รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์

โครงการวิจัย

เส้นใยอาหารที่มีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระของสาหร่ายทะเลขนาดใหญ่ ในพื้นที่ศูนย์ศึกษาพัฒนาอ่าวคุ้งกระเบนอันเนื่องมาจากพระราชดำริ จังหวัดจันทบุรี

Efficiency of antioxidant dietary fiber of marine macroalgae in Kung Krabaen Bay, Chanthaburi province

โดย

นางภควรรณ เศรษฐมงคล นางรชนิมุข หิรัญสัจจาเลิศ
และนางกัญญารัตน์ สุนทรา

ทุนอุดหนุนการวิจัยจากแหล่งเงินรายได้มหาวิทยาลัย
กองทุนวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยบูรพา
ประจำปีงบประมาณ 2562

รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์

โครงการวิจัย

เส้นใยอาหารที่มีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระของสาหร่ายทะเลขนาดใหญ่ ในพื้นที่ศูนย์ศึกษาพัฒนาอ่าวคุ้งกระเบนอันเนื่องมาจากพระราชดำริ จังหวัดจันทบุรี

Efficiency of antioxidant dietary fiber of marine macroalgae in Kung Krabaen Bay, Chanthaburi province

คณะผู้วิจัย

1. นางภควรรณ เศรษฐมงคล	คณะเทคโนโลยีทางทะเล	(60%)
2. นางรชนิมุข หิรัญสัจจาเลิศ	คณะเทคโนโลยีทางทะเล	(20%)
3. นางกัญญารัตน์ สุนทรา	ศูนย์ศึกษาพัฒนาอ่าวคุ้งกระเบนอันเนื่องมาจากพระราชดำริ	(20%)

มหาวิทยาลัยบูรพา วิทยาเขตจันทบุรี
57 หมู่ 1 ถนนชลประทาน ตำบลโขมง อำเภอท่าใหม่ จังหวัดจันทบุรี 22170

สนับสนุนโดย

ทุนอุดหนุนการวิจัยจากแหล่งเงินรายได้มหาวิทยาลัย (กองทุนวิจัยและพัฒนา)
ประจำปีงบประมาณ 2562

งบประมาณ 100,000 บาท

บทคัดย่อ

การศึกษาปริมาณเยื่อใยในสาหร่ายทะเลขนาดใหญ่ 3 ชนิด ได้แก่ *Chaetomorpha* sp. *Sargassum* sp. และ *Gracilaria* sp. พบว่า *Gracilaria* sp มีปริมาณเยื่อรวมทั้งหมดสูงสุด 55.58 % รองลงมาคือสาหร่าย *Sargassum* sp. (49.00%) และ *Chaetomorpha* sp. (36.42%) เมื่อนำปริมาณเยื่อรวมทั้งหมดมาแจกแจงเป็นกลุ่มเยื่อใยที่ละลาย และกลุ่มที่ไม่ละลายน้ำพบว่า *Gracilaria* sp. มีปริมาณเยื่อใยดังกล่าวสูงสุด 6.97 และ 48.61% ตามลำดับ เมื่อนำสาหร่ายทะเลทั้ง 3 ชนิดมาทดสอบสกัดเยื่อใยแบบหยาบ (Crude fiber extraction) ด้วยวิธีการที่แตกต่างกัน 3 วิธี ได้แก่ วิธีที่ 1) การสกัดด้วยน้ำร้อน วิธีที่ 2) การสกัดด้วยด่างและตัวทำละลายอินทรีย์ และวิธีที่ 3) การสกัดด้วยเอนไซม์ หลังจากนั้นจึงนำเยื่อใยแบบหยาบที่สกัดได้ไปวิเคราะห์ปริมาณเซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส และลิกนิน ด้วยวิธี Detergent Method พบว่า การสกัดเยื่อใยด้วยวิธีที่ 3 (การสกัดด้วยเอนไซม์) ทำให้สาหร่ายทั้ง 3 ชนิดมีปริมาณเซลลูโลสสูงสุดเมื่อเปรียบเทียบกับวิธีการสกัดอื่นๆ โดยสาหร่าย *Chaetomorpha* sp. เป็นชนิดที่ตรวจพบปริมาณเซลลูโลสในสารสกัดเยื่อใยแบบหยาบสูงที่สุด (77.48%) ส่วนวิธีที่ 1 (การสกัดด้วยน้ำร้อน) เป็นวิธีที่เหมาะสมที่สุดในการสกัดเฮมิเซลลูโลส โดยสาหร่าย *Gracilaria* sp. เป็นชนิดที่มีปริมาณเฮมิเซลลูโลสสูงสุด (56.61%) โดยสาหรร่ายทั้ง 3 ชนิดมีปริมาณลิกนินต่ำอยู่ในช่วง 4.47 - 0.57%

เมื่อนำเยื่อใยของสาหร่ายทั้ง 3 ชนิดที่สกัดด้วยวิธีการที่แตกต่างกันมาตรวจสอบสารต้านอนุมูลอิสระ พบว่า สาหร่าย *Gracilaria* sp. ที่สกัดด้วยวิธีที่ 2 (การสกัดด้วยด่างและตัวทำละลายอินทรีย์) มีปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดสูงสุด (0.213±0.016 mg_GAE/g) เมื่อตรวจสอบฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ DPPH free radical scavenging activity พบว่า เยื่อใยสาหร่ายจาก *Chaetomorpha* sp. ที่สกัดด้วยวิธีที่ 1 (การสกัดด้วยน้ำร้อน) มีฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระสูงสุดเมื่อ เปรียบเทียบฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระกับเยื่อใยที่สกัดได้จากสาหร่ายทะเลในชุดการทดลองอื่น ๆ โดยมี ค่า IC_{50} เท่ากับ 10,503.16 ± 516.93 ppm แต่เมื่อเปรียบเทียบฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระดังกล่าวกับสารมาตรฐานวิตามินซีพบว่า มีค่าต่ำกว่าสารมาตรฐาน 4,049.02 เท่า โดยเยื่อใยที่สกัดได้จากสาหร่ายส่วนใหญ่มีค่า pH เป็นกลางในช่วง 7.27 - 7.77 นอกจากนี้พบว่า ความชื้นในสารสกัดเยื่อใยมีค่าต่ำสุดในสาหร่าย *Chaetomorpha* sp. (0.82 ± 0.26%) ที่สกัดด้วยวิธีที่ 3 (การสกัดด้วยเอนไซม์) ส่วนเยื่อใยจากสาหร่าย *Gracilaria* sp. ที่สกัดด้วยเอนไซม์มีความสามารถในการอุ้มน้ำของใยอาหารสูงสุด 0.32 ± 0.01%

Abstract

The study of fiber quantity in 3 seaweeds which were *Chaetomorpha* sp., *Sargassum* sp. and *Gracilaria* sp. found that *Gracilaria* sp. had highest fiber quantity at 55.58% then *Sargassum* sp. at 49.00% and *Chaetomorpha* sp. at 36.42%. Then separated fiber into 2 groups which were water soluble and non-water soluble and found that *Gracilaria* sp. had 6.97% and 48.61%, respectively. Crude fiber extraction from 3 seaweeds were studied further by using 3 different methods which were (1) Hot water extraction method. (2) Organic solvents extraction method and (3) Enzymes extraction method. After that crude fiber extracts were analyzed to find the quantity of cellulose, hemicellulose and lignin by using detergent method. The result showed that the 3rd method which was enzyme extraction method had produced highest cellulose from 3 seaweeds than other methods. *Chaetomorpha* sp. was the specie that found highest cellulose in crude fiber extract at 77.48% and the 1st method (hot water extraction method) was the best method to extract hemicellulose. *Gracilaria* sp. was the seaweed which had highest hemi cellulose at 56.61%. All 3 seaweeds had low lignin level in the range of 4.47 - 0.57%.

When testing for antioxidant agent in all fiber from 3 seaweeds by using different methods found that *Gracilaria* sp. using 2nd method (Organic solvents extraction method) had highest total phenolic content at (0.213±0.016 mg_GAE/g. DPPH free radical scavenging activity was tested too and the result showed that fiber from *Chaetomorpha* sp. which extracted by 1st method (hot water extraction method) had highest effective antioxidant level when compared to others which had IC50 at 10,503.16 ± 516.93 ppm but when compared with standard vitamin c found that its lower than the standard around 4,049.02 times. Almost extracted fiber had pH in the range of 7.27-7.77 furthermore, extracted fiber from *Chaetomorpha* sp. had lowest moisture at 0.82 ± 0.26% when using the 3rd method (enzyme extraction method). However, extracted fiber from *Gracilaria* sp. using enzyme extraction method had ability to hold the water at 0.32 ± 0.01%.

ประกาศคุณูปการ

งานวิจัยฉบับนี้สำเร็จลงด้วยดีด้วยเนื่องจากได้รับทุนวิจัยจาก ทุนอุดหนุนการวิจัยประเภทงบประมาณ เงินกองทุนวิจัยและพัฒนา ทุนวิจัยมุ่งเป้าหมายที่ 3 การวิจัยและนวัตกรรมองค์ความรู้พื้นฐานของประเทศ ประจำปีงบประมาณ 2562 กองทุนวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยบูรพา

ขอขอบคุณหน่วยวิจัยเทคโนโลยีทางทะเล คณะเทคโนโลยีทางทะเล มหาวิทยาลัยบูรพา วิทยาเขตจันทบุรีที่สนับสนุนอุปกรณ์และสถานที่ในการทำการวิจัย และขอขอบคุณศูนย์ศึกษาการพัฒนาอ่าวคุ้งกระเบน อันเนื่องมาจากพระราชดำริ สถาบันวิทยาศาสตร์ทางทะเล มหาวิทยาลัยบูรพา และศูนย์วิจัยและพัฒนาการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำชายฝั่งเพชรบุรี ที่ให้การสนับสนุนในการทำการวิจัยในครั้งนี้

คณะผู้วิจัย
กรกฎาคม 2563

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ	i
Abstract	ii
ประกาศคุณูปการ	iii
สารบัญ	iv
สารบัญตาราง	v
สารบัญภาพ	vi
วัตถุประสงค์ของงานวิจัย	ก
บทนำ	1
เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	3
วิธีการดำเนินการวิจัย	15
ผลการวิจัย	26
อภิปรายและสรุปผล	49
บรรณานุกรม	58
ภาคผนวก	67

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
4-1	ปริมาณความชื้นและวัตถุแห้งในสาหร่ายทะเล	26
4-2	ปริมาณเยื่อใยในสาหร่ายทะเลธรรมชาติ	27
4-3	ปริมาณ NDF ที่ได้จากวิธีการสกัดที่แตกต่างกัน	28
4-4	ปริมาณ ADF ที่ได้จากวิธีการสกัดที่แตกต่างกัน	30
4-5	ปริมาณ Hemicellulose ที่ได้จากวิธีการสกัดที่แตกต่างกัน	31
4-6	ปริมาณ Lignin ที่ได้จากวิธีการสกัดที่แตกต่างกัน	33
4-7	ปริมาณ Cellulose ที่ได้จากวิธีการสกัดที่แตกต่างกัน	34
4-8	ปริมาณฟีนอลิกทั้งหมด ของสารสกัดที่ได้จากวิธีการสกัดที่แตกต่างกัน	38
4-9	ข้อมูลกราฟมาตรฐานแสดงความสามารถในการต้านอนุมูล DPPH ของสารมาตรฐานวิตามินซี 100 ppm	39
4-10	ข้อมูลกราฟมาตรฐานแสดงความสามารถในการต้านอนุมูล DPPH ของสารมาตรฐาน BHT 100 ppm	40
4-11	ค่าความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ DPPH ของสาหร่าย Chaetomorpha sp. ที่สกัดด้วยวิธีการแตกต่างกัน	41
4-12	ค่าความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ DPPH ของสาหร่าย Gracilaria sp. ที่สกัดด้วยวิธีการแตกต่างกัน	41
4-13	ค่าความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ DPPH ของสาหร่าย Sargassum sp. ที่สกัดด้วยวิธีการแตกต่างกัน	41
4-14	ค่า %IC50 ของเยื่อใยสาหร่ายทะเลแต่ละชนิดที่สกัดด้วยวิธีการที่แตกต่างกัน	42
4-15	ค่า %IC50 ของเยื่อใยสาหร่ายทะเลตามธรรมชาติที่ยังไม่ผ่านการสกัดเยื่อใย	42
4-16	ปริมาณความชื้นของเยื่อใยสาหร่ายทะเลที่ได้จากวิธีการสกัดที่แตกต่างกัน	44
4-17	ค่า pH ของเยื่อใยสาหร่ายทะเลที่ได้จากวิธีการสกัดที่แตกต่างกัน	45
4-18	ความสามารถในการอุ้มน้ำของเยื่อใยสาหร่ายทะเลที่ได้จากวิธีการสกัดที่แตกต่างกัน	47
5-1	ปริมาณผลผลิตต่อวิธีการสกัดสาหร่ายทะเล	51
5-2	ปริมาณเยื่อใยแต่ละชนิดของสาหร่ายทั้ง 3 ชนิดที่พบมีค่าสูงในวิธีการสกัดที่แตกต่างกัน	56
ข-1	การสกัดเยื่อใยในสาหร่าย *Chaetomorpha* sp. จากการสกัดวิธีที่ 1	80
ข-2	ปริมาณความชื้นและวัตถุแห้งของสาหร่ายทะเล	80
ข-3	การวิเคราะห์องค์ประกอบในสาหร่าย *Chaetomorpha* sp. จากการสกัดวิธีที่ 1	81
ข-4	ปริมาณผลผลิตต่อวิธีการสกัด (%cellulose จากการคิดใหม่)	84

สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
3-1	ประเภทของคาร์โบไฮเดรต	19
3-2	Plate diagram วิธี DPPH free radical scavenging activity	23
4-1	ปริมาณความชื้นและวัตถุแห้งในสาหร่ายทะเล (%)	27
4-2	ปริมาณ NDF ของสาหร่ายทะเลชนิดที่แตกต่างกัน (%)	29
4-3	ปริมาณ NDF ที่ได้จากวิธีการสกัดที่แตกต่างกัน (%)	29
4-4	ปริมาณ ADF ของสาหร่ายทะเลชนิดที่แตกต่างกัน (%)	30
4-5	ปริมาณ ADF ที่ได้จากวิธีการสกัดที่แตกต่างกัน (%)	31
4-6	ปริมาณ Hemicellulose ของสาหร่ายทะเลชนิดที่แตกต่างกัน (%)	32
4-7	ปริมาณ Hemicellulose ที่ได้จากวิธีการสกัดที่แตกต่างกัน (%)	32
4-8	ปริมาณ Lignin ของสาหร่ายทะเลชนิดที่แตกต่างกัน (%)	33
4-9	ปริมาณ Lignin ที่ได้จากวิธีการสกัดที่แตกต่างกัน (%)	34
4-10	ปริมาณ Cellulose ของสาหร่ายทะเลชนิดที่แตกต่างกัน (%)	35
4-11	ปริมาณ Cellulose ที่ได้จากวิธีสกัดที่แตกต่างกัน (%)	35
4-12	ลักษณะของใยอาหารจากเยื่อใยสาหร่ายทะเล 3 ชนิดที่ได้จากวิธีการสกัดที่แตกต่างกัน 3 วิธี	36
4-13	กราฟมาตรฐานปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดของสารละลาย Gallic acid	37
4-14	ปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดของสารสกัดที่ได้จากวิธีการสกัดที่แตกต่างกัน (mg_GAE/g)	38
4-15	กราฟมาตรฐานแสดงความสามารถในการต้านอนุมูล DPPH ของสารมาตรฐานวิตามินซี100 ppm	39
4-16	กราฟมาตรฐานแสดงความสามารถในการต้านอนุมูล DPPH ของสารมาตรฐาน BHT 100 ppm	40
4-17	ความสามารถในการต้านอนุมูล DPPH ของสารสกัดที่ได้จากวิธีการสกัดที่แตกต่างกัน	43
4-18	ความสามารถในการต้านอนุมูล DPPH ของสารสกัดที่ได้จากชนิดสาหร่ายทะเลที่แตกต่างกัน	43
4-19	ปริมาณความชื้นสาหร่ายทะเลที่ได้จากวิธีการสกัดที่แตกต่างกัน (%)	44
4-20	ปริมาณความชื้นสาหร่ายทะเลที่ได้จากชนิดสาหร่ายทะเลที่แตกต่างกัน (%)	45
4-21	ค่า pH สาหร่ายทะเลที่ได้จากวิธีการสกัดที่แตกต่างกัน	46
4-22	ค่า pH สาหร่ายทะเลที่ได้จากชนิดสาหร่ายทะเลที่แตกต่างกัน	46
4-23	ความสามารถในการอุ้มน้ำสาหร่ายทะเลที่ได้จากวิธีการสกัดที่แตกต่างกัน (gน้ำ/gของแข็ง)	48
4-24	ความสามารถในการอุ้มน้ำสาหร่ายทะเลที่ได้จากชนิดสาหร่ายทะเลที่แตกต่างกัน (gน้ำ/gของแข็ง)	48
ข-1	สาหร่ายทั้ง 3 ชนิด สกัดด้วยน้ำร้อน ก่อนอบแห้ง ที่อุณหภูมิ 50°C ได้แก่ *Chaetomorpha* sp. (ก) ; *Gracilaria* sp. (ข); *Sargassum* sp. (ค)	72
ข-2	สาหร่ายทั้ง 3 ชนิด สกัดด้วยสารละลายด่างร่วมกับตัวทำละลายอินทรีย์ ก่อนอบแห้ง ที่อุณหภูมิ 50°C ได้แก่ *Chaetomorpha* sp. (ก) ; *Gracilaria* sp. (ข); *Sargassum* sp. (ค)	72
ข-3	สาหร่ายทั้ง 3 ชนิด สกัดด้วยเอนไซม์ ก่อนอบแห้ง ที่อุณหภูมิ 50°C ได้แก่ *Chaetomorpha* sp. (ก) ; *Gracilaria* sp. (ข); *Sargassum* sp. (ค)	72

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่ **หน้า**

ข-4	สาหร่ายแห้งที่บดละเอียดแล้วมาแช่ในตัวทำละลายอินทรีย์ 95% Ethanol ในอัตราส่วน ตัวทำละลาย : สาหร่าย เท่ากับ 14 : 1 เป็นเวลา 16 ชั่วโมง ได้แก่ *Chaetomorpha* sp. (ก) ; *Gracilaria* sp. (ข); *Sargassum* sp. (ค)	73
ข-5	นำสาหร่ายมาผสมกับ 5% NaOH ที่ pH 12 เป็นเวลา 24 ชั่วโมง ได้แก่ *Chaetomorpha* sp. (ก) ; *Gracilaria* sp. (ข); *Sargassum* sp. (ค)	73
ข-6	กำจัดสีออกจากสาหร่ายแช่ใน 15% H2O2 (Hydrogen peroxide) เป็นเวลา 15 ชั่วโมงได้แก่ *Chaetomorpha* sp. (ก) ; *Gracilaria* sp. (ข); *Sargassum* sp. (ค)	73
ข-7	ปริมาณของใยอาหารจากเยื่อใยสาหร่ายทะเล 3 ชนิด ก่อนอบที่ได้จากวิธีการสกัดที่แตกต่างกัน 3 วิธี	74
ข-8	ปริมาณของใยอาหารจากเยื่อใยสาหร่ายทะเล 3 ชนิด หลังอบที่ได้จากวิธีการสกัดที่แตกต่างกัน 3 วิธี	75
ข-9	*Chaetomorpha* sp. จากการสกัดวิธีที่ 1 การสกัดด้วยน้ำร้อน	76
ข-10	*Sargassum* sp. จากการสกัดวิธีที่ 1 การสกัดด้วยน้ำร้อน	76
ข-11	*Gracilaria* sp. จากการสกัดวิธีที่ 1 การสกัดด้วยน้ำร้อน	76
ข-12	*Chaetomorpha* sp. จากการสกัดวิธีที่ 2 การสกัดด้วยตัวทำละลายอินทรีย์	77
ข-13	*Sargassum* sp. จากการสกัดวิธีที่ 2 การสกัดด้วยตัวทำละลายอินทรีย์	77
ข-14	*Gracilaria* sp. จากการสกัดวิธีที่ 2 การสกัดด้วยตัวทำละลายอินทรีย์	77
ข-15	*Chaetomorpha* sp. จากการสกัดวิธีที่ 3 การสกัดด้วยเอนไซม์	78
ข-16	*Sargassum* sp. จากการสกัดวิธีที่ 3 การสกัดด้วยเอนไซม์	78
ข-17	*Gracilaria* sp. จากการสกัดวิธีที่ 3 การสกัดด้วยเอนไซม์	78

วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

1. เปรียบเทียบปริมาณใยอาหารทั้งหมด (total dietary fiber) ใยอาหารที่ละลายน้ำได้ (soluble dietary fiber) และใยอาหารที่ละลายน้ำไม่ได้ (insoluble dietary fiber) ของสาหร่ายทะเลแต่ละชนิดที่พบในพื้นที่ศูนย์ศึกษาพัฒนาอ่าวคุ้งกระเบนอันเนื่องมาจากพระราชดำริ จังหวัดจันทบุรี

2. เปรียบเทียบคุณสมบัติการต้านอนุมูลอิสระของสาหร่ายทะเลแต่ละชนิดที่พบในพื้นที่ศูนย์ศึกษาพัฒนาอ่าวคุ้งกระเบนอันเนื่องมาจากพระราชดำริ จังหวัดจันทบุรี

ขอบเขตของโครงการวิจัย

1. เก็บตัวอย่างสาหร่ายทะเลจากพื้นที่ศูนย์ศึกษาพัฒนาอ่าวคุ้งกระเบนอันเนื่องมาจากพระราชดำริ จังหวัดจันทบุรี

2. สกัดใยอาหารจากสาหร่ายทะเลแต่ละชนิด และนำมาวิเคราะห์ปริมาณใยอาหารทั้งหมด ใยอาหารที่ละลายน้ำได้ และใยอาหารที่ละลายน้ำไม่ได้

3. ทดสอบฤทธิ์ในการต้านอนุมูลอิสระของใยอาหารที่สกัดได้จากสาหร่ายทะเลแต่ละชนิด ได้แก่ การวิเคราะห์ปริมาณฟีนอลิกทั้งหมด และการวิเคราะห์ประสิทธิภาพในการขจัดอนุมูล DPPH

ทฤษฎี สมมุติฐาน และกรอบแนวความคิดของโครงการวิจัย

1. สาหร่ายทะเลแต่ละชนิดมีปริมาณใยอาหาร และคุณสมบัติต้านอนุมูลอิสระที่แตกต่างกัน

ระยะเวลาในการทำงานวิจัย

1 พฤษภาคม พ.ศ. 2562 – 31 กรกฎาคม พ.ศ. 2563

1. บทนำ

ผลิตภัณฑ์อาหารที่อุดมไปด้วยใยอาหารสารต้านอนุมูลอิสระ (Antioxidant dietary fiber) หรืออาหารที่มีคุณสมบัติเป็นทั้งเส้นใยอาหารและมีความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระกำลังได้รับความสนใจมากขึ้นทั้งในกลุ่มผู้บริโภคและผู้ผลิตในระดับอุตสาหกรรมอาหาร เนื่องจากการบริโภคใยอาหาร (Dietary fiber) ปริมาณสูงช่วยลดความเสี่ยงของการเกิดโรคมะเร็งลำไส้ รวมถึงลดระดับน้ำตาลและโคเลสเตอรอลในเลือด อีกทั้งยังช่วยควบคุมระบบขับถ่ายของร่างกายให้มีประสิทธิภาพ (จุฬาลักษณ์ และคณะ, 2018) ใยอาหารเป็นกลุ่มของคาร์โบไฮเดรตที่พบในพืชที่สามารถทนต่อการถูกย่อยด้วยเอนไซม์ในระบบทางเดินอาหาร และไม่ถูกดูดซึมในบริเวณลำไส้เล็กของมนุษย์ ซึ่งสามารถแบ่งใยอาหารออกเป็น 2 ประเภทตามการละลายหรือย่อยในลำไส้คือ ใยอาหารชนิดที่ไม่ละลายน้ำและใยอาหารที่ละลายน้ำ โดยใยอาหารชนิดที่ไม่ละลายน้ำได้แก่ เซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส เป็นต้น มีลักษณะเป็นเส้นใยที่เหนียว ย่อยยากและอุ้มน้ำได้ดี จึงช่วยเพิ่มกากใยในลำไส้ทำให้ระบบขับถ่ายทำงานได้ดี ส่วนใยอาหารที่ละลายน้ำได้แก่ กัม เพคติน และมิวซิเลจส์ (mucilage) เป็นต้น เส้นใยชนิดนี้เมื่อรวมตัวกับน้ำจะมีคุณสมบัติหนืดเหมือนวุ้นหรือเจลมีคุณสมบัติช่วยดูดซึมน้ำตาล และไขมันบางชนิดจึงช่วยลดการดูดซึมน้ำตาล และไขมันเข้าสู่ร่างกายได้ (จิราภรณ์, 2553) โดยอัตราส่วนของใยอาหารที่ละลายน้ำต่อใยอาหารที่ไม่ละลายน้ำควรมีค่าประมาณ 30-50% : 70-50 % (Grigelmo-Miguel and Martin-Belloso, 1999) สารต้านอนุมูลอิสระเป็นสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพ มีบทบาทในการชะลอ ยับยั้ง หรือขจัดอนุมูลอิสระที่เกิดขึ้นจากปฏิกิริยาออกซิเดชัน ซึ่งมีบทบาทสำคัญในการชะลอการเกิดออกซิเดชันของไขมัน ส่งผลให้อัตราการสูญเสียกลิ่น รส และคุณค่าทางอาหารของผลิตภัณฑ์อาหารช้าลง อีกทั้งยังช่วยในการชะลอหรือขจัดอนุมูลอิสระที่เกิดขึ้นภายในร่างกายมนุษย์ที่เป็นสาเหตุที่ทำให้เกิดโรคต่างๆ ได้ (วสันต์ สุมินทิล และคณะ, 2557)

สาหร่ายทะเลมีองค์ประกอบของแร่ธาตุ และสารอาหารที่แตกต่างจากพืชบกทั่วไปซึ่งเป็นสารที่มีประโยชน์ต่อร่างกาย นอกจากนี้สาหร่ายทะเล *Chaetomorpha crassa* และ *Chaetomorpha linum* มีส่วนประกอบของเยื่อใย (fiber) สูงถึง 34.29 และ 31.94% ตามลำดับ (Setthamongkol *et al*., 2015) ซึ่งส่วนใหญ่เป็นองค์ประกอบของผนังเซลล์ ส่วนสาหร่าย *Rhizoclonium* sp. และ *Cladophora* sp. มีปริมาณเยื่อใย 38.6 และ 36.5-41% ตามลำดับ (Knoshaug *et al*., 2013) นอกจากนี้สาหร่ายทะเลยังมีคุณสมบัติต้านอนุมูลอิสระโดยพบว่า สาหร่ายพวงองุ่น (*Caulerpa lentillifera*) สาหร่ายทุ่น (*Sargassum oligocystum*) และสาหร่ายเขากวาง (*Gracilaria changii*) มีปริมาณฟีนอลิกทั้งหมด 75.37 ± 9.11, 23.10 ± 2.28 และ 5.00 ± 2.82 mg GAE/g dry basis และมีประสิทธิภาพในการขจัดอนุมูล DPPH ที่ 204.56 ± 2.59, 121.33 ± 4.89 และ 336.68 ± 11.18 (EC50 (µg/ml) ตามลำดับ (วสันต์ สุมินทิล และคณะ, 2557) สารสกัดจากสาหร่ายทะเลแต่ละชนิดอาจมีประสิทธิภาพในการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระที่แตกต่างกันซึ่งเป็นผลมาจากชนิด และปริมาณของสารประกอบฟีนอลิก ชนิดของโพลีแซคคาไรด์ ที่แตกต่างกันในสาหร่ายแต่ละชนิด (Farvin and Jacobsen, 2013) ทั้งนี้การผลิตเซลลูโลสผงเกิดจากการนำเซลลูโลสจากพืชมาผ่านกระบวนการทำให้บริสุทธิ์ และฟอกสีให้มีลักษณะเป็นผงสีขาว ไม่มีกลิ่น และรส โดยสามารถนำเซลลูโลสผงมาเป็นส่วนผสมในอาหารได้ โดยได้รับการรับรองจากองค์การอนามัยโลก (WHO) และองค์การอาหารและเกษตรแห่งสหประชาชาติ (FAO) ให้ใช้เป็นสารเติมแต่งในอาหารบางชนิดเพื่อช่วยเพิ่มปริมาณใยอาหาร และช่วยบำรุงสุขภาพของผู้บริโภค (วิภา และคณะ, 2541)

ดังนั้นการศึกษาปริมาณใยอาหารสารต้านอนุมูลอิสระของสาหร่ายทะเลในพื้นที่ศูนย์ศึกษาพัฒนาอ่าวคุ้งกระเบนอันเนื่องมาจากพระราชดำริ จังหวัดจันทบุรี จึงอาจทำให้ค้นพบสารสกัดเยื่อใยจากสาหร่ายทะเลที่มีคุณสมบัติต้านอนุมูลอิสระธรรมชาติ อีกทั้งยังมีองค์ประกอบของแร่ธาตุที่เป็นประโยชน์ต่อร่างกายเพื่อนำไปใช้ในอุตสาหกรรมอาหาร เวชสำอางค์และเภสัชกรรมได้

2. เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 การจำแนกกลุ่มสาหร่ายทะเลขนาดใหญ่

สาหร่ายทะเลขนาดใหญ่สามารถจัดแบ่งกลุ่มตามประเภทรงควัตถุหลัก ๆ ได้แก่ คลอโรฟิลล์ แคโรทีนอยด์ และไฟโคบิลิน รงควัตถุเหล่านี้มีความสำคัญอย่างยิ่งต่อการสร้างอาหารของสาหร่าย บางชนิดมีผลทำให้สีของสาหร่ายคล้อยตามสีของรงควัตถุที่มีอยู่ สาหร่ายแต่ละชนิดมีรงควัตถุที่แตกต่างกันทั้งชนิดและปริมาณ นอกจากนี้ยังสามารถจำแนกกลุ่มสาหร่ายทะเลได้จากรูปแบบของอาหารที่สะสมภายในเซลล์ โดยสาหร่ายแต่ละกลุ่มมีการสะสมพลังงานหรือสารอาหารภายในเซลล์แตกต่างกัน (อรุณี คงดี อัลเดรด, 2558) สามารถอธิบายได้ดังนี้

2.1.1 สาหร่ายสีเขียว

สาหร่ายสีเขียว มีรงควัตถุที่สำคัญคือ คลอโรฟิลล์ เอ และบี มีอาหารสะสมเหมือนกับพืชชั้นสูง โดยสาหร่ายผักกาดทะเล (*Ulva rigida*) นั้นพบเยื่อใยอยู่ที่ 9 – 12% โดยน้ำหนักแห้ง สาหร่ายพวงองุ่นพบเยื่อใย 3.17 มิลลิกรัม/100 กรัมน้ำหนักแห้ง และสาหร่ายไกพบเยื่อใย 21.9 กรัม/100 กรัมน้ำหนักแห้ง (สำนักหอสมุดและศูนย์สารสนเทศวิทยาศาสตร์เทคโนโลยี, 2558)

2.1.2 สาหร่ายสีแดง

สาหร่ายสีแดงมีรงควัตถุที่สำคัญคือ ไฟโคอิริทริน แต่บางชนิดอาจมีรงควัตถุสีน้ำเงินคือไฟโคไซยานิน ส่วนคลอโรฟิลล์มีคลอโรฟิลล์เอและดี อาหารสะสมเป็นจำพวกแป้ง ผนังเซลล์เป็นเซลลูโลสและมีชั้นเมือกซึ่งประกอบด้วยคาราจีแนน หรือวุ้นหุ้มอยู่ภายนอก สาหร่ายสีแดงที่พบเยื่อใย เช่น *Gracilaria spp.* พบปริมาณเยื่อใย 11.98% (Nakornsadet et al., 2010)

2.1.3 สาหร่ายสีน้ำตาล

สาหร่ายสีน้ำตาลมีรงควัตถุที่สำคัญคือ ฟิวโคแซนทิน ซึ่งเป็นรงควัตถุที่พบมากในกลุ่มนี้ ได้แก่ คลอโรฟิลล์เอและซี อาหารสะสมเป็นพวกลามินาริน นอกจากนี้ยังพบแอลจิเนตมากในสาหร่ายสีน้ำตาล มีการนำแอลจิเนตไปใช้ในทางเภสัชกรรม ตัวอย่างเช่น การเตรียมไมโครแคปซูลจากเกลือแคลเซียมแอลจิเนต สาหร่ายสีน้ำตาลที่พบเยื่อใย ได้แก่ *Podina minor* โดยพบปริมาณเยื่อใย 12.66 ± 0.35% *Turbinaria ornate* พบปริมาณเยื่อใย 12.54 ± 0.28% *Dictyota ciliolata* 11.93 ± 0.66% (กัมปนาท หวลบุตตา และธนิกานต์ แสงนิ่ม, 2556; มนต์สรวง ยางทอง และคณะ, 2559)

2.2 ประเภทของใยอาหาร

เส้นใยอาหารสามารถแบ่งตามความสามารถในการละลายได้ 2 ประเภท คือ เส้นใยอาหารที่สามารถละลายน้ำได้ (Soluble dietary fiber) และเส้นใยอาหารที่ไม่สามารถละลายน้ำได้ (Insoluble fiber) ผลรวมของเส้นใยอาหารที่สามารถละลายน้ำได้กับใยอาหารที่ไม่สามารถละลายน้ำได้เรียกว่า ปริมาณเส้นใยอาหารทั้งหมด (Total dietary fiber) (Prosky and DeVries, 1992) โดยเหรียญทอง สิงห์จานุสงค์ และคณะ (2553) รวบรวมข้อมูลเกี่ยวกับใยอาหารและคุณสมบัติต่าง ๆ ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

2.2.1 ใยอาหารที่ละลายน้ำ

ใยอาหารที่ละลายน้ำ (soluble dietary fiber) คือ ใยอาหารส่วนที่มีคุณสมบัติในการละลายน้ำส่วนใหญ่ปนอยู่กับส่วนที่เป็นแป้งในพืช ได้แก่ กัม เพคติน และมิวซิเลจส์ ใยอาหารชนิดนี้

สามารถรวมตัวกับน้ำได้ในปริมาณมากเกิดการกระจายโครงสร้างที่อัดแน่นทำให้สามารถดูดซับสารได้หลายอย่าง เช่น น้ำตาล คอเลสเตอรอล และเกลือแร่บางชนิด เป็นต้น ดังนั้นจึงมีผลชะลอและลดการดูดซึมของสารอาหารดังกล่าวเข้าสู่ร่างกาย และใยอาหารชนิดที่ละลายน้ำประกอบไปด้วย

2.2.1.1 กัม และมิวซิเลจส์ ได้มาจากหลายแหล่งทั้งได้จากธรรมชาติและเป็นสารสังเคราะห์ กัม เป็นสารประกอบพอลิแซ็กคาไรด์ที่เป็นพอลิเมอร์สายยาวและมีน้ำหนักโมเลกุลสูง เมื่อจับกับน้ำจะอุ้มน้ำและเกิดความข้นหนืดได้สารที่คล้ายวุ้น ให้คุณสมบัติทางกายภาพเฉพาะเพื่อเป็นการปรับปรุงคุณภาพในการบริโภคของอาหารในอุตสาหกรรมอาหาร

2.2.1.2 เบต้ากลูแคน เป็นพอลิเมอร์ของน้ำตาลกลูโคส ซึ่งน้ำตาลกลูโคสมีการเชื่อมต่อกันด้วยพันธะ β–(1->3) และ β–(1>4) ทำให้ทนต่อการถูกไฮโดรไลซ์ การที่มีส่วนที่เชื่อมด้วยพันธะ β–(1->4) มากส่งผลให้มีคุณสมบัติไม่ละลายน้ำ แต่การมีส่วนที่เชื่อมด้วยพันธะ β–(1->3) และเบต้ากลูแคนที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำส่งผลให้ละลายน้ำได้ดี เบต้ากลูแคนพบมากในธัญพืชจำพวก ข้าวบาเลย์และข้าวโอ๊ต (Riaz, 1993)

