชนิด ในการศึกษาครั้งนี้อุดมไปด้วยคุณค่าทางโภชนาการหลายชนิดที่จำเป็น และมีประโยชน์ต่อร่างกาย นอกจากการนำมาบริโภคโดยตรงแล้ว ยังสามารถนำมาพัฒนาเป็นอาหารเสริมสุขภาพต่อไปได้

2. ความสัมพันธ์ระหว่างองค์ประกอบทางเคมีของสาหร่าย *S. aquifolium* และ *S. oligocystum* กับปัจจัยสิ่งแวดล้อม

จากการทดสอบค่าสหสัมพันธ์ระหว่างองค์ประกอบทางเคมี กับปัจจัยสิ่งแวดล้อมในสาหร่าย *S. aquifolium* พบความสัมพันธ์ในเชิงลบระหว่างปริมาณใยอาหารกับความลึก ความเป็นกรดเป็นด่าง และความชุ่มชื้น ขณะที่สาหร่าย *S. oligocystum* พบความสัมพันธ์ในเชิงลบระหว่างปริมาณไขมันกับความลึก และความชุ่มชื้น และเชิงบวกกับความเป็นกรดเป็นด่าง และปริมาณสารประกอบฟีนอลิกในสาหร่ายทั้ง 2 ชนิด มีความสัมพันธ์ในเชิงบวกกับความลึก และความชุ่มชื้น และเชิงลบกับความเป็นกรดเป็นด่าง

การศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณองค์ประกอบทางเคมี และปัจจัยสิ่งแวดล้อมไม่สามารถอธิบายถึงความสัมพันธ์ได้อย่างชัดเจนนัก อาจเนื่องมาจากข้อมูลมีจำนวนน้อย และขาดความต่อเนื่อง ทำให้ไม่สามารถมองเห็นแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงในแต่ละเดือนได้อย่างชัดเจน

3. ชนิดของตัวทำละลายที่มีผลต่อปริมาณสารประกอบฟีนอลิก และฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระ

จากการศึกษาปริมาณสารประกอบฟีนอลิกพบว่า ส่วนสกัดย่อย EA ของสาหร่าย *S. aquifolium* และส่วนสกัดย่อย PE ของสาหร่าย *S. oligocystum* มีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกมากที่สุดคือเท่ากับ 246.29 ± 34.34 และ 421.88 ± 14.14 mg PGE/g extract และการศึกษาฤทธิ์ในการต้านอนุมูลอิสระจากสารสกัดเมทานอล และส่วนสกัดย่อย โดยใช้วิธีทดสอบ 3 วิธี ได้แก่ DPPH radical scavenging activity, Reducing power และ Hydroxyl radical scavenging assay ผลการศึกษาพบว่าสารสกัดเมทานอลในสาหร่าย *S. oligocystum* มีความสามารถในการยับยั้งอนุมูลอิสระได้มากกว่าสาหร่าย *S. aquifolium* โดยสอดคล้องกันทั้ง 3 วิธีการทดสอบ ขณะที่การทดสอบความสามารถในการยับยั้งอนุมูลอิสระจากส่วนสกัดย่อยของสาหร่ายทั้ง 2 ชนิด พบว่า ในภาพรวมส่วนสกัดย่อย PE และ EA เป็นส่วนที่มีความสามารถในการยับยั้งอนุมูลอิสระมากกว่าส่วนสกัด

ย่อยอื่นๆ ในทั้ง 3 วิธีการทดสอบ ส่วนสกัดย่อย EA ใน *S. aquifolium* และ PE ใน *S. oligocystum* ยังมีความสามารถในการต้านอนุมูล DPPH[•] ได้มากกว่า BHT และทั้งส่วนสกัดย่อย PE และ EA ในสาหร่ายทั้ง 2 ชนิด ยังมีความสามารถในการต้านอนุมูล OH[•] ได้มากกว่า L-ascorbic acid ซึ่งทั้ง BHT และ L-ascorbic acid ล้วนแต่เป็นสารต้านอนุมูลอิสระมาตรฐาน แสดงให้เห็นว่าสารที่มีฤทธิ์ในการยับยั้งอนุมูลอิสระของสาหร่าย *Sargassum* ทั้ง 2 ชนิด เป็นกลุ่มของสารที่มีขั้วต่ำจนถึงขั้วปานกลาง จากผลการศึกษานี้ทำให้ทราบถึงความสามารถในการละลายของกลุ่มสารที่ออกฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ และในอนาคตจะช่วยลดขั้นตอนในการสกัด การจำแนกชนิดของสาร และทำให้สามารถสกัดสารต้านอนุมูลอิสระให้บริสุทธิ์ยิ่งขึ้น

ข้อเสนอแนะ

1. จากรายงานการศึกษาที่ผ่านมาพบว่าการสร้างเซลล์สืบพันธุ์สามารถส่งผลกระทบต่อปริมาณองค์ประกอบทางเคมีบางอย่างในสาหร่าย อย่างไรก็ตามในการศึกษาครั้งนี้ การเก็บตัวอย่างสาหร่าย *Sargassum* ทั้ง 2 ชนิด ไม่ได้ศึกษาแยกระหว่างต้นที่มีเซลล์สืบพันธุ์ และต้นที่ไม่มีเซลล์สืบพันธุ์ เนื่องจากการตัวอย่างสาหร่ายที่เก็บได้ในแต่ละครั้งมีปริมาณน้อย จึงทำให้ไม่เพียงพอต่อการศึกษาดังนั้นหากการศึกษาในครั้งต่อไปควรแยกต้นที่มีเซลล์สืบพันธุ์ และไม่มีเซลล์สืบพันธุ์ออก เพื่อให้ได้ผลการศึกษาที่ชัดเจน และสามารถใช้อธิบายถึงปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อการเปลี่ยนแปลงปริมาณองค์ประกอบทางเคมีได้มากขึ้น

2. การศึกษาในครั้งนี้ได้ทำการเก็บตัวอย่างสาหร่าย 3 ครั้ง ในรอบ 1 ปี เพื่อให้ได้ข้อมูลที่เป็นตัวแทนของแต่ละฤดูกาล แต่อย่างไรก็ตาม ควรเพิ่มจำนวนครั้งในการเก็บตัวอย่างให้มากขึ้น เช่น 2 เดือนต่อครั้ง หรือเดือนละ 1 ครั้ง เพื่อให้ได้ข้อมูลที่สามารทำให้เห็นแนวโน้มของการเปลี่ยนแปลงในช่วง 1 ปี

3. หากต้องการนำสาหร่ายทั้ง 2 ชนิด ไปใช้ประโยชน์ควรเลือกเก็บสาหร่ายในช่วงเดือนกุมภาพันธ์ ถึงพฤษภาคม เนื่องจากเป็นช่วงที่สาหร่าย 2 ชนิด มีปริมาณคุณค่าทางโภชนาการหลายชนิดสูง และมีปริมาณเพียงพอต่อการนำมาบริโภค

4. เนื่องจากการศึกษาฤทธิ์ในการต้านอนุมูลอิสระในครั้งนี้เป็นเพียงการศึกษาในเชิงปริมาณเท่านั้นยังไม่ได้มีการศึกษารายละเอียดไปถึงองค์ประกอบ หรือ โครงสร้างทางเคมีของสารต้านอนุมูลอิสระ ดังนั้นในการศึกษาในครั้งต่อไปควรทำการศึกษาเชิงปริมาณควบคู่กับการศึกษาในเชิงคุณภาพ ซึ่งจะช่วยให้ทราบถึงชนิด หรือ โครงสร้างทางเคมีของสารที่ออกฤทธิ์ในการต้านอนุมูลอิสระ

ผลการศึกษาในครั้งนี้ทำให้ทราบถึงคุณค่าทางโภชนาการ และฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระของสาหร่าย *Sargassum* ทั้ง 2 ชนิด ซึ่งเป็นสาหร่ายที่พบได้มากบริเวณชายฝั่งทะเลของไทย แต่ยังไม่มีการนำมาใช้ประโยชน์มากนัก ข้อมูลเหล่านี้สามารถนำไปประยุกต์เพื่อใช้ประโยชน์จากการบริโภคเป็นอาหาร การสกัดสารสำคัญที่ส่งผลดีต่อสุขภาพ และอาจพัฒนาไปเป็นผลิตภัณฑ์เสริมอาหาร หรือระบบการเลี้ยงเพื่อเพิ่มผลผลิตสาหร่ายได้ในอนาคต ส่งผลให้เกิดการวางแผน และสามารถนำประโยชน์จากทรัพยากรสาหร่ายได้อย่างยั่งยืน

เอกสารและสิ่งอ้างอิง

กรมควบคุมมลพิษ. 2540. **เกณฑ์ระดับน้ำและมาตรฐานคุณภาพน้ำประเทศไทย**. กรุงเทพฯ.

กรมอุตุนิยมวิทยา. 2547. **ภูมิอากาศของประเทศไทย**. กลุ่มภูมิอากาศ สำนักพัฒนาอุตุนิยมวิทยา, กรุงเทพฯ.

_____. 2555. รายงานข้อมูลสภาพอากาศ จังหวัดชลบุรี พ.ศ.2555. แหล่งที่มา info_service@tmd.go.th, 13 มีนาคม 2556.

กรมอุทกศาสตร์ กองทัพเรือ. 2555. **มาตรฐานน้ำ น่าน้ำไทย แม่น้ำเจ้าพระยา-อ่าวไทย-ทะเลอันดามัน**. กรุงเทพฯ.

_____. 2541. **นาร่องน่านน้ำไทย เล่ม 1 (อ่าวไทย)**. พิมพ์ครั้งที่ 1 แผนกเอกสารเดินเรือ กรมอุทกศาสตร์, กรุงเทพฯ.

กองโภชนาการ กรมอนามัย กระทรวงสาธารณสุข. 2546. **ปริมาณสารอ้างอิงที่ควรได้รับประจำวันสำหรับคนไทย พ.ศ.2546**. โรงพิมพ์องค์การรับส่งสินค้าและวัสดุภัณฑ์ (รสพ), หน้า 51-329

_____. 2553. **ตารางแสดงคุณค่าทางโภชนาการของอาหารไทย**. โรงพิมพ์องค์การทหารผ่านศึก, หน้า 22-41.

กาญจนภานันท์ ลีวมนอนต์. 2527. **สาหร่าย**. คณะประมง, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

_____. 2548. **บริโภคสาหร่ายได้ประโยชน์อะไร**. จุลสารชมรมคณะปฏิบัติงานนิเทศการ อพ. สช. 2: 1-2.

เขาวนีย์ มีหวัง. 2552. การศึกษารูปแบบอะมิโนลิพิดของแบคทีเรียสกุล *Bacillus* โดยโครมาโทกราฟี
แผ่นเคลือบบาง. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

บุหรัน พันธุ์สุวรรณค์. 2556. อนุมูลอิสระ สารต้านอนุมูลอิสระ และการวิเคราะห์ฤทธิ์การต้านอนุมูล
อิสระ. วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี. 21: 275-286.

นิธิยา รัตนานพนธ์. 2553. เคมีอาหาร. พิมพ์ครั้งที่ 4 สำนักพิมพ์โอเดียนสโตร์, กรุงเทพฯ.

_____. 2554. หลักการวิเคราะห์อาหาร. สำนักพิมพ์โอเดียนสโตร์, กรุงเทพฯ.

พงศ์เชษฐ พิชิตกุล. มปป. การวิเคราะห์น้ำ. เอกสารประกอบการสอนวิชาการวิเคราะห์น้ำ (water
analysis) ภาควิชาเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ คณะประมง, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. (อัดสำเนา)

พัทธนันท์ ศรีม่วง. 2554. โภชนศาสตร์. URAI GRAPHIC, กรุงเทพฯ.

สมถวิล จิตคาวร. 2540. ชีววิทยาทางทะเล. เอกสารประกอบการสอนชีววิทยาทางทะเล (Marine
Biology) ภาควิชาวาริชศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา. (อัดสำเนา)

สมปอง คะชนะนา. 2547. อิทธิพลของโฟเลตและวิตามินบี 12 ต่อเมตาบอลิซึมของไขมันในไขไก่.
วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

สิริพันธุ์ จุลกะรังคะ. 2553. โภชนศาสตร์เบื้องต้น. สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์,
กรุงเทพฯ.

สุทิน สมบูรณ์. 2552. คู่มือปฏิบัติการวิธีวิเคราะห์โภชนะสัตว์น้ำ. ศูนย์พัฒนาเทคโนโลยีอาหาร
สัตว์น้ำฝ่ายสนับสนุนวิชาการ คณะประมง มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

- สุวดี ฟองอินทร์. 2554. ผลของการบรรจุในสภาพบรรยากาศดัดแปลงต่อสารให้กลิ่น สารประกอบฟีนอลิก ปริมาณวิตามินซี และความสามารถต้านออกซิเดชันของส้มโอตัด แต่งพร้อมบริโภค. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- สำนักงานสถิติแห่งชาติ. 2547. การเลือกใช้ตัวทดสอบสถิติ. (ไฟล์ข้อมูล). กลุ่มส่งเสริมวิชาการ, สำนักนโยบายและวิชาการสถิติ.
- ศรีสกุล วงจันทร์ และ รณชัย สิทธิไกรพงษ์. 2539. โภชนศาสตร์. โอ. เอส. พรินติ้งเฮ้า, กรุงเทพฯ.
- อรพินท์ ภูมิภมร. 2523. คาร์โบไฮเดรตในอาหาร: พอลิแซ็กคาไรด์. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.
- อัจฉรา คลวิทยาคุณ. 2556. พื้นฐานโภชนาการ. สำนักพิมพ์โอเดียนสโตร์, กรุงเทพฯ.
- ฤทัยรัตน์ น้อยคนดี. 2551. สารสกัดแทนนินจากใบมันลำปะหลังเพื่อการบำบัดคุณภาพน้ำเสีย. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- Abou-El-Wafa, G.S.E., K.A. Shaaban, M.E.E. El-Naggar and M. Shaaban. 2011. Bioactive constituents and biochemical composition of the Egyptian brown alga *Sargassum subrepandum* (Forsk). **Rev. Latinoamer. Quim.** 39: 63-74.
- Ahn, G.N., K.N. Kim, S.H. Cha, C.B. Song, J. Lee, M.S. Heo, I.K. Yeo, N.H. Lee, Y.H. Jee, J.S. Kim, M.S. Heu and Y.J. Yeon. 2007. Antioxidant activities of phlorotannins purified from *Eckloniacava* on free radical scavenging using ESR and H₂O₂-mediated DNA damage. **Eur. Food. Res. Technol.** 226: 71-79.

Ajisaka, T., S.M. Phang and T. Yoshida. 1999. Preliminary report of *Sargassum* species collected from Malaysian coast, pp. 23-42. In Abbott I.A., eds. **Taxonomy of Economic Seaweeds with Reference to Some Pacific species**. California Sea Grant College, University of California La Jolla, California.

_____,_____, 2002. *Sargassum* specimen from Singapore and Malaysia in the herbarium of the Bishop Museum, pp. 77-102. In Abbott I.A., eds. **Taxonomy of Economic Seaweeds with Reference to Some Pacific species**. California Sea Grant College, University of California La Jolla, California.

Ambrozova, J.A., L. Misurcova, R. Vicha, L. Machu, D. Samek, M. Baron, J. Mlcek, J. Sochor and T. Jurikova. 2014. Influence of extractive solvents on lipid and fatty acid content of edible freshwater algal and seaweed products, the green microalgal *Chlorella kessleri* and the cyanobacterium *Spilulina plantensis*. **Molecules**. 19: 2344-2360.

A.O.A.C. 2000. **Official Methods of analysis**. 13th ed., Association of Official Analytical Chemists. Verginia. 1018p.

APHA, AWWA and WPCF (American Public Health Association, American Water Work Association, and Water Environment Federation). 1995. **Standard Method for the Examination of Water and Wastwater**. 19th ed. American Public Health Association, Washiton, D.C.