2.2.1.3 เพคติน พบใน middle lamellae ของผนังเซลล์พืชโดยรวมตัวอยู่กับเซลลูโลสทำหน้าที่ยึดเกาะผนังเซลล์ให้ติดกัน เพคตินเป็นพอลิเมอร์สายยาวของกรดกาแล็กทูโลนิก (D-galacturonic acid) ต่อกันด้วยพันธะไกลโคไซด์ที่ตำแหน่ง β–(1->4) สารประกอบเพคตินที่สกัดได้จากธรรมชาติยังมีน้ำตาลชนิดอื่นปนอยู่ด้วย เช่น น้ำตาลไซโลส กาแล็กโทส อะราบิโนส และแรมโนส โดยโมเลกุลของน้ำตาลจะเกาะอยู่เป็นสายแขนง เพคตินละลายน้ำได้ความสามารถในการละลายขึ้นอยู่กับ degree of esterification ของกรดกาแล็กทูโรนิก เพคตินมีความสามารถในการเกิดเจลและมีความสามารถในการเพิ่มความหนืด จึงมีการนำเพคตินไปใช้กันมากในอุตสาหกรรมอาหาร นอกจากนั้นยังพบมากในผลไม้ตระกูลส้มและแอปเปิ้ล (Prosky and Devries, 1992)

2.2.2 เส้นใยอาหารที่ไม่ละลายน้ำ

เส้นใยอาหารที่ไม่ละลายน้ำ (insoluble dietary fiber) เป็นพวกคาร์โบไฮเดรตเชิงซ้อน ที่ย่อยสลายได้ยาก ได้แก่ เซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส และลิกนิน ซึ่งมีความสามารถดูดซับสารต่าง ๆ ได้น้อยแต่จะจับกับน้ำแล้วเกิดการพองตัวในน้ำลักษณะคล้ายฟองน้ำ ดังนั้นเมื่อบริโภคเข้าไปแล้วจะทำให้มีมวลอุจจาระเพิ่มขึ้น เนื้ออุจจาระนิ่มส่งผลให้ขับถ่ายได้สะดวก (สุรัตน์ โคมินทร์, 2534) ตัวอย่างของเส้นใยอาหารชนิดที่ไม่ละลายน้ำมีดังนี้

2.2.2.1 เซลลูโลส (cellulose) เป็นสารคาร์โบไฮเดรตที่เป็นองค์ประกอบหลักของผนังเซลล์พืชทุกชนิด โดยมีสารอื่นร่วมเป็นองค์ประกอบอยู่ด้วย เช่น เฮมิเซลลูโลส เพคติน และลิกนิน โดยเซลลูโลสอยู่ชั้นในสุดของผนังเซลล์พืชจัดเรียงตัวอยู่ในชั้นไมโครไฟบริลที่ห่อหุ้มด้วยร่างแหของเฮมิเซลลูโลสและลิกนิน และเนื่องจากสายขอเซลลูโลสจับกันด้วยพันธะไฮโดรเจนทำให้เซลลูโลสมีความแข็งแรงไม่ละลายน้ำหรือสารอินทรีย์ใด ๆ และไม่ละลายในสารละลายด่างหรือกรดอ่อน แต่ละลายได้ดีในสารละลายด่างแก่หรือกดรดแก่ ดังนั้นจึงสามารถจำแนกชนิดเซลลูโลสได้เป็น 3 ชนิด ตามความสารถในการละลายในสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (Paturau, 1989)

ก. แอลฟาเซลลูโลส (α-cellulose) เป็นเซลลูโลสที่ไม่ละลายในสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 17.5%

ข. เบต้าเซลลูโลส (β-cellulose) เป็นเซลลูโลสที่สามารถละลายในสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์17.5%

ค. แกมมาเซลลูโลส (γ-cellulose) เป็นเซลลูโลสที่สามารถละลายได้ดีทั้งในสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 17.5% และสารละลายกรดเจือจาง

2.2.2.2 เฮมิเซลลูโลส เป็นกลุ่มของเฮเทอโรพอลิแซ็กคาไรด์ ในโมเลกุลประกอบด้วยน้ำตาลตั้งแต่ 2 - 4 ชนิดขึ้นไปมีทั้งน้ำตาลเฮกโซสและเพนโทส น้ำตาลที่พบมากคือน้ำตาลไซโลสและอะราบิโนส นอกจากนี้ยังพบน้ำตาลแมนโนส กาแล็กโทส และกรดกลูคูโรนิกอีกด้วย (Prosky and Devries, 1992) เฮมิเซลลูโลสเป็นองค์ประกอบในโครงสร้างของผนังเซลล์พืช โดยรวมอยู่กับลิกนินและเซลลูโลสมีสมบัติไม่ละลายน้ำแต่ละลายได้ในสารละลายด่าง (นิธิยา รัตนาปนนท์, 2545)

2.2.2.3 ลิกนิน ประกอบด้วยโซ่โมเลกุลของออกซิจิเนตเตดฟีนิลโปรเปน (oxygenated phenyl propane) มีน้ำหนักโมเลกุลระหว่าง 1,000 - 4,500 สังเคราะห์จากอนุพันธ์ของแอลกอฮอลชนิดต่าง ๆ ได้แก่ คูมาริล (coumaryl) โคนิเฟอริล (coniferyl) และไซนาพิล (sinapyl) ลิกนินไม่สลายทั้งในกรดและด่างแก่ และไม่สามารถย่อยได้ในร่างกายมนุษย์ (Anderson and Chen, 1979; Heaton, 1983; Lanza and Butrum, 1986; Schneeman, 1986; Slavin, 1987) ลิกนินพบมากในพืชที่ค่อนข้างแก่ ผลไม้สุกมีลิกนินมากกว่าผลไม้ดิบ โดยเฉพาะผลไม้ที่บริโภคได้ทั้งเมล็ด เช่น สตรอว์เบอร์รี่ คุณสมบัติทางกายภาพที่สำคัญคือ สามารถดูดซับน้ำดีได้ดี และอาจมีผลชะลอการดูดซึมสารอาหารบางชนิดในลำไส้เล็ก (ไพโรจน์ หลวงพิทักษ์ และเบญจวรรณ ธรรมธนารักษ์, 2538; ปทุม พุทธิวนิช และพิมพาภรณ์ ไตรณรงค์สกุล, 2540; Prosky and DeVries, 1992)

2.2.2.4 องค์ประกอบอื่น ๆ ที่จัดว่าเป็นเส้นใยอาหารที่ไม่ละลายน้ำ ได้แก่ คิวตินและไขมัน พบรวมกับส่วนที่เป็นโครงสร้างของพืช หรือ อยู่บนผิวนอกของพืช โดยมีองค์ประกอบของไขมันที่ไม่รวมกับน้ำ ปกติจะพบในปริมาณที่น้อย (Prosky and Devries, 1992)

การสกัดเซลลูโลส

เซลลูโลสทางการค้ามักผลิตจากไม้และฝ้าย วัตถุดิบเหล่านี้จะถูกสกัดโดยใช้กรด หรือด่าง ภายใต้อุณหภูมิและความดันสูง จากนั้นนำกากที่ได้มาฟอกสีและล้างน้ำหลาย ๆ ครั้งจะได้ผลิตภัณฑ์สุดท้ายเป็นเซลลูโลสบริสุทธิ์ (Ang, 2001) ซึ่งกรดและด่างที่ใช้คือ สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์และสารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์จะช่วยทำลายลิกนินและสิ่งที่ไม่ใช่เซลลูโลสออกไป โดยที่เซลลูโลสไม่ถูกทำลายไปด้วย (Wallis, 1971)

2.3 คุณสมบัติเชิงหน้าที่ของใยอาหาร

เส้นใยอาหารแต่ละชนิดมีคุณสมบัติทางเคมี และกายภาพที่แตกต่างกัน โดยคุณสมบัติของเส้นใยอาหารจากการรวบรวมข้อมูลจาก ไพโรจน์ หลวงพิทักษ์ และเบญจวรรณ ธรรมธนารักษ์ (2538) ปฐมนาถ มาลัยเลิศ (2549) หยาดฝน ทนงการกิจ (2556) สิริมา ชินสาร (2557) และธนิกานต์ สันต์สวัสดิ์ (2549) มีดังนี้

2.3.1 ความหนืด (Vicosity) เป็นความสามารถในการต้านทานการไหลของของไหลเมื่อมีแรงมากระทำเส้นใยอาหาร จัดอยู่ในกลุ่มโพลีแซคคาไรด์ซึ่งเป็นสารที่มีความเหมาะสมเพื่อใช้เพิ่มความหนืดให้อาหาร เส้นใยอาหารที่ละลายน้ำได้สามารถนำมาประยุกต์ใช้เพื่อควบคุมลักษณะรีโอโลยี (Rheology) ด้านการละลายและการกระจายตัว

2.3.2 การก่อเจล (Gelation) ในการก่อเจลนั้นสารโพลิเมอร์ของโพลีแซคคาไรด์ต้องมีโครงสร้างที่เป็นระเบียบและสภาวะการก่อเจลมีความเหมาะสม เส้นใยอาหารที่ละลายน้ำได้แก่ เพ

คติน กัม มิวซิเลจส์ และเฮมิเซลลูโลส บางชนิดที่มีสมบัติในการจับกับน้ำและการพองตัวทำให้มีความหนืดเพิ่มขึ้น และก่อเจลได้ดีในขณะที่เซลลูโลสและเฮมิเซลลูโลสส่วนใหญ่ไม่ก่อเจล

2.3.3 การอุ้มน้ำ (Water holding capacity) เส้นใยอาหารมีองค์ประกอบเป็นโพลีแซคคาไรด์ ซึ่งโพลีแซคคาไรด์เป็นโมเลกุลที่ชอบน้ำ เนื่องจากมีหมู่ไฮดรอกซิลอิสระเป็นจำนวนมากสามารถสร้างพันธะไฮโดรเจนกับน้ำ เส้นใยอาหารทั้งชนิดที่ละลายน้ำและไม่ละลายน้ำจึงสามารถอุ้มน้ำได้ ทั้งนี้ความสามารถในการอุ้มน้ำของเส้นใยอาหารขึ้นอยู่กับองค์ประกอบทางเคมีโครงสร้างและขนาดอนุภาคของเส้นใยอาหารด้วย มีความสัมพันธ์โดยตรงกับความสามารถในการละลายน้ำของคาร์โบไฮเดรตเชิงซ้อน เช่น เพคติน กัม และมิวซิเลจส์ มีคุณสมบัติในการอุ้มน้ำ ทำให้เกิดความหนืดเพิ่มขึ้นสร้างเจลได้ด้วย เมื่ออยู่ในสภาวะที่เหมาะสม ส่วนเส้นใยที่ไม่ละลายน้ำไม่สามารถสร้างเจลได้ แต่สามารถดูดซับน้ำไว้ในโครงสร้างได้ปริมาณมาก นอกจากนี้การอุ้มน้ำได้ดีของเส้นใยอาหารจะช่วยเพิ่มปริมาตรของกากอาหารอันจะไปกระตุ้นการเคลื่อนไหวของลำไส้ ทำให้กากอาหารนุ่ม มีปริมาตรมากถ่ายสะดวก เส้นใยอาหารที่ให้ประโยชน์ในลักษณะเช่นนี้ มักเป็นพวกเส้นใยหยาบละลายน้ำไม่ได้ สำหรับปัจจัยที่มีผลต่อการอุ้มน้ำของเส้นใยอาหารนี้ ได้แก่ องค์ประกอบของเส้นใย ขนาดเส้นใยอาหาร ปริมาณอิเล็กโทรไลท์ และค่าพีเอชของสารละลายนั้น ๆ

2.3.4 ความคงตัวของอิมัลชั่น (Stabilization of emulsion) สารโพลีแซคคาไรด์มีความสามารถในการเพิ่มความคงตัวของอิมัลชั่น ดังนั้นจึงมีการใช้โพลีแซคคาไรด์เพื่อช่วยให้ความคงตัวกับอาหารประเภทอิมัลชั่น ตัวอย่างของโพลีแซคคาไรด์เหล่านี้ ได้แก่ อัลจิเนตและเพคติน เป็นต้น

2.3.5 ความสามารถในการดูดซึมสารอินทรีย์ เช่น กรดน้ำดี (bile acid) คอเลสเตอรอล สารก่อมะเร็ง
และสารพิษต่าง ๆ จากโครงสร้างของเส้นใยอาหารเป็นที่ยึดเกาะของสารอินทรีย์เหล่านี้ ก่อให้เกิดผลดีต่อร่างกาย โดยเมื่อภายหลังจากที่เส้นใยอาหารถูกขับออกจากระบบลำไส้ สารอินทรีย์ที่เกาะกับเส้นใยอาหารก็จะถูกขับออกจากร่างกายด้วยพร้อม ๆ กัน ทำให้ปริมาณ และความเข้มข้นของสารอินทรีย์ดังกล่าวลดลง ซึ่งคุณสมบัติในการดูดซับกรดน้ำดีนี้สัมพันธ์กับประสิทธิภาพ ในการลดคอเลสเตอรอลในพลาสมาของเส้นใยอาหารบางชนิด เช่น รำ ข้าวโอ๊ต เพคติน และกัม (gum) เป็นต้น รวมทั้งการที่เส้นใยอาหารสามารถลดความหมักหมมของกากอาหารในลำไส้ด้วย จึงทำให้ลดโอกาสที่สารก่อมะเร็งเหล่านี้ จะสัมผัสกับผนังลำไส้

2.3.6 การเปลี่ยนแปลงที่เกิดจากแบคทีเรีย เส้นใยอาหารเป็นคาร์โบไฮเดรตที่ร่างกายไม่สามารถนำไปใช้ได้ แต่แบคทีเรียในลำไส้ใหญ่ สามารถใช้เส้นใยอาหารได้โดยการหมัก ซึ่งทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงขึ้น แต่ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับชนิด และโครงสร้างของเส้นใยอาหารรวมถึงชนิดของแบคทีเรียที่อยู่ในลำไส้ใหญ่

2.3.7 คุณสมบัติในการแลกเปลี่ยนประจุ ความสามารถในการใช้ และการดูดซับแร่ธาตุของร่างกายจะลดลงหากบริโภคอาหารที่มีเส้นใยอาหารสูง เนื่องจากแร่ธาตุต่าง ๆ และสารอิเล็กโทรไลต์ (Electrolyte) จะถูกเส้นใยอาหารจับไว้ และขับออกมาในรูปของเสีย

2.3.8 ขนาดของอนุภาค เส้นใยอาหารที่มีอนุภาคใหญ่ จะช่วยเพิ่มน้ำหนักของเสียของร่างกายและ ช่วยลดความดัน ภายในลำไส้ใหญ่ได้ดีกว่าชนิดที่มีอนุภาคเล็ก หรือละเอียด

2.3.9 ความสามารถในการจับน้ำมัน (Oil-binding capacity) เป็นสมบัติของเส้นใยอาหารที่ใช้แสดงค่าความสามารถในการจับน้ำมันไว้ในโครงสร้างของเส้นใยอาหาร เส้นใยอาหารที่มีโครงสร้าง

ของพอลิแซ็กคาไรด์ เช่น อัลจิเนต กัม และเพคติน เป็นต้น จะสามารถจับกับน้ำมันได้ดี จึงมักถูกนำมาใช้ในการเพิ่มความคงตัวของอิมัลชันในอาหาร

2.4 วิธีวิเคราะห์แบบ Detergent

กรมปศุสัตว์ (2552) อ้างอิงจาก วรพงษ์ (2535) เกี่ยวกับวิธีการวิเคราะห์แบบ Detergent analysis แบ่งวัตถุแห้งของอาหารสัตว์ออกเป็น 2 ส่วนใหญ่ ๆ คือ

2.4.1 Cell content หรือ Neutral Detergent Soluble (NDS) คือ ส่วนที่อยู่ภายในเซลล์พืชทั้งหมดสามารถละลายได้ในสารละลาย detergent ที่เป็นกลาง ประกอบด้วย กรดอะมิโน ไขมัน แป้ง น้ำตาล เพคติน Soluble Protein, Non-protein Nitrogen วัตถุแห้งส่วนนี้สัตว์ทุกชนิดสามารถใช้ประโยชน์ได้เกือบทั้งหมด

2.4.2 Cell wall constituents หรือ Neutral Detergent Fiber (NDF) คือส่วนประกอบของผนังเซลล์ ซึ่งไม่สามารถละลายในสารละลาย detergent ที่เป็นกลาง ประกอบด้วยพวกเยื่อใยทั้งหมด ได้แก่ เฮมิเซลลูโลส เซลลูโลส ลิกนิน คิวติน ซิลิกา และเคราติน วัตถุแห้งส่วนนี้เป็นประโยชน์ต่อสัตว์เคี้ยวเอื้องเท่านั้นเพราะในกระเพาะรูเมนของสัตว์เคี้ยวเอื้องมีจุลินทรีย์ที่สามารถย่อยเซลลูโลสและเฮมิเซลลูโลสได้ NDF แบ่งได้เป็น 2 พวกคือ

2.4.2.1 เยื่อใยพวก Acid Detergent Soluble (ADS) เยื่อใยชนิดนี้คือเฮมิเซลลูโลส ซึ่งเป็นส่วนประกอบของผนังเซลล์ เป็นสารประกอบพวกคาร์โบไฮเดรตที่ไม่ละลายน้ำสามารถละลายได้ดีในกรดอ่อนและด่างอ่อน พืชตระกูลหญ้าจะมีเฮมิเซลลูโลสสูงกว่าพืชตระกูลถั่วและจะพบเฮมิเซลลูโลสมากที่ส่วนใบของพืช พืชที่กำลังงอกจะใช้เฮมิเซลลูโลสที่มีในเมล็ดเป็นอาหาร และในพืชอาหารสัตว์พบว่าเฮมิเซลลูโลสจะอยู่ร่วมกับลิกนิน จึงทำให้การย่อยได้ไม่ดีเท่าที่ควร เนื่องจากลิกนินเป็นตัวขัดขวางการย่อยได้ของเฮมิเซลลูโลสซึ่งทำให้ย่อยได้ไม่หมด

2.4.2.2 เยื่อใยพวก Acid Detergent Fiber (ADF) ประกอบด้วย Cellulose คือเยื่อใยที่จัดเป็นคาร์โบไฮเดรตพวกที่ไม่ละลายน้ำ น้ำย่อยของสัตว์ทุกชนิดไม่สามารถย่อยเซลลูโลสได้แต่จุลินทรีย์ที่อยู่ในกระเพาะรูเมนของสัตว์เคี้ยวเอื้องและลำไส้ส่วน Caecum ของม้า และกระต่ายสามารถย่อยเซลลูโลสได้ ดั้งนั้นสัตว์เคี้ยวเอื้องม้าและกระต่ายจึงสามารถใช้ประโยชน์ได้ แต่การย่อยได้ของเซลลูโลสจะมากหรือน้อยเพียงใดขึ้นอยู่กับปริมาณลิกนิน

2.4.2.3 Lignin เป็นส่วนประกอบที่สำคัญของผนังเซลล์พืชทำให้ผนังเซลล์พืชแข็งแรง จะเป็นส่วนประกอบของเปลือก ซัง หรือส่วนที่เป็นเยื่อใยของราก ลำต้น และจะถูกสร้างจากส่วนโคนต้น ไปสู่ยอด เมื่อพืชมีอายุมากขึ้นปริมาณลิกนินจะเพิ่มมากขึ้นด้วยจากการที่ลิกนินเป็นสารที่ไม่มีสัตว์ชนิดใดใช้ประโยชน์ได้เลย ในขณะเดียวกับการที่ลิกนินอยู่ร่วมกับเซลลูโลสและเฮมิเซลลูโลส ทำให้การย่อยได้ของเซลลูโลสและเฮมิเซลลูโลสลดลงด้วย ดังนั้นปริมาณลิกนิน เซลลูโลส และเฮมิเซลลูโลสมีความสำคัญต่อการประเมินคุณภาพของพืชอาหารสัตว์ที่ใช้สำหรับเลี้ยงสัตว์เคี้ยวเอื้อง ม้า และกระต่าย

2.4.2.4 Cutin เป็นสารที่เคลือบผิวด้านนอกของผนังเซลล์ของพืช ส่วนใหญ่จะพบบนผิวของเมล็ด มีลักษณะคล้ายขี้ผึ้ง Cutin ย่อยไม่ได้ และถ้ามีมากอาจจะลดการย่อยได้ของเซลลูโลสและ hemicellulose

2.4.2.5 Acid Insoluble Ash (AIA) คือส่วนของเถ้าที่ไม่ละลายในกรดจัดเป็นสารประกอบอนินทรีย์ ประกอบด้วย Silica ซึ่งส่วนใหญ่ร่างกายสัตว์ไม่สามารถจะย่อยหรือดูดซึมได้ และยังทำให้การย่อยได้ของอาหารลดลง

2.5 สารต้านอนุมูลอิสระ

สารต้านอนุมูลอิสระ คือ สารปริมาณน้อยที่สามารถป้องกัน หรือชะลอการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชั่นของอนุมูลอิสระได้ สารเหล่านี้มีกลไกในการต้านอนุมูลอิสระหลายแบบ เช่น ดักจับ (scavenge) อนุมูลอิสระโดยตรง ยับยั้งการสร้างอนุมูลอิสระ หรือเข้าจับ (chelate) กับโลหะ เพื่อป้องกันการสร้างอนุมูลอิสระ สารต้านอนุมูลอิสระ เป็นสารประกอบที่ทนต่อการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชั่นในเซลล์ โดยทั่วไปสารต้านอนุมูลอิสระสามารถพบได้ในธรรมชาติจากสารหลายชนิด เช่น สารประกอบฟีนอลลิค (phenolic compounds) สารประกอบไนโตรเจน (nitrogen compounds) และแคโรทีนอยด์ (catotinoid) บทบาทสำคัญของสารต้านอนุมูลอิสระ คือ ป้องกันการเกิดปฏิกิริยา ออกซิเดชั่นในร่างกาย ซึ่งเป็นสาเหตุของการเกิดโรคต่าง ๆ ของมนุษย์ป้องกันการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชั่นของไขมันที่เป็นสาเหตุหลักของการเสื่อมคุณภาพในอาหาร ปัจจุบันองค์กรที่เกี่ยวข้องในอุตสาหกรรมอาหารและยาได้พยายามพัฒนาสารต้านอนุมูลอิสระที่มาจากธรรมชาติ เช่น สาหร่ายทะเล แบคทีเรีย เชื้อรา และพืชชั้นสูง อย่างไรก็ตาม ในภาวะปกติร่างกายของคนเรา จะมีการป้องกันการสะสมสารอนุมูลอิสระอยู่แล้ว ซึ่งแบ่งออกเป็นสองส่วน คือ ส่วนแรกเกิดจากร่างกายสร้างเอนไซม์ต้านอนุมูลอิสระขึ้นมาควบคุมปริมาณอนุมูลอิสระให้อยู่ในภาวะที่สมดุล และส่วนที่สอง คือ กลุ่มของสารต้านอนุมูลอิสระที่มาจากวิตามินเอ ซี อี หรือเบต้าแคโรทีน (βcarotinoid) รวมทั้งสารประกอบโพลีฟีนอล ซึ่งเป็นพฤษเคมีที่สามารถพบได้ในพืชผัก และผลไม้ เพื่อเข้าไปช่วยเสริมสร้างระบบการต่อต้านปฏิกิริยาออกซิเดชั่นในร่างกายให้มีประสิทธิภาพในการทำลายอนุมูลอิสระได้ดียิ่งขึ้น ตัวอย่างสารต้านอนุมูลอิสระที่พบในร่างกาย เช่น เอนไซม์คะตะเลส (catalase) กลูตาไธโอนเพอรอกซิเดส (glutathione peroxidase) และซุปเปอร์ออกไซด์ดิสมิวเทส (superoxide dismutase) หรือสารประกอบโปรตีนบางอย่าง เช่น อัลบูมิน (albumin) บิลิรูบิน (bilirubin) เซอรูโลพลาสมิน(ceruloplasmin) กลูตาไธโอน (glutathione) ทรานสเฟอริน (transferrin) ยูบิควินอล (ubiquinol) และยูเรต (urate) เป็นต้น สารเหล่านี้มีหน้าที่คอยควบคุมอนุมูลอิสระต่าง ๆ ให้อยู่ในระดับพอเหมาะ แต่ถ้าเมื่อใดที่มีอนุมูลอิสระเกิดขึ้นในปริมาณมากเกินกว่าที่ระบบป้องกันจะยับยั้งได้หมด จะทำให้เกิดสภาวะที่เรียกว่า “oxidative stress” ขึ้นภายใต้สภาวะดังกล่าวอนุมูลอิสระจะทำอันตรายต่ออวัยวะและเนื้อเยื่อต่าง ๆ ของรางก่าย ซึ่งถ้าสะสมมาก ๆ อาจนำไปสู่ความผิดปกติ หรือพยาธิสภาพหลายอย่าง (เจนจิรา จิรัมย์ และประสงค์ สีหานาม, 2554)

สารต้านอนุมูลอิสระมีทั้งชนิดที่เป็นเอนไซม์ (enzymatic antioxidants) และชนิดที่ไม่ใช่เอนไซม์ (non-enzymatic antioxidants) สามารถแบ่งสารต้านอนุมูลอิสระได้เป็น 5 ชนิด ดังนี้

1. primary antioxidant ซึ่งเป็น phenolic compound ทำหน้าที่หยุดปฏิกิริยาลูกโซ่ในปฏิกิริยาของการออกซิเดชันไขมัน ทำหน้าที่เป็นตัวให้อิเล็กตรอน

2. oxygen scarvenger ไดแก วิตามินซี หรือ ascorbic acid โดยจะเข้าทำปฏิกิริยากับออกซิเจน ช่วยลดออกซิเจนได้

3. secondary antioxidant ได้แก่ thiopro-pionic acid ซึ่งช่วยสลาย lipid hydroperoxide

4. enzymatic antioxidant ได้แก่ เอนไซม์ superoxide dismutase (SODs) catalase (CAT) ช่วยกำจัดออกซิเจน และอนุพันธ์ออกซิเจน เช่น H_2O_2

5 metal chelating ได้แก่ กรดซิตริก (citric acid) กรดอะมิโน (amino acid) ทำหน้าที่จับกับไอออนของโลหะ (metal ions) (อนงนาฏ ไพนุพงศ์, 2560)

2.5.1 แหล่งที่มาของสารต้านอนุมูลอิสระ (เจนจิรา จิรัมย์ และประสงค์ สีหานาม, 2554)

ปัจจุบันสารต้านอนุมูลอิสระโดยเฉพาะอย่างยิ่งที่ได้มาจากพืชผัก เครื่องเทศ องุ่น และสมุนไพรได้รับความสนใจ และศึกษากันอย่างกว้างขวาง เนื่องจากกระแสเรื่องความปลอดภัยของสารสกัดจากธรรมชาติ สารต้านอนุมูลอิสระแบ่งตามแหล่งที่มาได้ 2 ชนิด ได้แก่

2.5.1.1 สารต้านอนุมูลอิสระสังเคราะห์ (Synthetic antioxidants)

สารประกอบฟีนอลิค สังเคราะห์ 5 ชนิดได้แก่ propyl gallate, 2-butylated hydroxyanisole, 3-butylate hydroxyanisole, BHT (butylated hydroxytoluene) และ tertiary butylhydroquinone เป็นสารต้านอนุมูลอิสระที่นิยมใช้ในอุตสาหกรรมอาหาร เพื่อยับยั้งการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชั่นของไขมันอันเป็นสาเหตุให้อาหารมีกลิ่น สี และรสชาติที่เปลี่ยนไป สารสังเคราะห์เหล่านี้มีประสิทธิภาพ และความคงตัวสูงกว่าสารสกัดจากธรรมชาติ แต่มีข้อจำกัดของการใช้ เนื่องจากปัญหาด้านความปลอดภัยในการบริโภค

2.5.1.2 สารต้านอนุมูลอิสระจากธรรมชาติ (Natural antioxidants)

สารกลุ่มนี้ได้รับความสนใจ และมีการค้นคว้าอย่างมากในปัจจุบัน เนื่องจากความเชื่อมั่นว่า มีความปลอดภัยในการบริโภคมากกว่าสารต้านอนุมูลอิสระสังเคราะห์ สารต้านอนุมูลอิสระเหล่านี้ พบได้ทั้งในจุลชีพ สัตว์ และพืช ซึ่งมีทั้งที่เป็นวิตามิน เช่น วิตามินซี วิตามินอี เบต้าแคโรทีน และสารที่ไม่ให้คุณค่าทางโภชนาการ (nonnutrient) ซึ่งมีโครงสร้างเป็นสารประกอบ ฟีนอลิค โดยเฉพาะกลุ่มโพลีฟีนอล (polyphenols) เช่น แซนโธน (xanthone) และฟลาโวนอยด์ (flavonoids) ซึ่งประกอบด้วยหมู่ไฮดรอกซิลที่เกาะบนวงเบนซีน (aromatic hydroxyl) ตั้งแต่ 2 หมู่ขึ้นไป หมู่ฟังก์ชั่น (functional group) เหล่านี้มีบทบาทสำคัญในการดักจับอนุมูลอิสระไม่ให้ไปกระตุ้น หรือก่อให้เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชั่นได้ โดยการให้อนุมูล $H^{\bullet}$ แก่อนุมูลอิสระเหล่านั้น นอกจากนี้สารประกอบโพลีฟีนอล ที่มีโครงสร้างของ ortho-dihydroxyl phenol อยู่ในโมเลกุลยังสามารถยับยั้งการเกิดอนุมูล $OH^{\bullet}$ ในปฏิกิริยาที่มีอนุมูลโลหะทรานซิชั่น คือ Fe^{2+} และ Cu^{2+} เป็นตัวเหนี่ยวนำได้โดยการเข้าจับกับโลหะดังกล่าวเกิดเป็นสารประกอบเชิงซ้อน (complex) สารประกอบกลุ่มโพลีฟีนอล ซึ่งพบในพืชพรรณธรรมชาตินานาชนิดสามารถต้านอนุมูลอิสระได้ดีทั้งในห้องปฏิบัติการและในสิ่งมีชีวิต

2.5.2 กลไกการทำงานของสารต้านอนุมูลอิสระ

จากรายงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการทำงาน ของสารต้านอนุมูลอิสระพบว่า มีหลายกลไกจากการรวบรวมข้อมูลจาก เจนจิรา จิรัมย์ และประสงค์ สีหานาม (2554) ดังนี้

2.5.2.1 ดักจับอนุมูลอิสระ (radical scavenging)

เป็นที่ทราบดีว่า สารต้านอนุมูลอิสระสามารถยับยั้งอนุมูลอิสระได้โดยการทำให้โมเลกุลของอนุมูลอิสระมีความเสถียรขึ้น ซึ่งกลไกของปฏิกิริยาเกิดโดยการให้ไฮโดรเจน หรืออิเล็คตรอนแก่อนุมูลอิสระ ดังสมการ

$$R^{\bullet} + AH \longrightarrow RH + A^{\bullet}$$
$$RO^{\bullet} + AH \longrightarrow ROH + A^{\bullet}$$
$$R^{\bullet} + A^{\bullet} \longrightarrow RA$$
$$RO^{\bullet} + A^{\bullet} \longrightarrow ROA$$

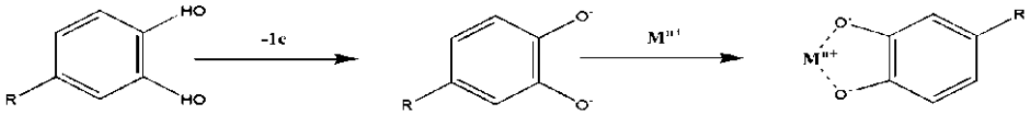
2.5.2.2 ยับยั้งการทำงานของซิงเกล็ทออกซิเจน (Singlet oxygen quenching, $^1O_2^*$)

สารกลุ่มแคโรทีนอยด์ (carotenoids) สามารถยับยั้งการทำงานของซิงเกล็ทออกซิเจน โดยการเปลี่ยน ($^1O_2{}^*$) ให้อยู่ใน รูปทริปเปร็ท (triplet oxygen ($^3O_2$)) และปล่อยพลังงานที่ได้รับออกไปในรูปความร้อน โดยที่แคโรทีนอยด์ (Car) จำนวน1 โมเลกุล สามารถทำปฏิกิริยากับซิงเกล็ทออกซิเจนได้ถึง 1,000 โมเลกุล

$$^1O^{\bullet}_2 + {}^1Car \longrightarrow 3O_2 + {}^3Car^{\bullet}$$
$$^3Car^{\bullet} \longrightarrow Car + \text{thermal energy}$$

2.5.2.3 จับกับโลหะที่สามารถเร่งสารกลุ่มนี้ ได้แก่ ปฏิกิริยาออกซิเดชั่น (metal chelation)

โลหะที่มีผลต่อการเกิดอนุมูลอิสระคือ Fe^{2+}และ Cu^{2+} ฟลาโวนอยด์ (flavonoids) ฟอสฟอริกแอซิด (phosphoric acid) และซิตริกแอซิด (citric acid) เป็นต้น สำหรับกลไกการจับโลหะของสารประกอบฟลาโวนอยด์ แสดงดังสมการ



2.5.2.4 หยุดปฏิกิริยาการสร้างอนุมูลอิสระ (chainbreaking)

วิตามินอี (α-tocopherol; Toc-OH) สามารถป้องกันเยื่อหุ้มเซลล์ไม่ให้ถูกทำลายจากปฏิกิริยาออกซิเดชั่นของไขมัน (lipid autooxidation) โดยทำหน้าที่เป็นตัวรับอิเล็คตรอน (electron-acceptor antioxidants) จากอนุมูล peroxyl ($ROO^{\bullet}$)

2.5.2.5 ยับยั้งการทำงานของเอ็นไซม์ที่เร่งปฏิกิริยาอนุมูลอิสระ (enzyme inhibition)

สารประกอบฟีนอลิกบางชนิด เช่น ฟลาโวนอยด์ กรดฟีนอลิก (phenolic acid) และแกลเลต (gallates) สามารถยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ ลิโพออกซีจีเนส (lipoxygenase) โดยสามารถเข้าจับกับไอออนของเหล็กซึ่งเป็นโคแฟกเตอร์ (cofactor) ส่งผลให้เอ็นไซม์ ดังกล่าวไม่สามารถทำงานได้

2.5.2.6 เสริมฤทธิ์ (synergism)

สารชนิดนี้จะช่วยสนับสนุนให้สารต้านอุนมูลอิสระทำงานได้ดีขึ้น เช่น การทำงานร่วมกันระหว่าง วิตามินอี (**α**-tocopherol) กับวิตามินซี (ascorbic acid) โดยที่วิตามินซีไม่สามารถทำงานในในสภาวะไม่มีขั้ว (hydrophobic condition) ได้เหมือนกับวิตามินอี แต่จะให้ไฮโดรเจนอะตอมแก่ อนุมูลแอลฟ่า-โทโคฟีรอลเปอร์ออกซิล (**α**tocopherol peroxyl) ที่เกิดจากการทำปฏิกิริยาระหว่าง แอลฟ่า-โทโคฟีรอล กับอนุมูลเปอร์ออกซิล (ROO•) เพื่อเปลี่ยนรูปกลับไปเป็น แอลฟ่า-โทโคฟีรอลที่สามารถทำงานได้

2.5.3 สารต้านอนุมูลอิสระกับการป้องกันโรค (เจนจิรา จิรัมย์ และประสงค์ สีหานาม , 2554)

การศึกษาฤทธิ์ทางชีวภาพของสารต้านอนุมูลอิสระได้รับความสนใจเพิ่มมากขึ้น เนื่องจากอนุมูลอิสระส่งผลเสียต่อร่างกาย และเป็นสาเหตุสำคัญของการเกิดโรคหลายชนิดในมนุษย์ เช่น โรคมะเร็ง ความดันโลหิตสูง เบาหวาน รูมาตอยด์ การศึกษาข้อมูลทางเภสัชวิทยาของสารต้านอนุมูลอิสระ พบว่า มีสารออกฤทธิ์หลายชนิดที่มีส่วนส่งเสริมสุขภาพ และป้องกันการเกิดโรคในมนุษย์ ซึ่งตัวอย่างการศึกษาเกี่ยวกับฤทธิ์ทางชีวภาพสูงสารต้านอนุมูลอิสระ

2.5.4 ใยอาหารต้านอนุมูลอิสระ (Antioxidant dietary fiber)

หมายถึง อาหารที่มีคุณสมบัติในการเป็นทั้งเส้นใยอาหาร และมีความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ โดยสารต้านอนุมูลอิสระจากพืช ได้แก่ พอลิฟีนอล ซึ่งที่พบมาก ได้แก่ สารในกลุ่มฟลาโวนอยด์ และแคโรทีนอยด์ เป็นต้น สารประกอบเหล่านี้มีสมบัติในการต้านอนุมูลอิสระได้ดี โดยทำลายอนุมูลอิสระ และอนุพันธ์ของออกซิเจนที่ไวต่อปฏิกิริยา ซึ่งเป็นสาเหตุของการเกิดโรคต่าง ๆ สารต้านอนุมูลอิสระจากธรรมชาติดังกล่าว จึงมีประโยชน์ต่อสุขภาพโดยสามารถป้องกันการเกิดโรคต่าง ๆ ได้ Fulgencio Saura-Calixto (1998) ให้คำจำกัดความของใยอาหารต้านอนุมูลอิสระ ไว้ว่า เป็นผลิตภัณฑ์ที่ประกอบด้วยสารต้านอนุมูลอิสระตามธรรมาชาติ โดยรวมอยู่กับโครงสร้างของเส้นใยอาหาร (จุฬาลักษณ์ เขมาชีวะกุล และคณะ, 2560)

ผลิตภัณฑ์เสริมอาหารที่มีขายในปัจจุบันนี้กว่าร้อยละ 90 จัดเป็นผลิตภัณฑ์ที่มีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ ส่วนการนำไปใช้เพื่อหวังผลด้านสุขภาพนั้นขึ้นกับการศึกษาทั้งทางด้าน in vitro, in vivo และ clinical research โดยทั่วไปแล้วผลิตภัณฑ์เสริมอาหารที่มีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระมักจะมีประโยชน์กับระบบต่าง ๆ เช่น ระบบหัวใจ และหลอดเลือดช่วยในการมองเห็นเสริมสุขภาพความงามของผิว และผม เพื่อป้องกันโรคมะเร็ง และโรคจากความเสื่อมของระบบต่าง ๆ สารต้านอนุมูลอิสระที่พบได้ในอาหาร และผลิตภัณฑ์ธรรมชาติส่วนใหญ่ เช่น vitamin E และ vitamin C สารในกลุ่ม flavonoids สารกลุ่ม carotenoids และสารกลุ่ม phenolics (อธิป สกุลเผือก, 2559)

2.6 การใช้ใยอาหารในผลิตภัณฑ์อาหาร

ในทางกฎหมายเซลลูโลสผงได้รับอนุญาตจากองค์การร่วมทางเศรษฐกิจแห่งยุโร (EEC) ให้ใช้เป็นส่วนประกอบของอาหารได้ตั้งแต่ปี ค.ศ. 1993 ได้รับการรับรองจากองค์การอนามัยโลก (WHO) และองค์การอาหารและเกษตรแห่งสหประชาชาติ (FAO) ให้ใช้เป็นสารเติมแต่งได้ในอาหารบางชนิด ในทวีปยุโรปและอเมริกาได้มีการนำเซลลูโลสผงมาใช้เป็นองค์ประกอบของอาหารเพื่อสุขภาพและในผลิตภัณฑ์ เค้ก คุ้กกี้ เนยเทียม พาสต้า และซุปต่าง ๆ (วิภา สุโรจนะเมธกุล และคณะ, 2541)

ปัจจุบันผู้บริโภคตระหนักถึงความสำคัญของใยอาหารที่มีต่อสุขภาพมากขึ้น Vetter (1984) กล่าวว่า การเพิ่มใยอาหารในผลิตภัณฑ์ทำโดยการเติมเซลลูโลสผงหรือธัญพืชและสามารถทำได้ในอาหารจำพวกขนมอบ อาหารเช้า (breakfast cereal) และขนมขบเคี้ยว การเพิ่มใยอาหารในปริมาณมากจะทำให้มีค่าใช้จ่ายสูงอาจมีผลกระทบต่อกระบวนการผลิตและคุณสมบัติของผลิตภัณฑ์ที่ได้ Pomeranz (1977) กล่าวว่า การเพิ่มใยอาหารในผลิตภัณฑ์ขนมอบที่ระดับมากกว่า 7% จะมีผลให้ปริมาตรของผลิตภัณฑ์ลดลง ทั้งนี้เป็นเพราะสัดส่วนของกลูเตนมีปริมาณน้อยลง ดังนั้นในการเลือกชนิดของใยอาหารจึงควรเลือกชนิดที่มีปริมาณ Total Dietary Fiber (TDF) สูง ๆ เพื่อให้ผลิตภัณฑ์มีปริมาณใยอาหารในระดับที่ต้องการ โดยมีการเติมสารที่ให้ใยอาหารลงไปในปริมาณน้อยที่สุด ด้วยเหตุนี้เซลลูโลสผงจึงเป็นสารที่ได้รับความนิยมมากชนิดหนึ่ง เนื่องจากมีปริมาณ TDF สูงมาก การเติมเซลลูโลสลงในขนมอบไม่เพียงแต่เพิ่มปริมาณใยอาหารแต่ยังลดปริมาณแคลอรี่ลงอีกด้วย (Bry and Zabik, 1976)

2.7 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

มนต์สรวง ยางทอง และจำเริญศรี ถาวรสุวรรณ (2559) ทำการศึกษาองค์ประกอบทางเคมีและแร่ธาตุของสาหร่ายทะเล *Padina minor, Turbinaria ornata* และ *Dictyota ciliolata* มีปริมาณเยื่อใยสูงที่สุด (12.66 ± 0.35, 12.54 ± 0.28 และ 11.93 ± 0.66%)

วิทวัส จิรัฐพงศ์ และกฤษณเวช ทรงธนศักดิ์ (2554) ทำการศึกษาปริมาณเซลลูโลส เฮมิเซลลูโลสและลิกนิน จากของเหลือทิ้งจากพืชเพื่อใช้ในการผลิตแผ่นฟิล์มพลาสติกชีวภาพ โดยของเหลือทิ้งจากพืชที่นามาศึกษาคือคือ ต้นกก ชานอ้อย ซังข้าวโพด ฟางข้าว และกาบมะพร้าว โดยวิธี Neutral Detergent ในการสกัดและวิเคราะห์ปริมาณเซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส และลิกนิน จากการทดลองพบว่าชานอ้อยซังข้าวโพด ฟางข้าว ต้นกก กาบมะพร้าว ก้านกล้วย กากปาล์ม ใบคะน้า ใบสัปปะรด หญ้านวลจันทร์ และผักตบชวา มีปริมาณเซลลูโลสในช่วง 24.372 - 41.255% มีปริมาณเฮมิเซลลูโลสในช่วง 7.87 - 25.734% และมีปริมาณลิกนินในช่วง 14.9 - 25.36%

ศิริพงษ์ เปรมจิต และดวงพร เปรมจิต (2556) ทำการศึกษาเพื่อนำมวลของพืชเส้นใยไปใช้ในการผลิตไบโอเอทานอล โดยพืชที่นำมาใช้ ได้แก่ ปอคิวบา ปอแก้ว ปอกระเจา และปอสา ทำการวิเคราะห์ทางเคมี ได้แก่ กลูแคน ไซแลน กาแลคแตน ลิกนิน เถ้าและค่าของแข็งทั้งหมด พบว่าทุกพืชตัวอย่างมีค่ากลูแคนเป็นองค์ประกอบ 54.18 - 66.75% ปริมาณไซแลนในพืชตัวอย่างมีค่าประมาณ 6.48 - 11.89% ค่าลิกนินทั้งหมด 15.2 - 18.17% มีเถ้า 2.75 - 5.58% และของแข็งทั้งหมด 90.82 - 91.71%

สวรรยา ปัญญานันท์ และคณะ (2561) ศึกษาการเตรียมและการศึกษาสมบัติของเซลลูโลสจากกากมันสำปะหลังเพื่อการประยุกต์ใช้ในอาหาร โดยวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของเส้นใย ได้แก่ ปริมาณสารแทรก (solvent extractives) ลิกนิน โฮโลเซลลูโลส และแอลฟาเซลลูโลส ตาม

มาตรฐานการวิเคราะห์ของ Technical association of the pulp and paper industry (TAPPI) และคำนวณปริมาณเฮมิเซลลูโลสจากผลต่างระหว่างโฮโลเซลลูโลสและแอลฟาเซลลูโลส

Praveen *et al*. (2019) ได้ทำการรวบรวมข้อมูล เทคนิคการสกัดเส้นใย และการทำเส้นใยจากสาหร่ายทะเลให้บริสุทธิ์ของอาหาร มีการรายงานสาหร่ายสีน้ำตาลพบใยอาหารอยู่ในช่วง 10 – 75%ได้แก่ *Eisenia bicyclis* พบใยอาหาร 10 - 75% *Sargassum horneri* 42 - 55% และ *Undaria pinnatifida* 16 - 51% สาหร่ายสีเขียวพบใยอาหารอยู่ในช่วง 33 – 65% ตัวอย่างเช่น *Caulerpa racemosa* พบใยอาหาร 33 - 40% *Ulva rigida* 38 - 40% และ *Enteromorpha Compressa* 41.1 - 55.4% ส่วนสาหร่ายสีแดงพบใยอาหารในช่วง 22 - 64% ได้แก่ *Gracilaria verrucosa* พบใยอาหาร 50 - 56% *Porphyra* sp. 48.6% และ *Gracilaria changii* 22.7%

Praveen *et al*. (2019) ได้ทำการประเมินประสิทธิภาพการสกัดและลักษณะของใยอาหารจากสาหร่ายทะเลที่กินได้ในประเทศอินเดีย ได้แก่ *Sargassum wightii*, *Enteromorpha compressa* และ *Acanthophora spicifera* ที่สกัดด้วย enzyme aided extraction (EAE) พบว่า *E. compressa* แสดงปริมาณเส้นใยอาหารที่สูงขึ้นประมาณ 60.64 ± 2.2% ตามด้วย *S. wightii* 53.52 ± 1.5% และ *A. spicifera* 45.79 ± 3.1%

Gómez-Ordóñez *et al*. (2010) ได้ทำการศึกษาปริมาณใยอาหารทั้งหมดของสาหร่ายที่กินได้ในประเทศสเปน ได้แก่ สาหร่ายสีน้ำตาล 3 ชนิด คือ *Himanthalia elongate, Bifurcaria bifurcate* และ *Laminaria Saccharina* และสาหร่ายสีแดง 2 ชนิด *Mastocarpus stellatus* และ *Gigartina pistillata* พบว่าทุกตัวอย่างมีปริมาณเถ้า 24.9 – 36.4% โปรตีน 10.9 - 25.7% ใยอาหาร 29.3 - 37.4% ปริมาณเส้นใยที่ละลายน้ำ 39.1 – 74.7% และเส้นใยที่ไม่ละลายน้ำ 7.4 – 22.7% สาหร่ายเหล่านี้สามารถประเมินได้ว่าเป็นแหล่งใยอาหารโปรตีนและแร่ธาตุที่ดีสำหรับการบริโภคของมนุษย์

Chan and Matanjun (2017) ได้ทำการศึกษาองค์ประกอบทางเคมี คุณสมบัติในการกักเก็บน้ำ และการบวมน้ำของสาหร่ายสีแดง *Gracilaria changii* พบว่าสาหร่ายนี้มีใยอาหารสูง (64.74 ± 0.82%) ไขมันต่ำ (0.30 ± 0.02%) ส่วนคุณสมบัติทางเคมีฟิสิกส์ของสาหร่ายนี้คือการกักเก็บน้ำและความสามารถในการบวมนั้นมีคุณสมบัติเทียบเท่า กับผลิตภัณฑ์ที่อุดมด้วยไฟเบอร์ การศึกษานี้ชี้ให้เห็นว่า *G. changii* อาจใช้เป็นส่วนผสมในการปรับปรุงคุณค่าทางโภชนาการทางอาหารเพื่อการบริโภคของมนุษย์

Yaich *et al*. (2015) ได้ทำการศึกษาองค์ประกอบทางเคมีและคุณสมบัติเชิงหน้าที่ของใยอาหารที่สกัดโดยวิธี Englyst และ Prosky จากสาหร่าย *Ulva lactuca* ที่เก็บรวบรวมได้ในตูนิเซีย พบว่าวิธีสกัดทั้ง 2 วิธีนี้มีปริมาณเยื่อใยของ *U. lactuca* อยู่ประมาณ 54% อย่างไรก็ตามพบปริมาณเส้นใยที่ไม่ละลายน้ำและละลายน้ำได้แตกต่างกันเมื่อสกัดด้วยวิธี Prosky และ Englyst โดยมีปริมาณเส้นใยที่ละลายน้ำได้ 20.53% และ 31.55% และเส้นใยที่ไม่ละลายน้ำ 34.37% และ 21.54% ตามลำดับ นอกจากนี้ใยอาหารที่ไม่ละลายน้ำพบว่าเฮมิเซลลูโลสเป็นส่วนที่มีมากที่สุด (32.49%) รองลงมาคือเซลลูโลส (16.59%) และสารประกอบคล้ายลิกนิน (1.53%)

หยาดรุ้ง สุวรรณรัตน์ และคณะ (2560) ได้ศึกษา สมบัติทางกายภาพ และความสามารถในการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระของใยอาหารจากเปลือกทุเรียน ทำการทดลองโดยสกัดเปลือกทุเรียนด้วยน้ำกลั่นที่อัตราส่วน 1 : 1 , 1 : 2 และ 1 : 3 ที่อุณหภูมิ 60 และ 90 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5 10 และ 15 นาที พบว่า ใยอาหารที่เตรียมได้ด้วยการใช้น้ำที่ อัตราส่วน 1 : 1 ผ่านความ

ร้อน และกวนอย่างสม่ำเสมอที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5 นาที และทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง เป็นสภาวะที่เหมาะสมในการผลิตใยอาหารจากเปลือกทุเรียน ที่สภาวะนี้มีปริมาณใยอาหารทั้งหมด ใยอาหารที่ละลายน้ำได้ และใยอาหารที่ละลายน้ำไม่ได้ เท่ากับ 68.89±1.87,13.17±0.35 และ 55.73±2.21 กรัมต่อ 100 กรัม ตามลำดับ มีค่าการอุ้มน้ำ และค่าการอุ้มน้ำมัน เท่ากับ 9.48±0.31 และ 6.61±0.76 กรัมน้ำต่อกรัมตัวอย่างแห้ง ค่าสีของใยอาหารมีค่าความ สว่าง (L *) เท่ากับ 75.80±2.41 ค่าสีแดง (a*) เท่ากับ 3.73±0.56 และค่าสีเหลือง (b*) เท่ากับ 19.38±0.82 สำหรับค่าความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี DPPH (2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyl) พบว่ามีค่าร้อยละของการยับยั้ง เท่ากับ 82.43±1.52 และด้วยวิธี ORAC (Oxygen radical absorbance capacity) มีค่าเท่ากับ 24,308.96 μmoles TE ต่อ 100 กรัมน้ำหนักแห้ง

อนุสรา พลบจู และวิชมณี ยืนยงพุทธกาล (2561) ได้ศึกษาผลการเตรียมวัตถุดิบต่อคุณภาพของใยอาหารผงที่มีสารต้านอนุมูลอิสระจากเปลือกเสาวรสพันธุ์สีม่วง โดยนำเปลือกเสาวรสมาลวกในน้ำร้อน 90±2 องศาเซลเซียส 3 นาที แล้วแช่ในสารละลายเกลือโซเดียมคลอไรด์ 3 เปอร์เซ็นต์ 10 นาที ก่อนทำแห้งด้วยตู้อบลมร้อน ที่ 62 องศาเซลเซียส 300 นาที แล้วบดเป็นผง เปรียบเทียบกับผงเสาวรสที่ผลิตด้วยวิธีดั้งเดิมที่ไม่ผ่านการเตรียมวัตถุดิบ โดยนำเปลือกเสาวรสมาทำแห้งด้วยตู้อบลมร้อน ที่ 60 องศาเซลเซียส 400 นาที แล้วบดเป็นผง ผลการวิจัยพบว่า ใยอาหารผงที่มีสารต้านอนุมูลอิสระจากเปลือกเสาวรส มีปริมาณใยอาหารทั้งหมด (82.33 g/ 100g db) ปริมาณใยอาหารที่ไม่ละลายน้ำ (66.00 g/ 100g db) และ ปริมาณแอนโทไซยานิน (17.09 mg Cyn-3-Glu/100g db) มากกว่าผงเปลือกเสาวรส แต่ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด (65.38 mg GAE/100g db) สมบัติการต้านอนุมูลอิสระ (87.89%) น้อยกว่า ($p < .05$) และปริมาณใยอาหารที่ละลายน้ำ (14.56-16.32 g/100g db) ไม่แตกต่างกัน ($p \geq .05$) นอกจากนี้พบว่า ใยอาหารผงที่มีสารต้านอนุมูลอิสระมีรูพรุนมาก มีความสามารถในการอุ้มน้ำ (18.51 g water/g db) ความสามารถในการอุ้มน้ำมัน (3.58 g oil/g db) ความสามารถในการพองตัว (23.13 ml/g db) และความสามารถในการชะลอการดูดซับน้ำตาล (5.82-22.72%) มากกว่าผงเปลือกเสาวรส

3.วิธีการดำเนินการวิจัย

3.1 สถานที่ทำการวิจัย

3.1.1 ศูนย์วิจัยเทคโนโลยีทางทะเล มหาวิทยาลัยบูรพา วิทยาเขตจันทบุรี

3.1.2 ห้องปฏิบัติการเทคโนโลยีทางทะเล คณะเทคโนโลยีทางทะเล มหาวิทยาลัยบูรพา วิทยาเขตจันทบุรี

3.2 สาหร่ายที่ใช้ทำการวิจัย

สาหร่าย *Chaetomorpha* sp. *Gracilaria* sp. และ *Sargassum* sp.

3.3 วัสดุอุปกรณ์ และเครื่องมือ

3.3.1 วัสดุอุปกรณ์

- บีกเกอร์
- หลอดหยดสาร
- กระบอกตวง
- ผ้ากรองขนาด 16 µm
- น้ำกลั่น
- แท่งแก้วคนสาร
- ช้อนตักสาร
- กรรไกร
- ถุงมือ
- ถาดสแตนเลส
- ถุงซิปล็อก
- ผ้าสะอาด
- ขวดเก็บสารเคมี
- ปากคีบแสตนเลส
- กะละมัง
- ขวดสีชา
- ขวดปรับปริมาตร
- เทอร์โมมิเตอร์
- ถ้วยเผา
- กระดาษวัด pH
- โถดูดความชื้น
- จานเพาะเชื้อ

3.3.2 เครื่องมือ

- ตู้อบลมร้อน
- เครื่องวัด pH
- เครื่องให้ความร้อน
- เครื่องชั่งทศนิยม 4 ตำแหน่ง
- อ่างน้ำควบคุมอุณหภูมิ
- เครื่องปั่น
- เตาเผาความร้อนสูง
- Microplate Reader
- เครื่องเขย่าผสมสาร
- เครื่องกลั่นระเหยสารแบบหมุน
- เครื่องปั่นเหวี่ยงตกตะกอน
- หม้อนึ่งความดันไอน้ำ

3.3.3 สารเคมี

- Acetone
- Acid Detergent
- α-amylase
- Combined permanganate
- Decahydronaphthalene
- Demineralizing
- Ethanol
- Hydrogen peroxide
- Lignin buffer
- Neutral detergent
- Sodium chloride
- Sodium chlorite
- Sodium hydroxide
- Sodium sulfate
- Sulfuric acid
- Ethanol
- Iodine
- Folin-Ciocalteu reagent
- Sodium carbonate
- DPPH (1,1-diphenyl-2-picrylhydrazyl)
- BHT (Butylated hydroxytoluene)
- Ascorbic acid

- Sodium chlorite
- Standard Buffer Solution
- Gallic acid
- Sodium sulfate
- Methanol

3.4 วิธีดำเนินงาน

3.4.1 การวิเคราะห์ปริมาณเยื่อใยในสาหร่ายทะเลธรรมชาติ

นำสาหร่ายทะเล 3 ชนิด ได้แก่ สาหร่าย *Chaetomorpha* sp. *Gracilaria* sp. และ *Sargassum* sp. ไปตรวจวิเคราะห์ปริมาณใยอาหารทั้งหมด ใยอาหารที่ละลายน้ำได้ และใยอาหารที่ละลายน้ำไม่ได้ ด้วยวิธี In-house WI-TMC-76 based on AOAC (2016) 985.29 ที่ศูนย์บริการประกันคุณภาพอาหาร (FQA) สถาบันค้นคว้าและพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหาร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

3.4.2 การสกัดเยื่อใยจากสาหร่ายทะเล

นำตัวอย่างสาหร่ายมาล้างทำความสะอาดโดยล้างกับน้ำประปาประมาณ 5 นาที เพื่อล้างเกลือ และสิ่งสกปรก หลังจากนั้นนำสาหร่ายมาซับน้ำด้วยผ้าสะอาดแล้วนำสาหร่ายไปผึ่งในถาดโดยแผ่ออกไม่ให้ทับกันแน่นจนเกินไปแล้วนำเข้าตู้อบลมร้อนด้วยอุณหภูมิ 50 °C จนสาหร่ายแห้งและมีน้ำหนักคงที่ (จดบันทึกข้อมูล) นำสาหร่ายไปบดให้มีขนาดเล็ก จากนั้นเก็บในถุงซิปล็อก หลังจากนั้นจึงทำการสกัดเยื่อใยจากสาหร่ายทะเลมีหลักการที่แตกต่างกัน 3 วิธี ได้แก่

วิธีที่ 1 การสกัดด้วยน้ำร้อน
วิธีที่ 2 การสกัดด้วยด่างและตัวทำละลายอินทรีย์
วิธีที่ 3 การสกัดด้วยเอนไซม์
ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

3.4.2.1 การสกัดเยื่อใยจากสาหร่ายทะเลด้วยน้ำร้อน

การสกัดเยื่อใยจากสาหร่ายทะเลด้วยน้ำร้อน ดัดแปลงอุปกรณ์และเพิ่มปริมาตรสารละลายในการสกัด จากวิธีการของ อนุสรา พลบจู และวิชมณี ยืนยงพุทธกาล (2561) มีรายละเอียดดังนี้

3.4.2.1.1 นำสาหร่ายแห้งมาบดละเอียดมาแช่ในน้ำร้อนในอัตราส่วนสาหร่ายต่อน้ำเท่ากับ 3 : 45 (น้ำหนักต่อปริมาตร) ที่อุณหภูมิ 90 °C เป็นเวลา 3 นาที เมื่อครบกำหนดจึงกรองกากสาหร่ายออกแล้วนำมาแช่ในน้ำอุณหภูมิ 4 °C เป็นเวลา 2 นาที

3.4.2.1.2 กรองและนำกากสาหร่ายที่ได้มาแช่ในสารละลาย 3% NaCl เป็นเวลา 10 นาที ในอัตราส่วนสาหร่ายต่อสารละลายเท่ากับ 3 : 45 (น้ำหนักต่อปริมาตร)

3.4.2.1.3 กรองและนำกากสาหร่ายใส่จานเพาะเชื้อแล้วนำมาอบให้แห้งที่อุณหภูมิ 50 °C บดให้ตัวอย่างมีขนาดเล็กลง และเก็บในตู้แช่ที่อุณหภูมิ -20 °C

3.4.2.2 การสกัดเยื่อใยจากสาหร่ายทะเลด้วยตัวทำละลายอินทรีย์

การสกัดเยื่อใยจากสาหร่ายทะเลด้วยการใช้ตัวทำละลายอินทรีย์ ดัดแปลงอุปกรณ์และเพิ่มปริมาตรสารละลายในการสกัด จากวิธีการของ เหรียญทอง สิงห์จานุสงค์ และคณะ (2553) ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

3.4.2.2.1 ชั่งสาหร่ายแห้งนำไปแช่ในตัวทำละลายอินทรีย์ 95% Ethanol ในอัตราส่วนสาหร่ายต่อตัวทำละลายเท่ากับ 3 : 45 เป็นเวลา 16 ชั่วโมง เมื่อครบกำหนดจึงกรองตัวทำละลายทิ้ง นำกากสาหร่ายไปอบที่อุณหภูมิ 50 °C จนแห้ง

3.4.2.2.2 นำกากสาหร่ายมาผสมกับ 5% NaOH ในอัตราส่วนสาหร่ายต่อตัวทำละลายเท่ากับ 3 : 45 ที่ pH 12 เป็นเวลา 24 ชั่วโมง เมื่อครบเวลาจึงกรองแยกตะกอนและปรับ pH ให้เป็นกลาง

3.4.2.2.3 นำกากสาหร่ายมากำจัดสีออกโดยการแช่ 15% H_2O_2 (Hydrogen peroxide) ในอัตราส่วนสาหร่ายต่อตัวทำละลายเท่ากับ 3 : 45 เป็นเวลา 15 ชั่วโมง เมื่อครบกำหนดจึงกรองและล้างกากสาหร่ายด้วยน้ำกลั่น

3.4.2.2.4 นำกากสาหร่ายใส่จานเพาะเชื้อแล้วนำมาอบที่อุณหภูมิ 50 °C จนแห้ง และเก็บในตู้แช่ที่อุณหภูมิ -20 °C

3.4.2.3 การสกัดเยื่อใยจากสาหร่ายทะเลด้วยด้วยเอนไซม์

การสกัดเยื่อใยจากสาหร่ายทะเลโดยการใช้เอนไซม์ ซึ่งดัดแปลงอุปกรณ์ที่ใช้ในการสกัด จากวิธีการของ สวรรยา ปัญญานันท์ และคณะ (2561) มีรายละเอียดดังนี้

3.4.2.3.1 การเตรียมสาหร่ายที่ผ่านการสกัดแป้งออกด้วยวิธีทางเอนไซม์ ทำการสกัดแป้งที่เหลือออกจากกากสาหร่าย โดยใช้เอนไซม์แอลฟาอะไมเลส (α-amylase from malt) ที่อัตราส่วนกากสาหร่าย : น้ำ : เอนไซม์แอลฟาอะไมเลส เท่ากับ 5 กรัม : 75 มิลลิลิตร : 0.075 มิลลิลิตร ต้มจนมีอุณหภูมิ 95 - 100 °C

3.4.2.3.2 เติมเอนไซม์แอลฟาอะไมเลส ปรับ pH ให้เหมาะสมกับการทำงานของเอนไซม์ที่ pH 5.5 - 6 ทำปฏิกิริยา เป็นเวลา 2 ชั่วโมง

3.4.2.3.3 นำมาทำปฏิกิริยากับสารละลาย 2% NaOH ที่อัตราส่วนกากสาหร่ายต่อสารละลาย NaOH เท่ากับ 5 : 125 ทำปฏิกิริยาใน autoclave ที่อุณหภูมิ 120 °C เป็นเวลา 20 นาที เพื่อละลายเฮมิเซลลูโลสออกจากเส้นใย

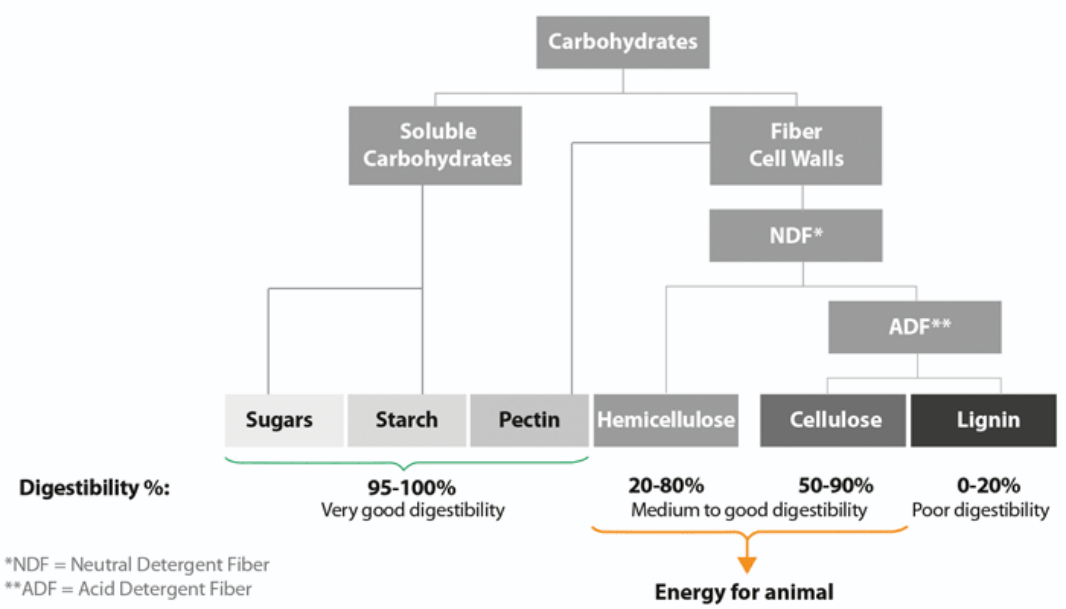
3.4.2.3.4 จากนั้นกรองและล้างจนน้ำล้างมีค่า pH เป็นกลาง นำกากสาหร่ายที่ผ่านการทำปฏิกิริยากับสารละลาย NaOH มากำจัดลิกนินออกจากกากสาหร่ายด้วยสารละลาย 0.4% $NaClO_2$ ทำปฏิกิริยาที่ pH 5 อุณหภูมิ 80 °C เป็นเวลา 4 ชั่วโมง ขั้นตอนนี้เรียกว่าการฟอกสี (bleaching) ทำปฏิกิริยาจนได้สารละลายเซลลูโลสที่มีสีขาว อัตราส่วนกากสาหร่ายต่อสารละลาย $NaClO_2$ เท่ากับ 5 : 125 และเติมสารละลาย $NaClO_2$ ทุก ๆ 1 ชั่วโมงจนถึงชั่วโมงที่สาม

3.4.2.3.5 ล้างและกรองกากสาหร่ายด้วยน้ำกลั่น นำกากสาหร่ายมาใส่จานเพาะเชื้อแล้วไปอบให้แห้งที่อุณหภูมิ 50 °C

การคำนวณปริมาณสารสกัด (นันทวดี ขำดี, 2551)

จากสูตร Yield Crude Extract (%) = $\frac{\text{น้ำหนักเฉลี่ยเยื่อใยที่สกัดได้ (กรัม)}}{\text{น้ำหนักเฉลี่ยตัวอย่างสาหร่าย (กรัม)}}$ X 100

การตรวจวิเคราะห์องค์ประกอบของเยื่อใยจากสาหร่ายทะเล



ภาพที่ 3-1 ประเภทของคาร์โบไฮเดรต
ที่มา: Ruminant Digestive System

3.4.3 การตรวจปริมาณ Neutral Detergent Fiber (NDF)

การตรวจปริมาณ Neutral Detergent Fiber (NDF) ในเยื่อใยสาหร่าย ดัดแปลงอุปกรณ์ที่ใช้ในการตรวจวิเคราะห์ จากวิธีการของ วิทวัส จิรัฐพงศ์ และ กฤษณเวช ทรงธนศักดิ์ (2554) อ้างอิงจาก Goreing and Van Soest (1970) ซึ่งการวิเคราะห์เยื่อใยโดยวิธี Neutral Detergent มีรายละเอียดดังนี้

3.4.3.1 ชั่งผงเยื่อใยที่ได้จากการสกัดแต่ละวิธี โดยใช้อัตราส่วน 1 กรัม : 100 มิลลิลิตร Neutral detergent : 0.5 กรัม Sodium sulfate : 2 มิลลิลิตร Decahydronaphthalene โดยเติมตามลำดับ

3.4.3.2 นำไปต้มเป็นเวลา 1 ชั่วโมงแล้วนำไปกรองด้วยผ้ากรอง ล้างตัวอย่างด้วยน้ำร้อน 7 - 8 ครั้ง แล้วล้างด้วยอะซิโตน 3 ครั้ง จนแห้ง

3.4.3.3 นำตัวอย่างใส่จานเพาะเชื้อแล้วนำไปอบที่ 100 °C เป็นเวลา 12 ชั่วโมง นำจานเพาะเชื้อออกมาวางให้เย็นในโถดูดความชื้น 24 ชั่วโมง แล้วชั่งน้ำหนัก น้ำหนักที่ได้คือ ปริมาณ Neutral Detergent Fiber (NDF) สามารถคำนวณ % NDF ดังสมการ

$$\text{NDF (\%)} = \frac{[(\text{น้ำหนักจานเพาะเชื้อ} + \text{น้ำหนัก NDF}) - \text{น้ำหนักจานเพาะเชื้อ}]}{\text{น้ำหนักตัวอย่าง}} \times 100$$

3.4.4 การวิเคราะห์เฮมิเซลลูโลสด้วยสารละลาย Acid Detergent

การวิเคราะห์เฮมิเซลลูโลสด้วยสารละลาย Acid Detergent ดัดแปลงอุปกรณ์ที่ใช้ในการตรวจวิเคราะห์ จากวิธีการของ วิทวัส จิรัฐพงศ์ และ กฤษณเวช ทรงธนศักดิ์ (2554) อ้างอิงจาก Goreing and Van Soest (1970) เกี่ยวกับการวิเคราะห์เยื่อใยโดยการใช้สารละลาย Acid Detergent ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

3.4.4.1 นำตัวอย่างที่ผ่านการสกัดด้วย Neutral detergent จากข้อ 3.4.3 มาทำการต้มด้วย Acid Detergent โดยใช้อัตราส่วน 1 กรัม : 20 มิลลิลิตร Acid Detergent โดยเติม Acid Detergent เป็นเวลา 1 ชั่วโมงหลังจากเดือด

3.4.4.2 กรองแล้วล้างด้วยน้ำร้อน 7 - 8 ครั้ง หลังจากนั้นล้างด้วย 80% เอทานอล ประมาณ 30 มิลลิลิตร 2 ครั้ง

3.4.4.3 นำตัวอย่างใส่จานเพาะเชื้อแล้วอบที่อุณหภูมิ 100 °C เป็นเวลา 12 ชั่วโมง แล้วนำไปวางให้เย็นในโถดูดความชื้นจากนั้นชั่งน้ำหนัก น้ำหนักที่ได้คือน้ำหนักของ Acid Detergent Fiber (ADF) โดยน้ำหนักที่แตกต่างระหว่าง NDF และ ADF คือน้ำหนักเฮมิเซลลูโลส สามารถคำนวณ % ADF และ % Hemicellulose ดังสมการ

$$\text{ADF (\%)} = \frac{[(\text{น้ำหนักจานเพาะเชื้อ} + \text{น้ำหนัก ADF}) - \text{น้ำหนักจานเพาะเชื้อ}]}{\text{น้ำหนักตัวอย่าง}} \times 100$$

$$\text{Hemicellulose (\%)} = \text{\% NDF} - \text{\% ADF}$$

3.4.5 วิธีวิเคราะห์ Permanganate Lignin (PML)

การตรวจปริมาณ Lignin ในเยื่อใยสาหร่าย ดัดแปลงอุปกรณ์ที่ใช้ในการตรวจวิเคราะห์ จากวิธีการของ วิทวัส จิรัฐพงศ์ และ กฤษณเวช ทรงธนศักดิ์ (2554) อ้างอิงจาก Goreing and Van Soest (1970) เกี่ยวกับการวิเคราะห์เยื่อใยโดยวิธี Neutral Detergent ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

3.4.5.1 นำตัวอย่างที่ได้จากข้อ 3.4.4 มาเติมสารละลาย โดยใช้อัตราส่วน 1 กรัม : 25 มิลลิลิตร Combined permanganate ผสมกันลงในบีกเกอร์ โดยวางบีกเกอร์ในถาดที่มีน้ำเย็นสูงประมาณ 2 เซนติเมตร คนด้วยแท่งแก้วทิ้งไว้ 45 นาที

3.4.5.2 กรองด้วยผ้ากรอง แล้วจึงเติมสารละลาย Demineralizing ลงในบีกเกอร์โดยใช้อัตราส่วน 1 กรัม : 25 มิลลิลิตร Demineralizing แต่ละบีกเกอร์ใช้เวลาประมาณ 5 นาที