Arita, S., S. Ando, H. Hosoda, K. Sakaue, T. Nakata, Y. Murata, Y. Shimoishi and M. Tada. 2005. Acceleration effect of sulfides on photodegradation of carotenoid by UVA irradiation. **Biosci. Biotechnol. Biochem**. 69: 1786-1789.

- Athukorala, Y., K.N. Kim and Y.J. Jeon. 2006. Antiproliferative and antioxidant properties of an enzymatic hydrolysate from brown alga, *Ecklonia cava*. **Food Chem. Toxicol.** 44: 1065-1074.
- Balasundram, N., K. Sundram and S. Samman. 2006. Phenolic compounds in plants and agricultural by-products: Antioxidant activity, occurrence, and potential uses. **Food Chem.** 99: 191-203.
- Berk, Z. 1992. **Technology of production of edible flours and protein products from soybeans.** Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). Rome, Italy.
- Bold, H.C. and M.J. Wynue. 1978. **Introduction to the algae: structure and reproduction.** Prentice-Hall of India, New Delhi.
- Bondet, V., W.B. Williams and C. Berset. 1997. Kinetics and Mechanisms of Antioxidant Activity using the DPPH Free Radical Method. **Food. Sci. Technol.** 30: 609-615.
- Bravo, L. 1998. Polyphenols: chemistry, dietary sources, metabolism, and nutritional significance. **Nutri. Rev.** 56: 317-333.
- Breitmaier, E. 2006. **Terpenes: Flavors, Fragrances, Pharmacology, Pheromones.** 1st ed. Wiley-VCH.
- Brody, T. 1999. **Nutritional Biochemistry.** second ed. Academic Press, London.
- Burtin, P. 2003. Nutritional Value of seaweed. **Electron. J. Environ. Agric. Food Chem.** 2: 498-503.

- Cahyana, A.H., Y. Shuto and Y. Kinoshita. 1992. Pyro-pheophytin a as an antioxidative substance from the marine algal, Arame (*Eisenia bicyclis*). **Biosci. Biotechnol. Biochem.** 56: 1533-1535.
- Cerna, M. 2011. Seaweed proteins and amino acids as nutraceutical. pp. 297-312. *In Advance in food and Nutrition Research, Volume 64.* Elsevier, New York.
- Chan, J., P. Cheung and P. Ang. 1997. Comparative studies on the effect of three drying methods on the nutritional composition of seaweed *Sargassum hemiphyllum*. **J. Agric. Food Chem.** 45: 3056-3059.
- Chandini, S.K., P. Ganesana and N. Bhaskar. 2008. In vitro antioxidant activities of three selected brown seaweeds of India. **Food Chem.** 107: 707-713.
- Connan, S., F. Goulard, V. Stiger, E. Deslandes and E. Gall. 2004. Interspecific and temporal variation in phlorotannin levels in an assemblage of brown algae. **Bot. Mar.** 47: 410-416.
- Cox, S., N. Abu-Ghannam and S. Gupta. 2010. An assessment of the antioxidant and antimicrobial activity of six species of edible Irish seaweeds. **Inter. Food Res.** 17: 205-220.
- Dawczynki, C., R. Schubert and G. Jahres. 2007. Amino acid, Fatty acids, and dietary fibre in edible seaweed products. **Food Chem.** 103: 891-899.
- Duan, X.J., W. Zhang, X.M. Li and B.G. Wang. 2006. Evaluation of antioxidant property of extract and fractions obtain from a red alga, *Polysiphonia urceolata*. **Food Chem.** 95: 37-43.

Fleurence, J. 1999. Seaweed Protein: biochemical, nutritional aspects and potential uses.

Trends Food Sci. Technol. 10: 25-28.

Floreto, E.A.T. and S. Teshima. 1998. The Fatty-acid composition of seaweeds exposed to different levels of light-intensity and salinity. **Bot. Mar.** 41: 467-481.

Fujiwara-Arasaki, T., N. Mino and M. Kuroda. 1984. The protein value in human nutrition of edible marine algae in Japan. **Hydrobiologia.** 116/117, 513-517.

Ganesun P., S.K. Chandini and N. Bhaskar. 2008. Antioxidant activity of enzymatic extracts from brown seaweeds. **Biores. Tech.** 99: 2717-2723.

Garcia-Rios, V., E. Rios-Leal, D. Robledo and Y. Freile-Pelegrin. 2012. Polysaccharides composition from tropical brown seaweeds. **Phycol. Res.** 60: 305-315.

Gatenby, C.M., D.M. Orcutt, D.A. Kreeger, B.C. Parker, V.A. Jones and R.J. Neves. 2003. Biochemical composition of three alga species proposed as food for captive freshwater mussels. **J. Appl. Phycol.** 15:1-11.

Gershenzon, J. and N. Dudareva. 2007. The function of terpene natural products in the natural world. **Nat. Chem. Biol.** 3: 408-414.

Google Maps. (online). Available: www.wikimapia.org [2013 March 12]

Gupta, S. and N. Abu-Ghannam. 2011. Bioactive potential and possible health effects of edible brown seaweeds. **Trends. Food Sci. Tech.** 22: 315-326.

Haldimann, M., A. Alt, A. Blanc and K. Blondeau. 2005. Iodine content of food groups. **J. Food Compos. Anal.** 18: 461-471.

- Hannich, J.T., K. Umebayashi and H. Riezman. 2011. distribution and functions of sterols and sphingolipids. **Cold Sping Harb. Perspect. Biol.** 3: 1-14.
- Haroon, A.M. 2000. The biochemical composition of *Enteromorpha* spp. from the Gulf of Gdansk coast on the southern Baltic sea. **Oceanology.** 42: 19-28.
- Haque, F., S.Y. Chy, S. Akter, A. Wahab and K.K. Nath. 2009. Collection, Identification and biochemical analyses of different seaweeds from Saint Marine's Island. **Bangladesh J. Agril. Res.** 34: 59-65.
- Haraguchi, H. and S. Sekida. 2008. Recent Changes in the Distribution of *Sargassum* species in Kochi, Japan. **Kuroshio Science.** 2: 41-46.
- Harborne, J.B. and F.A. Tomas-Braberan. 1991. **Ecological Chemistry and Biochemistry of Plant Terpenoid.** Oxford Science Publication.
- _____, _____. H.V. Baxter, G.P. Moss. 1999. **Phytochemical dictionary: handbook of bioactive compounds from plants.** second ed. London: Taylor & Francis.
- Harnedy, P.A. and R.J. FitzGerald. 2011. Bioactive Proteins, Peptides, and Amino acid from **Macroalgae.** **J. Phycol.** 47: 218-232.
- Hel, O., T. Larsen, L.P. Christensen, U. Kidmose, N. Hassan and S.H. Thilsted. 2004. Contents of iron, calcium, zinc and β -carotene in commonly consumed vegetables in Bangladesh. **J. Food Compos. Anal.** 17: 587-595.
- Hill, R.L. 1965. Hydrolysis of Proteins. **Advan. Protein. Chem.** 20: 37-107.

- Ito, K. and K. Hori. 1989. Seaweed: chemical composition and potential uses. **Food Rev. Int.** 5: 101-144.
- Jiang, H.B., X.L. Tian, S.L. Dong and J. Bao. 2009. Effects of temperature and light intensity on the growth and biochemical composition of *Sargassum thunbergii*. **Chinese J. Appl. Ecol.** 20: 185-189.
- Jin, M., Y.X. Cai, J.R. Li and H. Zhao, 1996. 1,10-phenanthroline-Fe²⁺ oxidative assay of hydroxyl radical produced by H₂O₂/Fe²⁺. **Prog. Biochem. Biophys.** 23: 553-555.
- Kamiya, M., T. Nishio, A. Yokoyama, K. Yatsuya, T. Nishigaki, S. Yoshikawa and K. Ohki. 2010. Seasonal variation of phlorotannin in sargassacean species from the coast of the Sea of Japan. **Jap. Soc. Phycol.** 58: 53-61.
- Kareem, M. 2009. Phenetic Studies and New Records of *Sargassum* species (Fucales, Phaeophyceae) from the Arabian Gulf Coast of Saudi Arabia. **Acad. J. Plant Sci.** 2: 174-181.
- Khairy, H.M. and S.M. El-Shafay. 2013. Seasonal variations in the biochemical composition of some common seaweed species from the coast of Abu Qir Bay, Alexandria, Egypt. **Oceanologia.** 55: 435-452.
- Kim, S.K. 2012. **Handbook of Marine Macroalgae: Biotechnology and Applied Phycology.** 1st ed. John Wiley & Sons, Ltd.
- Krishmaswamy, N.R. 2010. **Chemistry of natural products: a unified approach.** 2nd ed. CRC Press.

- Kumar, S., D. Sahoo and R. Levine. 2015. Assessment of nutritional value in a brown seaweed *Sargassum wightii* and their seasonal variations. **Algal Res.** 9: 117-125.
- Lann, K.L., C. Ferret, E. VanMee, C. Spagnol, M. Lhuillery and C. Payri. 2012. Total phenolic, size-fractionated phenolics and fucoxanthin content of tropical Sargassaceae (Fucales, Phaeophyceae) from the South Pacific Ocean: Spatial and specific variability. **Jap. Soc. Phycol.** 60: 37-50.
- Li, Y.X., I. Wijesekara, Y. Li and S.K. Kim. 2011. Phlorotannins as bioactive agents from brown algae. **Process Biochem.** 46: 2219-2224.
- Lim, S.N., P.C.K. Cheung, V.E.C. Ooi and P.O. Ang. 2002. Evaluation of antioxidative activity of extracts from a brown seaweed, *Sargassum siliquastrum*. **J. Agric. Food Chem.** 50: 3862-3866.
- Liu, L., M. Heinrich, S. Myers and S.A. Dworjanyn. 2012. Towards a better understanding of medicinal uses of the brown seaweed *Sargassum* in Traditional Chinese Medicine; A phytochemical and pharmacological review. **J. Ethnopharmacol.** 142: 591-619.
- Lourenco, S.O., E. Barbario, J.C. De-Paula, L.O.S. Pereira and U.M. Lanfer Marquez. 2002. Amino acid composition, protein content and calculation of nitrogen-to-protein conversion factors for 19 tropical seaweeds. **Phycol. Res.** 50: 233-241.
- Lubchenco, J., 1983. *Littornia* and *Fucus*: effects of herbivores, substratum heterogeneity, and plant escapes during succession. **Ecology.** 64: 1116-1123.
- Luo, H.Y., B. Wang, C.G. Yu, Y.L. Qu and C.L. Su. 2010. Evaluation of antioxidant activities of five selected brown seaweeds from China. **J. Med. Plant Res.** 4: 2557-2565.

- Mabeau, S. and J. Fleurence. 1993. Seaweed in food products: biochemical and nutritional aspects. **Trends. Food Sci. Technol.** 4: 103–107.
- Maeda, N., H. Yoshida and Y. Mizuchina. 2010. Spinach and health: Anticancer effect, pp. 393-405. *In* Watson, R.R. and V.R. Preedy, eds. **Bioactive foods in promoting health: fruits and vegetables.** Academic Press.
- Manivanna, K., G. Thirumaran, G.K. Devi, A. Hemalatha and P. Anantharaman. 2008. Biochemical Composition of Seaweeds from Mandapam Coastal Regions along Southeast Coast of India. **AEJB.** 1: 32-37.
- Marinho-Soriano, E., P.C. Fonseca, M.A.A. Carneiro and W.S.C. Moreira. 2005. Seasonal variation in the chemical composition of two tropical seaweeds. **Bior. Tech.** 97: 2402-2406.
- Martins, S., S.I. Mussatto, G.M. Avila, J.M. Seanz, C.N. Aguilar and J.A. Teixeira. 2011. Bioactive phenolic compounds: Production and extraction by solid-state fermentation. A review. **Biotechnol. Adv.** 29: 365-373.
- Martin, A., M.C. Valdez, S. Carrillo, H. Hernandez, A. Monroy, L. Sangines and F.P. Gil. 2009. The marine algae *Sargassum* spp. (Sargassaceae) as feed for sheep in tropical and subtropical regions. **Rev. Biol. Trop.** 57: 1271-1281.
- Matanjun, P., S. Mohamed, N.M. Mustapha and K. Muhammad. 2009. Nutrient content of tropical edible seaweeds, *Eucheuma cottonii*, *Caulerpa lentillifera* and *Sargassum polycystum*. **J. Appl. Phycol.** 21: 75-80.
- McDonald, R., R. Thomas. 1970. A preliminary evaluation of polyelectrolytes as possible water clarification aids for treatment of turbid fish ponds. **Prog. Fish-Cult.** 32: 174-177.

- Misurcova, L., L. Machu and J. Orsavova. 2011. Seaweed mineral as nutraceuticals. **Adv. Food. Nutr Res.** Academic Press. 64: 371-390.
- Miyashita, K., S. Nishikawa, F. Beppu, T. Tsukui, M. Abe and M. Hosokawa. 2011. The allenic carotenoid fucoxanthin, a novel marine nutraceutical from brown seaweeds. **J. Sci. Food Agric.** 91: 1166-1174.
- _____,_____, N. Mikami and M. Hosokawa. 2013. Chemical and nutritional characteristic of brown seaweed lipids: A review. **J. Funct. Foods.** 5: 1507-1517.
- Mourandi-Givernaud, A., T. Givernaud, H. Morvan and J. Cosson. 1993. Annual variations of the biochemical composition of *Gelidium latifolium* (greville) **Thuret et Bornet. Hydrobiologia.** 260/261: 607–612.
- Munda, I.M. and B.P. Krmar. 1977. Chemical composition and physiological properties of fucoids under conditions of reduced salinity. **Mar Biol.** 42: 9-15.
- Murakami, K., Y. Yamaguchi, K. Noda, T. Fujii, N. Shinohara, T. Ushirokawa, Y.S. Katayama and M. Katayama. 2011. Seasonal variation in the chemical composition of marine brown alga *Sargassum honeri* (Turner) C. Agardh. **J. Food Compos. Anal.** 24: 231-236.
- Nakai, M., N. Kageyama, K. Nakahara and W. Miki. 2006. Phlorotannins as radical scavengers from the extract of *Sargassum ringgodianum*. **Mar. Biotechnol.** 8: 409-414.
- Narayan, B., K. Miyashita and M. Hosakawa. 2006. Physiological effects of eicosapentaenoic acid (EPA) and docosahexaenoic acid (DHA) a review. **Food Rev. Int.** 22: 291-307.

- Niermann, U. 1986. Distribution of *Sargassum natans* and some of its epibionts in the Sargasso Sea. **Helgoländer Meeresun.** 40: 343-353.
- Noiraksar, T. and T. Ajisaka. 2008. Taxonomy and distribution of *Sargassum* (Phaeophyceae) in the Gulf of Thailand. **J. Appl. Phycol.** 20: 963-977.
- Norziah, M.H. and C.Y. Ching. 2000. Nutritional composition of edible seaweed *Gracilaria changgi*. **Food Chem.** 68: 69-76.
- Noviende, D., I. Jaswir, S.M. Solleh, M. Taher, K. Miyashita and N. Ramli. 2011. Fucoxanthin extraction and fatty acid analysis of *Sargassum binderi* and *S. duplicatum*. **J. Med. Plant. Res.** 5: 2405-2412.
- Orduna-Rojas, J., D. Robledo and C. Dawes. 2002. Studies on the tropical agarophyte *Gracilaria cornea* J. Agardh (Rhodophyta, Gracilariales) from Yucatan, Mexico. I. Seasonal physiological and biochemical responses. **Bot. Mar.** 45: 453-458.
- Ortiz, A.T. and G.C. Trono. 2000. Growth and Reproductive Pattern of intertidal and subtidal *Sargassum* (Sargassaceae, Phaeophyta) Populations in Bolinao, Pangasinan. **Sci. Diliman.** 12: 45-50.
- Ortiz, J., N. Romero, P. Robert, J. Araya, J.L. Hernandez, C. Bozzo, E. Navarrete, A. Osorio and A. Rios. 2006. Dietary fiber, amino acid, fatty acid and tocopherol contents of the edible seaweeds *Ulva lactuca* and *Durvillaea antarctica*. **Food Chem.** 99: 98-104.
- Pavia, H. and G.B. Toth. 2000. Influence of light and nitrogen on the phlorotannin content of the brown seaweeds *Ascophyllum nodosum* and *Fucus vesiculosus*. **Hydrobiologia.** 440: 299-305.