3.4.5.3 กรองและทำซ้ำจนกว่าจะได้ตัวอย่างพืชสีขาวภายใน 20 นาที

3.4.5.4 กรองล้างด้วย 80% Ethanol 2 ครั้ง

3.4.5.5 นำตัวอย่างใส่จานเพาะเชื้อแล้วนำไปอบที่อุณหภูมิ 100°C เป็นเวลา 2 ชั่วโมง จากนั้นนำไปวางในโถดูดความชื้น รอให้เย็นแล้วชั่งน้ำหนัก น้ำหนักที่แตกต่างกันระหว่าง Acid Detergent Fiber (ADF) และน้ำหนักตัวอย่างสาหร่ายที่ผ่านการสกัดลิกนินออก (PML) คือน้ำหนักลิกนิน สามารถคำนวณ % Lignin ดังสมการ

$$\text{Lignin (\%)} = \frac{(A-B)}{C} \times 100$$

โดยที่ A = น้ำหนัก ADF

B = น้ำหนักตัวอย่างที่ผ่านการสกัดลิกนินออก (PML)

C = น้ำหนักตัวอย่าง

3.4.6 วิธีการวิเคราะห์หาเซลลูโลสโดยการเผาเถ้า

วิทวัส จิรัฐพงศ์ และ กฤษณเวช ทรงธนศักดิ์ (2554) อ้างอิงจาก Goreing and Van Soest (1970) เกี่ยวกับการวิเคราะห์เยื่อใยโดยวิธี Neutral Detergent ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

นำถ้วยเผาที่มีเยื่อใยสาหร่ายทะเลซึ่งผ่านการสกัดลิกนินออกแล้ว จากข้อ 3.4.5 ไปเผาในเครื่องเผาเถ้าที่ 500 °C เป็นเวลา 3 ชั่วโมง หลังจากนั้นนำไปวางในโถดูดความชื้นรอให้เย็นแล้วชั่งน้ำหนัก

$$\text{Cellulose (\%)} = \frac{(B-D)}{C} \times 100$$

โดยที่ B = น้ำหนักตัวอย่างที่ผ่านการสกัดลิกนินออก (PML)

D = น้ำหนักเถ้า

C = น้ำหนักตัวอย่าง

3.4.7 การตรวจวิเคราะห์หาปริมาณสารต้านอนุมูลอิสระ

3.4.7.1 การหาปริมาณฟีนอลทั้งหมดด้วยวิธี Folin-Ciocalteu

ดัดแปลงวิธีการจาก วสันต์ สุมินทิลี่ และคณะ (2557) และ Chew *et al*. (2008)

3.4.7.1.1 นำสารสกัดหยาบจากสาหร่าย 20 µl มาทำปฏิกิริยากับ Folin-Ciocalteu reagent 100 µl และน้ำกลั่น 1.6 ml

3.4.7.1.2 จากนั้นใส่สารละลาย 10% Na_2CO_3 300 µl แล้วเก็บไว้ในที่มืดที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 30 นาที

3.4.7.1.3 หลังจากนั้นวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ 765 nm นำค่าดูดกลืนแสงที่ได้เปรียบเทียบกับ Gallic acid มาตรฐาน คำนวณค่าตามสูตร

$$C = C_1 \times \frac{V}{m}$$

เมื่อ C คือ ปริมาณฟีนอลทั้งหมด (mg_GAE/g)

C_1 คือ ความเข้มข้นของ Gallic acid ที่คำนวณได้จากสมการเส้นตรง (mg/ml)

V คือ ปริมาณสารสกัด (ml)

m คือ น้ำหนักแห้งของสาหร่าย (g)

3.4.7.2 ทดสอบฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระโดยใช้วิธี DPPH free radical scavenging activity

3.4.7.2.1 ทดสอบฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระของสารมาตรฐาน

ดัดแปลงมาจากวิธีของ Fenglin *et al.* (2004)

3.4.7.2.1.1 นำวิตามินซี และ BHT ที่ความเข้มข้น 100 µg/ml มาเจือจางให้มีความเข้มข้น 50–0.390625 µg/ml

3.4.7.2.1.2 ใส่ลงใน microtiter plate 96-well โดยเริ่มจากการเติมวิตามินซีลงใน A1-A3 200 µl และเติม BHT ลงใน A4-A6 200 µl

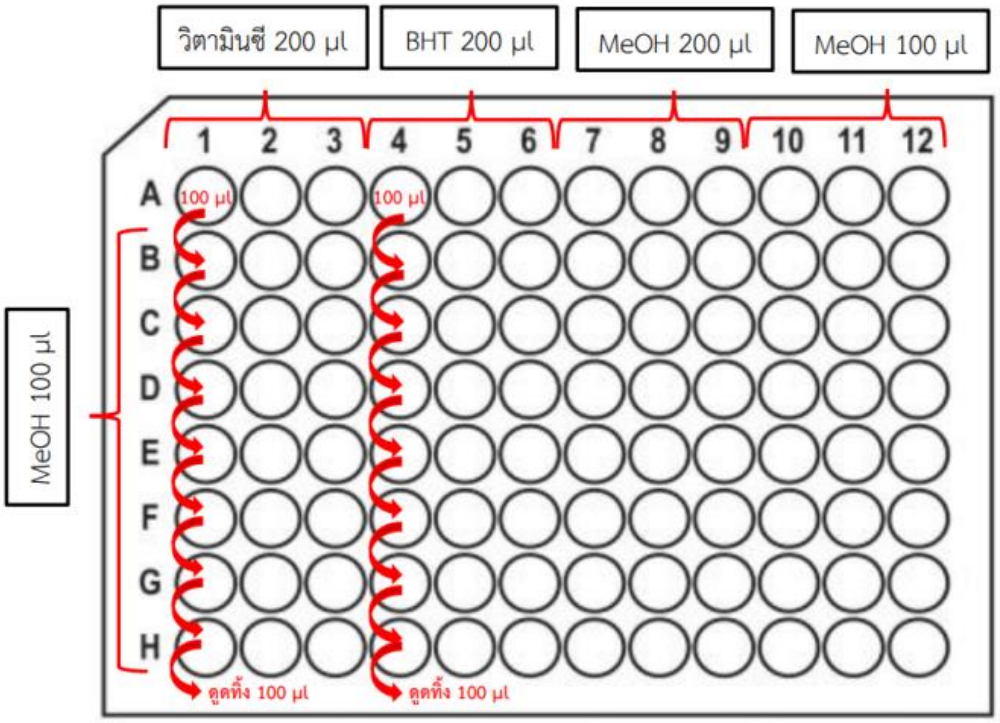
3.4.7.2.1.3 จากนั้นเติม MeOH ลงใน A7–A9 200 µl และเติมลงใน A10–A12 100 µl ก่อนจะเติม MeOH อีกครั้งใน B1–B6 จนถึง H1–H6 100 µl

3.4.7.2.1.4 แล้วทำการเจือจางวิตามินซี และ BHTในแถว A ลงในแถว B ที่มี MeOH อยู่ 100 µl โดยดูดจาก A1–A6 ลงใน B1–B6 100 µl เจือจางจนถึง H แล้วดูดทิ้งไป 100 µl

3.4.7.2.1.5 แล้วเติม DPPH ลงใน A1–A6 จนถึง H1–H6 100 µl และเติมลงใน A10–A12 100 µl แล้วเก็บในที่มืด 30 นาที

3.4.7.2.1.6 นำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 517 nm และนำไปคำนวณหาเปอร์เซ็นต์ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ จากสมการ

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



ภาพที่ 3-2 Plate diagram วิธี DPPH free radical scavenging activity

3.4.7.2.2 ทดสอบฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระของสารตัวอย่าง

ดัดแปลงมาจากวิธีของ Fenglin *et al.* (2004)

3.4.7.2.2.1 นำสารสกัดหยาบจากสาหร่ายมาเจือจางที่ระดับความเข้มข้น 19,200 µg/ml ด้วยสารละลาย MeOH

3.4.7.2.2.2 นำมาทำปฏิกิริยากับ DPPH โดยการใส่ลงใน microtiter plate 96-well โดยเริ่มจากเติมสารสกัด ลงใน A1–A6 200 µl แล้วเติม MeOH ลงใน B1–B6 100 µl จนถึง H1–H6

3.4.7.2.2.3 ทำการเจือจางสารตัวอย่างในแถว A ลงในแถว B ที่มี MeOH อยู่ 100 µl โดยดูดจาก A1–A6 ลงใน B1–B6 100 µl เจือจางจนถึง H แล้วดูดทิ้งไป 100 µl

3.4.7.2.2.4 แล้วเติม DPPH ลงใน A1–A3จนถึง H1–H3 100 µl แล้วเก็บในที่มืด 30 นาที

3.4.7.2.2.5 นำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 517 nm และนำไปคำนวณหาเปอร์เซ็นต์ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ จากสมการ

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

3.4.8 การตรวจสอบคุณสมบัติทางเคมี และกายภาพ

การตรวจสอบคุณสมบัติทางเคมี

3.4.8.1 การวิเคราะห์ปริมาณความชื้น

ดำเนินตามวิธีการของ AOAC (2000)

3.4.8.1.1 อบภาชนะสำหรับหาความชื้นในตู้อบไฟฟ้า ที่อุณหภูมิ 105°C เป็นเวลา 3 ชั่วโมง จากนั้นนำออกมาใส่ในโถดูดความชื้น ปล่อยทิ้งไว้ จนอุณหภูมิของภาชนะลดลงเท่ากับอุณหภูมิห้อง แล้วชั่งน้ำหนัก

3.4.8.1.2 ทำซ้ำเหมือนกับข้อ 3.6.4.4.1 จนได้ผลต่างของน้ำหนักที่ชั่งทั้ง 2 ครั้ง ติดกันไม่เกิน 1-3 mg

3.4.8.1.3 ชั่งตัวอย่างเยื่อใยให้ได้น้ำหนักที่แน่นอน 1 g ใส่ลงในภาชนะหาความชื้น ที่ทราบน้ำหนักแน่นอนแล้ว นำไปอบในตู้อบไฟฟ้า ที่อุณหภูมิ 105°C เป็นเวลา 6 ชั่วโมง

3.4.8.1.4 เมื่อครบกำหนด นำออกมาใส่ในโถดูดความชื้น ชั่งภาชนะพร้อมตัวอย่าง

3.4.8.1.5 จากนั้นนำไปอบอีก และทำเหมือนเดิม จนได้ผลต่างของน้ำหนักแห้งที่ชั่งทั้ง 2 ครั้ง ติดกันไม่เกิน 1-3 mg

คำนวณจากสูตร $$M = \frac{w_1 - w_2}{w_1} \times 100$$

เมื่อ M = ปริมาณความชื้น (ร้อยละ)

W_1 = น้ำหนักตัวอย่างก่อนอบ (g)

W_2 = น้ำหนกตัวอย่างหลังอบ (g)

3.4.8.2 การวัดค่า pH

ดำเนินตามวิธีการของ Grigelmo-Miguel *et al*. (1999)

3.4.8.2.1 นำตัวอย่างเยื่อใยสาหร่ายทะเลแห้ง หนัก 1 g ลงใน Beaker แล้ว เติมน้ำกลั่น DI 10 ml

3.4.8.2.2 นำมาวัดความเป็นกรดด่าง โดยใช้ pH meter ที่ผ่านการปรับด้วย Standard Buffer Solution pH 4.0 และ 7.0

การตรวจสอบคุณสมบัติทางกายภาพ

3.4.8.3 การวิเคราะห์ความสามารถในการอุ้มน้ำ

ดัดแปลงวิธีการจาก Chen et al. (1988)

3.4.8.3.1 นำตัวอย่าง 0.25 g ผสมกับน้ำกลั่น 25 ml ในหลอดหมุนเหวี่ยง

3.4.8.3.2 เขย่าผสมให้เข้ากัน ที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 60 นาที

3.4.8.3.3 นำไปหมุนเหวี่ยงที่ 10,000 xg เป็นเวลา 15 นาที

3.4.8.3.4 ถ่ายลงภาชนะที่ทราบน้ำหนักแน่นอนแล้ว นำไปอบในตู้อบไฟฟ้า ที่อุณหภูมิ 105°C เป็นเวลา 6 ชั่วโมง

3.4.8.3.5 เมื่อครบกำหนด นำออกมาใส่ในโถดูดความชื้น ชั่งภาชนะพร้อมตัวอย่าง

3.4.8.3.6 จากนั้นนำไปอบอีก และทำเหมือนเดิม จนได้ผลต่างของน้ำหนักแห้งที่ชั่งทั้ง 2 ครั้ง ติดกันไม่เกิน 1-3 mg

คำนวณจากสูตร $$WHC = \frac{(w_1 - w_2)}{w_1}$$

เมื่อ WHC = ความสามารถในการอุ้มน้ำ ($g_{น้ำ}/g_{ของแข็ง}$)

W_1 = น้ำหนักตัวอย่างก่อนอบ (g)

W_2 = น้ำหนกตัวอย่างหลังอบ (g)

3.5 การวิเคราะห์ข้อมูล

วิเคราะห์ผลทางสถิติด้วยวิธีวิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of Variance, ANOVA) และเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยระหว่างชุดการทดลองโดยวิธี Duncan's New Multiple Range Test ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

4. ผลการวิจัย

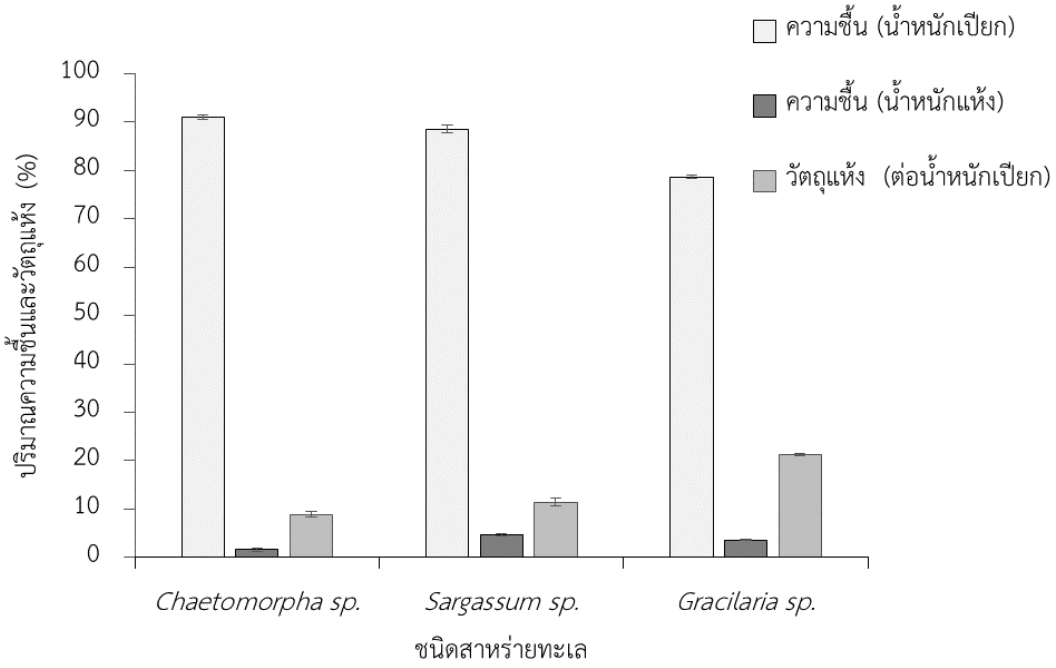
4.1 ปริมาณความชื้น-วัตถุแห้ง และปริมาณเยื่อใยในสาหร่ายทะเล

ปริมาณความชื้นในสาหร่ายทะเล 3 ชนิด ได้แก่ *Chaetomorpha* sp. *Sargassum* sp. และ *Gracilaria* sp. พบว่าในสาหร่าย *Chaetomorpha* sp. มีความชื้นแบบเปียก (wet basis) ถึง 91.06 ± 0.52% ตามด้วยสาหร่าย *Sargassum* sp. และ *Gracilaria* sp. โดยมีค่า 88.56 ± 0.86 และ 78.68 ± 0.26% ตามลำดับ พบความชื้นแบบแห้ง (dry basis) สูงในสาหร่าย *Sargassum* sp. 4.73 ± 0.22% ตามด้วยสาหร่าย *Gracilaria* sp. 3.64 ± 0.20% และ *Chaetomorpha* sp. 1.58 ± 0.36% ตามลำดับ และปริมาณวัตถุแห้งในสาหร่ายแต่ละชนิดพบปริมาณวัตถุแห้งสูงที่สุดในสาหร่าย *Gracilaria* sp. โดยมีค่าสูง 21.32 ± 0.26% แตกต่างจากชุดทดลองอื่นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) ตามด้วยสาหร่าย *Sargassum* sp. 11.44 ± 0.86% และสาหร่าย *Chaetomorpha* sp. 8.94 ± 0.52% ตามลำดับ แสดงผลการทดลองดังตารางที่ 4-1 และภาพที่ 4-1

ตารางที่ 4-1 ปริมาณความชื้นและวัตถุแห้งในสาหร่ายทะเล

ปริมาณความชื้นและวัตถุแห้ง (Mean ± Standard deviation)			
Condition	ชนิดสาหร่าย		
	Chaetomorpha sp.	*Sargassum* sp.	*Gracilaria* sp.
%ความชื้น (น้ำหนักเปียก)	91.06 ± 0.52[a]	88.56 ± 0.86[b]	78.68 ± 0.26[c]
%ความชื้น (น้ำหนักแห้ง)	1.58 ± 0.36[c]	4.73 ± 0.22[a]	3.64 ± 0.20[b]
วัตถุแห้ง (% ต่อน้ำหนักเปียก)	8.94 ± 0.52[c]	11.44 ± 0.86[b]	21.32 ± 0.26[a]

หมายเหตุ ตัวอักษรที่แตกต่างกันในแนวนอน หมายถึง ความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)



ภาพที่ 4-1 ปริมาณความชื้นและวัตถุแห้งในสาหร่ายทะเล (%)

การตรวจสอบปริมาณเยื่อใยในสาหร่ายทะเล *Gacilaria* sp. *Chaetomorpha* sp. และ *Sargassum* sp. ตามธรรมชาติด้วยวิธี In-house WI-TMC-76 based on AOAC (2016) 985.29 ก่อนที่จะนำสาหร่ายทั้ง 3 ชนิดมาทำการสกัดเยื่อใยแบบหยาบพบว่า *Gracilaria* sp มีปริมาณเยื่อรวมทั้งหมดสูงสุด 55.58 % รองลงมาคือสาหร่าย *Sargassum* sp. (49.00%) และ *Chaetomorpha* sp. (36.42%) เมื่อนำปริมาณเยื่อรวมทั้งหมดมาแจกแจงเป็นกลุ่มเยื่อใยที่ละลายและกลุ่มที่ไม่ละลายน้ำพบว่า *Gracilaria* sp. มีปริมาณกลุ่มเยื่อใยที่ละลาย และกลุ่มที่ไม่ละลายน้ำสูงสุด 6.97 และ 48.61% ตามลำดับ รองลงมาคือสาหร่าย *Sargassum* sp. และ *Chaetomorpha* sp. ตามลำดับ ดังตารางที่ 4-2

ตารางที่ 4-2 ปริมาณเยื่อใยในสาหร่ายทะเลธรรมชาติ

ปริมาณเยื่อใย	**ชนิดสาหร่าย**		
(g/100g)	***Gacilaria* sp.**	***Chaetomorpha* sp.**	***Sargassum* sp.**
Total Dietary Fiber	55.58	36.42	49.00
Soluble Dietary Fiber	6.97	7.47	7.75
Soluble Dietary Fiber	48.61	28.95	41.25

4.2 การวิเคราะห์องค์ประกอบในสาหร่ายทะเลขนาดใหญ่

4.2.1 การวิเคราะห์หาปริมาณ Neutral Detergent Fiber (NDF)

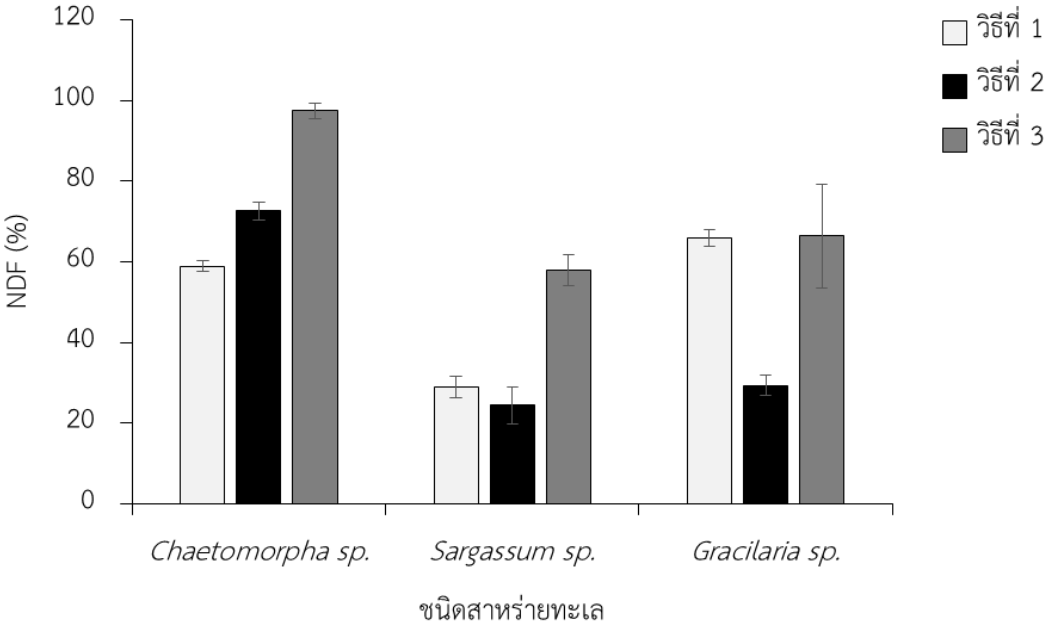
เมื่อตรวจสอบปริมาณเยื่อใยสาหร่ายทะเล 3 ชนิด ได้แก่ *Chaetomorpha* sp. *Sargassum* sp. และ *Gracilaria* sp. ที่ได้จากวิธีการสกัดที่แตกต่างกันดังนี้ 1) การสกัดด้วยน้ำร้อน วิธีที่ 2) การสกัดด้วยตัวทำละลายอินทรีย์ และวิธีที่ 3) การสกัดด้วยเอนไซม์ แล้วนำเยื่อใยสาหร่ายทะเลที่ได้มาทำการวิเคราะห์หาปริมาณ NDF พบว่าชนิดและวิธีการสกัดที่แตกต่างกันมีผลต่อปริมาณ NDF โดยปริมาณ NDF ส่วนใหญ่พบมากสุดจากการสกัดวิธีที่ 3 โดยในสาหร่ายทั้ง 3 ชนิดมีค่า NDF อยู่ในช่วง 58.05 ± 3.87 ถึง 97.52 ± 1.89% และสาหร่ายที่พบปริมาณ NDF สูงที่สุดส่วนใหญ่ได้แก่ สาหร่าย *Chaetomorpha* sp. ในการสกัดวิธีที่ 2 และ 3 โดยมีค่า 72.65 ± 2.16 และ 97.52 ± 1.89% ตามลำดับ ซึ่งมีค่าสูงแตกต่างจากสาหร่ายชนิดอื่นที่สกัดด้วยวิธีเดียวกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) แสดงผลการทดลองดังตารางที่ 4-3 และภาพที่ 4-3, 4-4

ตารางที่ 4-3 ปริมาณ NDF ที่ได้จากวิธีการสกัดที่แตกต่างกัน

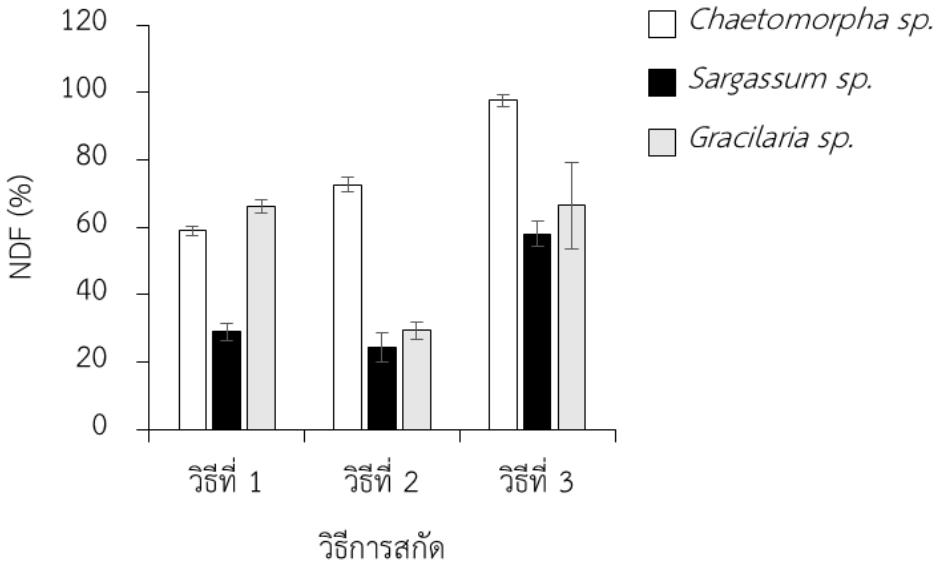
ปริมาณ NDF (% ต่อน้ำหนักแห้ง) (Mean ± Standard deviation)			
ชนิดสาหร่าย	วิธีการสกัด		
	วิธีที่ 1	วิธีที่ 2	วิธีที่ 3
Chaetomorpha sp.	58.95 ± 1.33^{b,ค}	72.65 ± 2.16^{a,ข}	97.52 ± 1.89^{a,ก}
Sargassum sp.	28.97 ± 2.61^{c,ข}	24.40 ± 4.47^{b,ข}	58.05 ± 3.87^{b,ก}
Gracilaria sp.	66.02 ± 2.02^{a,ก}	29.35 ± 2.50^{b,ข}	66.50 ± 12.84^{b,ก}

หมายเหตุ ตัวอักษร ก, ข, ค... ที่แตกต่างกันในแนวนอนหมายถึงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

ตัวอักษร a, b, c... ที่แตกต่างกันในแนวตั้งหมายถึงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)



ภาพที่ 4-2 ปริมาณ NDF ของสาหร่ายทะเลชนิดที่แตกต่างกัน (%)



ภาพที่ 4-3 ปริมาณ NDF ที่ได้จากวิธีการสกัดที่แตกต่างกัน (%)

4.2.2 การวิเคราะห์หาปริมาณ Acid Detergent Fiber (ADF)

นำ NDF ที่ได้จากการสกัด 3 วิธี มาวิเคราะห์หา ADF ด้วยวิธี Detergent Method พบว่าชนิดและวิธีการสกัดที่แตกต่างกันมีผลต่อปริมาณ ADF โดยปริมาณ ADF ส่วนใหญ่พบมากที่สุดจากการสกัดวิธีที่ 3 โดยในสาหร่ายทั้ง 3 ชนิดมีค่า ADF อยู่ในช่วง 42.50 ± 1.64 ถึง 88.41 ± 5.59% และสาหร่ายที่พบปริมาณ ADF สูงที่สุด ได้แก่ สาหร่าย *Chaetomorpha* sp. โดยมีค่าอยู่

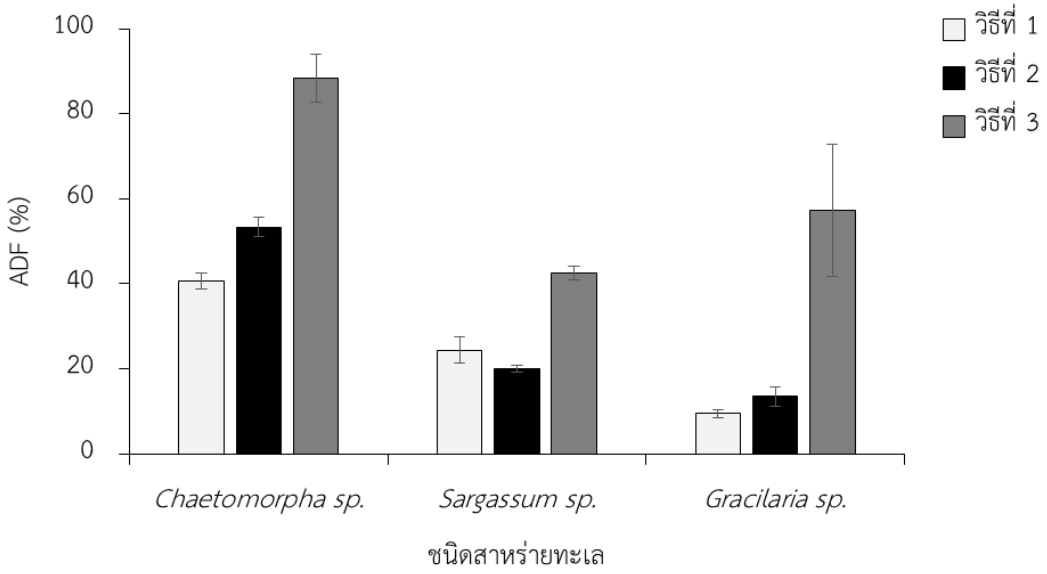
ในช่วง 40.55 ± 1.89 ถึง 88.41 ± 5.59% ซึ่งมีค่าสูงแตกต่างจากสาหร่ายชนิดอื่นที่สกัดด้วยวิธีเดียวกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) แสดงผลการทดลองดังตารางที่ 4-4 และภาพที่ 4-4, 4-5

ตารางที่ 4-4 ปริมาณ ADF ที่ได้จากวิธีการสกัดที่แตกต่างกัน

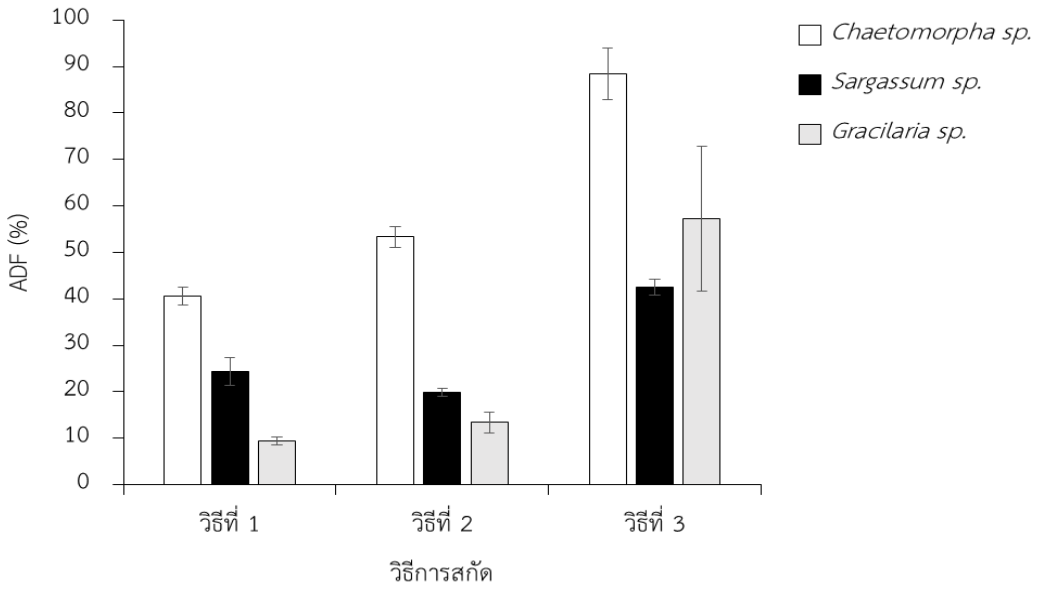
ปริมาณ ADF (% ต่อน้ำหนักแห้ง) (Mean ± Standard deviation)			
ชนิดสาหร่าย	วิธีการสกัดที่ 1	วิธีการสกัดที่ 2	วิธีการสกัดที่ 3
Chaetomorpha sp.	$40.55 \pm 1.89^{a,ค}$	$53.33 \pm 2.23^{a,ข}$	$88.41 \pm 5.59^{a,ก}$
Sargassum sp.	$24.40 \pm 3.00^{b,ข}$	$19.96 \pm 0.88^{b,ค}$	$42.50 \pm 1.64^{b,ก}$
Gracilaria sp.	$9.42 \pm 0.92^{c,ข}$	$13.44 \pm 2.25^{c,ข}$	$57.31 \pm 15.63^{b,ก}$

หมายเหตุ ตัวอักษร ก, ข, ค... ที่แตกต่างกันในแนวนอนหมายถึงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

ตัวอักษร a, b, c... ที่แตกต่างกันในแนวตั้งหมายถึงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)



ภาพที่ 4-4 ปริมาณ ADF ของสาหร่ายทะเลชนิดที่แตกต่างกัน (%)



ภาพที่ 4-5 ปริมาณ ADF ที่ได้จากวิธีการสกัดที่แตกต่างกัน (%)

4.2.3 การวิเคราะห์หาปริมาณ Hemicellulose

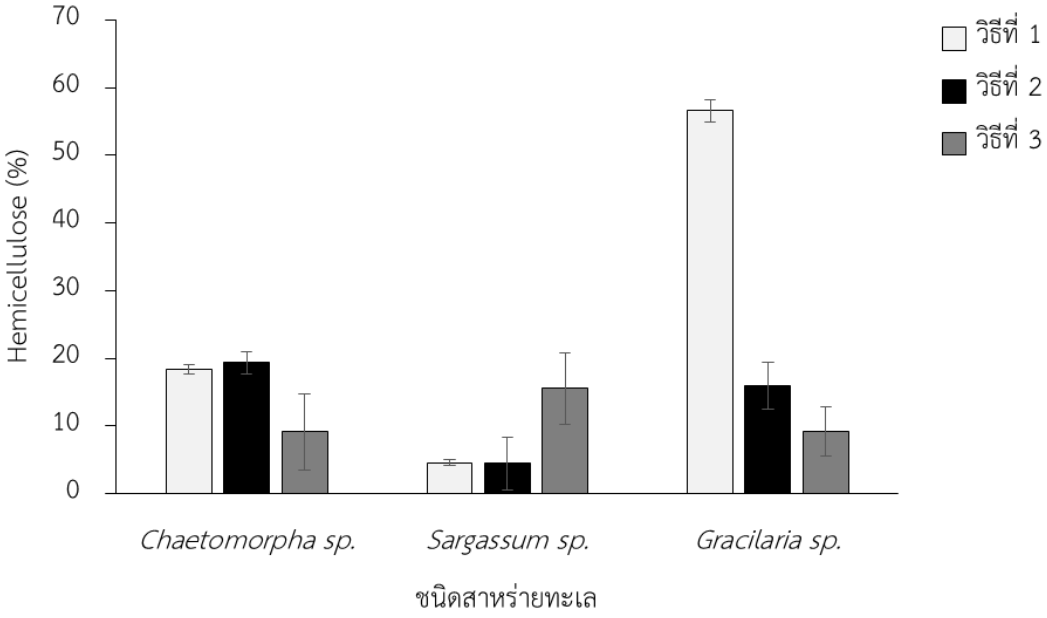
การวิเคราะห์หาปริมาณเฮมิเซลลูโลสจากสาหร่ายทะเลสามารถหาได้จากผลต่างระหว่างNDF และADF พบว่าชนิดและวิธีการสกัดที่แตกต่างกันมีผลต่อปริมาณเฮมิเซลลูโลส โดยพบปริมาณเฮมิเซลลูโลสต่ำที่สุดส่วนใหญ่คือการสกัดด้วยวิธีที่ 3 ซึ่งมีค่าต่ำอยู่ในช่วง 9.11 ± 5.58 ถึง 15.55 ± 5.28% โดยมีค่าต่ำไม่แตกต่างจากสาหร่ายชนิดอื่นที่สกัดด้วยวิธีเดียวกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) และในสาหร่ายที่พบปริมาณเฮมิเซลลูโลสต่ำที่สุดส่วนใหญ่ได้แก่สาหร่าย *Sargassum* sp. พบว่ามีค่า 4.57 ± 0.44 และ 4.44 ± 3.90% จากการสกัดด้วยวิธีการที่ 1 และ 2 ตามลำดับ โดยมีค่าต่ำไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) แสดงผลการทดลองดังตารางที่ 4-5 และภาพที่ 4-6, 4-7

ตารางที่ 4-5 ปริมาณ Hemicellulose ที่ได้จากวิธีการสกัดที่แตกต่างกัน

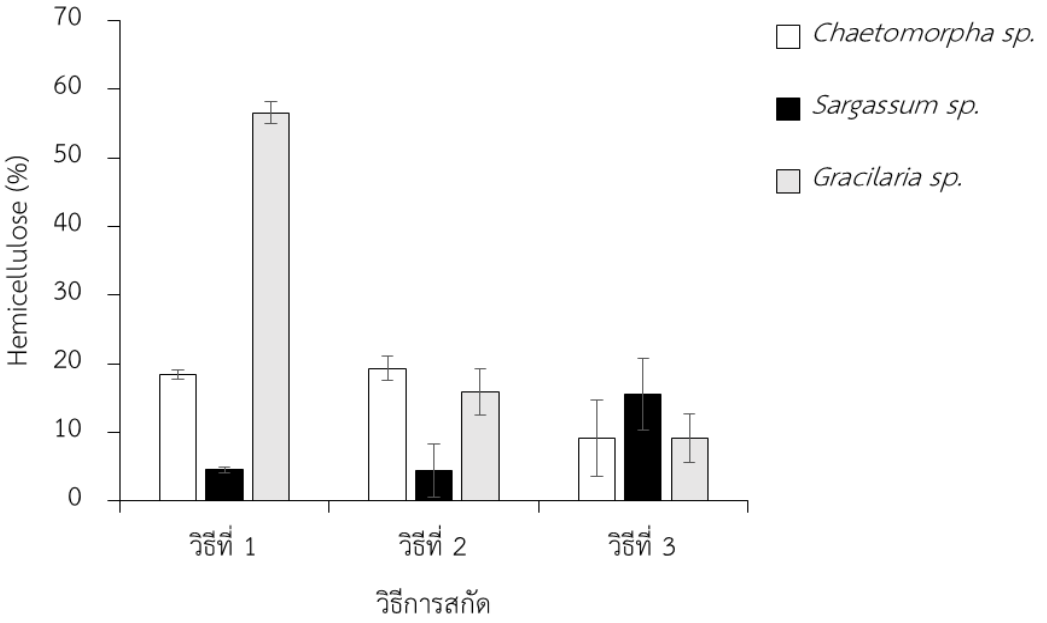
ปริมาณ Hemicellulose (% ต่อน้ำหนักแห้ง) (Mean ± Standard deviation)			
ชนิดสาหร่าย	วิธีการสกัด		
	วิธีที่ 1	วิธีที่ 2	วิธีที่ 3
Chaetomorpha sp.	$18.40 \pm 0.68^{b,ก}$	$19.32 \pm 1.73^{a,ก}$	$9.11 \pm 5.58^{a,ข}$
Sargassum sp.	$4.57 \pm 0.44^{c,ข}$	$4.44 \pm 3.90^{b,ข}$	$15.55 \pm 5.28^{a,ก}$
Gracilaria sp.	$56.61 \pm 1.62^{a,ก}$	$15.92 \pm 3.42^{a,ข}$	$9.19 \pm 3.57^{a,ค}$

หมายเหตุ ตัวอักษร ก, ข, ค... ที่แตกต่างกันในแนวนอนหมายถึงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทาง สถิติ ($p<0.05$)

ตัวอักษร a, b, c... ที่แตกต่างกันในแนวตั้งหมายถึงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)



ภาพที่ 4-6 ปริมาณ Hemicellulose ของสาหร่ายทะเลชนิดที่แตกต่างกัน (%)



ภาพที่ 4-7 ปริมาณ Hemicellulose ที่ได้จากวิธีการสกัดที่แตกต่างกัน (%)

4.2.4 การวิเคราะห์หาปริมาณ Lignin

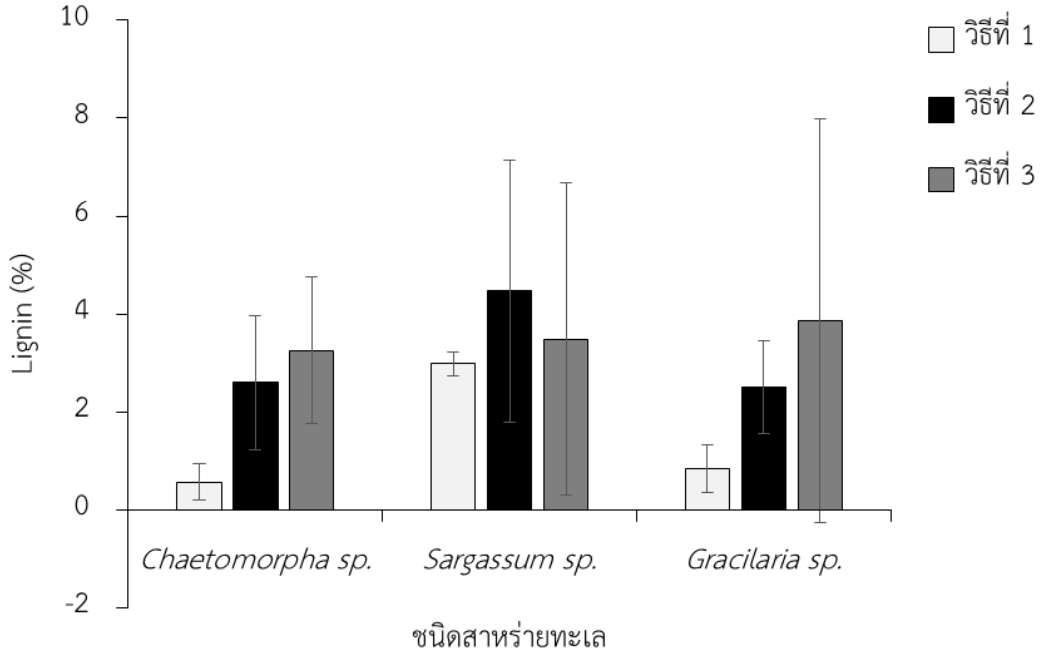
นำปริมาณสาหร่ายที่เหลือจากการวิเคราะห์ ADF มาตรวจสอบปริมาณลิกนินต่อ พบว่าชนิดและวิธีการสกัดที่แตกต่างกันส่วนใหญ่ไม่มีผลต่อปริมาณลิกนินของสาหร่ายทะเลทั้ง 3 ชนิด ยกเว้น *Chaetomorpha* sp. ที่สกัดด้วยวิธีที่ 1 โดยปริมาณลิกนินต่ำสุดส่วนใหญ่พบได้ในการสกัดวิธีที่ 1 ในสาหร่าย *Chaetomorpha* sp. (0.57 ± 0.37%) และ *Gracilaria* sp. (0.83 ± 0.48%) โดยมีค่าต่ำไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) แสดงผลการทดลองดังตารางที่ 4-6 และภาพที่ 4-8, 4-9

ตารางที่ 4-6 ปริมาณ Lignin ที่ได้จากวิธีการสกัดที่แตกต่างกัน

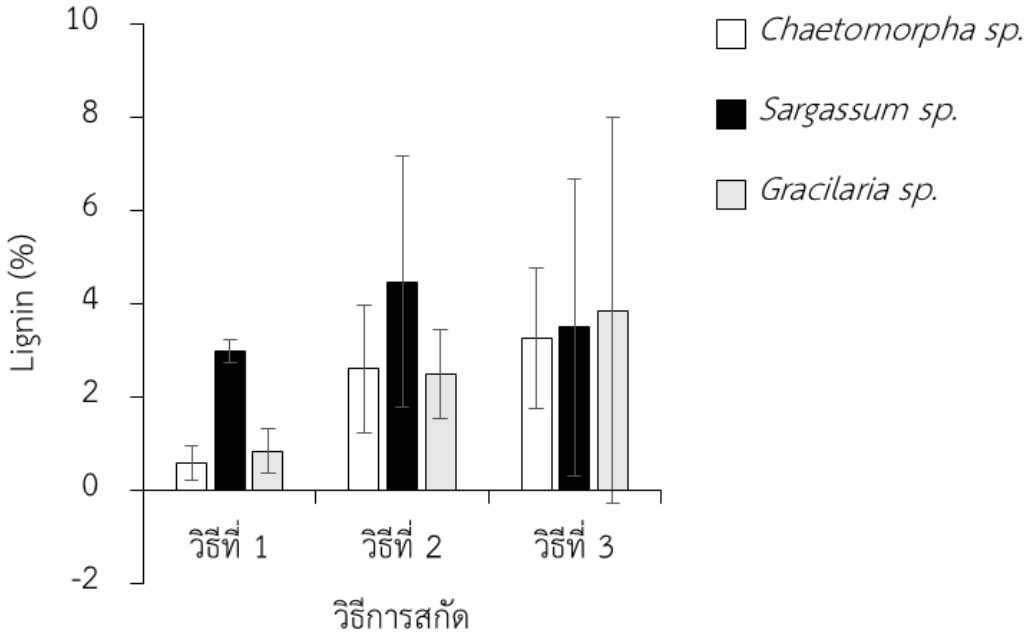
ปริมาณ Lignin (% ต่อน้ำหนักแห้ง) (Mean ± Standard deviation)			
ชนิดสาหร่าย	วิธีการสกัด		
	วิธีที่ 1	วิธีที่ 2	วิธีที่ 3
Chaetomorpha sp.	$0.57 \pm 0.37^{b,ข}$	$2.60 \pm 1.37^{a,กข}$	$3.26 \pm 1.50^{a,ก}$
Sargassum sp.	$2.99 \pm 0.25^{a,ก}$	$4.47 \pm 2.68^{a,ก}$	$3.49 \pm 3.18^{a,ก}$
Gracilaria sp.	$0.83 \pm 0.48^{b,ก}$	$2.50 \pm 0.95^{a,ก}$	$3.85 \pm 4.13^{a,ก}$

หมายเหตุ ตัวอักษร ก, ข, ค... ที่แตกต่างกันในแนวนอนหมายถึงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

ตัวอักษร a, b, c... ที่แตกต่างกันในแนวตั้งหมายถึงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)



ภาพที่ 4-8 ปริมาณ Lignin ของสาหร่ายทะเลชนิดที่แตกต่างกัน (%)



ภาพที่ 4-9 ปริมาณ Lignin ที่ได้จากวิธีการสกัดที่แตกต่างกัน (%)

4.2.5 การวิเคราะห์หาปริมาณ Cellulose

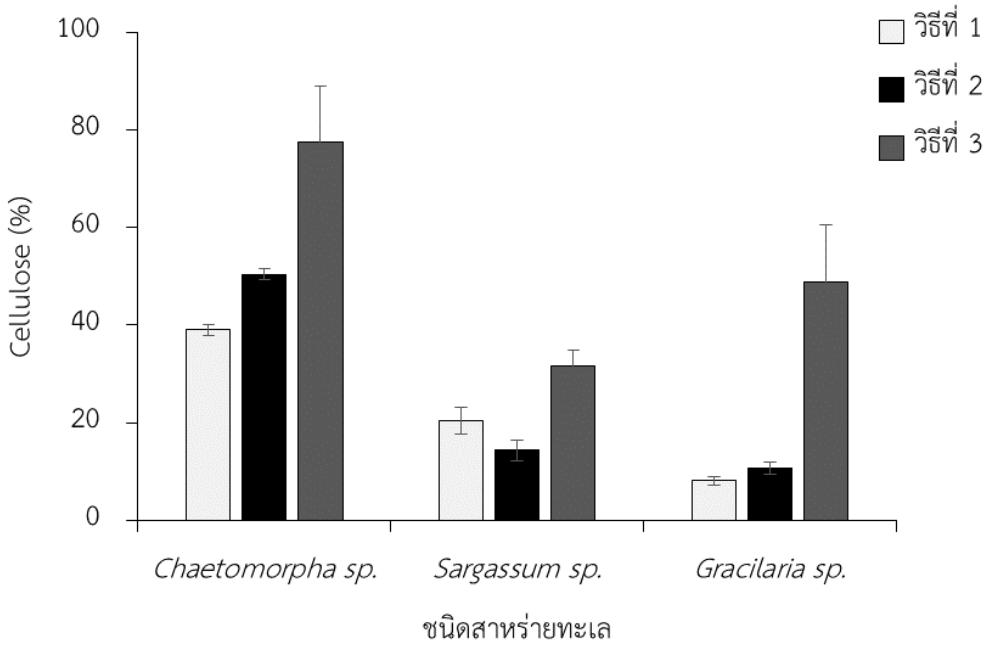
การวิเคราะห์หาปริมาณเซลลูโลสจากสาหร่ายทะเล สามารถหาได้จากผลต่างระหว่าง ADF ลิกนิน และปริมาณเถ้า พบว่าชนิดและวิธีการสกัดที่แตกต่างกันมีผลต่อปริมาณเซลลูโลส โดยปริมาณเซลลูโลสในสาหร่ายทะเลทั้ง 3 ชนิด พบมากสุดในการสกัดวิธีที่ 3 มีค่าอยู่ในช่วง 31.67 ± 3.28 ถึง 77.48 ± 11.5% และสาหร่ายที่พบปริมาณเซลลูโลสสูงที่สุด ได้แก่ สาหร่าย *Chaetomorpha* sp. โดยพบปริมาณเซลลูโลสอยู่ในช่วง 39.03 ± 1.19 ถึง 77.48 ± 11.53% ซึ่งมีค่าสูงแตกต่างจากสาหร่ายชนิดอื่นที่สกัดด้วยวิธีเดียวกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) แสดงผลการทดลองดังตารางที่ 4-7 และภาพที่ 4-10, 4-11

ตารางที่ 4-7 ปริมาณ Cellulose ที่ได้จากวิธีการสกัดที่แตกต่างกัน

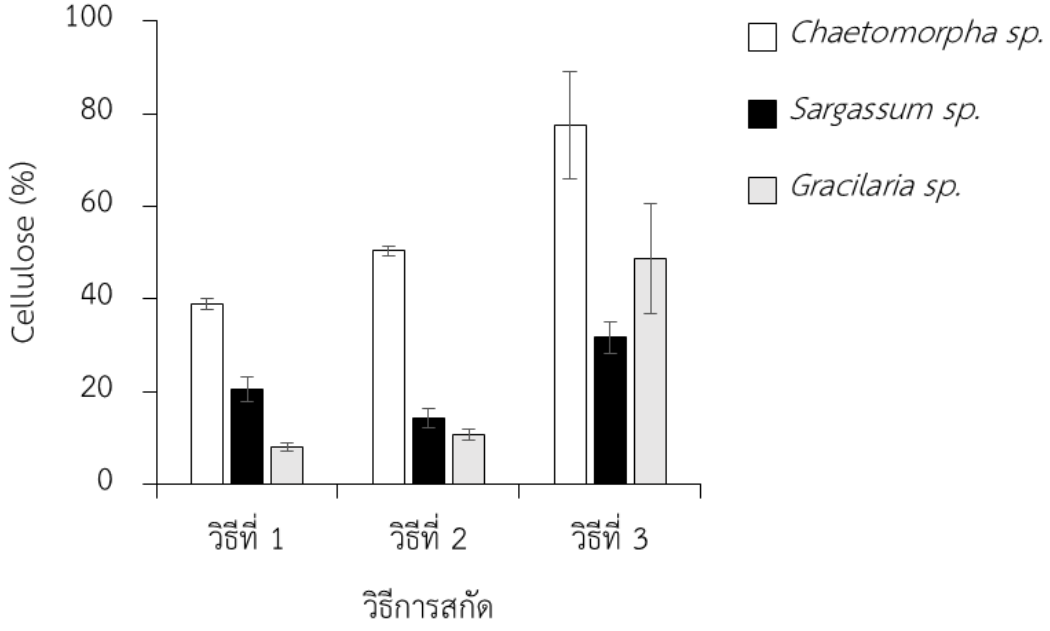
ปริมาณ Cellulose (% ต่อน้ำหนักแห้ง) (Mean ± Standard deviation)			
ชนิดสาหร่าย	วิธีการสกัด		
	วิธีที่ 1	วิธีที่ 2	วิธีที่ 3
Chaetomorpha sp.	$39.03 \pm 1.19^{a,ข}$	$50.37 \pm 1.14^{a,ข}$	$77.48 \pm 11.53^{a,ก}$
Sargassum sp.	$20.51 \pm 2.71^{b,ข}$	$14.34 \pm 2.03^{b,ค}$	$31.67 \pm 3.28^{b,ก}$
Gracilaria sp.	$8.19 \pm 0.86^{c,ข}$	$10.72 \pm 1.23^{c,ข}$	$48.77 \pm 11.87^{b,ก}$

หมายเหตุ ตัวอักษร ก, ข, ค... ที่แตกต่างกันในแนวนอนหมายถึงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทาง สถิติ ($p<0.05$)

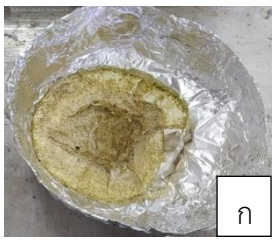
ตัวอักษร a, b, c... ที่แตกต่างกันในแนวตั้งหมายถึงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)



ภาพที่ 4-10 ปริมาณ Cellulose ของสาหร่ายทะเลชนิดที่แตกต่างกัน (%)

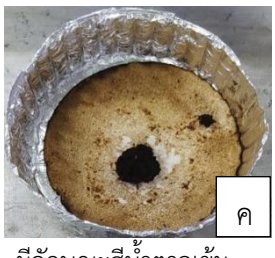


ภาพที่ 4-11 ปริมาณ Cellulose ที่ได้จากวิธีสกัดที่แตกต่างกัน (%)

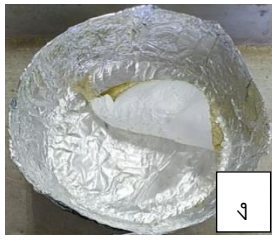


มีลักษณะสีเขียวอมเหลือง
เนื้อสัมผัสแข็ง เหนียว น้ำหนักเบา

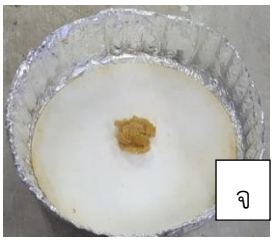
มีลักษณะสีน้ำตาลอมแดงเล็กน้อย
เนื้อสัมผัสแข็ง น้ำหนักเบา



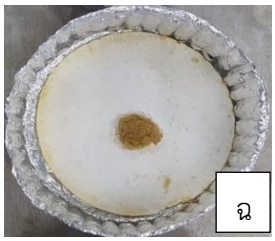
มีลักษณะสีน้ำตาลเข้ม
เนื้อสัมผัสแข็ง น้ำหนักเบา



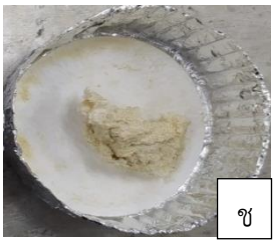
มีลักษณะสีเขียวอ่อนอมเหลือง
เนื้อสัมผัสแข็ง เหนียว น้ำหนักเบา



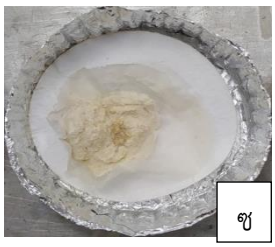
มีลักษณะสีเหลือง
เนื้อสัมผัสแข็ง น้ำหนักเบา



มีลักษณะสีเหลืองเข้ม
เนื้อสัมผัสแข็ง น้ำหนักเบา



มีลักษณะสีขาวอมเหลือง
เนื้อสัมผัสแข็ง เหนียว น้ำหนักเบา



มีลักษณะสีขาวอมเหลือง
เนื้อสัมผัสแข็ง น้ำหนักเบา

มีลักษณะสีน้ำตาลอมเหลือง

เนื้อสัมผัสแข็ง น้ำหนักเบา

ภาพที่ 4-12 ลักษณะของใยอาหารจากเยื่อใยสาหร่ายทะเล 3 ชนิด ที่ได้จากวิธีการสกัดที่แตกต่างกัน 3 วิธี

แถว 1 การสกัดด้วยน้ำร้อน ได้แก่ *Chaetomorpha* sp. (ก) ; *Gracilaria* sp. (ข); *Sargassum* sp. (ค)

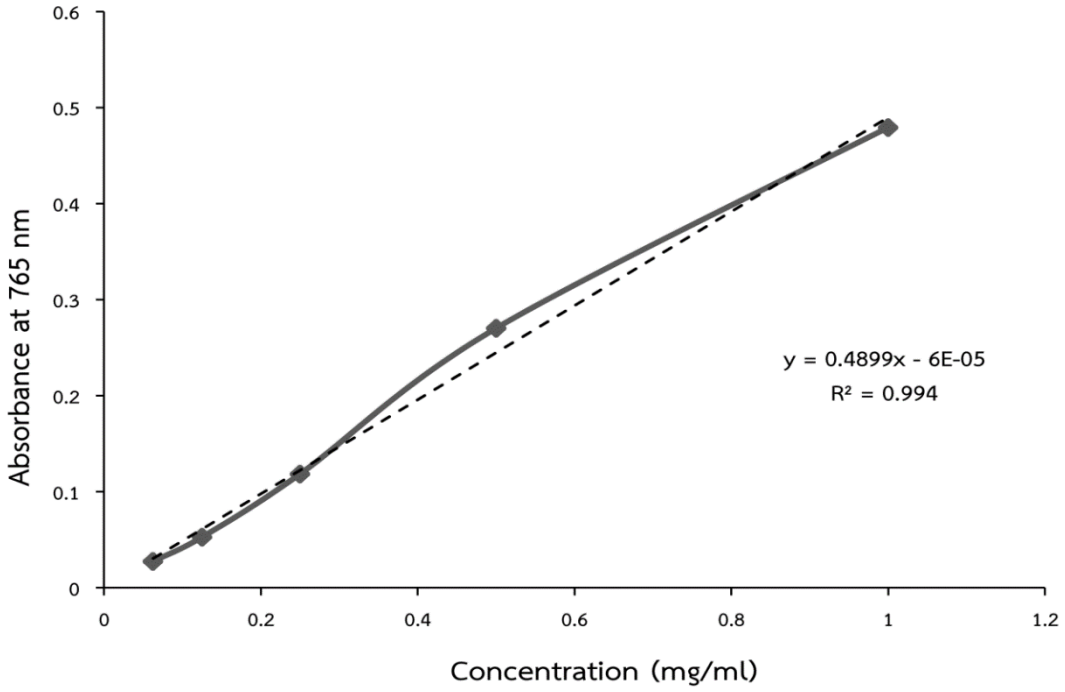
แถว 2 การสกัดด้วยสารละลายด่างร่วมกับตัวทำละลายอินทรีย์ ได้แก่ *Chaetomorpha* sp. (ง) ; *Gracilaria* sp. (จ); *Sargassum* sp. (ฉ)

แถว 3 การสกัดด้วยเอนไซม์ ได้แก่ *Chaetomorpha* sp. (ช) ; *Gracilaria* sp. (ซ); *Sargassum* sp. (ฌ)

4.3 การตรวจวิเคราะห์หาปริมาณสารต้านอนุมูลอิสระในสารสกัดเยื่อใยแบบหยาบจากสาหร่ายทะเล

4.3.1 การหาปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดด้วยวิธี Folin-Ciocalteu

เมื่อตรวจสอบปริมาณเยื่อใยสาหร่ายทะเลทั้ง 3 ชนิด ได้แก่ *Chaetomorpha* sp. *Gracilaria* sp. และ *Sargassum* sp. ที่ได้จากวิธีการสกัดที่แตกต่างกันดังนี้ วิธีที่1) การสกัดด้วยน้ำร้อน วิธีที่2) การสกัดด้วยสารละลายด่างร่วมกับตัวทำละลายอินทรีย์ และวิธีที่ 3) การสกัดด้วยเอนไซม์ แล้วนำเยื่อใยจากสาหร่ายทะเลที่ได้มาทำการวิเคราะห์หาปริมาณฟีนอลิกทั้งหมด โดยเทียบกับสารมาตรฐาน Gallic acid (ภาพที่ 4-2) พบว่า ปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดมีค่ามากที่สุดจากการสกัดด้วยวิธีที่ 2 (การสกัดด้วยสารละลายด่างร่วมกับตัวทำละลายอินทรีย์) ซึ่งมีค่าอยู่ในช่วง 0.043 ± 0.014 ถึง 0.213 ± 0.016 mg_GAE/g โดยส่วนใหญ่สาหร่าย *Gracilaria* sp. มีปริมาณฟีนอลิกสูง (0.213 ± 0.016 mg_GAE/g) ยกเว้นวิธีที่ 1 (การสกัดด้วยน้ำร้อน) โดยสาหร่าย *Sargassum* sp. ที่สกัดด้วยทั้ง 3 วิธี มีปริมาณฟีนอลิกไม่แตกต่างกัน ส่วนวิธีที่ 3 (การสกัดด้วยเอนไซม์) มีปริมาณฟีนอลิกของสาหร่ายทั้ง 3 ชนิดไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) แสดงผลการทดลองดังตารางที่ 4-2 และภาพที่ 4-3



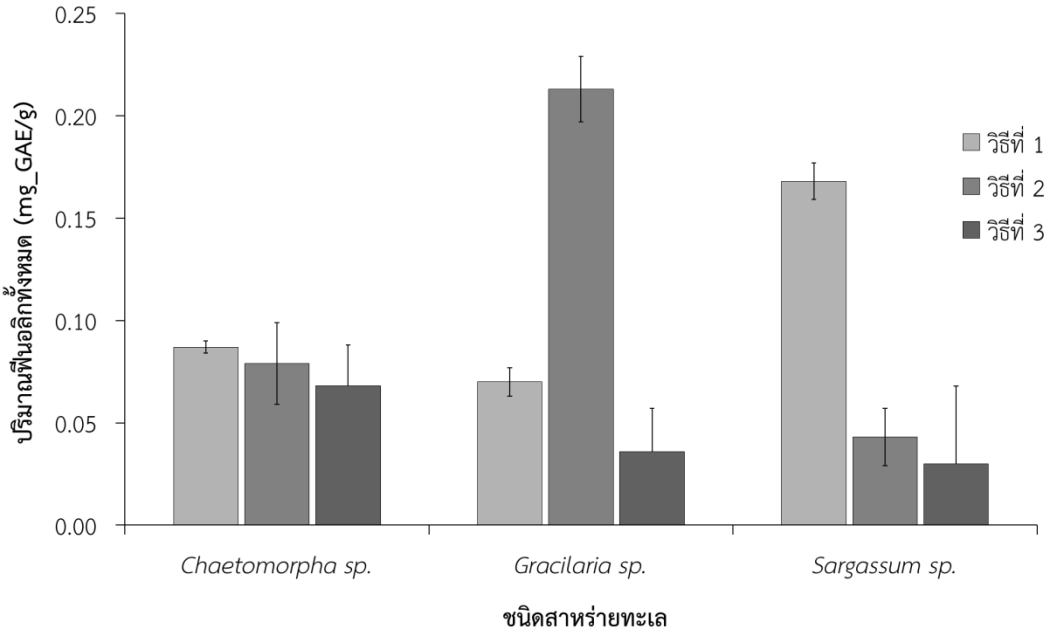
ภาพที่ 4-13 กราฟมาตรฐานปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดของสารละลาย Gallic acid

ตารางที่ 4-8 ปริมาณฟีนอลิกทั้งหมด ของสารสกัดที่ได้จากวิธีการสกัดที่แตกต่างกัน

ปริมาณฟีนอลิกทั้งหมด (mg_GAE/g) (Mean ± Standard deviation)			
ชนิดสาหร่าย	วิธีการสกัด		
	วิธีที่ 1	วิธีที่ 2	วิธีที่ 3
Chaetomorpha sp.	$0.087 \pm 0.003^{b,ข}$	$0.079 \pm 0.02^{b,ก}$	$0.068 \pm 0.02^{a,ก}$
Gracilaria sp.	$0.07 \pm 0.007^{c,ค}$	$0.213 \pm 0.016^{a,ก}$	$0.036 \pm 0.021^{a,ข}$
Sargassum sp.	$0.068 \pm 0.009^{a,ก}$	$0.043 \pm 0.014^{c,ก}$	$0.03 \pm 0.038^{a,ก}$

หมายเหตุ ตัวอักษร ก, ข, ค... ที่แตกต่างกันในแนวนอน หมายถึง ความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

ตัวอักษร a, b, c... ที่แตกต่างกันในแนวตั้ง หมายถึง ความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)



ภาพที่ 4-14 ปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดของสารสกัดที่ได้จากวิธีการสกัดที่แตกต่างกัน (mg_GAE/g)

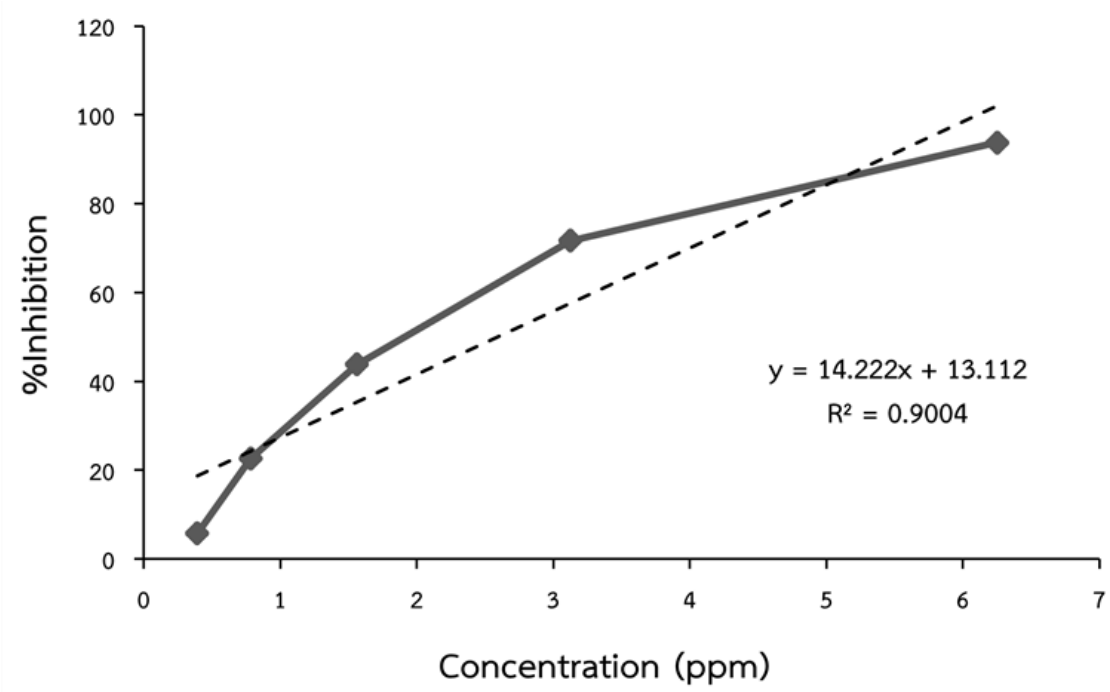
4.3.2 ทดสอบฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระโดยใช้วิธี DPPH free radical scavenging activity

การทดสอบฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระจากเยื่อใยสาหร่ายทะเลทั้ง 3 ชนิด ที่ได้จากวิธีการสกัดที่แตกต่างกัน 3 วิธี ที่นำมาวิเคราะห์ โดยกราฟมาตรฐานของสารมาตรฐานวิตามินซี และ BHT พบว่าการทดสอบฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระของ วิตามินซี และ BHT มีค่าความเข้มข้นของสารมาตรฐานที่สามารถดักจับอนุมูล DPPH ที่ 50 เปอร์เซ็นต์ ได้เท่ากับ 2.594 และ 4.335 ppm ตามลำดับ ส่วนวิธีการสกัดเยื่อใยจากสาหร่ายทะเลที่มีประสิทธิภาพในการต้านอนุมูลอิสระ DPPH ที่ 50 เปอร์เซ็นต์ได้สูงสุด คือ การสกัดด้วยวิธีที่ 1 (การสกัดด้วยน้ำร้อน) โดยมีค่า IC_{50} อยู่ในช่วง 10,503.16 ± 516.93 ถึง 29,312.31 ± 11,804.71 ppm สาหร่าย *Chaetomorpha* sp. ที่สกัดเยื่อใยด้วยวิธีที่ 1 มีความสามารถในการดักจับอนุมูล DPPH ได้สูง โดยมีค่า IC_{50} เท่ากับ 10,503.16 ± 516.93 ppm

เมื่อเปรียบเทียบผล IC_{50} ของสารสกัดเยื่อใยกับสารมาตรฐานวิตามินซี แสดงให้เห็นว่า สารสกัดของสาหร่าย *Chaetomorpha* sp ในวิธีสกัดด้วยวิธีที่ 1 มีประสิทธิภาพในการต้านอนุมูลอิสระ แต่มีประสิทธิภาพน้อยกว่าวิตามินซี 4,049.02 เท่า แสดงผลการทดลองดังตารางที่ 4-3 4-4 4-5 4-6 4-7 4-8 และภาพที่ 4-5 4-6 4-7 และ 4-8

ตารางที่ 4-9 ข้อมูลกราฟมาตรฐานแสดงความสามารถในการต้านอนุมูล DPPH ของสารมาตรฐานวิตามินซี 100 ppm

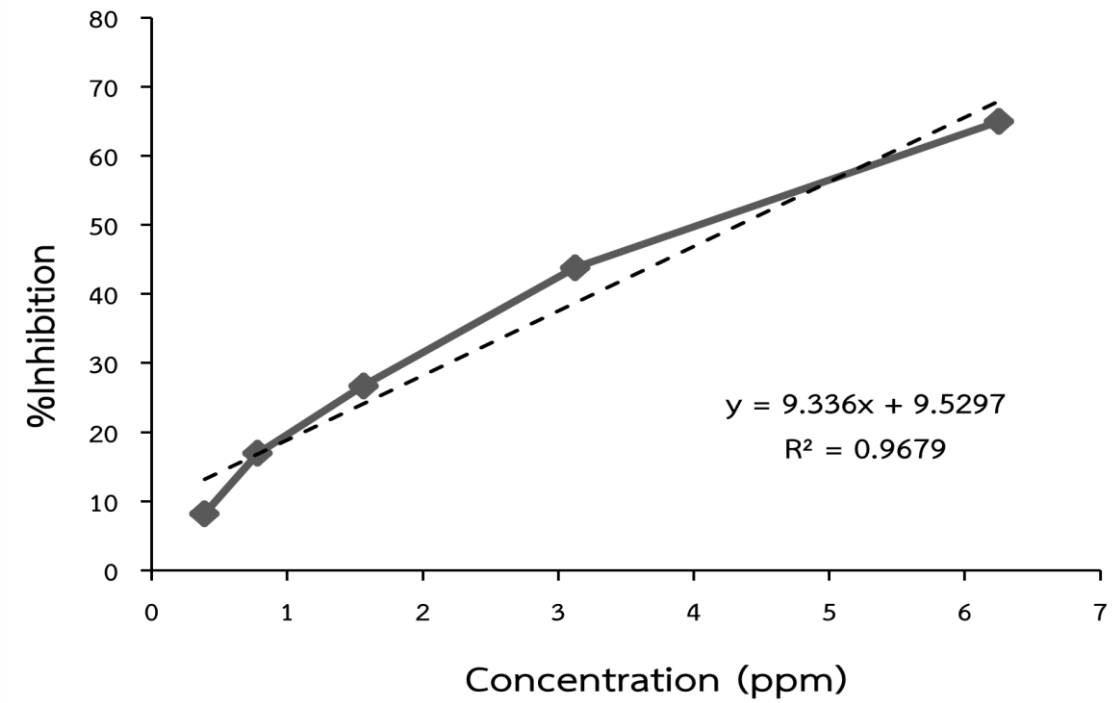
วิตามินซี							
Concentration (ppm)	r1	r2	r3	mean	DPPH เริ่มต้น	%scavenging (ppm)	%IC50 (ppm)
6.25	0.059	0.061	0.059	0.06	0.57	93.8	2.594
3.125	0.188	0.189	0.19	0.189	0.57	71.7	
1.5625	0.34	0.347	0.35	0.346	0.57	43.86	
0.78125	0.465	0.468	0.464	0.466	0.57	22.63	
0.390625	0.559	0.572	0.55	0.56	0.57	5.79	



ภาพที่ 4-15 กราฟมาตรฐานแสดงความสามารถในการต้านอนุมูล DPPH ของสารมาตรฐานวิตามินซี 100 ppm