- Pedersen, A. 1984. Studies on phenol content and heavy metal uptake in fucoids. **Hydrobiologia.** 116/117: 498-504.
- Perfeto, P.N.M. 1998. Relation between chemical composition of *Grateloupia doryphora* (Montagne) Howe, *Gymnogongrus Griffithsiae* (Turner) Martius, and abiotic parameters. **Acta. Bot. Bras.** 12: 77-88
- Petritis, K., C. Elfakir, and M. Dreux. 2002. A comparative study of commercial liquid chromatographic detectors for the analysis of underivatized amino acids. **J. Chrom. A.** 961: 9-21.
- Phang, S.M. and T. Yoshida. 1997. *Sargassum stolonifolium* Phang et Yoshida sp. nov. from Penang Island, Peninsular Malaysia, pp. 61-74. In Abbott, I.A., eds. **Taxonomy of Economic Seaweeds with Reference to Some Pacific species.** California Sea Grant College, University of California La Jolla, California.
- _____, _____. 2006. Seaweed Resources in Malaysia: Current status and future prospects. **Aquat. Ecosyst. Health. Manag.** 9: 182-202.
- Pietta, P.G. 2000. Flavonoids as antioxidant: A Reviews. **J. Nat. Prod.** 63:1035-1042.
- Plouguerne, E., K.L. Lann, S. Connan, G. Jechoux, E. Deslandes and V. Stiger-Pouvreau. 2006. Spatial and seasonal variation in density, reproductive status, length and phenolic content of the invasive brown macroalga *Sargassum muticum* (Yendo) Fensholt along the Western Brittany (France). **Aquat. Bot.** 85: 337-344.
- Ragan, M.A. and K.W. Glombitza. 1986. Phlorotannins, brown algal polyphenols. **Prog. Phycol. Res.** 4: 129-241.

- Rajakpaxse, N. and S.K. Kim. 2011. Nutritional and digestive health benefits of seaweed, pp. 17-28. *In Advance in food and Nutrition Research, Volume 64*. Elsevier, New York.
- Ratana-arporn, P. and A. Chirapat. 2006. Nutritional evaluation of tropical green seaweed *Caulerpalentilifera* and *Ulva reticulat*. **Kasetsart J.** 40: 75-83.
- Renaud, S.M. and J.T.L. Van. 2006. Seasonal variation in the chemical composition of tropical Australian marine macroalgae. **J. Appl. Phycol.** 18: 381-387.
- Robledo, D. and Y.F. Pelegrin. 1997. Chemical and Mineral Composition of six potential edible seaweeds species of Yucatan. **Bot. Mar.** 40: 301-306.
- Rohani-Ghadikolaei, K., E. Abdulalian and W.K. Ng. 2012. Evaluation of the proximate, fatty acid and mineral composition of representative green, brown and red seaweeds from the Persian Gulf of Iran as potential food and feed resources. **J. Food Sci. Technol.** 49: 774-780.
- Rosemberg, G. and J. Ramus. 1982. Ecological growth strategies in theseaweeds *Gracilaria follifera* (Rhodophyceae) and *Ulva* sp. (Chlorophyceae): soluble nitrogen and reserve carbohydrates. **Mar. Biol.** 66: 251–259.
- Rotem, A., N. Roth-Bejeranu and S.M. Arad. 1986. Effect of controlled environmental conditions on starch and agar contents of *Gracilaria* sp. (Rhodophyceae). **J. Phycol.** 22: 117–121.
- Ruperez, P. 2002. Mineral content of edible marine seaweeds. **Food Chem.** 79: 23-26.

- Sánchez-Machado, D.I., J. López-Hernández and P. Paseiro-Losada. 2002. High performance liquid chromatographic determination of α -tocopherol in macroalgae. **J. Chromatogr. A.** 976: 277-28.
- Sham El Din, N.G. and Z.M. El-Sherif. 2012. Nutritional value of some algae from the north-western Mediterranean coast of Egypt. **J. Appl. Phycol.** 24: 613-626.
- Shanab, S.M.M., M.A. Ameer, A.M. Fegry, A.A. Ghoneim and E.A. Shalaby. 2011. Corrosion resistance of magnesium alloy (AZ31E) as orthopaedic biomaterials in sodium chloride containing antioxidantly active compounds from *Eichhornia crassipes*. **Int. J. Electrochem. Sci.** 6: 3017-3035.
- Sharer, J.D. 2014. Amino acid disorder, pp. 136-147. *In* Aminoff M.J. and R.B. Daroff., eds. **Encyclopedia of Neurological Sciences.** Elsevier Ltd, Birmingham, USA.
- Shibata, T., K. Ishimaru, S. Kawaguchi, H. Yoshikawa and Y. Hama. 2008. Antioxidant activities of phlorotannins isolated from Japanese Laminariaceae. **J. Appl. Phycol.** 20: 705-711.
- Silva, P.C., E.C. Minez and R.L. Moe. 1987. **Catalog of the benthic marine algae of the Philippines.** Smithsonian Contributions to the Marine Sciences No.27. Washington DC: Smithsonian Institution Press. 179p.
- Sirivakumar, S.R. and K. Arunkumar. 2009. Sodium, Potassium and Sulphate Composition in some seaweeds occurring along the coast of gulf of Mannar, **India.** **Asian. J. Plant. Sci.** 8: 500-504.

- Skrovankova, S. 2011. Seaweed Vitamins as Nutraceuticals, pp. 357-369. *In* Taylor, S., eds. **Marine Medical Foods: Implications and Applications, Macro and Microalgae. Advances in Food and Nutrition Research Series.** Waltham, MA: Academic Press Inc.
- Targett, N.M. and T.M. Arnold. 1998. Predicting the effects of brown algal phlorotannins on marine herbivores in tropical and temperate ocean. **J. Phycol.** 34: 195-205.
- Tommaso, D.D. 2012. The power of Norwegian seaweed. **Agro Food Industry Hi Tech.** 23: 33-35.
- Tseng, C.K., T. Yoshida and Y.M. Chaing. 1985. East Asiatic species of *Sargassum* subgenus *Bactrophyucus* J. Agardh (Sargassaceae, Fucales), with the keys to the section and species, pp. 1-14. *In* Abbott I.A. and J.N. Norris., eds. **Taxonomy of Economic Seaweeds with reference to some Pacific and Caribbean Species.** California Sea Grant College, University of California La Jolla, California.
- Umar, K.J., L.G. Hassan and M.J. Ladan. 2007. Nutritional Composition of Water Spinach (*Ipomoea aquatica* Forsk.) Leaves. **J. Appl. Sci.** 803-809.
- Vashishta, B.R. 1973. **Botany for degree students.** S Chanda Co. Publishers, New Delhi.
- Vijayabaskar, P. and V. Shiyamala. 2011. Antibacterial Activities of Brown Marine Algae (*Sargassum wightii* and *Turbinaria ornata*) from the gulf of Manmar Biosphere Reserve. **Adv. Biol. Res.** 5: 99-102.
- Wang, B.G., W.W, Zhang, X.J. Duan and X.M. Li. 2009. In vitro antioxidative activities of extract and semi-purified fractions of the marine red alga, *Rhodomela confervoides* (Rhodomelaceae). **Food Chem.** 113: 1101-1105.

- Wang, Z.H., S.X. Li and S.S. Malhi. 2008. Effect of fertilization and other agronomic measures of national quality of crops. **F. Sci. Food Agri.** 88: 7-23.
- Wong, C.L., S.M. Ng and S.M. Phang. 2007. Use of RAPD in differentiation of selected species of *Sargassum* (Sargassaceae, Phaeophyta). **J. Appl. Phycol.** 19: 771-781.
- Yan, X.J., Y. Chuda, M. Suzuki and T. Nagata. 1999. Fucoxanthin as the major antioxidant in *Hizikia fusiformis*, a common edible seaweed. **Biosci. Biotechnol. Biochem.** 63: 605-607.
- Yang, H., M. Zeng, S. Dong, Z. Liu and R. Li. 2010. Anti-proliferative activity of Phlorotannin extracts from brown algae *Laminaria japonica* Aresch. **Chinese J. Oceanol. Limnol.** 28: 122-130.
- Yuan, Y.V. and N.A. Walsh. 2006. Antioxidant and antiproliferative activities of extracts from a variety of edible seaweed. **Food Chem. Toxicol.** 44: 1144-1150.
- Zahra, R., M. Mehrnaz, V. Farzaneh and S. Kohzad. 2007. Antioxidant activity of extract from a brown alga, *Sargassum boveanum*. **Arf. J. Biotechnol.** 6: 2740-2745.
- Zanardini, G. 1872. *Phycearum indicarum pugillus* a CL. Eduzrdo Beccari ad Borneum, Sincarpore et Ceylanum annis MDCCCLXV-VI-VII collectarum. **Mem. Reale. Ist. Vaneto. Sci.** 17: 129-170.



ภาคผนวก



1. การวิเคราะห์ไนไตรท์ โดยวิธี colorimetric method (APHA, AWWA and WPCF, 1995)

1.1 การเตรียมสารเคมี

1.1.1 sulfanilamide reagent

ผสมกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น 50 ml ด้วยน้ำกลั่น 300 ml จากนั้นเติม sulfanilamide 5 g จนได้เป็นสารละลายใส แล้วปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นให้เป็น 500 ml

1.1.2 N-(1-naphyl)-ethylenediamine dihydrochloride solution

ละลาย dihydrochloride 0.5 g ในน้ำกลั่น 500 ml เก็บในขวดสีชาให้พ้นจากแสง

1.1.3 สารละลายมาตรฐานไนไตรท์ (standard nitrite solution) ความเข้มข้น 100 mg/l

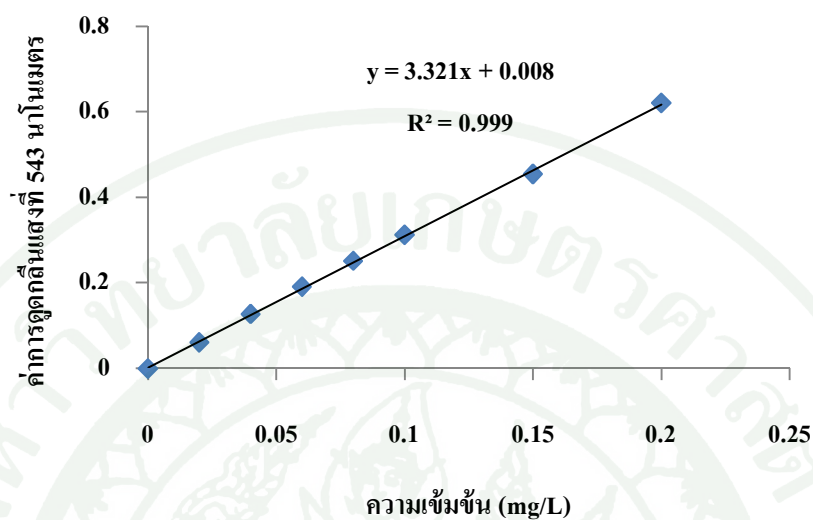
ละลาย NaNO_2 (ที่แห้งสนิท โดยการอบที่อุณหภูมิ 100°C เป็นเวลา 60 นาที แล้วทำให้เย็นในโถดูดความชื้น) จำนวน 0.4925 g ในน้ำกลั่น ปรับปริมาตรให้เป็น 1,000 ml

1.2 การวิเคราะห์

1.2.1 การทำกราฟมาตรฐาน

เตรียม blank โดยใช้น้ำกลั่น จากนั้นเตรียมสารละลายมาตรฐานไนไตรท์ความเข้มข้น 0.02, 0.04, 0.06, 0.08, 0.10, 0.15 และ 0.20 mg/l โดยปิเปตสารละลายมาตรฐานไนไตรท์ความเข้มข้น 1 mg/l มา 1, 2, 3, 4, 5, 7.5 และ 10 ml แล้วปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นให้เป็น 50 ml เติม sulfanilamide จำนวน 1 ml ผสมทิ้งไว้ 2 นาที แต่ไม่เกิน 8 นาที แล้วเติม N-(1-naphyl)-ethylenediamine dihydrochloride solution จำนวน 1 ml ทิ้งไว้อย่างน้อย 10 นาที แต่ไม่เกิน 2

ชั่วโมง วัดค่าการดูดกลืนแสงด้วยเครื่อง spectrophotometer ที่ความยาวคลื่น 543 นาโนเมตร นำค่าที่ได้ไปสร้างกราฟมาตรฐานจากความเข้มข้นไนไตรท์ และค่าดูดกลืนแสง



ภาพผนวกที่ ก1 กราฟมาตรฐานของสารละลายไนไตรท์

1.2.2 การวิเคราะห์ตัวอย่างน้ำ

ตวงน้ำมา 50 ml เติม sulfanilamide จำนวน 1 ml ผสมทิ้งไว้ 2 นาที แต่ไม่เกิน 8 นาที แล้วเติม N-(1-naphyl)-ethylenediamine dihydrochloride solution จำนวน 1 ml ทิ้งไว้อย่างน้อย 10 นาที แต่ไม่เกิน 2 ชั่วโมง วัดค่าการดูดกลืนแสงด้วยเครื่อง spectrophotometer ที่ความยาวคลื่น 543 นาโนเมตร

1.2.3 การคำนวณ

นำค่าการดูดกลืนแสงที่วัดได้ไปคำนวณโดยใช้สมการเส้นตรงที่ได้จากกราฟมาตรฐานของไนไตรท์

2. การวิเคราะห์ไนเตรท โดยวิธี cadmium reduction (APHA, AWWA and WPCF, 1995)

2.1 การเตรียมสารเคมี

2.1.1 สารละลายแอมโมเนียมคลอไรด์ (ammonium chloride solution) ความเข้มข้น 5%

เตรียมโดยละลาย NH_4Cl จำนวน 100 g ในน้ำกลั่นแล้วปรับปริมาตรให้เป็น 500 ml เก็บในขวดแก้ว

2.1.2 สารละลายแอมโมเนียมคลอไรด์ความเข้มข้น 0.125%

เตรียมโดยเจือจางสารละลายแอมโมเนียมคลอไรด์ความเข้มข้น 5% จำนวน 50 ml ด้วยน้ำกลั่นแล้วปรับปริมาตรเป็น 2,000 ml เก็บในขวดแก้ว

2.1.3 สารละลาย sulfanilamide

เตรียมโดยผสมกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น 50 ml กับน้ำกลั่นจำนวน 300 ml แล้วเติม sulfanilamide 5 g ผสมให้เข้ากัน แล้วปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นให้เป็น 500 ml

2.1.4 สารละลาย N-(1-naphyl)-ethylenediamine dihydrochloride

เตรียมโดยละลาย dihydrochloride 0.5 g ในน้ำกลั่น 500 ml เก็บไว้ในขวดสีชา ให้พ้นจากแสง