ตารางที่ 4-10 ข้อมูลกราฟมาตรฐานแสดงความสามารถในการต้านอนุมูล DPPH ของสารมาตรฐาน BHT 100 ppm

BHT							
Concentration (ppm)	r1	r2	r3	mean	DPPH เริ่มต้น	%scavenging (ppm)	%IC50 (ppm)
6.25	0.228	0.226	0.228	0.227	0.57	64.97	4.335
3.125	0.349	0.346	0.343	0.346	0.57	43.8	
1.5625	0.446	0.438	0.444	0.443	0.57	26.73	
0.78125	0.508	0.493	0.499	0.5	0.57	16.96	
0.390625	0.546	0.557	0.546	0.55	0.57	8.25	



ภาพที่ 4-16 กราฟมาตรฐานแสดงความสามารถในการต้านอนุมูล DPPH ของสารมาตรฐาน BHT 100 ppm

ตารางที่ 4-11 ค่าความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ DPPH ของสาหร่าย *Chaetomorpha* sp. ที่สกัดด้วยวิธีการแตกต่างกัน

ความเข้มข้น	% Scavenging (Mean ± Standard deviation)		
(ppm)	วิธีที่ 1	วิธีที่ 2	วิธีที่ 3
9,600	2,699 ± 4,621.07	12,122.34 ± 29,311.64	6,992.85 ± 14,994.88
4,800	744.59 ± 1,799.87	741.22 ± 1,801.34	741.71 ± 1,801.13
2,400	374.11 ± 899.16	371.91 ± 900.1	371.84 ± 900.13
1,200	188.25 ± 449.07	186.82 ± 449.68	186.74 ± 449.71
600	95.58 ± 223.93	94.51 ± 224.37	94.56 ± 224.35
300	48.81 ± 111.57	48.37 ± 111.73	48.34 ± 111.75

ตารางที่ 4-12 ค่าความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ DPPH ของสาหร่าย *Gracilaria* sp. ที่สกัดด้วยวิธีการแตกต่างกัน

ความเข้มข้น	% Scavenging (Mean ± Standard deviation)		
(ppm)	วิธีที่ 1	วิธีที่ 2	วิธีที่ 3
9,600	4,995.22 ± 9,906.4	3,994.17 ± 5,737.01	6,631.4 ± 14,158.5
4,800	743.24 ± 1,800.46	744.91 ± 1,406.45	742 ± 1,801
2,400	373.1 ± 899.59	374.95 ± 702.25	372.55 ± 899.83
1,200	188.12 ± 449.13	189.99 ± 350.27	186.95 ± 449.62
600	95.9 ± 223.81	97.03 ± 174.55	94.35 ± 224.44
300	48.34 ± 111.75	49.84 ± 86.73	47.93 ± 111.92

ตารางที่ 4-13 ค่าความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ DPPH ของสาหร่าย *Sargassum* sp. ที่สกัดด้วยวิธีการแตกต่างกัน

ความเข้มข้น	% Scavenging (Mean ± Standard deviation)		
(ppm)	วิธีที่ 1	วิธีที่ 2	วิธีที่ 3
9,600	4,210.76 ± 7,945.95	7,022.62 ± 15,120.1	6,059.9 ± 12,832.74
4,800	743.03 ± 1,800.55	742.46 ± 1,800.8	742.32 ± 1,800.86
2,400	372.32 ± 899.93	372.67 ± 899.78	372.48 ± 899.86
1,200	187.82 ± 449.25	187.77 ± 449.27	187.73 ± 449.29
600	94.96 ± 224.19	95.2 ± 224.09	95.2 ± 224.09
300	48.68 ± 111.61	49.02 ± 111.49	48.62 ± 111.64

ตารางที่ 4-14 ค่า %IC50 ของเยื่อใยสาหร่ายทะเลแต่ละชนิดที่สกัดด้วยวิธีการที่แตกต่างกัน

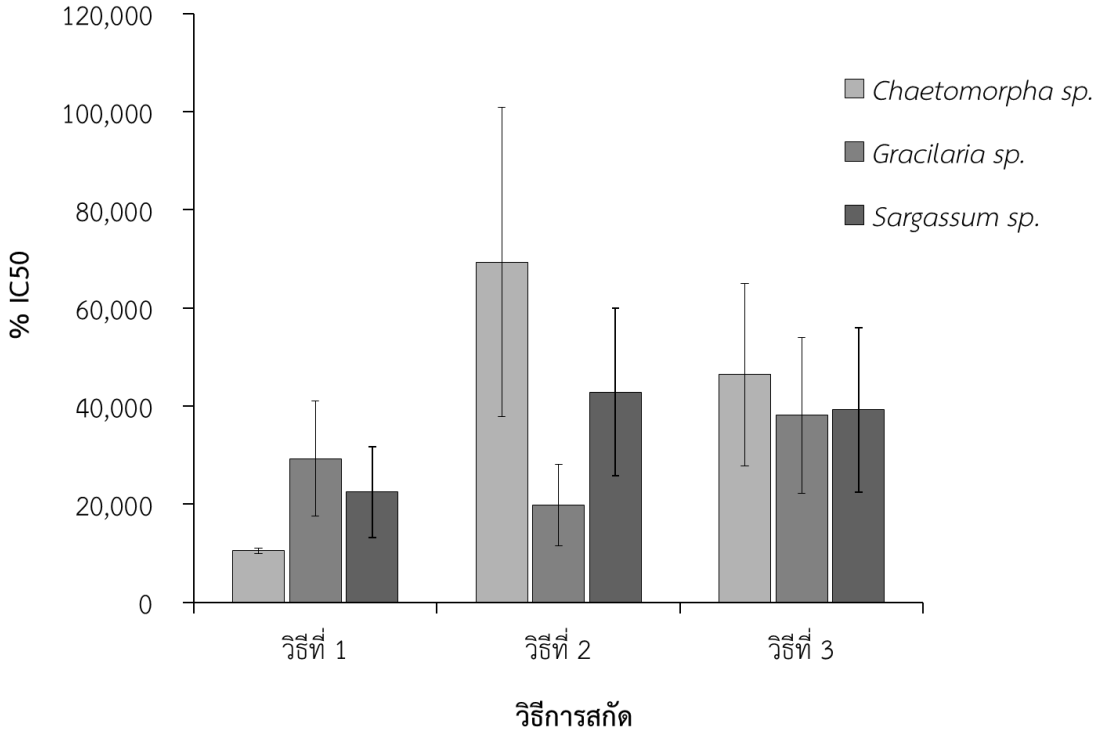
ชนิดสาหร่าย	ค่า %IC50 (ppm) (Mean ± Standard deviation)		
	วิธีการสกัด		
	วิธีที่ 1	วิธีที่ 2	วิธีที่ 3
Chaetomorpha sp.	10,503.16 ± 516.93^{c,ข}	69,358.67 ± 31,482.82^{a,ก}	46,471.33 ± 18,598.75^{a,ก}
Gracilaria sp.	29,312.31 ± 11,804.71^{a,ข}	19,785 ± 8,302.57^{b,ค}	38,101.64 ± 15,900.52^{a,ก}
Sargassum sp.	22,475 ± 9,314.17^{b,ข}	42,865.56 ± 17,091.55^{b,ก}	39,227 ± 16,749.87^{a,ก}

หมายเหตุ ตัวอักษร ก, ข, ค... ที่แตกต่างกันในแนวนอน หมายถึง ความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

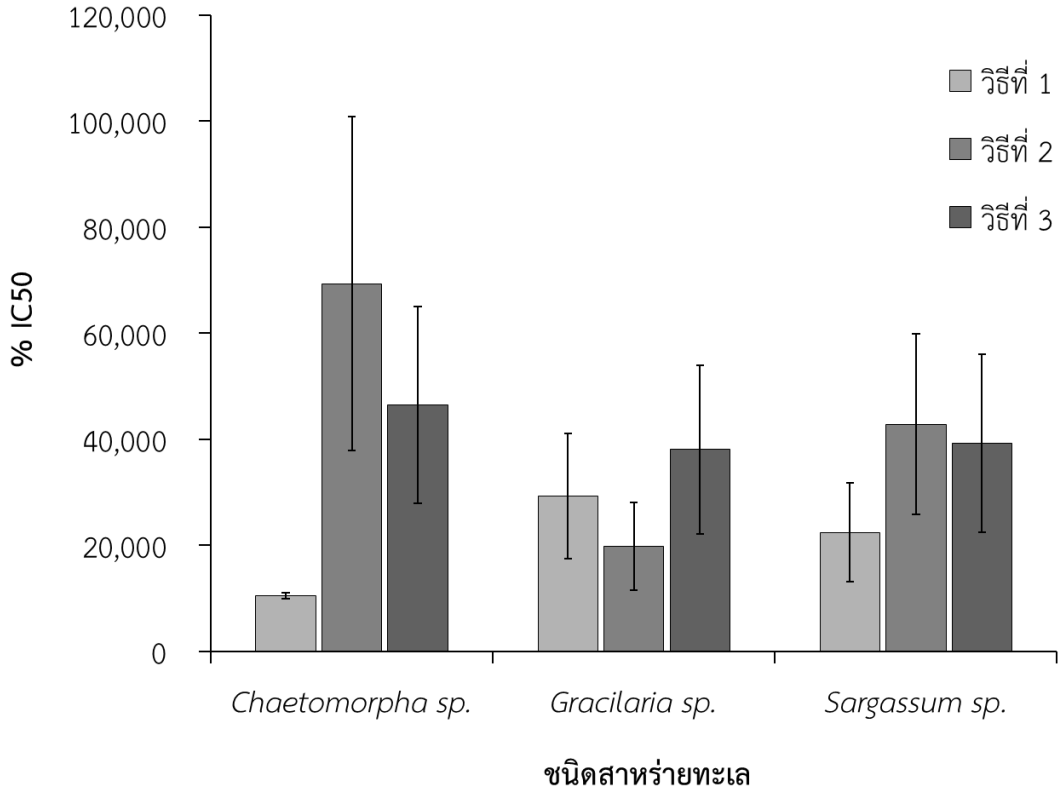
ตัวอักษร a, b, c... ที่แตกต่างกันในแนวตั้ง หมายถึง ความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$

ตารางที่ 4-15 ค่า %IC50 ของเยื่อใยสาหร่ายทะเลตามธรรมชาติที่ยังไม่ผ่านการสกัดเยื่อใย

ชนิดสาหร่าย	%IC50 (ppm)
Chaetomorpha sp.	2,054.87 ± 20.68
Gracilaria sp.	5,388.38 ± 135.08
Sargassum sp.	2,636.08 ± 57.28



ภาพที่ 4-17 ความสามารถในการต้านอนุมูล DPPH ของสารสกัดที่ได้จากวิธีการสกัดที่แตกต่างกัน



ภาพที่ 4-18 ความสามารถในการต้านอนุมูล DPPH ของสารสกัดที่ได้จากชนิดสาหร่ายทะเลที่แตกต่างกัน

4.4 การตรวจสอบคุณสมบัติทางเคมี และกายภาพ

การตรวจสอบคุณสมบัติทางเคมี

4.4.1 การวิเคราะห์ปริมาณความชื้น

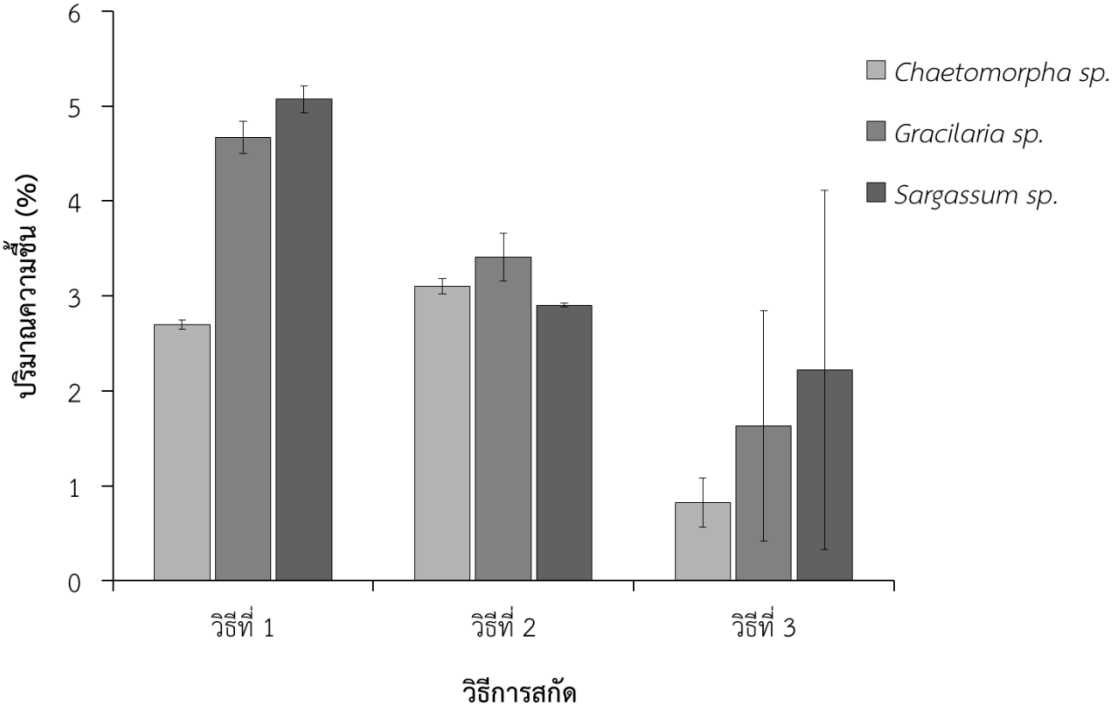
การวิเคราะห์ปริมาณความชื้นจากเยื่อใยสาหร่ายทะเลทั้ง 3 ชนิด ที่ได้จากวิธีการสกัดที่แตกต่างกัน 3 วิธี ที่นำมาวิเคราะห์ พบว่า ปริมาณความชื้นมีค่าต่ำที่สุดจากการสกัดด้วยวิธีที่ 3 (การสกัดด้วยเอนไซม์) ซึ่งมีค่าอยู่ในช่วง 0.82 ± 0.26 ถึง 2.22 ± 1.89% โดยสาหร่าย *Chaetomorpha* sp. มีปริมาณความชื้นต่ำสุด โดยมีค่าอยู่ในช่วง 0.82 ± 0.26% แสดงผลการทดลองดังตารางที่ 4-11 และภาพที่ 4-14 และ 4-15

ตารางที่ 4-16 ปริมาณความชื้นของเยื่อใยสาหร่ายทะเลที่ได้จากวิธีการสกัดที่แตกต่างกัน

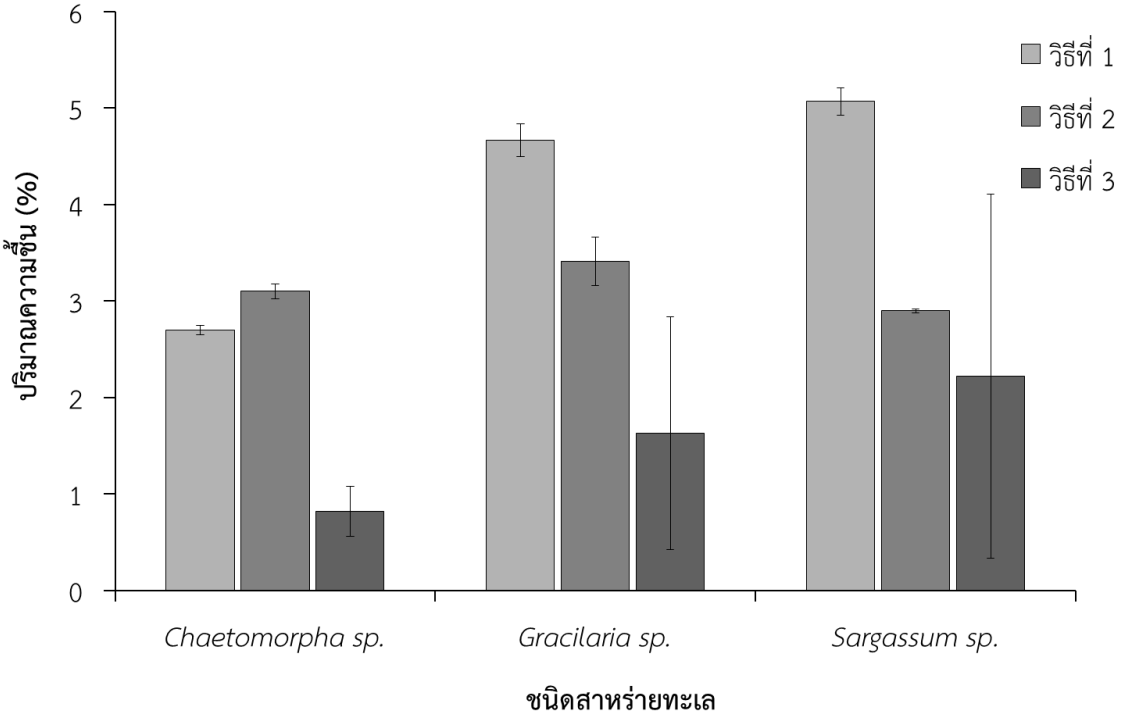
ชนิดสาหร่าย	ปริมาณความชื้น (%) (Mean ± Standard deviation)		
	วิธีการสกัด		
	วิธีที่ 1	วิธีที่ 2	วิธีที่ 3
Chaetomorpha sp.	$2.7 \pm 0.05^{c,ข}$	$3.1 \pm 0.08^{b,ก}$	$0.82 \pm 0.26^{a,ค}$
Gracilaria sp.	$4.67 \pm 0.17^{b,ก}$	$3.41 \pm 0.25^{a,ก}$	$1.63 \pm 1.21^{a,ข}$
Sargassum sp.	$5.07 \pm 0.14^{a,ก}$	$2.9 \pm 0.02^{b,กข}$	$2.22 \pm 1.89^{a,ข}$

หมายเหตุ ตัวอักษร ก, ข, ค... ที่แตกต่างกันในแนวนอน หมายถึง ความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

ตัวอักษร a, b, c... ที่แตกต่างกันในแนวตั้ง หมายถึง ความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)



ภาพที่ 4-19 ปริมาณความชื้นสาหร่ายทะเลที่ได้จากวิธีการสกัดที่แตกต่างกัน (%)



ภาพที่ 4-20 ปริมาณความชื้นสาหร่ายทะเลที่ได้จากชนิดสาหร่ายทะเลที่แตกต่างกัน (%)

4.4.2 การวัดค่า pH

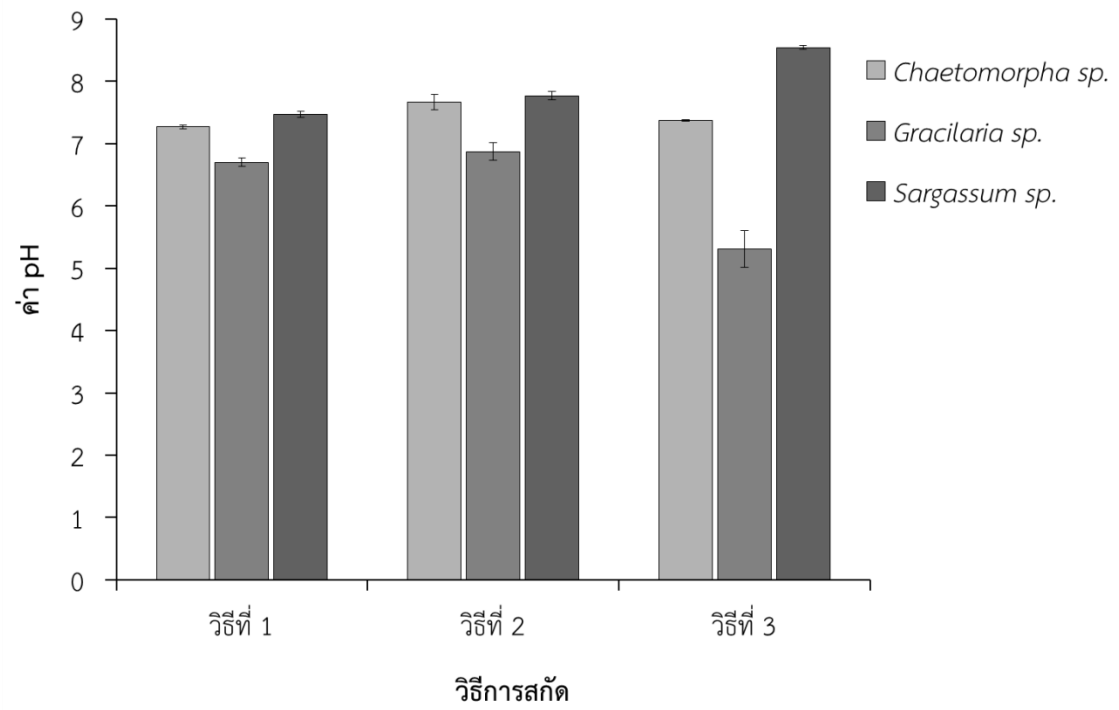
การวัดค่า pH จากเยื่อใยสาหร่ายทะเลทั้ง 3 ชนิด ที่ได้จากวิธีการสกัดที่แตกต่างกัน 3 วิธี ที่นำมาวิเคราะห์ พบว่า ค่า pH ของเยื่อใยสาหร่าย *Chaetomorpha* sp. และ *Sargassum* sp. ในทุกวิธีการสกัดส่วนใหญ่มีค่า pH เป็นกลาง (pH 7.27 - 7.77) ยกเว้น *Sargassum* sp. ที่สกัดด้วยวิธีที่ 3 (การสกัดด้วยเอนไซม์) ที่มีค่าเป็นเบส (pH 8.54) ส่วนเยื่อใยจากสาหร่าย *Gracilaria* sp. มีค่า pH เป็นกรดอ่อน (pH 5.31-6.87) ซึ่งมีค่าแตกต่างจากสาหร่ายชนิดเดียวที่สกัดด้วยวิธีต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) แสดงผลการทดลองดังตารางที่ 4-12 และภาพที่ 4-16 และ 4-17

ตารางที่ 4-17 ค่า pH ของเยื่อใยสาหร่ายทะเลที่ได้จากวิธีการสกัดที่แตกต่างกัน

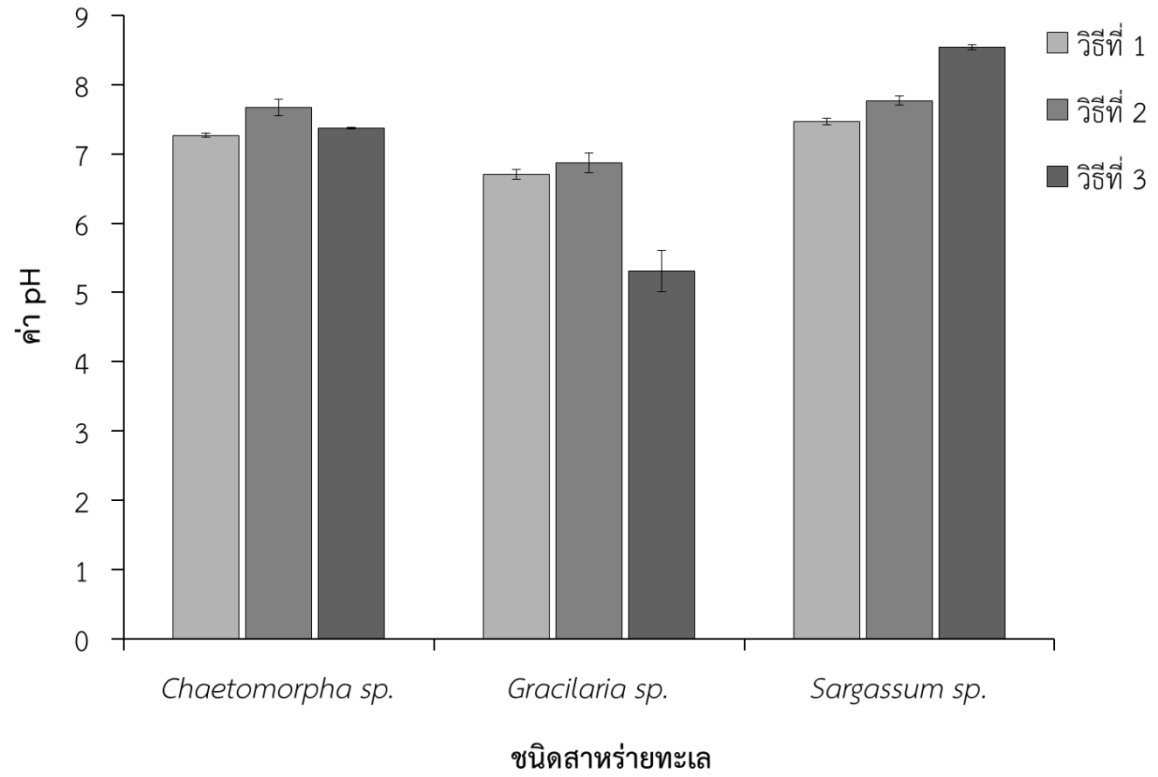
ค่า pH (Mean ± Standard deviation)			
ชนิดสาหร่าย	วิธีการสกัด		
	วิธีที่ 1	วิธีที่ 2	วิธีที่ 3
Chaetomorpha sp.	$7.27 \pm 0.03^{b,ข}$	$7.67 \pm 0.12^{a,ก}$	$7.37 \pm 0.01^{b,ข}$
Gracilaria sp.	$6.7 \pm 0.07^{c,ก}$	$6.87 \pm 0.14^{b,ก}$	$5.31 \pm 0.3^{c,ข}$
Sargassum sp.	$7.47 \pm 0.05^{a,ค}$	$7.77 \pm 0.07^{a,ข}$	$8.54 \pm 0.03^{a,ก}$

หมายเหตุ ตัวอักษร ก, ข, ค... ที่แตกต่างกันในแนวนอน หมายถึง ความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

ตัวอักษร a, b, c... ที่แตกต่างกันในแนวตั้ง หมายถึง ความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)



ภาพที่ 4-21 ค่า pH สาหร่ายทะเลที่ได้จากวิธีการสกัดที่แตกต่างกัน



ภาพที่ 4-22 ค่า pH สาหร่ายทะเลที่ได้จากชนิดสาหร่ายทะเลที่แตกต่างกัน

การตรวจสอบคุณสมบัติทางกายภาพ

4.4.3 การวิเคราะห์ความสามารถในการอุ้มน้ำ

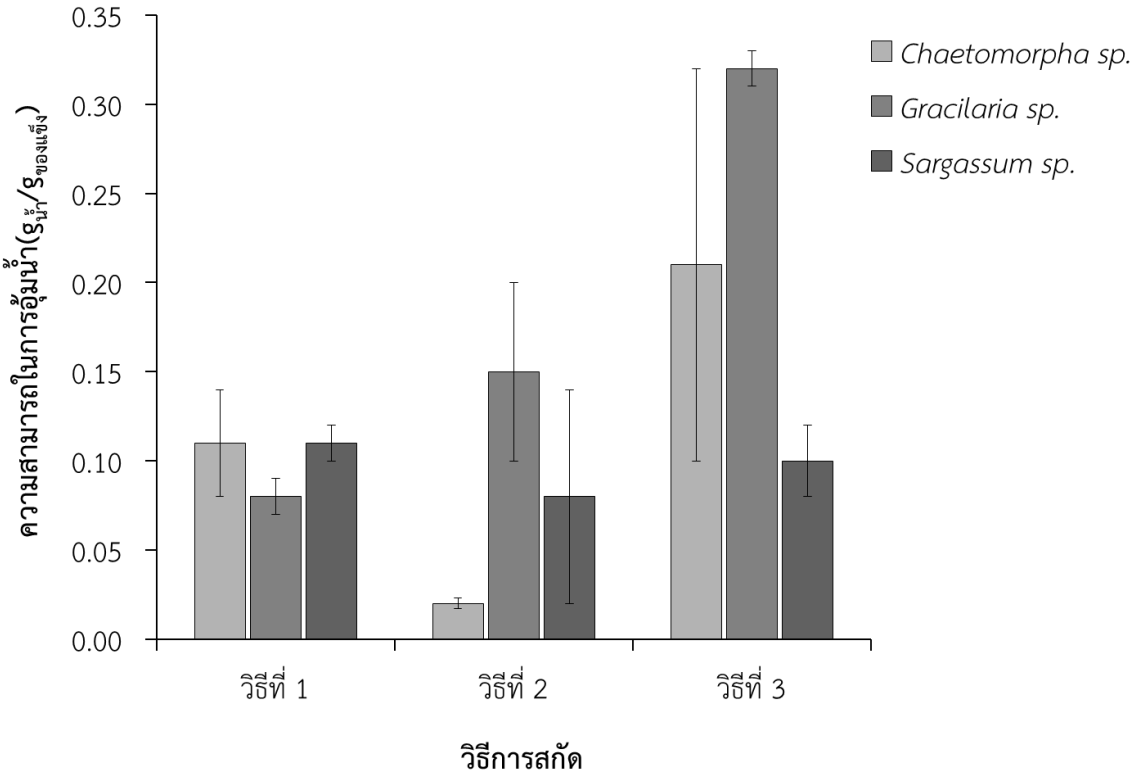
การวิเคราะห์ความสามารถในการอุ้มน้ำจากเยื่อใยสาหร่ายทะเลทั้ง 3 ชนิด ที่ได้จากวิธีการสกัดที่แตกต่างกัน 3 วิธี พบว่า ความสามารถในการอุ้มน้ำมีค่ามากที่สุดจากการสกัดด้วยวิธีที่ 3 (การสกัดด้วยเอนไซม์) ซึ่งมีค่าอยู่ในช่วง 0.10 ± 0.02 ถึง 0.32 ± 0.01% โดยสาหร่าย *Gracilaria* sp. มีความสามารถในการอุ้มน้ำสูง อยู่ในช่วง 0.32 ± 0.01% ซึ่งมีค่าไม่แตกต่างจากสาหร่ายชนิดอื่นและสกัดด้วยวิธีเดียวกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) แสดงผลการทดลองดังตารางที่ 4-13 และภาพที่ 4-18 และ 4-19

ตารางที่ 4-18 ความสามารถในการอุ้มน้ำของเยื่อใยสาหร่ายทะเลที่ได้จากวิธีการสกัดที่แตกต่างกัน

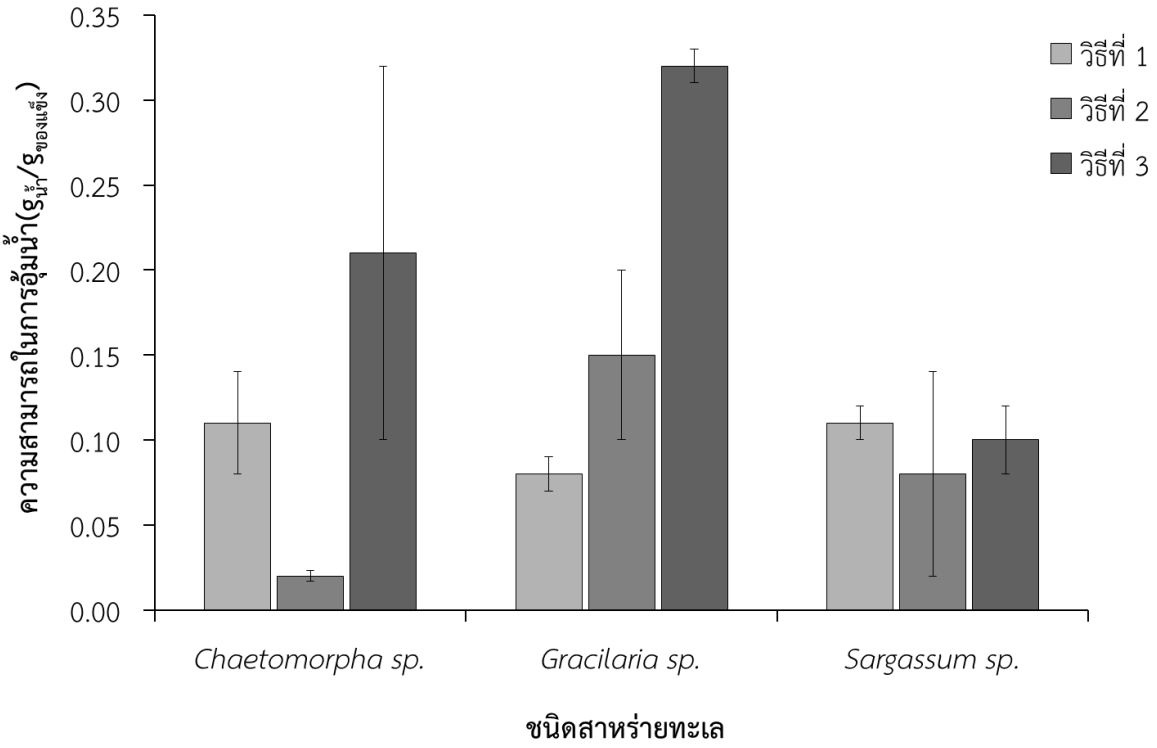
ความสามารถในการอุ้มน้ำ($g_{น้ำ}/g_{ของแข็ง}$) (Mean ± Standard deviation)			
ชนิดสาหร่าย	วิธีการสกัด		
	วิธีที่ 1	วิธีที่ 2	วิธีที่ 3
Chaetomorpha sp.	$0.11 \pm 0.03^{a,ก ข}$	$0.02 \pm 0.003^{b,ข}$	$0.21 \pm 0.11^{ab,ก}$
Gracilaria sp.	$0.08 \pm 0.01^{a,ค}$	$0.15 \pm 0.05^{a,ข}$	$0.32 \pm 0.01^{a,ก}$
Sargassum sp.	$0.11 \pm 0.01^{a,ก}$	$0.08 \pm 0.06^{b,ก}$	$0.10 \pm 0.02^{b,ก}$

หมายเหตุ ตัวอักษร ก, ข, ค... ที่แตกต่างกันในแนวนอน หมายถึง ความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

ตัวอักษร a, b, c... ที่แตกต่างกันในแนวตั้ง หมายถึง ความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)



ภาพที่ 4-23 ความสามารถในการอุ้มน้ำสาหร่ายทะเลที่ได้จากวิธีการสกัดที่แตกต่างกัน ($g_{น้ำ}/g_{ของแข็ง}$)



ภาพที่ 4-24 ความสามารถในการอุ้มน้ำสาหร่ายทะเลที่ได้จากชนิดสาหร่ายทะเลที่แตกต่างกัน ($g_{น้ำ}/g_{ของแข็ง}$)

5. อภิปรายและสรุปผล

5.1 อภิปรายผลการทดลอง

5.1.1 การวิเคราะห์องค์ประกอบเยื่อใยในสาหร่ายทะเลขนาดใหญ่

5.1.1.1 การวิเคราะห์หาปริมาณ Neutral Detergent Fiber (NDF)

การศึกษาปริมาณ NDF ในสาหร่ายทะเลทั้ง 3 ชนิด พบว่าวิธีการสกัดที่ดีสุดของสาหร่ายทั้ง 3 ชนิดคือการสกัดวิธีที่ 3 การสกัดด้วยเอนไซม์ ที่ทำให้สาหร่ายทั้ง 3 ชนิดมีค่าอยู่ในช่วง 58.05 ± 3.87 ถึง 97.52 ± 1.89% ในขณะที่วิธีที 1 การสกัดด้วยน้ำร้อนเพื่อกำจัดไขมัน และวิธีที่ 2 การสกัดด้วยตัวทำละลายอินทรีย์เพื่อกำจัดไขมันและสารสี ซึ่งมีค่าอยู่ในช่วง 28.97 ± 2.61 ถึง 66.02 ± 2.02% และ 24.40 ± 4.47 ถึง 72.65 ± 2.16% ตามลำดับ และปริมาณ NDF ส่วนใหญ่มีค่าต่ำสุดในสาหร่าย *Sargassum* sp. ที่สกัดด้วยวิธีที่ 1 และ 2 (24.40 ± 4.47 ถึง 28.97 ± 2.61%) ซึ่งไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) สอดคล้องกับการศึกษาของ Bikker *et al.* (2020) ที่กล่าวว่า ในสายพันธุ์สาหร่ายสีน้ำตาลส่วนใหญ่ปริมาณน้ำตาลและแป้งอยู่ในระดับต่ำมาก ในขณะที่สาหร่ายสีแดงและสีเขียวส่วนใหญ่มีระดับ Non Starch Polysaccharides (NSP) สูง ซึ่ง NSP ประกอบไปด้วยเส้นใยประเภทต่าง ๆ ได้แก่ เซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส ลิกนิน และเพคตินสูง (วรรณพร ทะพิงค์แก, 2555) ปริมาณองค์ประกอบเหล่านี้ขึ้นอยู่กับสปีชีส์และแหล่งกำเนิด อย่างไรก็ตาม NDF ซึ่งเป็นส่วนประกอบทั้งหมดของผนังเซลล์ ประกอบไปด้วย ADF และเฮมิเซลลูโลส ซึ่งเซลลูโลสและเฮมิเซลลูโลสไม่สามารถละลายในสารละลายที่เป็นกลาง ซึ่งเอนไซม์ที่ผลิตจากระบบทางเดินอาหารไม่สามารถย่อยเพื่อนำโภชนะเหล่านี้ไปใช้ประโยชน์ได้ (Doyle et al., 1986)

5.1.1.2 การวิเคราะห์หาปริมาณ Acid Detergent Fiber (ADF)

ปริมาณ ADF ที่ตรวจพบจากสาหร่ายทั้ง 3 ชนิด ผลการศึกษาปริมาณ ADF ในสาหร่ายทะเลพบว่าวิธีการสกัดที่ดีสุดของสาหร่ายทั้ง 3 ชนิดคือการสกัดวิธีที่ 3 การสกัดด้วยเอนไซม์ ที่ทำให้สาหร่ายทั้ง 3 ชนิดมีค่าอยู่ในช่วง 42.50 ± 1.64 ถึง 88.41 ± 5.59% ในขณะที่วิธีที 1 และวิธีที่ 2 มีค่าอยู่ในช่วง 9.42 ± 0.92 ถึง 40.55 ± 1.89% และ 13.44 ± 2.25 ถึง 53.33 ± 2.23% ตามลำดับ และปริมาณ ADF ส่วนใหญ่มีค่าต่ำสุดในสาหร่าย *Gracilaria* sp. ที่สกัดด้วยวิธีที่ 1 และ 2 (9.42 ± 0.92 ถึง 13.44 ± 2.25%) ซึ่งไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) อย่างไรก็ตามเยื่อใย ADF มีส่วนประกอบเป็นพวกเปลือกแข็งของพืช ประกอบไปด้วยเซลลูโลสและลิกนินโดยเป็นส่วนที่ไม่ละลายในสารละลายที่เป็นกรด ซึ่งจุลินทรีย์ในกระเพาะรูเมนของสัตว์เคี้ยวเอื้องสามารถย่อยแล้วนำไปใช้ประโยชน์ได้ และในการสกัดวิธีที่ 3 ที่สกัดด้วยเอนไซม์นั้นช่วยได้มาก เนื่องจากการสกัดด้วยเอนไซม์จะไฮโดรไลซิสผ่านผนังเซลล์ของสาหร่ายที่แตกต่างกัน และช่วยกำจัดสารแทรกซ้อนด้วยเทคนิคการสกัดอื่น ๆ (Charoensiddhi et al., 2015)

5.1.1.3 การวิเคราะห์หาปริมาณ Hemicellulose

ปริมาณเฮมิเซลลูโลสที่ตรวจพบจากสาหร่ายทั้ง 3 ชนิด พบปริมาณเฮมิเซลลูโลสต่ำที่สุดส่วนใหญ่คือการสัดวิธีที่ 3 ได้แก่ การสกัดด้วยเอนไซม์ ซึ่งมีผลทำให้ปริมาณเฮมิเซลลูโลสในสาหร่าย *Chaetomorpha* sp. และสาหร่าย *Gracilaria* sp. มีค่า 9.11 ± 5.58 และ 9.19 ± 3.57%

ตามลำดับ โดยมีค่าต่ำไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) เนื่องจากในการสกัดด้วยเอนไซม์นั้นมีการใช้สารละลาย 2% NaOH ในการกำจัดเฮมิเซลลูโลส จึงทำให้สาหร่ายทะเลส่วนใหญ่ที่สกัดด้วยวิธีการนี้มีปริมาณเฮมิเซลลูโลสต่ำกว่าวิธีที่ 1 และ 2 ซึ่งความแตกต่างดังกล่าวอาจเนื่องมาจากความแตกต่างของชนิดแป้งและปริมาณเยื่อใย ซึ่งขึ้นอยู่กับแหล่งที่มาของแป้ง ปริมาณเยื่อใยที่แตกต่างกัน และองค์ประกอบทางเคมี (Huntington, 1997)

5.1.1.4 การวิเคราะห์หาปริมาณ Lignin

ปริมาณลิกนินที่ตรวจพบจากสาหร่ายทั้ง 3 ชนิด พบว่าในการสกัดวิธีที่ 1 พบปริมาณลิกนินอยู่ในช่วง 0.83 ± 0.48 ถึง 2.99 ± 0.25% การสกัดวิธีที่ 2 อยู่ในช่วง 2.50 ± 0.95 ถึง 4.47 ± 2.68% และการสกัดวิธีที่ 3 อยู่ในช่วง 3.26 ± 1.50 ถึง 3.85 ± 4.13% ซึ่งการสกัดทั้ง 3 วิธีในสาหร่ายทั้ง 3 ชนิด พบว่าวิธีที่ 1 วิธีการสกัดด้วยน้ำร้อน ส่วนใหญ่พบปริมาณลิกนินต่ำในสาหร่าย *Chaetomorpha* sp. (0.57 ± 0.37%) และ *Gracilaria* sp. (0.83 ± 0.48%) โดยมีค่าต่ำไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) ซึ่งปริมาณลิกนินในสาหร่ายทะเลทั้ง 3 ชนิดในวิธีการสกัดที่แตกต่างกันสอดคล้องกับการทดลองของ ศรัญญา ยิ้มย่อง (2547) ที่กล่าวว่าคุณภาพทางเคมีสำหรับสำหรับวัตถุดิบที่สามารถนำมาใช้ผลิตเซลลูโลสคุณภาพสูง ซึ่งประกอบด้วยลิกนินไม่เกินร้อยละ 22 ซึ่งปริมาณลิกนินที่ได้จากการสกัดทั้ง 3 วิธี มีคุณสมบัติจัดอยู่ในเกณฑ์ดังกล่าว และในสาหร่ายทะเลขนาดใหญ่มีปริมาณลิกนินน้อยมากจึงไม่จำเป็นต้องมีขั้นตอนการแยกสารเพิ่มเติมสำหรับกระบวนการทางชีวภาพ (Kim, 2012) ดังนั้นการหาความสามารถในการย่อยของเยื่อใยจึงต้องหาปริมาณของลิกนินเป็นหลัก (Norton, 1982) โดยลิกนินเป็นพวก Heterogeneous Compound ไม่ได้เป็นกลุ่มคาร์โบไฮเดรตที่แท้จริง แต่เป็นโพลิเมอร์ของฟินิลโพรเพน (Phenylpropane) ซึ่งน้ำย่อยของจุลินทรีย์ในกระเพาะรูเมนหรือลำไส้ไม่สามารถย่อยได้ จึงทำให้การย่อยได้ของสารเยื่อใยในอาหารลดลง โดยเฉพาะเซลลูโลสและเฮมิเซลลูโลส มีผลทำให้สัตว์กินอาหารได้ลดลง เนื่องจากกระเพาะรูเมนเต็มเร็วขึ้น (Jung and Allen, 1995) ดังนั้นปริมาณลิกนินที่เพิ่มขึ้นจะทำให้คุณค่าทางโภชนะลดลง เนื่องจากลิกนินจะขัดขวางการย่อยไดข้องเซลลูโลสและเฮมิเซลลูโลส ดังนั้นปริมาณลิกนินมีความสำคัญต่อการประเมินคุณภาพของพืชอาหารสัตว์ที่ใช้สำหรับสัตว์เคี้ยวเอื้อง

5.1.1.5 การวิเคราะห์หาปริมาณ Cellulose

ปริมาณเซลลูโลสที่ตรวจพบจากสาหร่ายทั้ง 3 ผลการศึกษาเซลลูโลสในสาหร่ายทะเลพบว่าการสกัดวิธีที่ 1 การสกัดด้วยน้ำร้อน มีปริมาณเซลลูโลสอยู่ในช่วง 8.10 ± 0.86 ถึง 39.03 ± 1.19% การสกัดวิธีที่ 2 การสกัดด้วยตัวทำละลายอินทรีย์อยู่ในช่วง 10.72 ± 1.23 ถึง 50.37 ± 1.14% และการสกัดวิธีที่ 3 การสกัดด้วยเอนไซม์อยู่ในช่วง 31.67 ± 3.28 ถึง 77.48 ± 11.53% ซึ่งปริมาณเซลลูโลสพบมากที่สุดจากการสกัดวิธีที่ 3 ได้แก่สาหร่าย *Chaetomorpha* sp. (77.48 ± 11.53%) โดยมีค่าสูงแตกต่างจากชุดทดลองอื่นอย่างมีนัยสำคัญ ($p<0.05$) ซึ่งไม่สอดคล้องกับการทดลองของ Doh *et al*. (2020) ที่พบว่าปริมาณผลึกเซลลูโลสที่พบมากที่สุดคือสาหร่ายสีน้ำตาล *Laminaria japonica* (75.76 ± 3.18%) สาหร่ายสีเขียว *Arthrospira maxima* (67.24 ± 3.21%) และสาหร่ายสีแดง *Porphyra umbilicalis* (65.97 ± 2.18%) ตามลำดับ สำหรับองค์ประกอบทางเคมีของสาหร่ายที่

แตกต่างกันมีสาเหตุมาจากหลายปัจจัย เช่น ชนิดของสาหร่าย ที่อาศัยหรือวัสดุเกาะ ระยะการสืบพันธุ์ และสภาวะแวดล้อม (Ito and Hori, 1989)

ตารางที่ 5-1 ปริมาณผลผลิตต่อวิธีการสกัดสาหร่ายทะเล

ปัจจัย	วิธีการสกัด	ชนิดสาหร่ายทะเล		
		Chaetomorpha sp.	*Sargassum* sp.	*Gracilaria* sp.
ปริมาณ Cellulose (% ต่อน้ำหนักแห้ง)	**วิธีที่ 1**	39.03 ± 1.19	20.51 ± 2.71	8.19 ± 0.86
	วิธีที่ 2	50.37 ± 1.14	14.34 ± 2.03	10.72 ± 1.23
	วิธีที่ 3	77.48 ± 11.53	31.67 ± 3.28	48.77 ± 11.87
ปริมาณสาหร่ายแห้ง (g) / ปริมาณเซลลูโลส 100 กรัม	**วิธีที่ 1**	256.23 g	487.46 g	1,220.30 g
	วิธีที่ 2	198.51 g	697.13 g	932.52 g
	วิธีที่ 3	129.06 g	315.77 g	205.06 g
ปริมาณสาหร่ายสด (g) / ปริมาณเซลลูโลส 100 กรัม	**วิธีที่ 1**	2,866.13 g	4,261.03 g	5,723.74 g
	วิธีที่ 2	2,220.50 g	6,093.81 g	4,373.91 g
	วิธีที่ 3	1,443.67 g	2,760.25 g	961.81 g
ราคาค่าสกัดเยื่อใย (บาท) / ปริมาณเซลลูโลส 100 กรัม (น้ำหนักสาหร่ายแห้ง)	**วิธีที่ 1**	23.06 บาท	43.87 บาท	109.83 บาท
	วิธีที่ 2	1,560.31 บาท	5,479.46 บาท	7,392.59 บาท
	วิธีที่ 3	360.99 บาท	883.22 บาท	573.55 บาท

5.1.2 การวิเคราะห์ปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดในสารสกัดเยื่อใยแบบหยาบจากสาหร่ายทะเล

เมื่อตรวจสอบปริมาณเยื่อใยสาหร่ายทะเลทั้ง 3 ชนิด ได้แก่ *Chaetomorpha* sp. *Gracilaria* sp. และ *Sargassum* sp. ที่ได้จากวิธีการสกัดที่แตกต่างกันดังนี้ วิธีที่1) การสกัดด้วยน้ำร้อน วิธีที่2) การสกัดด้วยสารละลายด่างร่วมกับตัวทำละลายอินทรีย์ และวิธีที่ 3) การสกัดด้วยเอนไซม์ แล้วนำเยื่อใยจากสาหร่ายทะเลที่ได้มาทำการวิเคราะห์หาปริมาณฟีนอลิกทั้งหมด โดยเทียบกับสารมาตรฐาน Gallic acid (ภาพที่ 4-2) พบว่า ปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดมีค่ามากที่สุดจากการสกัดด้วยวิธีที่ 2 (การสกัดด้วยสารละลายด่างร่วมกับตัวทำละลายอินทรีย์) ซึ่งมีค่าอยู่ในช่วง 0.043 ± 0.014 ถึง 0.213 ± 0.016 mg_GAE/g โดยส่วนใหญ่สาหร่าย *Gracilaria* sp. มีปริมาณฟีนอลิกสูง (0.213 ± 0.016 mg_GAE/g) ยกเว้นวิธีที่ 1 (การสกัดด้วยน้ำร้อน) โดยสาหร่าย *Sargassum* sp. ที่สกัดด้วยทั้ง 3 วิธี มีปริมาณฟีนอลิกไม่แตกต่างกัน ส่วนวิธีที่ 3 (การสกัดด้วยเอนไซม์) มีปริมาณฟีนอลิกของสาหร่ายทั้ง 3 ชนิดไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$)

การศึกษาครั้งนี้ พบว่าปริมาณฟีนอลิกมีค่าต่ำ สอดคล้องกับงานวิจัยของวสันต์ สุมินทิลี่ และคณะ (2557) ที่พบว่าปริมาณสารประกอบฟีนอลิกที่มีค่าแตกต่างกันอาจความแตกต่างของสภาพขั้วตัวทำละลายทำให้ได้สารสกัดที่มีองค์ประกอบทางเคมีแตกต่างกัน ซึ่งจะส่งผลต่อการมีกิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระที่แตกต่างกัน นอกจากนี้ปริมาณฟีนอลิกที่ได้จากการสกัดนั้นขึ้นอยู่กับตัวแปรหลายอย่าง เช่น อุณหภูมิ เวลา อัตราส่วนของตัวทำละลายต่อปริมาณของพืชที่สกัด (Pinelo et al., 2005) และชนิดของตัวทำละลาย ซึ่งลักษณะทางเคมี และโครงสร้างของตัวทำละลายแต่ละชนิดเป็นตัวแปรที่สำคัญเพราะเป็นตัวกำหนดปริมาณ และชนิดของสารประกอบฟีนอลิกที่สกัดได้ (อิสระวัฒน์ ฤทธนพงศธร และเฉลิม เรืองวิริยะชัย, 2556)

การศึกษาการสกัดปริมาณฟีนอลิกด้วยน้ำ พบว่า ปริมาณฟีนอลิก มีค่าต่ำอยู่ในช่วง 0.068 ± 0.009 ถึง 0.087 ± 0.003 mg_GAE/g ซึ่งไม่สอดคล้องกับงานวิจัยของ มนต์สรวง ยางทอง และ นงพร โตวัฒนะ (2557) ได้ศึกษาปริมาณฟีนอลิกรวมของสาหร่ายจากชายฝั่งภาคใต้ของประเทศไทย พบว่า การสกัดสาหร่ายใบ (*Pyropia vietnamensis*) และสาหร่ายทุ่น (*Sargassum* sp.) ด้วยน้ำมีค่าเท่ากับ 549.64 ± 40.91 และ 152.52 ± 0.57 mg TAE/g ตามลำดับ ซึ่งการสกัดด้วยน้ำมีปริมาณฟีนอลิกสูงกว่าการสกัดด้วยเมทานอล มีค่าเท่ากับ 104.44 ± 11.58 และ 42.69 ± 4.18 mg TAE/g ตามลำดับ เนื่องมีการใช้ตัวทำละลายที่ต่างกัน

5.1.3 การทดสอบฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระในสารสกัดเยื่อใยแบบหยาบจากสาหร่ายทะเล ด้วยวิธี DPPH free radical scavenging Activity

การทดสอบฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระของใยอาหารในเยื่อใยสาหร่ายทะเลทั้ง 3 ชนิด เทียบกับสารมาตรฐานวิตามินซี และ BHT พบว่า วิตามินซี และ BHT สามารถดักจับอนุมูล DPPH ที่ 50 เปอร์เซ็นต์ ได้เท่ากับ 2.594 และ 4.335 ppm ตามลำดับ โดยสารมาตรฐานทั้ง 2 ชนิดมีคุณสมบัติที่แตกต่างกันคือ วิตามินซีเป็นสารต้านอนุมูลอิสระที่ไซโทพลาซึม และเป็นสารที่ละลายน้ำได้ดี ส่วน BHT เป็นสารสังเคราะห์ที่มีสภาพคงตัวกว่าสารต้านอนุมูลอิสระจากธรรมชาติ แต่มีข้อจำกัดในด้านความปลอดภัยในการบริโภค นอกจากนี้ข้อดีของวิธี DPPH คือ ง่ายสะดวก รวดเร็ว และใช้สารตัวอย่างในปริมาณน้อย วิเคราะห์สารหลายชนิดได้พร้อมกันใช้เวลาในการวิเคราะห์สั้นขั้นตอนไม่ยุ่งยากซับซ้อน ใช้ต้นทุนต่ำในการวิเคราะห์ ตัวอย่างสามารถแยกองค์ประกอบต่าง ๆ ในสารตัวอย่างได้ทั้งที่มีสี และไม่มีสี ส่วนข้อเสีย คือ มีความไว และความแม่นยำต่ำ ในกรณีที่องค์ประกอบต่าง ๆ ในตัวอย่างมีค่า Rf ใกล้เคียงกันมากจะไม่สามารถแยกองค์ประกอบต่าง ๆ เหล่านั้นออกจากกันได้ หรือแยกได้แต่ไม่บริสุทธิ์ และ DPPH ค่อนข้างเสถียรไม่ไวต่อปฏิกิริยาเหมือนอนุมูลอิสระที่เกิดขึ้นในร่างกายจริง จึงทำให้เกิดปฏิกิริยาได้ช้า ทำให้ค่าการวิเคราะห์ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระที่วัดได้น้อยกว่าความเป็นจริง และต้องวัดในปฏิกิริยาที่เป็นแอลกอฮอล์ ซึ่งจะทำให้โปรตีนตกตะกอน จึงไม่สามารถวิเคราะห์ในตัวอย่างที่เป็นเลือดได้ อีกทั้งสารปนเปื้อน และโลหะจะรบกวน(interfere) ซึ่งสามารถเป็นตัวรีดิวซ์แล้วทำให้สีของอนุมูลอิสระ DPPH จางลงได้ เช่นกัน (บุหรัน พันธุ์สวรรค์, 2556)

การทดสอบฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระ พบว่า การสกัดด้วยวิธีที่ 1 (การสกัดด้วยน้ำร้อน) มีประสิทธิภาพในการต้านอนุมูลอิสระ DPPH ที่ 50 เปอร์เซ็นต์ได้สูงสุด มีค่า IC_{50} อยู่ในช่วง 10,503.16 ± 516.93 ถึง 29,312.31 ± 11,804.71 ppm โดยสาหร่าย *Chaetomorpha* sp. มีความสามารถในการดักจับอนุมูล DPPH ได้สูงเมื่อเทียบกับสาหร่ายในชุดการทดลองอื่น โดยมีค่า IC_{50} เท่ากับ 10,503.16 ± 516.93 ppm เมื่อเปรียบเทียบผล IC_{50} ของสารสกัดเยื่อใยกับสารมาตรฐานวิตามินซี แสดงให้เห็นว่า สารสกัดของสาหร่าย *Chaetomorpha* sp ในวิธีสกัดด้วยวิธีที่ 1 มีประสิทธิภาพในการต้านอนุมูลอิสระ แต่มีประสิทธิภาพน้อยกว่าวิตามินซี 4,049.02 เท่า ทั้งนี้การที่สารสกัดเยื่อใยจากสาหร่ายทะเลมีฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระ (IC_{50}) ต่ำอาจมีสาเหตุมาจากกรรมวิธีในการสกัดเยื่อใยที่มีการใช้ความร้อนสูง และมีการใช้ตัวทำละลายชนิดต่างๆ ที่อาจมีผลทำลายสารต้านอนุมูลอิสระหรือทำให้สารต้านอนุมูลอิสระเสื่อมสภาพไป โดยเมื่อเปรียบเทียบฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระ (IC_{50}) ในสาหร่ายทะเลธรรมชาติที่ยังไม่ผ่านการสกัดเยื่อใย ดังตารางที่ 5-2 แสดงให้เห็นว่า สาหร่ายทะเลทั้ง 3 ชนิดมีค่า IC_{50} สูงกว่าเยื่อใยจากสาหร่ายทะเลที่ผ่านการสกัดแล้ว โดยมีค่าอยู่ในช่วง 2,054.87 - 5,388.38 ppm ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ อนุสรา พลบจู และวิชมณี ยืนยงพุทธกาล (2561) ที่ได้ศึกษา ผลของการเตรียมวัตถุดิบต่อคุณภาพของใยอาหารผงที่มีสารต้านอนุมูลอิสระจากเปลือกเสาวรสพันธุ์สีม่วง (*Passiflora edulis* Sims) พบว่า การเตรียมขั้นต้นวัตถุดิบก่อนการทำแห้งด้วยการลวก หรือแช่ในสารละลายเกลือโซเดียมคลอไรด์ มีโอกาสให้สารประกอบที่มีฤทธิ์ในการต้านอนุมูลอิสระสูญเสียไปได้ด้วยความร้อน การถูกชะ และการละลาย ทำให้สมบัติต้านอนุมูลอิสระลดลง

การศึกษาของ มนต์สรวง ยางทอง และคณะ (2558) พบว่า สารประกอบฟีนอลมีความสัมพันธ์กับฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระ (Yangthong and Hutadilok-Towatana, 2014) เนื่องจากมีโครงสร้างที่ประกอบด้วยโครงสร้างที่เป็นวงอะโรมาติก และมีหมู่แทนที่เป็นหมู่ไฮดรอกซิลอย่างน้อย 1 หมู่ ทำให้สามารถให้อิเล็กตรอนแก่อะตอม หรือโมเลกุลที่มีอิเล็กตรอนไม่เป็นคู่ หรือที่เรียกว่า อนุมูลอิสระได้ ช่วยยับยั้ง หรือต่อต้านปฏิกิริยาออกซิเดชัน สารประกอบฟีนอล มีพอลีฟีนอลเป็นส่วนประกอบหลักของเมทาบอไลท์ทุติยภูมิ (secondary metabolites) ในพืช จัดเป็นสารต้านอนุมูลอิสระที่พบมากในธรรมชาติ โดยพบตั้งแต่สารที่มีโมเลกุลอย่างง่ายไปจนถึงสารที่มีโครงสร้างโมเลกุลที่ซับซ้อน

5.1.4 การตรวจสอบคุณสมบัติทางเคมี และกายภาพ

เยื่อใยสาหร่ายทะเลทั้ง 3 ชนิด ที่ได้จากวิธีการสกัดด้วยวิธีที่แตกต่างกัน โดยนำมาตรวจสอบคุณสมบัติทางเคมี และกายภาพ ได้แก่ การวิเคราะห์ปริมาณความชื้น วัดค่า pH และความสามารถในการอุ้มน้ำ

การตรวจสอบคุณสมบัติทางเคมี

5.1.4.1 การวิเคราะห์ปริมาณความชื้น

การวิเคราะห์ปริมาณความชื้นจากเยื่อใยสาหร่ายทะเลทั้ง 3 ชนิด ที่ได้จากวิธีการสกัดที่ แตกต่างกัน 3 วิธี ที่นำมาวิเคราะห์ พบว่า ปริมาณความชื้นมีค่าต่ำที่สุดจากการสกัดด้วยวิธีที่ 3 (การสกัดด้วยเอนไซม์) ซึ่งมีค่าอยู่ในช่วง 0.82 ± 0.26 ถึง 2.22 ± 1.89% โดยสาหร่าย *Chaetomorpha* sp. มีปริมาณความชื้นต่ำสุด โดยมีค่าอยู่ในช่วง 0.82 ± 0.26%

การศึกษาของ สิริมา ชินสาร และกฤษณะ ชินสาร (2557) ได้ศึกษาการสกัดและใช้ประโยชน์เส้นใยอาหาร และเซลลูโลสจากกากมะพร้าวเพื่อสร้างมูลค่าเพิ่มให้กับวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร และการสร้างตัวแบบเพื่อการพยากรณ์การถ่ายเทมวลสารระหว่างการทอด พบว่า ผลของการเตรียมวัตถุดิบโดยวิธีการที่แตกต่างกัน 3 วิธีที่มีผลต่อคุณสมบัติของใยอาหารที่ได้ ได้แก่ วิธีที่ 1 การเตรียมวัตถุดิบด้วยวิธีการอบแห้ง วิธีที่ 2 การเตรียมวัตถุดิบด้วยวิธีการบดเปียก และวิธีที่ 3 ปริมาณความชื้นที่วิเคราะห์ได้ จากการเตรียมวัตถุดิบทั้ง 3 วิธี มีค่าปริมาณความชื้น เท่ากับ 6.24 6.16 และ 6.12ตามลำดับ ทั้งนี้ เนื่องจากในขั้นตอนการเตรียมวัตถุดิบขั้นต้น มีการควบคุมปริมาณความชื้นให้มีค่าอยู่ในช่วงร้อยละ 5±1 ทำให้ผลผลิตสุดท้ายของเซลลูโลสที่ได้มีปริมาณความชื้นเพิ่มขึ้นเล็กน้อย

5.1.4.2 การวัดค่า pH

การวัดค่า pH จากเยื่อใยสาหร่ายทะเลทั้ง 3 ชนิด ที่ได้จากวิธีการสกัดที่แตกต่างกัน 3 วิธี ที่นำมาวิเคราะห์ พบว่า ค่า pH ของเยื่อใยสาหร่าย *Chaetomorpha* sp. และ *Sargassum* sp. ในทุกวิธีการสกัดส่วนใหญ่มีค่า pH เป็นกลาง (pH 7.27 - 7.77) ยกเว้น *Sargassum* sp. ที่สกัดด้วยวิธีที่ 3 (การสกัดด้วยเอนไซม์) ที่มีค่าเป็นเบส (pH 8.54) ส่วนเยื่อใยจากสาหร่าย *Gracilaria* sp. มีค่า pH เป็นกรดอ่อน (pH 5.31-6.87) ซึ่งมีค่าแตกต่างจากสาหร่ายชนิดเดียวที่สกัดด้วยวิธีต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$)

งานวิจัยของ จาริณี พยัคฆชาติ (2560) ได้ศึกผลของใยอาหารต่อสมบัติของสตาร์ชข้าวเจ้า และมันสำปะหลัง และการนำไปใช้ในผลิตภัณฑ์ขนมชั้น จากค่าความเป็นกรด-ด่างของสตาร์ชข้าวเจ้า และสตาร์ชมันสำปะหลังที่เติม และไม่เติมใยอาหาร พบว่า ค่าความเป็นกรด-ด่าง ของสตาร์ชอยู่ในช่วง 6.0-6.5 ซึ่งเป็นช่วงค่อนข้างเป็นกลาง ในขณะที่ค่าความเป็นกรด-ด่างของใยอาหารที่ละลายน้ำได้อยู่ในช่วง 5.0-6.5 ซึ่งเป็นช่วงกรดสูงถึงกรดเล็กน้อย โดยที่ใยอาหารมีความเป็นกรดสูงกว่าสตาร์ชเล็กน้อย ซึ่ง RM แสดงความเป็นกรดสูงที่สุด ความเป็นกรด-ด่างที่แตกต่างกันของสตาร์ช และใยอาหารที่ละลายน้ำได้อาจจะส่งผลต่อสมบัติของสตาร์ชแตกต่างกันไป และจากการศึกษาของ สิริมา ชินสาร และกฤษณะ ชินสาร (2557) ได้ศึกษาการสกัด และใช้ประโยชน์เส้นใยอาหาร และเซลลูโลสจากกากมะพร้าวเพื่อสร้างมูลค่าเพิ่มให้กับวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร และการสร้างตัวแบบเพื่อการพยากรณ์การถ่ายเทมวลสารระหว่างการทอด พบว่า ผลของการเตรียมวัตถุดิบโดยวิธีการที่แตกต่างกัน 3 วิธีที่มีผลต่อคุณสมบัติของใยอาหารที่ได้ ได้แก่ วิธีที่ 1 การเตรียมวัตถุดิบด้วยวิธีการอบแห้ง วิธีที่ 2 การเตรียมวัตถุดิบด้วยวิธีการบดเปียก และวิธีที่ 3 ปริมาณความชื้นที่วิเคราะห์ได้ จากการเตรียมวัตถุดิบทั้ง 3 วิธี มีค่าความเป็นกรด-ด่างของใยอาหารค่อนข้างเป็นกลาง ซึ่งมีค่า 6.10 5.69 และ 5.99 ตามลำดับ ทั้งนี้เนื่องจากการสกัดใยอาหารนี้ไม่มีการนำสารเคมีที่เป็นกรดด่างมาใช้ จึงทำให้ค่าความเป็นกรดด่างมีค่าเป็นกลางค่อนข้างไปทางกรดเล็กน้อย ซึ่งเป็นค่าความเป็นกรดด่างจากมะพร้าว ซึ่งเนื้อมะพร้าวที่นำมาคั้นกะทิมีค่าความเป็นกรดด่างไม่ต่ำกว่า 5.5 และงานวิจัยของ วีระสิทธิ์ ธรรมวโร และคณะ (2556) พบว่า ใยอาหารแห้งที่ผ่านการสกัดที่อุณหภูมิห้อง และสกัดร้อนมีค่าไปในทิศทางเดียวกัน คือ ค่าความหนาแน่น ค่าการแทนที่น้ำ และค่า pH มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น เมื่อสกัดที่ระยะเวลานานขึ้น โดยการสกัดที่อุณหภูมิห้องจะให้ปริมาณผลผลิตลดลงเมื่อใช้ระยะเวลาในการสกัดเพิ่มขึ้น เนื่องจากการสกัดที่ระยะเวลานานขึ้นมีผล

ทำให้ของแข็งละลายน้ำ เช่น กรดในใยอาหารมีปริมาณลดลง โดยแสดงจากการเพิ่มขึ้นของค่า pH นอกจากนี้สำนักอาหาร สำนักงานคณะกรรมการอาหารและยา (2556) ได้มีมาตรการกำกับดูแลทางกฎหมายว่า อาหารชนิดที่มีความเป็นกรดต่ำ (Low-acid Foods) มีค่าพีเอชมากกว่า 4.6 (pH > 4.6) หรือเป็นอาหารที่โดยธรรมชาติมีค่าพีเอช มากกว่า 4.6 (pH > 4.6) แต่มีการปรับสภาพให้เป็นกรด (Acidified Food) จนมีค่าพีเอช ไม่เกิน 4.6 (pH ≤ 4.6) ค่า 4.6 นี้ได้มาจากค่าพีเอชต่ำสุด (MinimumpH) ที่แบคทีเรีย *Clostridium botulinum* ซึ่งเป็นจุลินทรีย์ก่อโรคที่สามารถเจริญได้ที่ที่สภาวะคู่มือการตรวจสถานที่ตามหลักเกณฑ์วิธีการที่ดีในการผลิตอาหารในภาชนะบรรจุที่ปิดสนิทชนิดที่มีความเป็นกรดต่ำ และชนิดที่ปรับกรด (Low-acid Canned Foods and Acidified Foods) ไม่มีอากาศ (Anaerobe) สามารถเจริญอยู่ได้และสามารถผลิตสารพิษนิวโรทอกซิน (Neurotoxin) ออกมาปนเปื้อนในอาหารที่บรรจุในภาชนะปิดสนิท สารพิษนี้มีผลทำลายระบบประสาท การบริโภคอาหารที่มีสารพิษนี้ปนเปื้อนเข้าไปเพียง 1 ไมโครกรัม จะทำให้เกิดอาการป่วยที่เรียกว่า โบทูลิซึ่ม (Botulism) ทำให้มองเห็นภาพซ้อน คลื่นไส้อาเจียน หน้ามืด เป็นอัมพาต หายใจขัด และเสียชีวิต เนื่องจากระบบหายใจล้มเหลว อาการจะเกิดขึ้นใน 12-36 ชั่วโมง หลังจากบริโภคอาหาร และอาจจะเสียชีวิตภายใน 3-6 วัน

การตรวจสอบคุณสมบัติทางกายภาพ

5.1.4.3 การวิเคราะห์ความสามารถในการอุ้มน้ำ

การวิเคราะห์ความสามารถในการอุ้มน้ำจากเยื่อใยสาหร่ายทะเลทั้ง 3 ชนิด ที่ได้จากวิธีการสกัดที่แตกต่างกัน 3 วิธี พบว่า ความสามารถในการอุ้มน้ำมีค่ามากที่สุดจากการสกัดด้วยวิธีที่ 3 (การสกัดด้วยเอนไซม์) ซึ่งมีค่าอยู่ในช่วง 0.10 ± 0.02 ถึง 0.32 ± 0.01% โดยสาหร่าย *Gracilaria* sp. มีความสามารถในการอุ้มน้ำสูง อยู่ในช่วง 0.32 ± 0.01% ซึ่งมีค่าไม่แตกต่างจากสาหร่ายชนิดอื่นและสกัดด้วยวิธีเดียวกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$)

การศึกษานี้ สอดคล้องกับงานวิจัยของ สิริมา ชินสาร และกฤษณะ ชินสาร (2557) ได้ศึกษาการเตรียมใยอาหารจากกากมะพร้าวเพื่อใช้เป็นสารเสริมใยอาหารในโดนัท พบว่า มีค่าความสามารถในการอุ้มน้ำเท่ากับ 2.43 3.76 และ 2.94 ตามลำดับ มีค่าค่อนข้างต่ำ และสอดคล้องกับงานวิจัยของ Raghavendra *et al*. (2006) กล่าวว่า การลดขนาดอนุภาคของเส้นใยอาหารจากมะพร้าวจาก 1,127 ไมครอน เป็น 550 ไมครอน จะทำให้สมบัติในการจับกับน้ำเพิ่มขึ้น อย่างไรก็ตามหากขนาดอนุภาคเล็กเกินไป อาจเกิดความเสียหายกับโครงสร้างที่เป็นเมทริกซ์ (Matrix) ทำให้เกิดการยุบตัวของรูพรุน น้ำจึงแทรกตัวเข้าไปได้น้อยลง ส่งผลให้ความสามารถในการอุ้มน้ำลดลง (Elleuch et al., 2011) ซึ่งปัจจัยที่มีผลต่อความสามารถในการอุ้มน้ำ ได้แก่ การบดใยอาหาร และการใช้อุณหภูมิสูงทำให้โครงสร้างของเซลล์แตก และเกิดการสูญเสียความคงตัวของโพลีแซ็กคาไรด์ เช่น เพคติน ทำให้ความสามารถในการอุ้มน้ำของใยอาหารลดลงและการอบแห้งที่อุณหภูมิต่ำ ซึ่งต้องใช้เวลานานในการอบแห้งทำให้เกิดการสูญเสียน้ำตาล ซึ่งเป็นองค์ประกอบของเพคตินเช่นกันทำให้ความสามารถในการกักเก็บน้ำลดลง (หยาดฝน ทนงการกิจ, 2556)

5.2 สรุปผลการทดลอง

5.2.1 ปริมาณ NDF ADF และ cellulose ของสาหร่ายทั้ง 3 ชนิดที่สกัดด้วยวิธีที่ 3 คือการสกัดด้วยเอนไซม์มีค่าสูงสุด โดยสาหร่ายทะเลที่มีปริมาณ NDF ADF และ cellulose สูงที่สุดสุดคือสาหร่าย *Chaetomorpha* sp.