2.1.5 สารละลายมาตรฐานไนเตรท (standard nitrate solution) ความเข้มข้น 100 mg/l

ละลาย 0.7218 g ของ KNO_3 anhydrous ในน้ำกลั่นแล้วปรับปริมาตรให้เป็น 1,000 ml

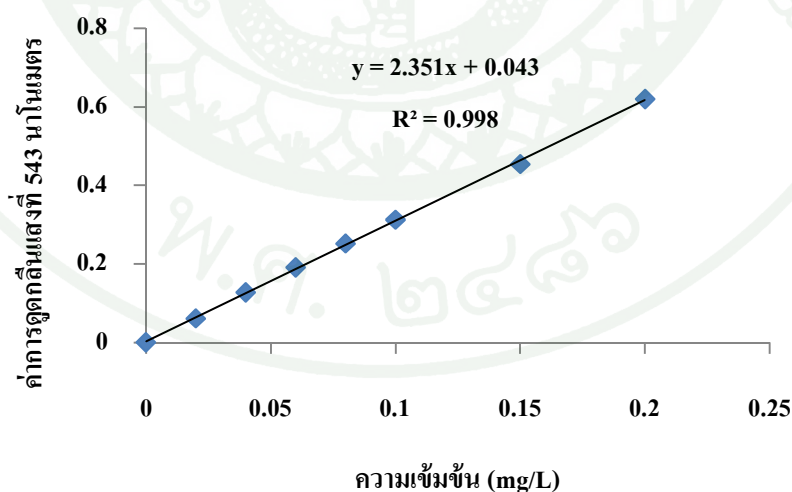
2.2 การรีดิวซ์ไนเตรท

ตวงตัวอย่างน้ำ 90 ml ใส่ลงใน Erlenmeyer flask ขนาด 125 ml แล้วเติมด้วย Conc. NH_4Cl 2 ml ผสมให้เข้ากัน เทลงในคอลัมน์ ปล่อยให้ไหลผ่าน 5-8 ml/นาที่ ใช้กระบอกตวงขนาด 50 ml รองน้ำตัวอย่างที่ผ่านคอลัมน์ออกมา ทิ้งตัวอย่างน้ำ 25-30 ml แรกที่ผ่านคอลัมน์ เก็บตัวอย่างน้ำที่ผ่านคอลัมน์ 50 ml ไปวิเคราะห์

2.3 การวิเคราะห์

2.3.1 การทำกราฟมาตรฐาน

นำสารละลายมาตรฐานไนเตรทที่เตรียมไว้มาจำนวน 10 ml ใส่ในขวดปรับปริมาตร ปรับปริมาตรให้เป็น 1,000 ml จะได้สารละลายที่มีความเข้มข้นของ NO_3^- -N 1 mg/l แล้วเตรียมสารละลายมาตรฐานเพื่อทำกราฟมาตรฐานตามความเข้มข้นดังต่อไปนี้คือ 0, 0.02, 0.04, 0.06, 0.08, 0.10, 0.15 และ 0.20 mg/l โดยเปิดสารละลายมาตรฐานไนเตรทมา 0, 2, 4, 6, 8, 10, 15 และ 20 ml ตามลำดับ และปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นให้เป็น 100 ml แล้วจึงตวงสารละลายมาตรฐานทุกความเข้มข้น ความเข้มข้นละ 90 ml ไปผ่าน reduction column



ภาพผนวกที่ ก2 กราฟมาตรฐานของสารละลายไนเตรท

2.3.2 การวิเคราะห์น้ำตัวอย่าง

หลังจากผ่าน reduction column แล้วไม่เกิน 15 นาที ตวงตัวอย่างน้ำมา 50 ml เติม sulfanilamide จำนวน 1 ml ผสมทิ้งไว้ 2 นาที แต่ไม่เกิน 8 นาที แล้วเติมสารละลาย N-(1naphyl)-ethylenediamine dihydrochloride จำนวน 1 ml ผสมทิ้งไว้อย่างน้อย 10 นาที แต่ไม่เกิน 2 ชั่วโมง วัดค่าการดูดกลืนแสงด้วยเครื่อง spectrophotometer ที่ 543 นาโนเมตร

2.3.3 การคำนวณ

นำค่าการดูดกลืนแสงที่วัดได้ไปคำนวณ โดยใช้สมการเส้นตรงที่ได้จากกราฟมาตรฐานของไนเตรท



ภาคผนวก ข
วิธีการวิเคราะห์ห้องค์ประกอบทางเคมี

1. วิธีวิเคราะห์ปริมาณความชื้น (A.O.A.C., 2000)

1.1 การเตรียมภาชนะอลูมิเนียม

1.1.1 เตรียมตู้อบไฟฟ้า โดยควบคุมอุณหภูมิให้อยู่ในช่วง 102 ± 3 °C

1.1.2 นำภาชนะอลูมิเนียมพร้อมฝาปิด อบอุ่นให้แห้งในตู้อบไฟฟ้าที่เตรียมไว้เป็นเวลา 2 ชั่วโมง (ในระหว่างอบอุ่นฝาเล็กน้อย)

1.1.3 นำมาตั้งทิ้งไว้ให้เย็นในโถดูดความชื้นที่อุณหภูมิห้อง โดยใช้กิมทึบนำไปซึ่งจدن้าหนักที่ได้

1.1.4 นำภาชนะอลูมิเนียมที่ซึ่งน้ำหนักแล้วจากข้อ 3 ไปอบต่อด้วยตู้อบไฟฟ้าเหมือนข้อ 2 เป็นเวลา 30 นาที แล้วชั่งน้ำหนักตามข้อ 3 จนผลต่างของน้ำหนักที่ซึ่งได้สองครั้งติดต่อกันไม่มากกว่า 1 mg

1.1.5 จدن้าหนักที่แน่นอนครั้งสุดท้ายของภาชนะอลูมิเนียม

1.2 การหาปริมาณความชื้นในตัวอย่างสาหร่าย

1.2.1 ตัดตัวอย่างสาหร่ายให้มีขนาดเล็ก

1.2.2 ชั่งตัวอย่างประมาณ 2-5 g ให้ทราบน้ำหนักที่แน่นอนใส่ลงในภาชนะอลูมิเนียมพร้อมฝาปิด (w)

1.2.3 จากนั้นนำตัวอย่างที่เตรียมได้จากข้อ 2 ไปอบให้แห้งในตู้อบไฟฟ้าเป็นเวลา 2 ชั่วโมง (ในระหว่างอบอุ่นฝาเล็กน้อย)

1.2.4 นำมาตั้งทิ้งไว้ให้เย็นในโถดูดความชื้นที่อุณหภูมิห้อง โดยใช้คีมคีบ นำไปชั่งจมน้ำหนักที่ได้

1.2.5 นำตัวอย่างสาหร่ายที่ใส่ลงในภาชนะอุณหภูมิเย็บที่ชั่งน้ำหนักแล้วจากข้อ 4 ไปอบต่อด้วยตู้อบไฟฟ้าเหมือนข้อ 2 เป็นเวลา 30 นาทีแล้วชั่งน้ำหนักตามข้อ 4 จนผลต่างของน้ำหนักที่ชั่งได้สองครั้งติดต่อกันไม่มากกว่า 1 mg

1.2.6 จดน้ำหนักที่ได้ครั้งสุดท้ายสมมุติว่ามีค่าเท่ากับ y

1.3 การคำนวณ

ปริมาณความชื้นร้อยละของน้ำหนัก = $100[w-(y-x)]/w$

w คือ น้ำหนักของตัวอย่างที่ใช้

x คือ น้ำหนักสุดท้ายของภาชนะอุณหภูมิเย็บพร้อมฝาปิด

y คือ น้ำหนักสุดท้ายของภาชนะอุณหภูมิเย็บพร้อมฝาปิด รวมกับน้ำหนักของตัวอย่าง
หลังอบแล้ว

2. วิธีวิเคราะห์ปริมาณแร่ (A.O.A.C., 2000)

2.1 วิธีการ

2.1.1 หาน้ำหนักที่แน่นอนของถ้วยกระเบื้องเคลือบ โดยนำถ้วยกระเบื้องเคลือบที่สะอาดเข้าสู่อบในอุณหภูมิ 105 °C เป็นเวลา 2 ชั่วโมง และวางให้เย็นใน โถดูดความชื้น ชั่งน้ำหนักแล้วทำการอบซ้ำอีกครั้งประมาณ 30 นาที ทำซ้ำจนผลต่างของน้ำหนักถ้วยกระเบื้องเคลือบที่ชั่งได้สองครั้งติดต่อกันไม่มากกว่า 1 mg

2.1.2 ชั่งน้ำหนักของถ้วยกระเบื้องเคลือบ และตัวอย่างแห้งที่บดละเอียดน้ำหนักประมาณ 0.5 g ใส่ลงในถ้วยกระเบื้องเคลือบที่ทราบน้ำหนักแน่นอน

2.1.3 นำด้วยกระเบื้องเคลือบพร้อมตัวอย่างเผาในเตาเผาที่อุณหภูมิ 550 °C นานประมาณ 3 ชั่วโมง หรือจนกว่าจะได้เก้าสีเทาอ่อน หรือสีขาวสม่ำเสมอ ไม่มีส่วนที่เป็นสีดำเหลืออยู่

2.1.4 หลังจากปิดเตาเผา รอให้อุณหภูมิลดลงเหลือประมาณ 100 °C แล้วจึงนำด้วยกระเบื้องเคลือบพร้อมตัวอย่างวางให้เย็นใน โถดูดความชื้น แล้วจึงนำออกมาชั่งน้ำหนัก คำนวณหาปริมาณเก้า

2.2 การคำนวณ

$$\% \text{ เก้า} = [(Y-X)/W] \times 100$$

X คือ น้ำหนักของถ้วยกระเบื้องเคลือบ

Y คือ น้ำหนักของถ้วยกระเบื้องเคลือบ และตัวอย่างหลักจากเผาจนได้น้ำหนักคงที่

W คือ น้ำหนักของตัวอย่าง

3. วิธีวิเคราะห์ปริมาณโปรตีน (A.O.A.C., 2000)

3.1 การเตรียมสารเคมี

3.1.1 สารละลายมาตรฐานกรดซัลฟูริกความเข้มข้น 0.1 N

ใช้ volumetric pipet 3 ml ตูด H_2SO_4 Cone. 3 ml เติมในน้ำกลั่นใน volumetric flask ทิ้งให้เย็นปรับปริมาตรจนครบ 1 L สารละลายที่ได้มีความเข้มข้นประมาณ 0.1 N จากนั้นนำไป standardize ด้วย tris buffer สำหรับ H_2SO_4

3.1.2 โซเดียมไฮดรอกไซด์ไม่มีไนโตรเจนเจือปน (NaOH free nitrogen) ความเข้มข้น 32%

ชั่ง NaOH 32 g ละลายในน้ำกลั่น 1 L ขณะที่ละลายสารจะเกิดความร้อน และมีกลิ่นไอระเหยออกมา ซึ่งเป็นอันตรายสูงต่อผู้ที่สูดดมเข้าไป ควรทำการเตรียมในตู้ดูดควัน (Fume hood) และวางบีกเกอร์ในอ่างน้ำเย็นเพื่อลดอุณหภูมิ

3.1.3 kjeldahl catalyst tables

เตรียมจากโพแทสเซียมซัลเฟต (K_2SO_4) 3.5 g ผสมกับคอปเปอร์ซัลเฟต ($CuSO_4 \cdot 5H_2O$) 0.40 g

3.1.4 สารละลายอินดิเคเตอร์ (indicator solution) เตรียมจาก

- สารละลายเมทิลเรด (methyl red solution) 100 mg ละลายในเอทานอล 100 ml

- สารละลายโบรโมครีโซลกรีน (bromocresol green solution) 100 mg ละลายในเอทานอล 100 ml

3.1.5 สารละลายกรดบอริก (boric acid solution; H_3BO_3) ความเข้มข้น 4%

ชั่งกรดบอริก 40 กรัม ละลายในน้ำกลั่นต้มเดือดทิ้งให้เย็นที่อุณหภูมิห้อง เติม methyl red solution (5.1) 8 ml และ bromocresol green (5.2) 12 ml ปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นจนครบ 1 ลิตร

3.2 การย่อยตัวอย่าง

3.2.1 ชั่งตัวอย่าง 0.500-1.00 กรัม ใส่ลงใน kjeldahl tube (W)

3.2.2 เติม kjeldahl catalyst tables ประมาณ 5-10 g

3.2.3 เติมกรดซัลฟูริกเข้มข้นลงในหลอดย่อย 15 ml

3.2.4 นำไปย่อยที่อุณหภูมิ 450-550 °C นาน 45-60 นาที จนสังเกตเห็นเป็นสารละลาย สีเขียวใส ไม่มีควันสีขาว ทิ้งให้เย็นประมาณ 20 นาที

3.3 การกลั่น

3.3.1 เตรียมกรดบอริกความเข้มข้น 4% ซึ่งผสม mixed indicator เรียบร้อยแล้ว 60 ml ในขวดรูปชมพู่ จะได้สารละลายสีส้ม

3.3.2 การตั้งโปรแกรมเครื่องกลั่น ดังนี้

H ₂ O	45 ml
NaOH 32%	65 ml
Delay	2 sec
Distill	4 min

3.3.3 เมื่อใส่หลอดตัวอย่างกับเครื่องช่วยมือให้หลอดสวมกับลูกยางพอดี กดลิ้นอก หลอดย่อยลงปิดฝาครอบให้สนิท ใส่ขวดรูปชมพู่ที่ใส่บอริกแล้ววางบนแท่นวาง ให้หลอดจุ่มใน สารละลายตลอด

3.3.4 กดปุ่ม start เพื่อทำการกลั่นตัวอย่าง เครื่องทำงานตาม โปรแกรมที่กำหนดหลังจากเติม NaOH ตัวอย่างในหลอดย่อยต้องเปลี่ยนเป็นสีดำ ถ้าไม่เปลี่ยนสามารถเติม NaOH โดยกดปุ่มเติม NaOH จนสารละลายในหลอดย่อยเปลี่ยนเป็นสีดำ (end point) ขณะกลั่นตัวอย่างก๊าซ แอมโมเนียจะถูกปลดปล่อยออกมาหลังทำปฏิกิริยากับ NaOH 32% ระบายจับกับความเย็นที่ condenser ทำให้ก๊าซจับตัวเป็นน้ำหยดลงในกรดบอริก 4% ทำให้เปลี่ยนจากสีส้มเป็นสีเขียว

3.3.5 นำสารละลายที่กลั่นได้ไปไตเตรทด้วยสารละลายมาตรฐานกรดซัลฟูริกความเข้มข้น 0.1 N จนถึงจุด end point สารละลายจะเปลี่ยนจากสีเขียวเป็นสีส้มเช่นเดิม บันทึกปริมาตรของกรดที่ใช้ไป (V_2)

3.3.6 การทำ blank โดยวิธีเดียวกับการวิเคราะห์ ไม่ใส่ตัวอย่าง แต่เติมสารเคมี นำไปย่อย และกลั่นเช่นเดียวกับตัวอย่าง นำไปไตเตรทด้วย 0.1 N H₂SO₄ จนถึงจุด end point บันทึกปริมาตรของกรดที่ใช้ไป (V₁)

3.4 การคำนวณ

$$\% \text{ไนโตรเจน (N)} = \frac{(V_2 - V_1) \times N \times F \times 1.4007}{W}$$

โดยที่ N = ความเข้มข้นของสารละลายกรดซัลฟูริกที่ใช้ (0.1 N)

F = factor ของกรดซัลฟูริก ได้จากการ standardization กับ tris-buffer

V₁ = ปริมาตรกรดซัลฟูริกที่ใช้ไตเตรท blank

V₂ = ปริมาตรกรดซัลฟูริกที่ใช้ไตเตรทตัวอย่าง

W = น้ำหนักตัวอย่างที่ใช้วิเคราะห์ (กรัม)

นำ % ไนโตรเจนที่ได้คูณด้วยค่า Empirical factor คือ 5.38 จะได้ค่า % โปรตีนของตัวอย่าง

$$\% \text{โปรตีน} = \% \text{N} \times 5.38$$

4. การประเมินค่า amino acid score

จากตัวอย่างสาหร่าย *S. oligocystum* 1 g มีโปรตีน 82.70 mg โดยมีกรดอะมิโนจำเป็นที่น้อยที่สุดคือ ไอโซลิวซีน จำนวน 3.35 mg/g ของน้ำหนักแห้ง แสดงว่า

โปรตีน 82.70 mg	มีไอโซลิวซีนอยู่ 3.35 mg
ถ้า โปรตีน 1,000 mg	มีไอโซลิวซีนอยู่ $(3.35/82.70) \times 1,000 = 40.51$ mg/g protein

เมื่อเปรียบเทียบปริมาณกรดอะมิโนจำเป็นที่น้อยที่สุดกับปริมาณกรดอะมิโนจำเป็นในโปรตีนมาตรฐาน ซึ่งในที่นี้คือ ไข่ และคูณด้วย 100 จะได้ค่าร้อยละ amino acid score ดังนี้

$$\begin{aligned} \text{amino acid score (\%)} &= \frac{\text{mg ของกรดอะมิโนจำเป็นที่น้อยที่สุดต่อ g ของโปรตีนในสาหร่าย}}{\text{mg ของกรดอะมิโนจำเป็นที่น้อยที่สุดต่อ g ของโปรตีนในไข่}} \times 100 \\ &= (40.51/40) \times 100 \\ &= 101.28\% \end{aligned}$$

5. วิธีวิเคราะห์ปริมาณไขมัน (A.O.A.C., 2000)

5.1 วิธีการ

5.1.1 อบ extraction beaker ในตู้อบที่อุณหภูมิ 105 °C นาน 1 ชั่วโมง แล้วทำให้เย็นในโถดูดความชื้น

5.1.2 ชั่งน้ำหนักบีกเกอร์จนได้น้ำหนักที่คงที่ (A)

5.1.3 ชั่งน้ำหนักตัวอย่างประมาณ 1 g (W) ห่อด้วยกระดาษกรองอย่างหลวมๆ

5.1.4 ใส่ตัวอย่างใน cellulose thimbles แล้วนำเข้าประกอบเครื่องกดให้ thimble ลงอยู่ในตำแหน่งพร้อมสกัด

5.1.5 เติม petroleum ether ลงใน extraction beaker 125 ml ประกอบเข้าเครื่อง ยก heating element (เตาล้าง) ขึ้นพร้อมทำงาน

5.1.6 การทำงานของเครื่องสกัดไขมันสามารถตั้งโปรแกรม ดังนี้

Step 1 extraction phase ด้วย petroleum ether ความร้อน heating element 180 °C จำนวน 20 รอบ 2 ชั่วโมง

Step 2 Rinsing step ทำการล้างตัวอย่าง 5 นาที โดยหล่อดใส่ตัวอย่างจะยกขึ้นจากหลอดคัก petroleum ether

Step 3 Drying phase ความร้อน 100 °C ใช้เวลา 10 นาที

5.1.7 เมื่อตั้งโปรแกรมเสร็จเรียบร้อยแล้วให้กด start เครื่องจะทำงานโดยอัตโนมัติจนหมดเวลาเครื่องจะหยุดทำงานทันที

5.1.8 นำบีกเกอร์ที่มีไขมันไปอบในตู้อบอุณหภูมิ 105 °C นาน 1 ชั่วโมง ทำให้เย็นในโถดูดความชื้น

5.1.9 ชั่งน้ำหนักบีกเกอร์ที่มีไขมันบันทึกน้ำหนัก (B)

5.2 การคำนวณ

$$\% \text{ ไขมัน} = \frac{(B-A) \times 100}{W}$$

W = น้ำหนักตัวอย่าง (กรัม)

A = น้ำหนัก extraction beaker

B = น้ำหนัก extraction beaker และ ไขมันที่สกัดได้

6. วิเคราะห์ปริมาณใยอาหาร (A.O.A.C., 2000)

6.1 การเตรียมสารเคมี

6.1.1 กรดซัลฟูริก (H₂SO₄) ความเข้มข้น 1.25%

ปิเปตกรดซัลฟูริกมา 1.25 ml ปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นจนได้ปริมาตรสุดท้ายเป็น 100 ml

6.1.2 โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ (KOH) ความเข้มข้น 1.25%

ละลาย KOH 1.25 g ด้วยน้ำกลั่น ปรับปริมาตรจนได้ปริมาตรสุดท้ายเป็น 100 ml

6.2 วิธีการ

6.2.1 นำตัวอย่างมาบดให้ได้ขนาดประมาณ 1 mm

6.2.2 ชั่งตัวอย่าง (W_1) น้ำหนักประมาณ 0.50-1.0 g ใส่ใน crucible นำไปวางบน crucible stand

6.2.3 นำ crucible ใส่ในเครื่องย่อย (hot extraction unit) กดคั่น โยกล็อค crucible เข้ากับเครื่องให้สนิท

6.2.4 เติมกรดซัลฟูริกความเข้มข้น 1.25% หลอดละ 150 ml

6.2.5 ต้มตัวอย่างจนเดือด แล้วจับเวลาประมาณ 45 นาที (ตั้งความร้อนตำแหน่ง 7-8)

6.2.6 กรองสารจนแห้งโดยเปิดสวิทช์เครื่องดูดสุญญากาศ แล้วเปิดวาล์วเพื่อถ่ายกรดออกจากตัวอย่าง แล้วล้างด้วยน้ำร้อน 3 ครั้ง กรองจนแห้ง

6.2.7 เติม KOH 1.25% หลอดละ 150 ml เติม n-octanol antifoam 3-5 หยด ป้องกันการเกิดฟอง ต้มจนเดือดจับเวลา 45 นาที

6.2.8 กรองแล้วล้างด้วยน้ำร้อน 3 ครั้ง เช่นเดียวกับข้อ 5.2.6

6.2.9 นำ crucible ออกจากเครื่องย่อย ไปอบที่อุณหภูมิ 105 °C ประมาณ 2 ชั่วโมง ปล่อยให้เย็นในโถดูดความชื้น ชั่งน้ำหนัก (W_2) จะได้ค่าใยอาหารที่รวมแล้วอยู่ด้วย

6.2.10 นำตัวอย่างใน crucible ไปเผาในตู้อบ (muffle furnace) ที่อุณหภูมิ 550-650 °C 2 ชั่วโมง ทิ้งไว้ให้เย็นในเตาเผาให้อุณหภูมิลดลงต่ำกว่า 250 °C จึงเปิดเตาเผา

6.2.11 ทำให้เย็นโดยนำ crucible ใส่โถดูดความชื้น ชั่งน้ำหนัก (W_3) จะได้น้ำหนักของใยอาหารที่เหลือ

6.3 การคำนวณ

$$\% \text{ ใยอาหาร} = \frac{(W_2 - W_3) \times 100}{W_1}$$

W_1 = น้ำหนักตัวอย่าง (กรัม)

W_2 = น้ำหนัก crucible และตัวอย่างหลังอบ

W_3 = น้ำหนัก crucible และตัวอย่างหลังเผา

7. การหาปริมาณคาร์โบไฮเดรตโดยการคำนวณ

ในการวิเคราะห์ส่วนประกอบโดยประมาณ (proximate analysis) ของตัวอย่างสาหร่าย จะต้องวิเคราะห์ปริมาณความชื้น ไขมัน โปรตีน และเถ้า สำหรับปริมาณคาร์โบไฮเดรตทั้งหมดคือ ส่วนที่เหลือโดยผลต่าง จึงหาปริมาณคาร์โบไฮเดรตในสาหร่ายได้ โดยวิธีการคำนวณ ดังนี้

$$\% \text{ คาร์โบไฮเดรต (โดยผลต่าง)} = 100\% - (\% \text{ โปรตีน} + \% \text{ ไขมัน} + \% \text{ ใยอาหาร} + \% \text{ เถ้า})$$

ตารางผนวกที่ ข1 ปริมาณคุณค่าทางอาหารโดยประมาณ (% ของน้ำหนักแห้ง) ในสาหร่าย
S. aquifolium

คุณค่าทางอาหารโดยประมาณ	<i>S. aquifolium</i>		
	กุมภาพันธ์	พฤษภาคม	สิงหาคม
โปรตีน	4.83±0.17 ^a	5.93±0.14 ^b	6.69±0.09 ^c
คาร์โบไฮเดรต*	56.25±0.86 ^a	59.26±0.16 ^b	61.65±0.10 ^c
ไขมัน	0.42±0.01 ^b	0.41±0.01 ^b	0.32±0.00 ^a
ใยอาหาร	10.07±0.54 ^a	11.55±0.50 ^b	10.88±0.06 ^{ab}
เถ้า	28.56±0.27 ^c	22.50±0.04 ^b	20.48±0.09 ^a

ตัวอักษร a-c ในแนวนอนหมายถึงแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

*คาร์โบไฮเดรตจากการคำนวณ (%) = 100% - (%โปรตีน + %ไขมัน + %ใยอาหาร + %เถ้า)

ตารางผนวกที่ ข2 ปริมาณคุณค่าทางอาหารโดยประมาณ (% ของน้ำหนักแห้ง) ในสาหร่าย
S. oligocystum

คุณค่าทางอาหารโดยประมาณ	<i>S. oligocystum</i>		
	กุมภาพันธ์	พฤษภาคม	สิงหาคม
โปรตีน	5.73±0.09 ^a	6.61±0.10 ^b	8.27±0.04 ^c
คาร์โบไฮเดรต*	64.80±0.16 ^c	56.59±0.81 ^b	52.58±0.24 ^a
ไขมัน	0.07±0.05 ^a	0.46±0.06 ^c	0.26±0.02 ^b
ใยอาหาร	11.94±0.14 ^a	12.98±0.32 ^b	13.16±0.63 ^b
เถ้า	17.42±0.27 ^b	23.33±0.31 ^a	25.31±0.07 ^c

ตัวอักษร a-c ในแนวนอนหมายถึงแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

*คาร์โบไฮเดรตจากการคำนวณ (%) = 100% - (%โปรตีน + %ไขมัน + %ใยอาหาร + %เถ้า)

ตารางผนวกที่ ข3 ปริมาณแร่ธาตุอ้างอิงที่ควรได้รับประจำวันสำหรับคนไทย

แร่ธาตุ	ปริมาณอ้างอิงที่ควรได้รับประจำวัน (RDA)			
	อายุ 19-30 ปี		อายุ 31-50 ปี	
	ช	ญ	ช	ญ
แคลเซียม	500-1,475	400-1,200	475-1,450	400-1,200
เหล็ก*	10,400	24,700	10,400	24,700
สังกะสี*	13,400	7,000	13,000	7,000
ทองแดง*	900	900	900	900
ซีลีเนียม*	55	55	55	55
โพแทสเซียม	2,525-4,200	2,050-3,400	2,450-4,100	2,050-3,400
โซเดียม	500-1,475	400-1,200	475-1,450	400-1,200
แมกนีเซียม	310	250	320	260
ไอโอดีน*	150	150	150	150

ปริมาณแร่ธาตุ (mg/g ของน้ำหนักแห้ง) ยกเว้น *แร่ธาตุรอง Fe, Zn, Cu, Se และ I ($\mu\text{g/g}$ ของน้ำหนักแห้ง)

ที่มา: กองโภชนาการ (2546)

8. กราฟมาตรฐานสำหรับการคำนวณสารประกอบฟีนอลิก

การทำกราฟมาตรฐาน phloroglucinol

1. ละลายสาร phloroglucinol 2 mg ปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นจนได้ปริมาตรสุดท้ายเท่ากับ 10 ml จะได้สารละลายฟลูโรกลูซินอลความเข้มข้น 0.2 mg/ml
2. เตรียมสารละลายมาตรฐานเพื่อทำกราฟมาตรฐานตามความเข้มข้นดังต่อไปนี้คือ 0, 0.02, 0.04, 0.06, 0.08, 0.1, 0.12, 0.14 และ 0.16 mg/ml โดยปีปตสารละลาย phloroglucinol มา 0, 10, 20, 30, 40, 50, 60, 70 และ 80 μl ตามลำดับ แล้วปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นให้เป็น 100 μl

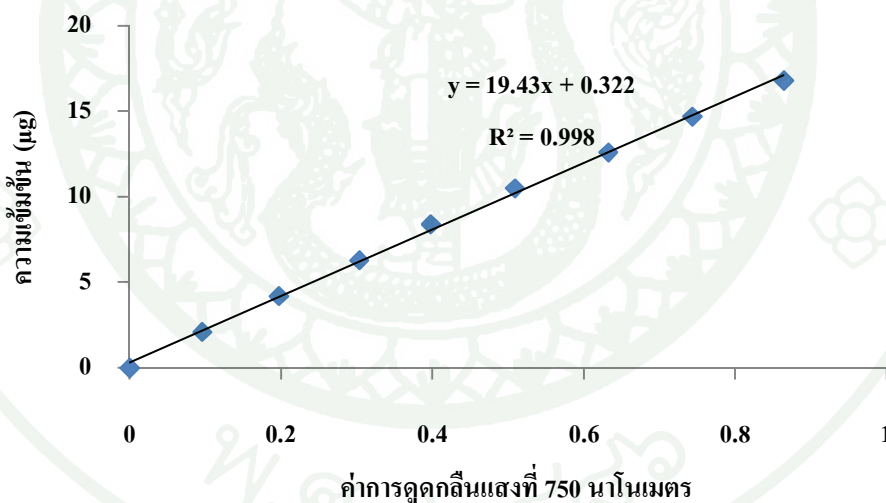
3. จากข้อ 2 เติมสารละลาย Folin-Cocalteu's reagent ความเข้มข้น 10% จำนวน 750 μl ลงไปในแต่ละความเข้มข้นตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 5 นาที

4. จากข้อ 3 เติมสารละลายโซเดียมคาร์บอเนต (Na_2CO_3) ความเข้มข้น 6% จำนวน 750 μl ลงไปในแต่ละความเข้มข้น บ่มที่อุณหภูมิ 37°C เป็นเวลา 30 นาที

5. วัดค่าการดูดกลืนแสงด้วยเครื่อง spectrophotometer ที่ความยาวคลื่น 750 นาโนเมตร

6. หาปริมาณสารประกอบฟีนอลิกจากสารสกัด โดยทำตามข้อ 1.3-1.5 โดยเปลี่ยนจากสารละลายฟลูโรกลูซินอลเป็นสารสกัด โดยใช้ปริมาตรของสารสกัด 10 μl

7. นำค่าการดูดกลืนแสงจากตัวอย่างสารสกัดที่ได้ไปแทนค่าในสมการที่ได้จากการทำกราฟมาตรฐาน จะทำให้ทราบปริมาณของสารประกอบฟีนอลิกที่มีอยู่ในตัวอย่างสารสกัด

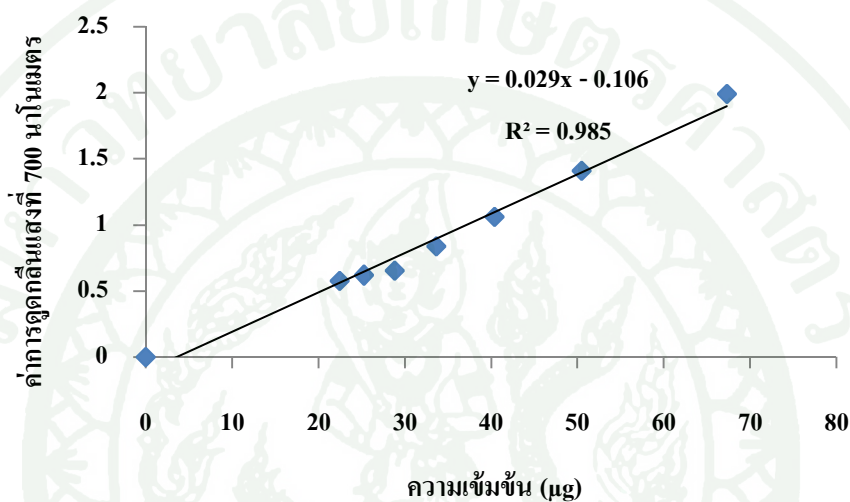


ภาพผนวกที่ ข1 กราฟมาตรฐานของสารละลายฟลูโรกลูซินอล (phloroglucinol)

9. การทดสอบฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี Reducing power (Athukorala *et al.*, 2006)

การหาความสามารถในการรีดิวซ์

แสดงความสามารถในการรีดิวซ์ในรูปของมิลลิกรัมของกรดแอสคอร์บิก (L-ascorbic acid: AAE)/g ส่วนสกัด โดยคำนวณจากกราฟมาตรฐานของสารละลายมาตรฐานกรดแอสคอร์บิก

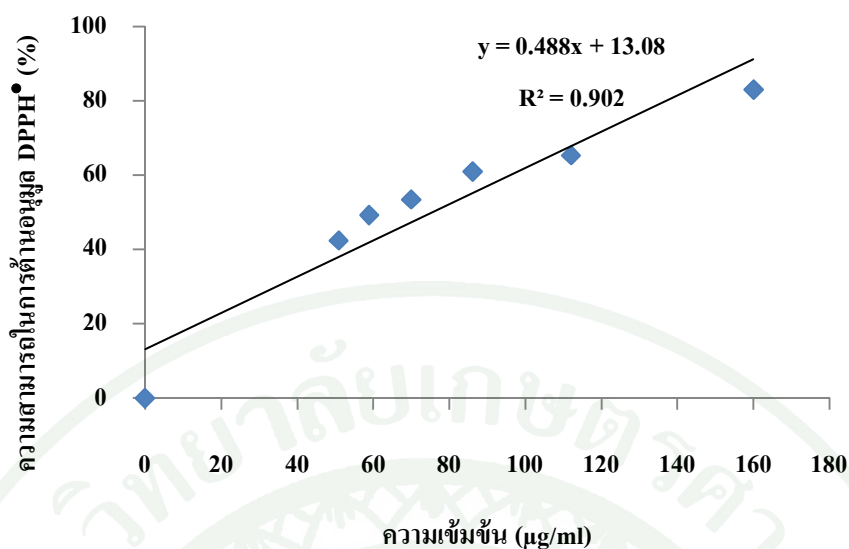


ภาพผนวกที่ ข2 กราฟมาตรฐานของสารละลายกรดแอสคอร์บิก (L-ascorbic acid)

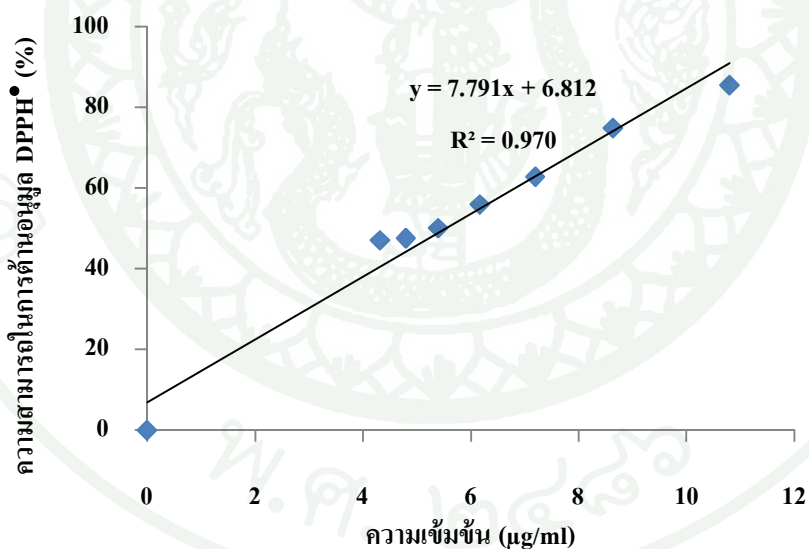


ภาคผนวก ก

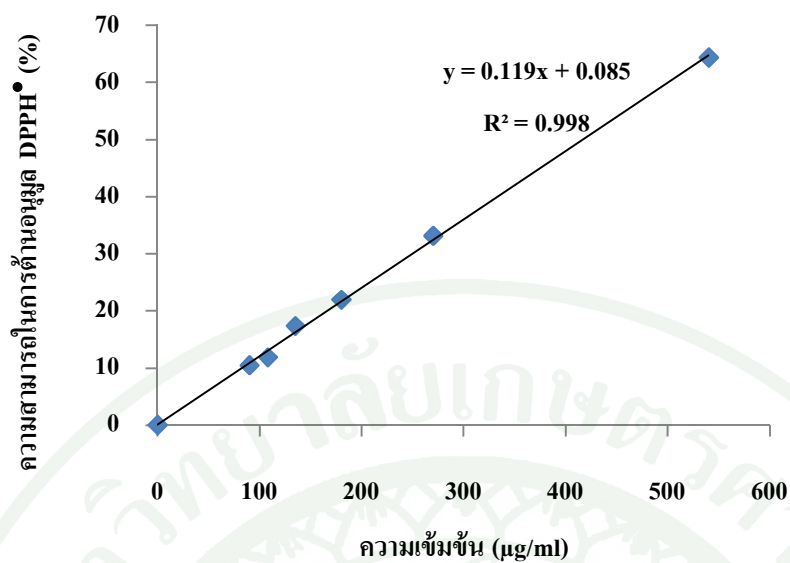
กราฟแสดงความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ



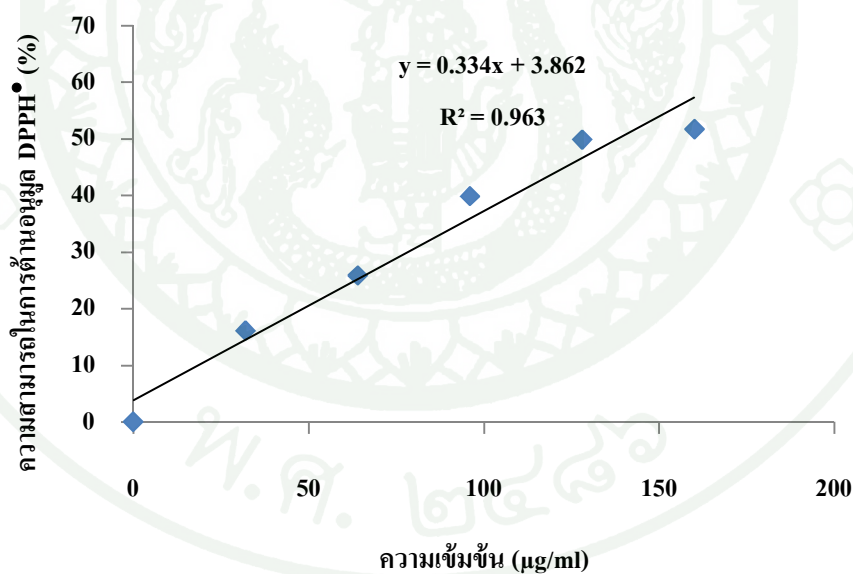
ภาพผนวกที่ ๑ ความสามารถในการต้านอนุมูล DPPH[•] (%scavenging) ของสารต้านอนุมูลอิสระมาตรฐาน BHT



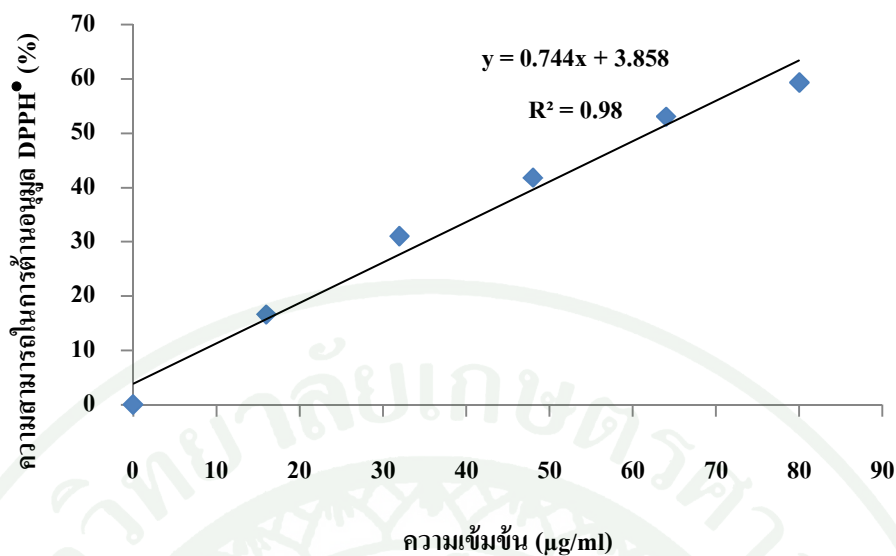
ภาพผนวกที่ ๒ ความสามารถในการต้านอนุมูล DPPH[•] (%scavenging) ของสารต้านอนุมูลอิสระมาตรฐาน L-ascorbic acid



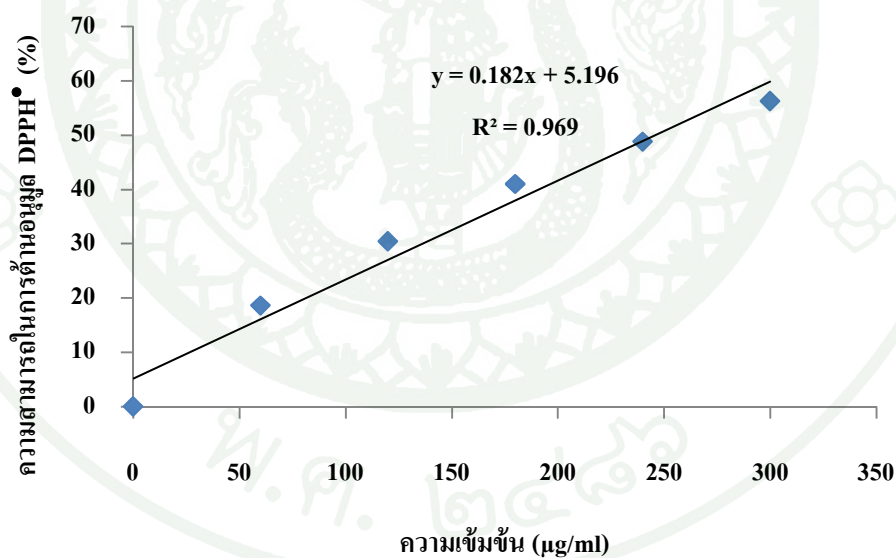
ภาพผนวกที่ ค3 ความสามารถในการต้านอนุมูล DPPH[•] (%scavenging) ของสารสกัดเมทานอลจากสาหร่าย *S. aquifolium*



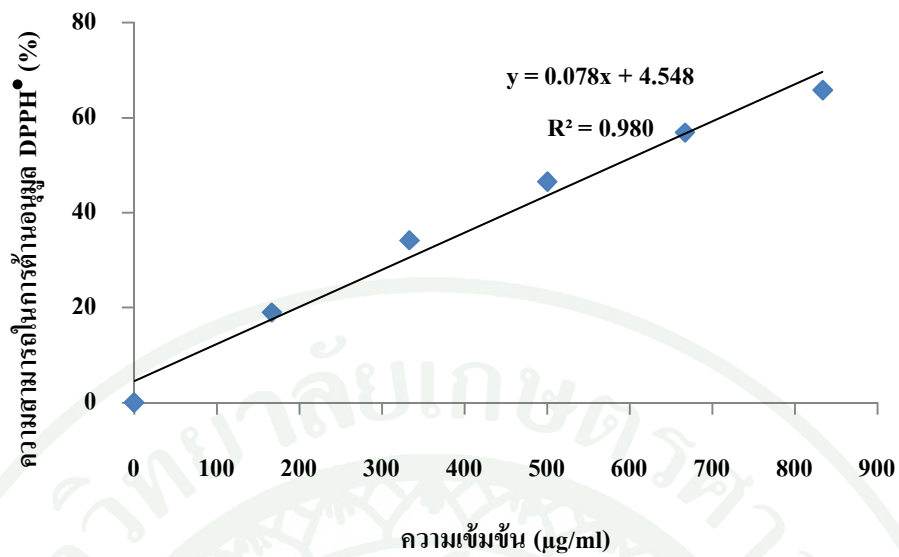
ภาพผนวกที่ ค4 ความสามารถในการต้านอนุมูล DPPH[•] (% scavenging) ของส่วนสกัดย่อย PE จากสาหร่าย *S. aquifolium*



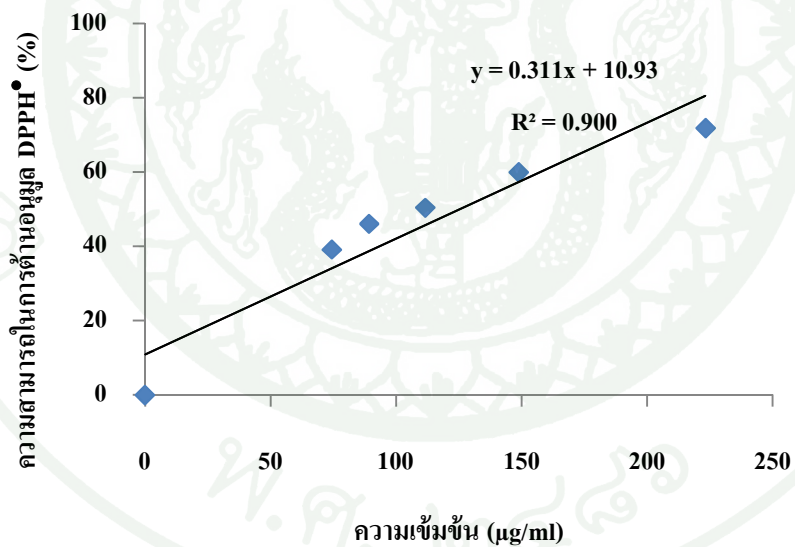
ภาพผนวกที่ ค5 ความสามารถในการต้านอนุมูล DPPH \cdot (% scavenging) ของส่วนสกัดย่อย EA จากสาหร่าย *S. aquifolium*



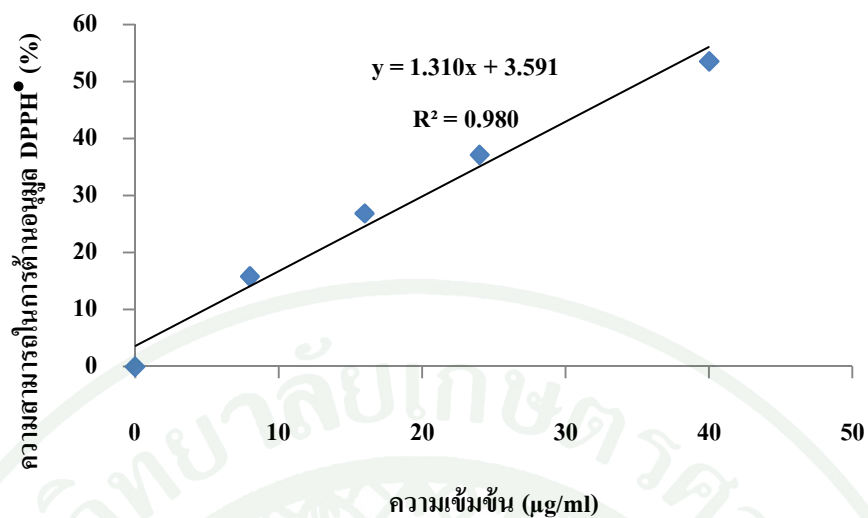
ภาพผนวกที่ ค6 ความสามารถในการต้านอนุมูล DPPH \cdot (% scavenging) ของส่วนสกัดย่อย BU จากสาหร่าย *S. aquifolium*



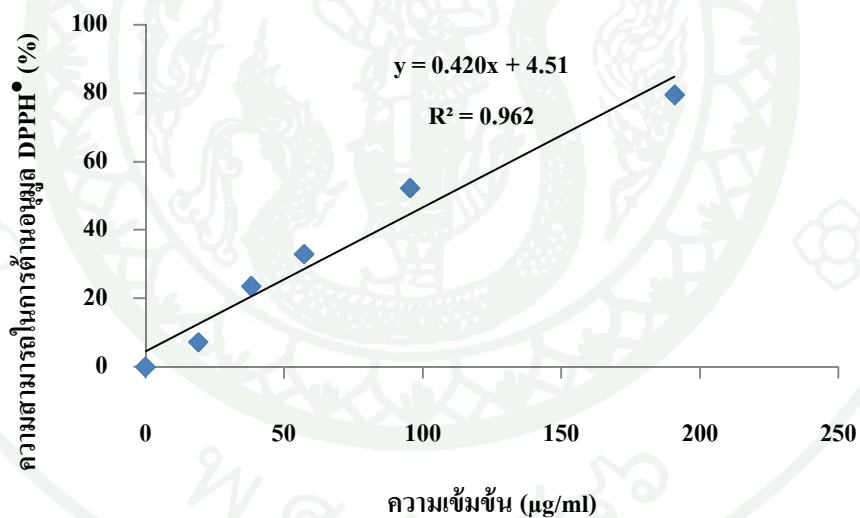
ภาพผนวกที่ ค7 ความสามารถในการต้านอนุมูล DPPH[•] (% scavenging) ของส่วนสกัดย่อย AQ จากสาหร่าย *S. aquifolium*



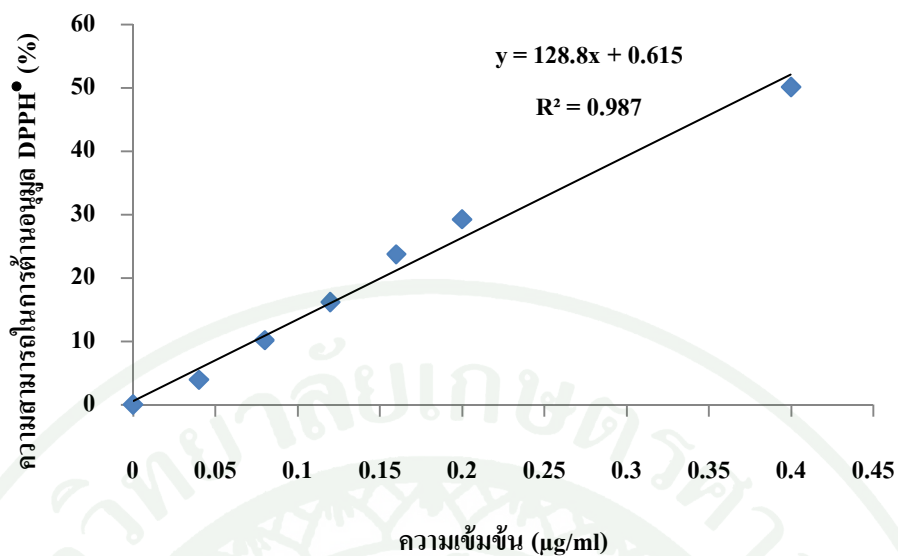
ภาพผนวกที่ ค8 ความสามารถในการต้านอนุมูล DPPH[•] (% scavenging) ของสารสกัดเมทานอล จากสาหร่าย *S. oligocystum*



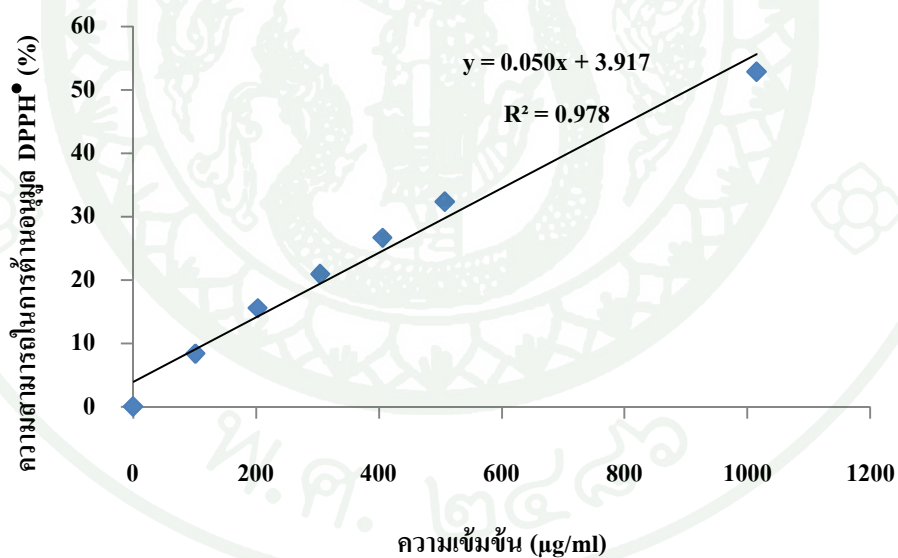
ภาพผนวกที่ ค9 ความสามารถในการต้านอนุมูล DPPH[•] (% scavenging) ของส่วนสกัดย่อย PE จากสาหร่าย *S. oligocystum*



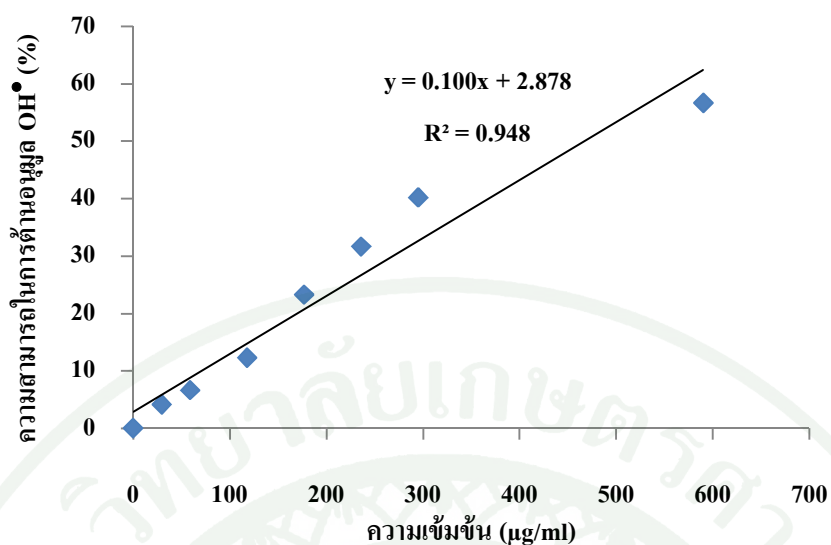
ภาพผนวกที่ ค10 ความสามารถในการต้านอนุมูล DPPH[•] (% scavenging) ของส่วนสกัดย่อย EA จากสาหร่าย *S. oligocystum*



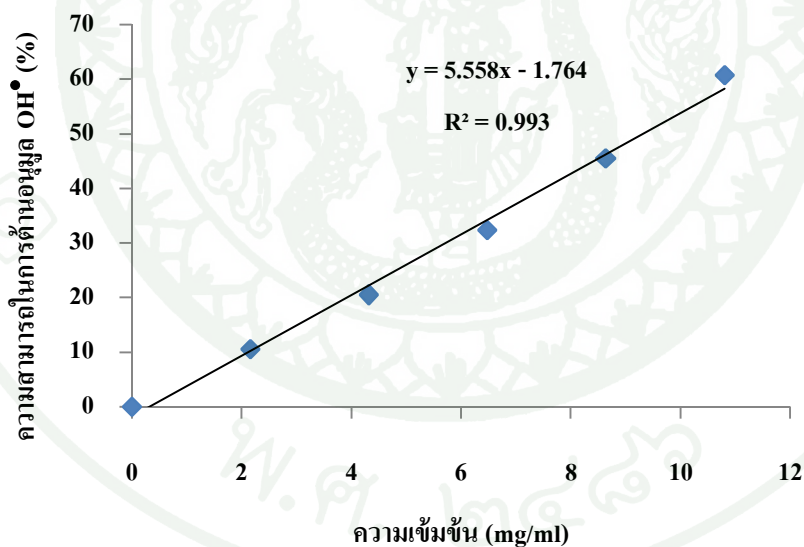
ภาพผนวกที่ ค11 ความสามารถในการต้านอนุมูล DPPH \cdot (% scavenging) ของส่วนสกัดย่อย BU จากสาหร่าย *S. oligocystum*



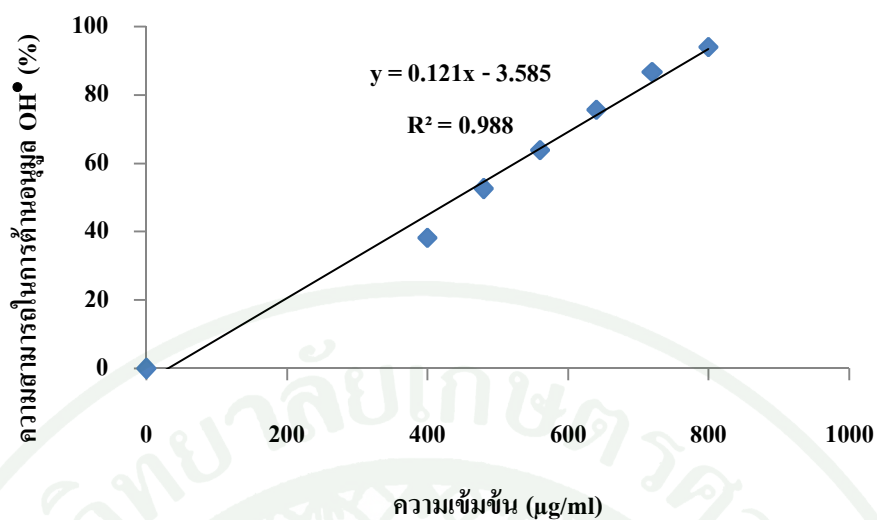
ภาพผนวกที่ ค12 ความสามารถในการต้านอนุมูล DPPH \cdot (% scavenging) ของส่วนสกัดย่อย AQ จากสาหร่าย *S. oligocystum*



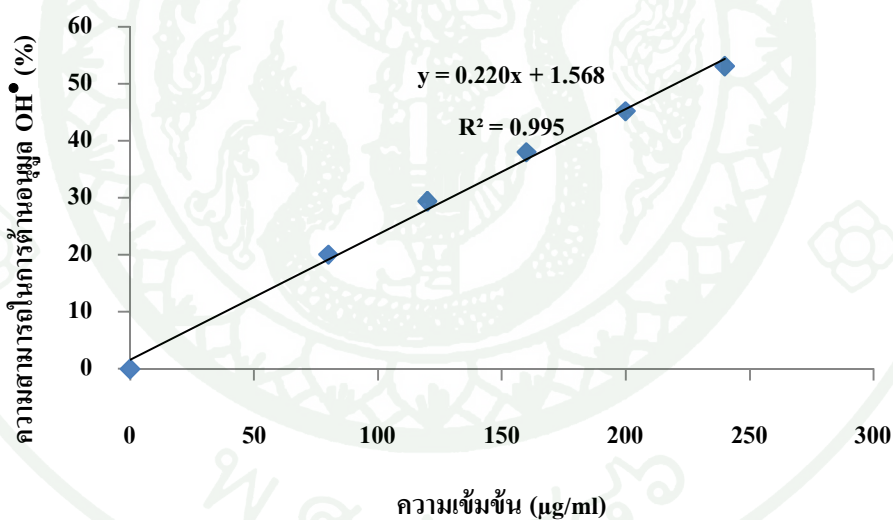
ภาพผนวกที่ ค13 ความสามารถในการต้านอนุมูล OH[•] (% scavenging) ของสารต้านอนุมูลอิสระมาตรฐาน L-ascorbic acid



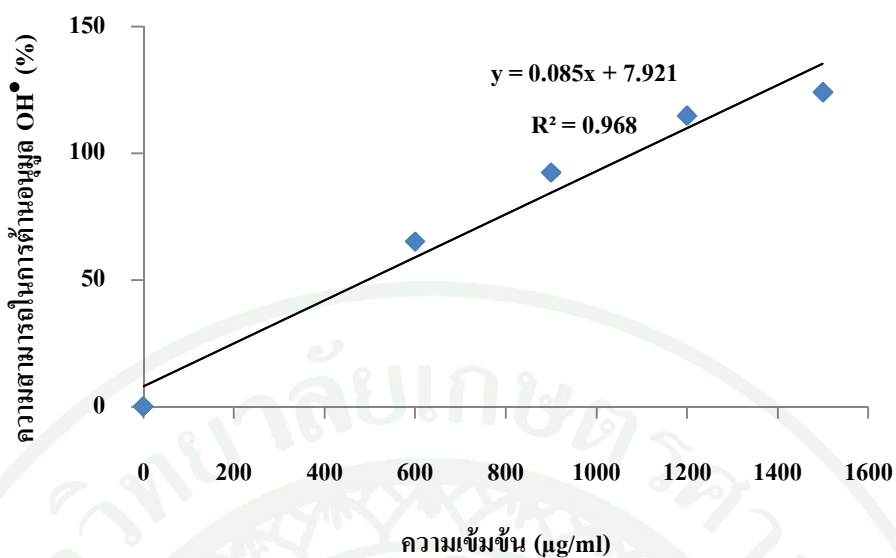
ภาพผนวกที่ ค14 ความสามารถในการต้านอนุมูล OH[•] (% scavenging) ของสารสกัดเมทานอลจากสาหร่าย *S. aquifolium*



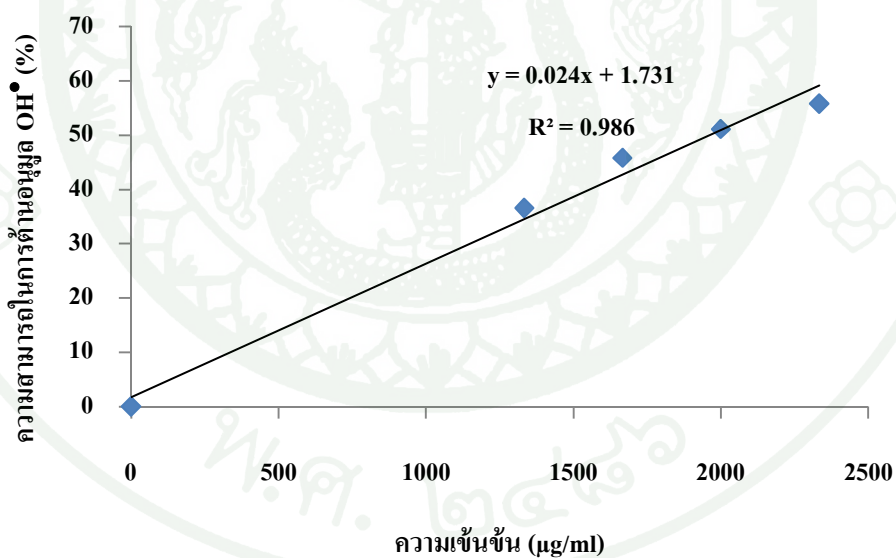
ภาพผนวกที่ 15 ความสามารถในการต้านอนุมูล OH• (% scavenging) ของส่วนสกัดย่อย PE จากสาหร่าย *S. aquifolium*



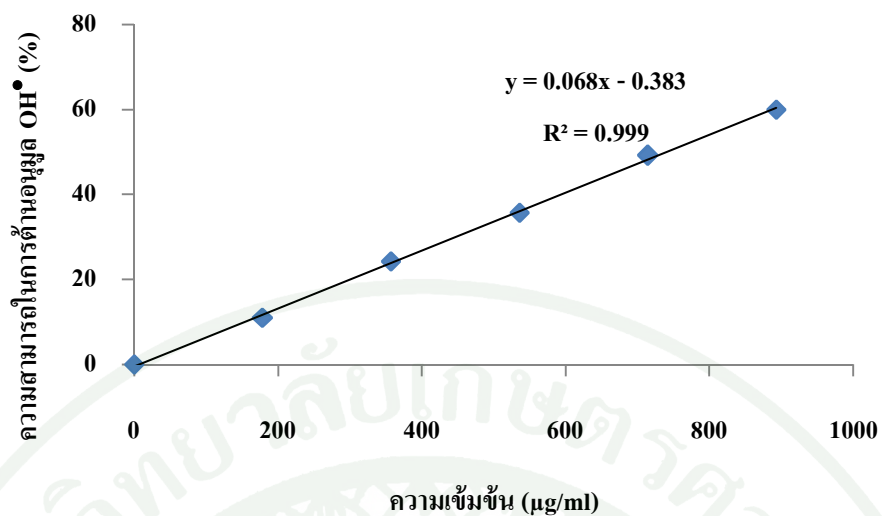
ภาพผนวกที่ 16 ความสามารถในการต้านอนุมูล OH• (% scavenging) ของส่วนสกัดย่อย EA จากสาหร่าย *S. aquifolium*



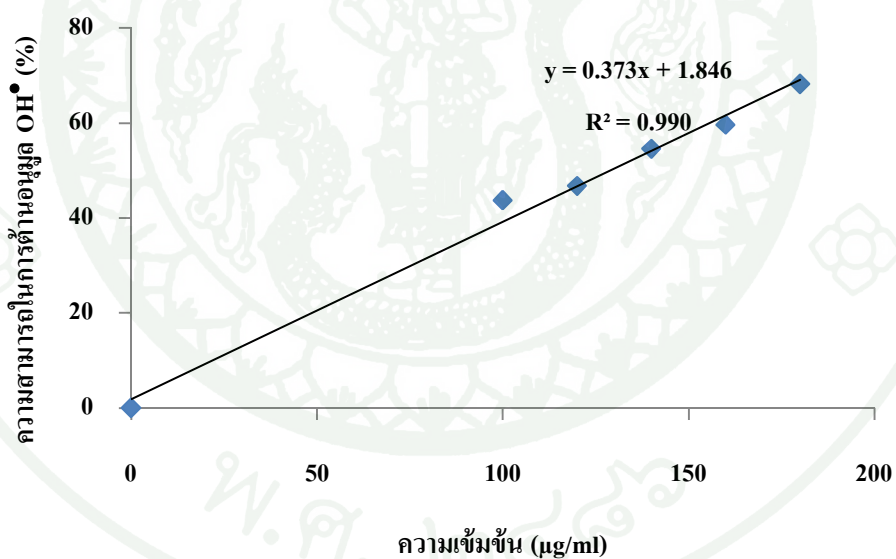
ภาพผนวกที่ ค17 ความสามารถในการต้านอนุมูล OH^\bullet (% scavenging) ของส่วนสกัดย่อย BU จาก
สาหร่าย *S. aquifolium*



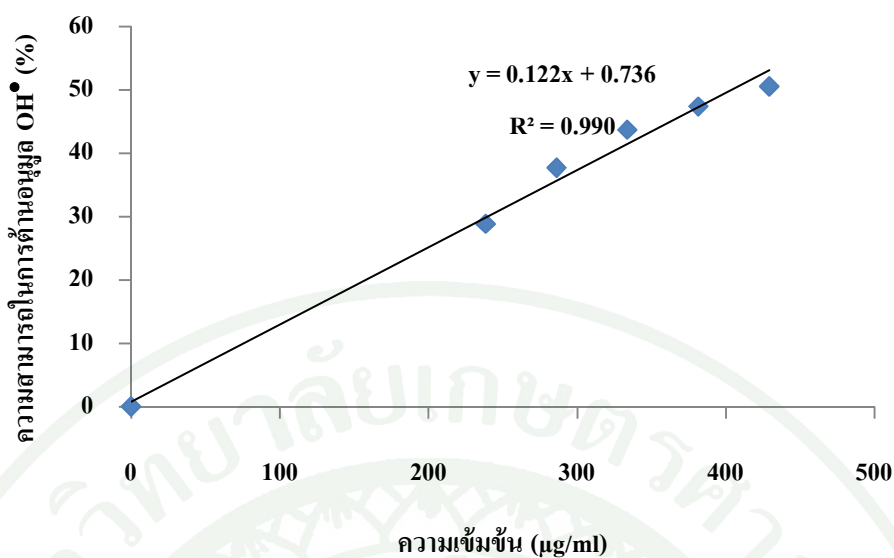
ภาพผนวกที่ ค18 ความสามารถในการต้านอนุมูล OH^\bullet (% scavenging) ของส่วนสกัดย่อย AQ จาก
สาหร่าย *S. aquifolium*



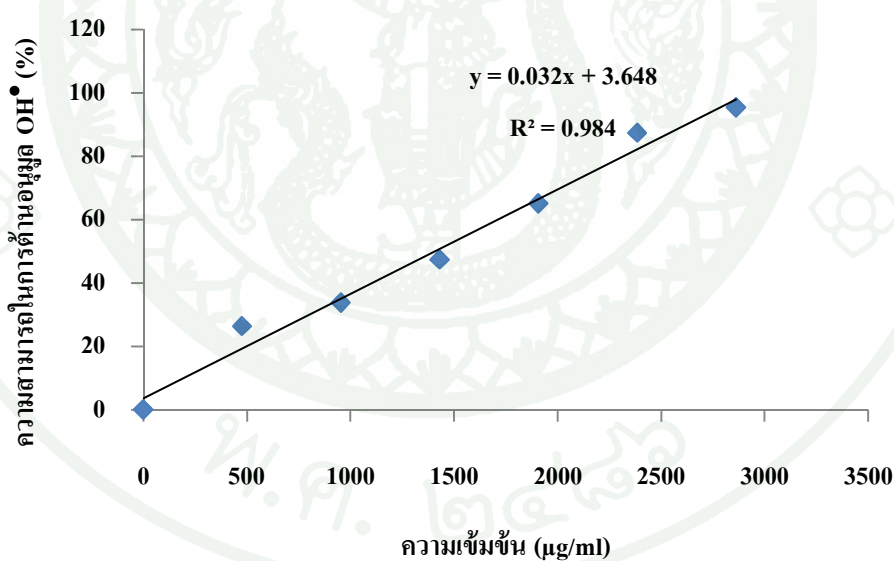
ภาพผนวกที่ 19 ความสามารถในการต้านอนุมูล OH[•] (% scavenging) ของสารสกัดเมทานอลจากสาหร่าย *S. oligocystum*



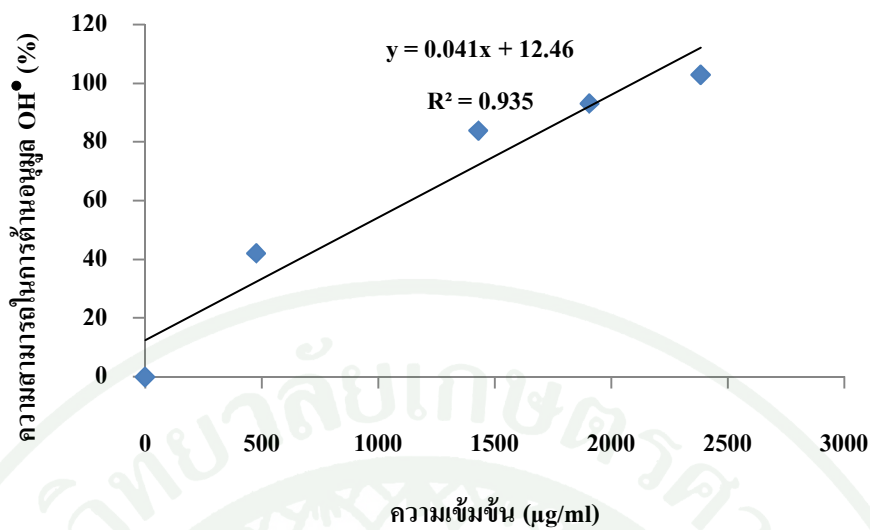
ภาพผนวกที่ 20 ความสามารถในการต้านอนุมูล OH[•] (% scavenging) ของส่วนสกัดย่อย PE จากสาหร่าย *S. oligocystum*



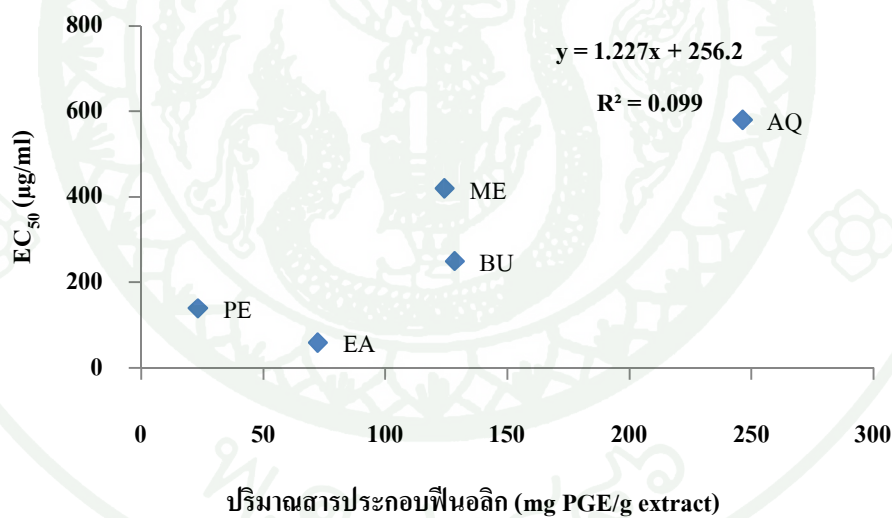
ภาพผนวกที่ ค21 ความสามารถในการต้านอนุมูล OH• (% scavenging) ของส่วนสกัดย่อย EA จากสาหร่าย *S. oligocystum*



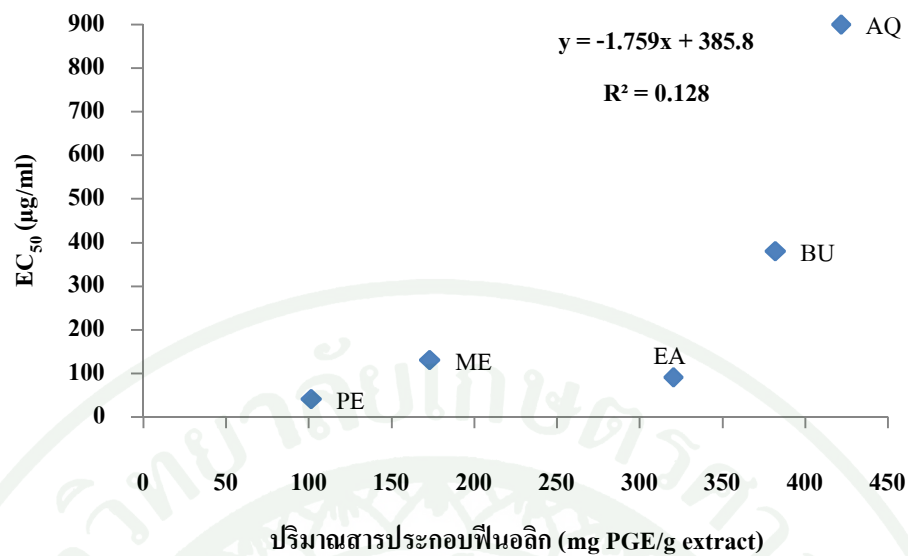
ภาพผนวกที่ ค22 ความสามารถในการต้านอนุมูล OH• (% scavenging) ของส่วนสกัดย่อย BU จากสาหร่าย *S. oligocystum*



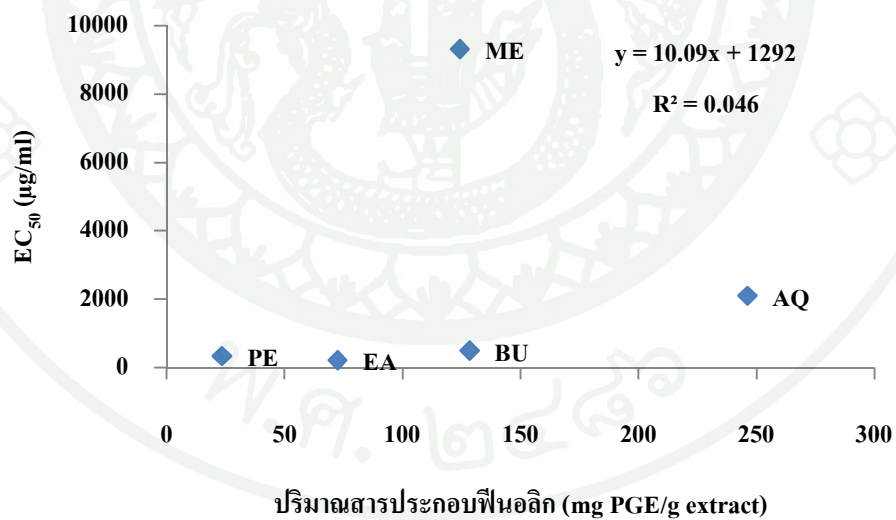
ภาพผนวกที่ ค23 ความสามารถในการต้านอนุมูล OH• (% scavenging) ของส่วนสกัดย่อย AQ จากสาหร่าย *S. oligocystum*



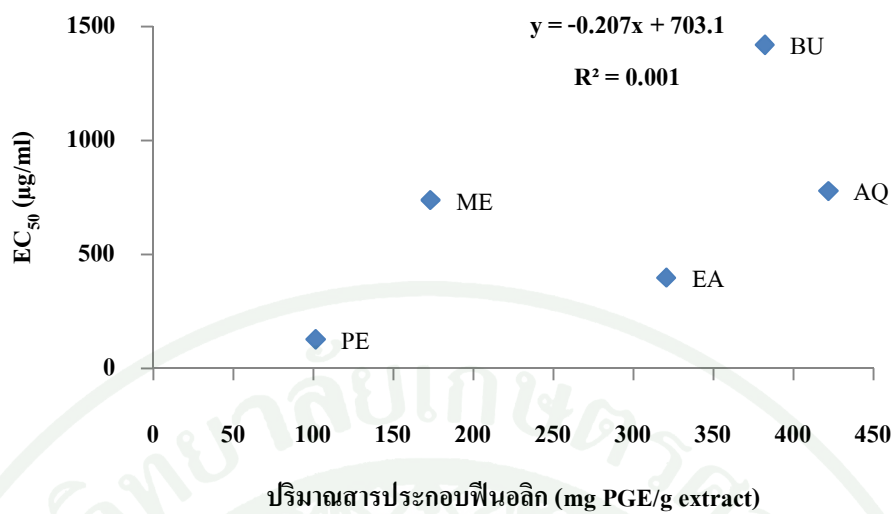
ภาพผนวกที่ ค24 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณสารประกอบฟีนอลิก กับฤทธิ์ในการต้านอนุมูลอิสระ (EC₅₀) ที่ตรวจสอบด้วยวิธี DPPH ของสารสกัดจากสาหร่าย *S. aquifolium*



ภาพผนวกที่ ค25 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณสารประกอบฟีนอลิก กับฤทธิ์ในการต้านอนุมูลอิสระ (EC₅₀) ที่ตรวจสอบด้วยวิธี DPPH ของสารสกัดจากสาหร่าย *S. oligocystum*



ภาพผนวกที่ ค26 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณสารประกอบฟีนอลิก กับฤทธิ์ในการต้านอนุมูลอิสระ (EC₅₀) ที่ตรวจสอบด้วยวิธี Hydroxyl ของสารสกัดจากสาหร่าย *S. aquifolium*



ภาพผนวกที่ ค27 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณสารประกอบฟีนอลิก กับฤทธิ์ในการต้านอนุมูลอิสระ (EC₅₀) ที่ตรวจสอบด้วยวิธี Hydroxyl ของสารสกัดจากสาหร่าย *S. oligocystum*

ประวัติการศึกษา และการทำงาน

ชื่อ-นามสกุล	นางสาวสุชาสินี มนูญปรัชญาภรณ์
วันเดือนปีที่เกิด	22 ธันวาคม พ.ศ. 2530
สถานที่เกิด	จังหวัดราชบุรี
ประวัติการศึกษา	วท.บ. (ประมง) มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
ตำแหน่งหน้าที่การงานปัจจุบัน	-
สถานที่ทำงานปัจจุบัน	-
ผลงานดีเด่นและรางวัลทางวิชาการ	-
ทุนการศึกษาที่ได้รับ	-