5.2.2 ปริมาณเฮมิเซลลูโลสของสาหร่ายทั้ง 3 ชนิดมีค่าต่ำที่สุดส่วนใหญ่คือการสกัดด้วยเอนไซม์ ซึ่งมีค่าต่ำอยู่ในช่วง 9.11 ± 5.58 ถึง 15.55 ± 5.28%

5.2.3 ปริมาณลิกนินในสาหร่ายทะเลทั้ง 3 และการสกัด 3 วิธี มีค่าอยู่ในช่วง 0.57 ± 0.37 ถึง 4.47 ± 2.68% โดยทุกชุดการทดลองมีค่าปริมาณลิกนินต่ำไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$)

ตารางที่ 5-2 ปริมาณเยื่อใยแต่ละชนิดของสาหร่ายทั้ง 3 ชนิดที่พบมีค่าสูงในวิธีการสกัดที่แตกต่างกัน

ปริมาณผลผลิต (%)	วิธีการสกัด	ชนิดสาหร่าย		
		***Chaetomorpha* sp.**	***Sargassum* sp.**	***Gracilaria* sp.**
Hemicellulose	วิธีที่ 1	18.40 ± 0.68	4.57 ± 0.44	56.61 ± 1.62
Lignin	วิธีที่ 1	0.57 ± 0.37	2.99 ± 0.25	0.83 ± 0.48
Cellulose	วิธีที่ 3	77.48 ± 11.53	31.67 ± 3.28	48.77 ± 11.87

5.2.4 ปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดมีค่ามากที่สุดจากการสกัดด้วยวิธีที่ 2 (การสกัดด้วยสารละลายด่างร่วมกับตัวทำละลายอินทรีย์) ซึ่งมีค่าอยู่ในช่วง 0.043 ± 0.014 ถึง 0.213 ± 0.016 mg_GAE/g โดยส่วนใหญ่สาหร่าย *Gracilaria* sp. มีปริมาณฟีนอลิกสูง (0.213 ± 0.016 mg_GAE/g) ยกเว้นวิธีที่ 1 (การสกัดด้วยน้ำร้อน)

5.2.5 วิธีการสกัดเยื่อใยจากสาหร่ายทะเลที่มีประสิทธิภาพในการต้านอนุมูลอิสระ DPPH ที่ 50 เปอร์เซ็นต์ได้สูงสุด คือ การสกัดด้วยวิธีที่ 1 (การสกัดด้วยน้ำร้อน) โดยมีค่า IC_{50} อยู่ในช่วง 10,503.16 ± 516.93 ถึง 29,312.31 ± 11,804.71 ppm สาหร่าย *Chaetomorpha* sp. ที่สกัดเยื่อใยด้วยวิธีที่ 1 มีความสามารถในการดักจับอนุมูล DPPH ได้สูงสุด

5.2.6 ปริมาณความชื้นมีค่าต่ำที่สุดจากการสกัดด้วยวิธีที่ 3 (การสกัดด้วยเอนไซม์) ซึ่งมีค่าอยู่ในช่วง 0.82 ± 0.26 ถึง 2.22 ± 1.89% โดยสาหร่าย *Chaetomorpha* sp. มีปริมาณความชื้นต่ำสุด

5.2.7 ค่า pH ของเยื่อใยสาหร่าย *Chaetomorpha* sp. และ *Sargassum* sp. ในทุกวิธีการสกัดส่วนใหญ่มีค่า pH เป็นกลาง (pH 7.27 - 7.77) ยกเว้น *Sargassum* sp. ที่สกัดด้วยวิธีที่ 3 (การสกัดด้วยเอนไซม์) ที่มีค่าเป็นเบส (pH 8.54) ส่วนเยื่อใยจากสาหร่าย *Gracilaria* sp. มีค่า pH เป็นกรดอ่อน (pH 5.31-6.87)

5.2.8 ความสามารถในการอุ้มน้ำมีค่ามากที่สุดจากการสกัดด้วยวิธีที่ 3 (การสกัดด้วยเอนไซม์) ซึ่งมีค่าอยู่ในช่วง 0.10 ± 0.02 ถึง 0.32 ± 0.01%

5.3 ปัญหาและข้อเสนอแนะ

5.3.1 ทางผู้วิจัยได้ดัดแปลงอุปกรณ์ในการวิเคราะห์องค์ประกอบเยื่อใยโดยใช้ผ้ากรองขนาด 16 µm แทน crucible no.2 และ Vacuum pump

5.3.2 การล้างทำความสะอาดสาหร่ายทะเลก่อนเตรียมการสกัด และควรผึ่งในบริเวณที่มีลมโกรก ไม่ควรนำสาหร่ายไปตากแดดเพราะจะทำให้สาหร่ายสูญเสียรงควัตถุ

5.3.3 ควรสกัดสาหร่ายครั้งเดียวหากต้องการนำไปวิเคราะห์องค์ประกอบในวิธีที่แตกต่างกัน เพื่อจะได้เป็นชุดตัวอย่างเดียวกันไม่มีความแปรปรวน

บรรณานุกรม

กนกกานต์ วีระกุล, จิราภรณ์ สอดจิตร์ และเหรียญทอง สิงห์จานุสงค์. (2558). การสกัดใยอาหารจากเปลือกกล้วยน้ำว้าโดยใช้เอนไซม์และการนำไปประยุกต์ใช้ในผลิตภัณฑ์โยเกิร์ต. *วารสารวิจัยมหาวิทยาลัยสวนดุสิต, 8*(3), 43-55.

กัมปนาท หวลบุตตา และธนิกานต์ แสงนิ่ม. (2556). การประยุกต์ใช้พอลิเมอร์ที่ได้จากทรัพยากรทางทะเลในทางเภสัชกรรม. *Burapha Science Journal (วารสาร วิทยาศาสตร์ บูรพา)*, *18*(2), 263-273.

กรมปศุสัตว์ (2552). *วิธีวิเคราะห์แบบ Detergent*. วันที่ค้นข้อมูล 11 พฤษภาคม 2563, เข้าถึงได้จาก http://km.dld.go.th/th/index.php/th/research-system/knowledge-office/-present-km/present-general/114-detergent

จตุพร ประทุมเทศ, จักรกฤษณ์ สุรสอน และทิพยมนตร์ เปาป่า. (2562). สารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดและฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระของชาดอกไม้ 3 ชนิดในจังหวัดสกลนคร. *วารสารวิชาการสาธารณสุข , 28*(6), 1110-1115.

จันทนา ไพรบูรณ์ และ อนงค์ จีรภัทร์. (2557). ปริมาณฟีนอลิก และฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระของสารสกัดด้วยตัวทำละลายจากสาหร่ายทะเล. *การประชุมทางวิชาการของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, ครั้งที่ 52*, 4 - 7 กุมภาพันธ์ 2557, กรุงเทพฯ

เจนจิรา จิรัมย์ และประสงค์ สีหานาม. (2554). อนุมูลอิสระและสารต้านอนุมูลอิสระ: แหล่งที่มาและกลไกการเกิดปฏิกิริยา. *วารสารวิชาการมหาวิทยาลัยราชภัฏกาฬสินธุ์, 1*(1). 59-70.

จุฬาลักษณ์ วงศ์สรรเสริญ, ฐิตสิริ โฆวัฒนะกุล และบุญญาสิทธิ์ ดุลยศักดิ์. (2544). *การใช้เซลลูโลสผงที่ผลิตได้จากเปลือกถั่วเหลืองและเปลือกถั่วเขียวเพื่อลดการอมน้ำมันในปาท่องโก๋.* ปัญหาพิเศษปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

จุฬาลักษณ์ เขมาชีวะกุล, อเนก หาลี, วรันณ์ธร จันท์หมุด และสุวิมล บุญโกมล. (2560). ใยอาหารที่มีสารต้านอนุมูลอิสระจากเปลือกถั่วและการประยุกต์ใช้ในผลิตภัณฑ์อาหาร. *วารสารวิชาการและวิจัยมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร, 12*(1), 183-195.

ฐิตา ฟูเผ่า, อัจฉรา พรหมแสง, พัชรา อ้นโต และวีระ พุ่มเกิด. (2557). ผลของวิธีการสกัดต่อคุณสมบัติของสารสกัดเซลลูโลสจากกากเมล็ดมะรุม. *วารสารวิจัยมหาวิทยาลัยสวนดุสิต, 7*(2), 43-55.

ดวงจันทร์ เฮงสวัสดิ์. (2545). ใยอาหารเพื่อสุขภาพ. *อาหาร, 32*(3), 157-159.

ธนิกานต์ สันต์สวัสดิ์. (2549). *การผลิตเส้นใยอาหารผงจากกากส้มเขียวหวาน.* วิทยานิพนธ์ วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต, มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.

นฤมล ชูบัวทอง. (2550). *ผลขององค์ประกอบทางเคมีของชีวมวลต่อไพโรไลซิสและการเผาไหม้*. วิทยานิพนธ์ วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

นันทวดี ขำดี. (2551). *การศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการสกัดลิโมนีนจากเปลือกส้มเขียวหวานเพื่อใช้รีไซเคิลโฟมโพลีสไตรีน.* ปัญหาพิเศษปริญญาตรี, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

นิติพงศ์ จิตรีโภชน์, กมลวรรณ โรจน์สุนทรกิตติ และธีรพร กงบังเกิด. (2556). *ผลของสารสกัดเปลือกมันเทศในการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระจากธรรมชาติในน้ำมันทอด*. โครงการวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนจากกองทุนวิจัยมหาวิทยาลัยนเรศวร ประจำปีงบประมาณ 2556.

นิธิยา รัตนาปนนท์. (2545). *เคมีอาหาร.* กรุงเทพฯ: โอ. เอส. พริ้นติ้ง เฮาส์

ปฐมนาถ มาลัยเลิศ. (2549). *การพัฒนาสูตรคุกกี้ดัดแปลง*. วิทยานิพนธ์ปริญญาคุรุศาสตรมหาบัณฑิต, สาขาวิชาเทคโนโลยีอุตสาหกรรม, มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบุรี.

ปทุม พุทธิวนิช และพิมพาภรณ์ ไตรณรงค์สกุล. (2540). ใยอาหารสารที่ไม่มีคุณค่าแต่น่าสนใจ. *วารสารกรมวิทยาศาสตร์บริการ*, *45*(145), 26-32.

ประดิษฐ์ คำหนองไผ่ (2553). *อิทธิพลของใยอาหารจากเปลือกถั่วเหลืองต่อคุณภาพต่อเต้าหู้ปลาดุกบิ๊กอุย.* รายงานการวิจัยสนับสนุนงานงบประมาณรายได้ประจำปี 2553 คณะเทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยราชมงคลธัญบุรี.

ปาริชาติ สักกะทำนุ. (2540). คุณค่าอาหารเส้นใยป้องกันบำบัดสารพัดโรค (พิมพ์ครั้งที่ 2). กรุงเทพมหานคร: รวมทรรศน์.

ผกาวดี นารอง. (2543). เส้นใยอาหาร (Dietary Fiber): บทบาทสำคัญที่ไม่ควรมองข้าม. *ศูนย์บริการวิชาการ*, (1), 23-25.

พัชราภรณ์ วชิรศิริ. (2550). *การสกัดใยอาหารจากเปลือกกล้วยน้ำว้า*. การค้นคว้าอิสระ, วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (คหกรรมศาสตร์), มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

พันธุ์ทิพย์ วิเศษพงษ์พันธ์, พลชา จิตรมิตรสัมพันธ์, ชัชรี แก้วสุรลิขิต และอรรถวุฒิ กันทะวงศ์. (2556). *การประชุมทางวิชาการของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 51*, 414-421.

ไพโรจน์ หลวงพิทักษ์ และเบญจวรรณ ธรรมธนาภิรักษ์. (2538). เส้นใยอาหารกับคุณภาพชีวิต. *วารสารคุณค่าเพื่อชีวิต, 2,* 63-67.

มนต์สรวง ยางทอง และนงพร โตวัฒนะ. (2557). ปริมาณฟีนอลิกรวมและฤทธิ์ขจัดอนุมูล DPPH ของสาหร่ายทะเล 6 ชนิด จากชายฝั่งภาคใต้ของประเทศไทย. *วารสารวิจัยเทคโนโลยีการประมง, 8*(1), 93 – 104.

มนต์สรวง ยางทอง จำเริญศรี ถาวรสุวรรณ และ นงพร โตวัฒนะ. (2558). ปริมาณฟีนอลและคุณสมบัติการต้านอนุมูลอิสระของสารสกัดด้วยน้ำและเอทานอลสาหร่ายทะเล. *วารสารเกษตรพระจอมเกล้า, 33*(2), 73-81.

มนต์สรวง ยางทอง และจำเริญศรี ถาวรสุวรรณ. (2559). คุณค่าทางโภชนาการและฤทธิ์การต้านแบคทีเรียของสาหร่ายทะเล. *วารสารวิจัยเทคโนโลยีการประมง, 10*(2).

รัตนา ม่วงรัตน์, กรรณิการ์ เรือนหล้า และ ธัญชนก กันทวงศ์. (2560). ปัจจัยที่มีผลต่อสารแอนโธไซยานินที่สกัดได้จากเมล็ดแห้งข้าวโพดข้าวเหนียวสีม่วงด้วยเทคนิคการสกัดด้วยน้ำที่สภาวะต่ำกว่าจุดวิกฤตและฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระของสารสกัด. *วารสารเกษตร, 33*(1), 141–151.

รีราวดี วรรณาเวศน์ และปฐมพงษ์ เที่ยงเพชร. (2560). การหาปริมาณสารต้านอนุมูลอิสระและสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดของถั่วงอก. *รายงานสืบเนื่องการประชุมวิชาการระดับชาติ สถาบันวิจัยและพัฒนามหาวิทยาลัยราชภัฏกำแพงเพชร ครั้งที่ 4*, 1035-1040.

ลิลลี่ กาวีต๊ะ. (2559). *โครงสร้างพืช.* กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ ภาควิชาพฤกษศาสตร์.

วิทวัส จิรัฐพงศ์ และกฤษณเวช ทรงธนศักดิ์. (10-11 พฤศจิกายน 2554) การศึกษาปริมาณเซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส และลิกนินจากของเหลือทิ้งจากพืชเพื่อใช้ในการผลิตแผ่นฟิล์มพลาสติกชีวภาพ. ใน*การประชุมวิชาการนานาชาติวิศวกรรมเคมีประยุกต์แห่งประเทศไทย ครั้งที่ 21, หาดใหญ่* สงขลา.

วรรณิณี จันทร์แก้ว, เพ็ญศรี เพ็ญประไพ, จรินทร์ พูดงาม และวัลภา เหลือแหล่. (2561). ไฟโคบิลิโปรตีน โพลีฟีนอล และกิจกรรมต้านอนุมูลอิสระของสาหร่าย. *แก่นเกษตร, 46* ฉบับพิเศษ. 279-285.

วรรณพร ทะพิงค์แก. (2555). การเสริมเอนไซม์ในอาหารสัตว์. *สัตว์บก*, 255 *(19)*, 144-147.

วิชมณี ยืนยงพุทธกาล, สุวรรณา วรสิงห์, อาภัสรา แสงนาค และนิสานารถ กระแสร์ชล. (2557). *โครงการการพัฒนาผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวจากสาหร่ายผักกาดทะเลสำหรับเด็กวัยเรียน*. โครงการวิจัยประเภทงบประมาณเงินรายได้จากเงินอุดหนุนรัฐบาล (งบประมาณแผ่นดิน) ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2557 คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา.

วิชมณี ยืนยงพุทธกาล, สุวรรณา วรสิงห์ และพรนภา น้อยพันธ์. (2559). *การเพิ่มมูลค่าสาหร่ายผักกาดทะเลโดยใช้เป็นส่วนประกอบในผลิตภัณฑ์อาหารเพื่อสุขภาพ*. โครงการวิจัยประเภทงบประมาณเงินรายได้จากเงินอุดหนุนรัฐบาล (งบประมาณแผ่นดิน) ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2558 สาขาเกษตรศาสตร์และชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา.

วิชมณี ยืนยงพุทธกาล, สันทัด วิเชียรโชติ, วัชรี บุญถนอม และสุรางค์ ทองสุวรรณ์. (2561). ผลของของสภาวะการสกัดต่อคุณภาพของเส้นใยอาหารผงจากกากมะตูม. *วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีมหาวิทยาลัยอุบลราชธานี, 20*(3), 110-123.

วิภา สุโรจนะเมธกุล, ตวิษา โลหะนะ, พยอม อัตกวิบูลย์กุล และบุญมา นิยมวิทย์. (2541). การใช้ดอกกระเจี๊ยบและเปลือกถั่วเหลืองเพื่อผลิตเซลลูโลสผง. *อาหาร, 28*(47), 255-267.

วีระสิทธิ์ ธรรมวโร. (2556). *การพัฒนาซุปเผือกผงเสริมใยอาหารจากแกนสับปะรด*. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต, สาขาพัฒนาผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมเกษตร, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

วีระสิทธิ์ ธรรมวโร, สมบัติ ขอทวีวัฒนา, กมลวรรณ แจ้งชัด และดวงจันทร์เฮงสวสัดิ์. (2556). ผลของอุณหภูมิและเวลาในการสกัดต่อกระบวนการผลิตใยอาหารจากแกนสับปะรดเพื่อใช้เสริมใยอาหารในซุปเผือกหอม. *การประชุมทางวิชาการของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 51*. 338-345.

วีระสิทธิ์ ธรรมวโร. (2557). การผลิตและประยุกตใช้ใยอาหารจากวัตถุดิบเหลือใช้ทางการเกษตร. *อาหาร, 44*(3). 18-23.

วสันต์ สุมินทิลี่, ปนิดา บรรจงสินศิริ, จันทนา ไพรบูรณ์ และวรรณวิมิล คล้ายประดิษฐ์. (2557). กิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระของสารสกัดหยาบจากสาหร่ายพวงองุ่น (*Caulerpa lintillifera*) สาหร่ายทุ่น (*Sargassum oligocystum*) และสาหร่ายเขากวาง (*Gracilaria changii*). *วารสารเทคโนโลยีการอาหาร*, *9*(1), 63-75.

ศรัญญา มณีทอง. (2559). *การสกัดและการทดสอบฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระในพืชสมุนไพร 4 ชนิดด้วยวิธีการทำลายอนุมูลอิสระดีพีพีเอช.* โครงการวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนจากสถาบันวิจัยและพัฒนามหาวิทยาลัยราชภัฏบุรีรัมย์ พ.ศ. 2559. สาขาวิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏบุรีรัมย์.

ศรัญญา ยิ้มย่อง. (2547). *การเปลี่ยนเชิงชีวภาพของแอลฟาเซลลูโลสจากวัชพืชไปเป็นเอทานอล.* Doctoral dissertation จุฬาลงกรณ์ มหาวิทยาลัย.

ศิริพงษ์ เปรมจิต และดวงพร เปรมจิต (2556) *การนำมวลชีวภาพของพืชเส้นใยมาใช้ประโยชน์ทางด้านพลังงานชีวภาพ.* รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์ประจำปี 2556 ชื่อโครงการวิจัยการนำมวลชีวภาพของพืชเส้นใยมาใช้ประโยชน์ทางด้านพลังงานชีวภาพ มหาวิทยาลัยนเรศวร.

สันทนา อมรไชย. (2537). ใยอาหาร. *วารสารกรมวิทยาศาสตร์บริการ, 42*(135).

สุภารัตน์ จันทร์เหลือง และภูเบศร์ นิลาทะวงศ์. (2561). *คุณประโยชน์ของส่วนประกอบในเส้นใยอาหาร*. หน่วยการศึกษาต่อเนื่อง คณะเภสัชศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี.

สรณัตร เทียมดาว. (2560). *เอกสารประกอบการสอนในรายวิชา สาหร่ายวิทยา (Phycology).* คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรธานี.

สุรัตน์ โคมินทร์. (2534). ผลกระทบของใยอาหารและไฟเตต์ต่อสุขภาพและภาวะโภชนาการ, (หน้า 339-349). ใน*เอกสารการประชุมวิชาการโภชนาการ เรื่องก้าวไปกับโภชนาการเพื่อสุขภาพ*, 13-15 ธันวาคม 2532. สถาบันวิจัยโภชนาการ และคณะแพทศาสตร์ โรงพยาบาลรามาธิบดี มหาวิทยาลัยมหิดล, นครปฐม.

สิริมา ชินสาร และกฤษณะ ชินสาร. (2557). *การสกัดและใช้ประโยชน์เส้นใยอาหารและเซลลูโลสจากกากมะพร้าวเพื่อสร้างมูลค่าเพิ่มให้กับวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรและการสร้างตัว แบบเพื่อการพยากรณ์การถ่ายเทมวลสารระหว่างการทอด*. โครงการวิจัยประเภทงบประมาณเงินรายได้จากเงินอุดหนุนรัฐบาล (งบประมาณแผ่นดิน) ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2557 มหาวิทยาลัยบูรพา.

สุวรรณา วรสิงห์, ธวัช ศรีวิชัย, อรุณ ศรีอนันต์ และภาคภูมิ วงศ์แข็ง. (2552). *สัณฐานวิทยาการเลี้ยงและการนำมาใช้ประโยชน์ของสาหร่ายผักกาดทะเล Ulva rigida C. Agargh, 1823*. เอกสารวิชาการฉบับที่ 1/2552. ศูนย์วิจัยและพัฒนาประมงชายฝั่งจันทบุรี สำนักวิจัยและพัฒนาประมงชายฝั่ง กรมประมง.

สวรรยา ปัญญานันท์, เกื้อกูล ปิยะจอมขวัญ และกล้าณรงค์ ศรีรอต. (2561). การเตรียมและการศึกษาสมบัติของเซลลูโลสจากกากมันสำปะหลัง เพื่อการประยุกต์ใช้ในอาหาร. *วารสารเกษตรพระจอมเกล้า 2561, 36*(2), 106-116.

สำนักอาหาร สำนักงานคณะกรรมการอาหารและยา. (2556). *คู่มือการตรวจสถานที่ตามหลักเกณฑ์วิธีการที่ดีในการผลิตอาหารในภาชนะบรรจุที่ปิดสนิทชนิดที่มีความเป็นกรดต่ำและชนิดที่ปรับกรด(Low-acid Canned Foods and Acidified Foods)* : สำนักงานกิจการโรงพิมพ์องค์การสงเคราะห์ทหารผ่านศึกในพระบรมราชูปถัมภ์.

สาหร่าย (Algae) *ประมวลสารสนเทศพร้อมใช้สำนักหอสมุดและศูนย์สารสนเทศวิทยาศาสตร์เทคโนโลยี กรมวิทยาศาสตร์บริการ* กระทรวงวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี กันยายน 2558.

หยาดฝน ทนงการกิจ. (2556). การใช้ประโยชน์จากเศษผักผลไม้เหลือทิ้งเพื่อผลิตเป็นใยอาหารผง, *วารสารเทคโนโลยีอาหาร มหาวิทยาลัยสยาม, 9*(1), 31-38.

หยาดรุ้ง สุวรรณรัตน์, จิรพร สวัสดิการ, ปารณีย์ สร้อยศรี และคมสัน มุ่ยสี. (2560). สมบัติทางกายภาพ และความสามารถในการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระของใยอาหารจากเปลือกทุเรียน. *รายงานสืบเนื่องการประชุมสัมมนาวิชาการ (Proceedings) การนำเสนอผลงานวิจัยระดับชาติเครือข่ายบัณฑิตศึกษา, มหาวิทยาลัยราชภัฏภาคเหนือ ครั้งที่ 17.*

เหรียญทอง สิงห์จานุสงค์, กนกกานต์ วีระกุล, วิจิตร อุดอ้าย และสัมฤทธิ์ โม้พวง. (2553). *การสกัดและการใช้ประโยชน์ทางอาหารของใยอาหารและเซลลูโลสจากเปลือกกล้วย.* สาขาเกษตรศาสตร์และชีววิทยา มหาวิทยาลัยนเรศวร.

เหรียญทอง สิงห์จานุสงค์ และจิราภรณ์ สอดจิตร์. (2554). การผลิตเซลลูโลสจากเปลือกกล้วย. *วารสารวิทยาศาสตร์เกษตร, 42*(3) (พิเศษ), 741-744.

อดิศักดิ์ เอกโสวรรณ, จารุวรรณ จันทรัตน์, เอกชัย จารุเนตรวิลาส และสุธาสินี น้อยสุวรรณ. (2541). การลดไขมันในผลิตภัณฑ์เค้กและคุกกี้ด้วยแป้งบุก. *วารสารอาหาร, 28*(2), 111-124.

อธิป สกุลเผือก. (2559*). อนุมูลอิสระและสารต้านอนุมูลอิสระ*. หน่วยการศึกษาต่อเนื่อง คณะเภสัชศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.

อนงนาฎ ไพนุพงศ์. (2560). อนุมูลอิสระและสารตานอนุมูลอิสระกับสุขภาพ. *วารสารวิชาการซายน์เทคมหาวิทยาลัยราชภูเก็ต, 1*(2). 20-27

อนุสรา พลบจู และวิชมณี ยืนยงพุทธกาล. (2561). ผลของการเตรียมวัตถุดิบต่อคุณภาพของใยอาหารผงที่สารต้นอนุมูลอิสระจากเปลือกเสาวรสพันธุ์สีม่วง (*Passiflora edulis Sims*). *วารสารวิชาการพระจอมเกล้าพระนครเหนือ ปีที่ 28* ฉบับที่ 1 ม.ค.-มี.ค. 2561.

อรุณี คงดี อัลเดรด. (2558). *การผลิตและทดสอบสมบัติของกระดาษจากสาหร่ายน้ำจืดสีเขียว.* รายงานผลการวิจัย สนับสนุนงบประมาณประจำปี 2557 มหาวิทยาลัยแม่โจ้.

อรพิณ โกมุติบาล. (2557). ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระของสารสกัดหยาบจากแก่นมะหาด. *วารสารวิจัยมหาวิทยาลัยสวนดุสิต, 7*(2), 33-41.

อรรถพล นุ่มหอม. (2530). การเปรียบเทียบวิธีวัดความชื้นของข้าวเปลือกของเตาไมโครเวฟ เตาอบ และมิเตอร์วัดความชื้นกับวิธีมาตรฐาน. *การประชุมวิชาการประจำปีมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 25 สาขาวิศวกรรมศาสตร์,* 3-6 กุมภาพันธ์ 2530. ณ ห้องประชุมภาควิชาวิศวกรรมโยธา มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ คณะวิศวกรรมศาสตร์, กรุงเทพฯ.

อิสระวัฒน์ ฤทธนพงศธร และเฉลิม เรืองวิริยะชัย. (2556). การแยกสารประกอบฟีนอลิคและความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระจากผลสบู่ดำดิบ. *วิชาการ Veridian E-Journal., 6*(3), 887-902.

Anderson, J. W., & Chen, W. L. (1979). Plant fiber. Carbohydrate and lipid metabolism. *The American journal of clinical nutrition, 32*(2), 346-363.

Ang, J.F., Miller, W. B. & Dunha, K.M. (1990). Reduced of fat in donuts containing a new from of powdered cellulose. *Presented at the Annual Meeting of the Institute of Food Technologists, Anaheim*, CA.

Ang, J. F. (2001). Powdered cellulose and the development of new generation healthier foods. *Cereal foods world*, 46(3), 107-111.

AOAC. (2000). Official Methods of Analysis of AOAC International. 17th ed., Maryland, USA.

Bikker, P., Stokvis, L., van Krimpen, M. M., van Wikselaar, P. G., & Cone, J. W. (2020). Evaluation of seaweeds from marine waters in Northwestern Europe for application in animal nutrition. *Animal Feed Science and Technology*, 114460.

Bry, K. V. & Zabik, M. E. (1976). Microcrystalline cellulose replacements in cake and transit time and its role in the causation of disease. *J. Am. Diet Assoc, 69*(2), 50-54.

Chan, P. T., & Matanjun, P. (2017). Chemical composition and physicochemical properties of tropical red seaweed, *Gracilaria changii*. *Food chemistry*, 221, 302-310.

Charoensiddhi, S., Franco, C., Su, P., & Zhang, W. (2015). Improved antioxidant activities of brown seaweed *Ecklonia radiata* extracts prepared by microwave-assisted enzymatic extraction. *Journal of applied phycology, 27*(5), 2049-2058.

Chew, Y.L., Lim., Y. Y., Omar, M. & Khoo, S. K. (2008). Antioxidant activity of three edible seaweeds from two areas in South East Asia. *Food Science and Technology*, *41*(6), 1067-1072.

Chiu, S.T., Tsai, R.T., Hsu, J.P., Liu, C.H. & Cheng, W. (2008). Dietary sodium alginate administration to enhance the non-specific immune responses, and disease resistance of the juvenile grouper *Epinephelus fuscoguttatus*. *Aquaculture, 277*(1-2), 66–72.

Cummings, J. H. (Ed.). (1996). *Metabolic and physiological aspects of dietary fibre*. Office for Official publications of the European Communities.

Doh H., Lee M.H. & Whiteside W.S. (2020). Physicochemical characteristics of cellulose nanocrystals isolated from seaweed biomass. *Food Hydrocolloids, 102*, 105542.

Doyle, P. T., Pearce, G. R., & Devendra, C. (1986). *Rice straw as a feed for ruminants*. International Development Program of Australian Universities and Colleges, Canberra, AU.

Elleuch, M., Bedigian, D., Roiseux, O., Besbes, S., Blecker, C., and Attia, H. (2011). Dietary fibre and fibre-rich by-product of food processing: Characterization, technological functionality and commercial application: A review. *Food Chemistry. 124*(2), 411-421.

F. A. O., & Consultation, W. E. (1998). Carbohydrates in human nutrition. Food and Agriculture Organization. *World Health Organization. FAO Food and Nutrition Paper 66. Rome.*

Fenglin, H., Ruili, L., Bao, H. and Liang, M. (2004). Free radical scavenging activity of extracts prepared from fresh leaves of selected Chinese medicinal plants. *Fitoterapia*. *75*(1), 14–23.

Goering, H. K., & Van Soest, P. J. (1970). *Forage fiber analyses: apparatus, reagents, procedures, and some applications.* USDA Agricultural Handbook No. 379.

Gómez-Ordóñez, E., Jiménez-Escrig, A., & Rupérez, P. (2010). Dietary fibre and physicochemical properties of several edible seaweeds from the northwestern Spanish coast. *Food Research International. 43*(9), 2289-2294

Grigelmo-Miguel, N. & Martin-Belloso, O. (1999). Comparison of dietary fibre from by products of processing fruits and greens and from cereals. *LWT-Food Scienceand Technology*. *32*, 503-508.

Heaton, K. W. (1983). Dietary fibre in perspective. *Human nutrition: Clinical nutrition*. *37*, 151-170.

Huntington, G. B. (1997). Starch utilization by ruminants: from basics to the bunk. *Journal of animal science, 75*(3), 852-867.

Ito, K., & Hori, K. (1989). Seaweed: chemical composition and potential food uses. *Food reviews international*, 5(1), 101-144.

Jung, H. G., & Allen, M. S. (1995). Characteristics of plant cell walls affecting intake and digestibility of forages by ruminants. *Journal of animal science, 73*(9), 2774-2790.

Kim, G. S. (2012). Manufacturing Technology of Bioenergy Using Algae. *Handbook of Marine Macroalgae.*

Lambo, A. M., Öste, R., & Nyman, M. E. L. (2005). Dietary fibre in fermented oat and barley β-glucan rich concentrates. *Food Chemistry, 89*(2), 283-293.

Lanza, E., & Butrum, R. R. (1986). A critical review of food fiber analysis and data. *Journal of the American Dietetic Association, 86*(6), 732-743.

Lewicki P. P. (2006). Design of hot air drying for better food. *Trends in Food Science and Technology, 40*, 153-163.

McConnell, A. A., Eastwood, M. A., & Mitchell, W. D. (1974). Physical characteristics of vegetable foodstuffs that could influence bowel function. *Journal of the Science of Food and Agriculture, 25*(12), 1457-1464.

Nakornsadet, A., Laohakunjit, N., Kerdchoechuen, O., & Wanlapa, S. (2010). Physical properties of biopolymer from *Gracilaria* spp. *Agricultural Science Journal*, *41*(3/1)(Suppl.), 661-664.

Norton, B. W. (1982). Differences between species in forage quality. In *Nutritional Limits to Animal Production from Pastures: proceedings of an international symposium held at St. Lucia, Queensland, Australia, August 24-28, 1981/edited by JB Hacker.* Farnham Royal, UK: Commonwealth Agricultural Bureaux.

Paturau, J. M. (1989). *By-products of the cane sugar industry. An introduction to their industrial utilization.* Amsterdam: Elsevier Science Publishers BV.

Pinelo, M., Rubilar, M., Jerez, M., Sineiro, J. and Núnez, M.J.. (2005). Effect of solvent, temperature, and solvent-to-solid radio on the total phenolic content and antiradical activity of extracts from different components of grape pomace. *Agricultural and Food Chemistry*. 53, 2111-2117.

Pomeranz, Y. (1977). Fiber in bread making-effects on functional properties. *Cereal Chem, 54*(1), 25-29.

Praveen M.A., Parvathy K.R.K., Balasubramanian P. & Jayabalan R. (2019). An overview of extraction and purification techniques of seaweed dietary fibers for immunomodulation on gut microbiota. *Trends in Food Science & Technology. 92*, 46-64.

Praveen M.A., Parvathy K.R.K., Balasubramanian P. & Jayabalan R. (2019). Dietary fiber from Indian edible seaweeds and its *in-vitro* prebiotic effect on the gut microbiota. *Food Hydrocolloids. 96*, 343-353.

Prosky, L., & DeVries, J. W. (1992). *Controlling dietary fiber in food products*. Van Nostrand Reinhold.

Prosky, L. (1995). *Controlling Dietary Fiber in Food Product*. New York: Van Nostrand Reinhold.

Raghavendra, S. N., Ramachandra Swamy, S. R., Rastori, N. K., Raghavarao, K. S. M. S., Kumar S., Tharanathan, R. N. (2006). Grinding characteristics and hydration properties of coconut residue: A source of dietary fiber. *Journal of Food Engineering, 72*(3), 281-286.

Riaz, K. (1993). *Low-calorie foods and food ingredients*. Blackie academic & professional. Ruminant Digestive System. Poor Fiber Degradation, Retrieved 28 May 2020, from Degradationhttps://ruminantdigestivesystem.com/potential-challenges/poor-fiber-degradation/

Schneeman, B. O. (1986). Dietary fiber: physical and chemical properties, methods of analysis, and physiological effects. *Food Technology*.

Slavin, J. L. (1987). Dietary fiber: classification, chemical analyses, and food sources. *Journal of the American Dietetic Association, 87*(9), 1164-1171.

Thompson, O.M., G. Ballew, K. Resincow, A. Must, H. Bandini, H. Cyr & W.H. Dietz. (2004). Food purchased away from-home as a predictor of change in BMI-score among girls. *International Journal of Obesity and Related Metabolic Disorders, 28*, 282-289.

Vetter, J. L. (1984). Fiber as a food ingredient. *Food Tecnol, 38*(1), 64-66.

Wallis, A. F. A. (1971). Solvolysis by acids and bases. *Sarkanen, KV Lignins.*

Yaich, H., Garna, H., Bchir, B., Besbes, S., Paquot, M., Richel, A., Blecker, C. & Attia, H. (2015). Chemical composition and functional properties of dietary fibre extracted by Englyst and Prosky methods from the alga *Ulva lactuca* collected in Tunisia. *Algal Research, 9*, 65-73.

Yangthong, M., Hutadilok-Towatana, N., & Phromkunthong, W. (2009). Antioxidant activities of four edible seaweeds from the southern coast of Thailand. *Plant foods for human nutrition, 64*(3), 218-223.

Yangthong, M., Thawonsuwan, J., Towatana, N. H., & Phromkunthong, W. (2012). Effects of Hot-Water Extract from *Sargassum* sp. on Antibacterial Activity, Non-specific Immunity and TBARs Production on Asian Seabass (Lates calcarifer, Bloch). *Journal of Fisheries and Environment, 36*(3), 30-42.

Yangthong, M. and Hutadilok-Towatana, N. (2014). Total phenolic contents, DPPH radical-scavenging activities of six seaweeds from the southern coast of Thailand. *Journal of Fisheries Technology Research. 8*(1), 93-104.

Zhang, W-W, Duan, X.-J., Huang, H.-L., Zhang, Y. and Wang, B.-G. (2007). Evaluation of 28 marine algae from the Qingdao coast for antioxidantive capacity and determination of antioxidant efficiency and total phenolic content of fractions and subfractions derived from *Symphyocladia latiuscula* (Rhodomelaceae). *J. Appl. Phycol. 19*, 97-108.

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก

การเตรียมสารเคมี

1. สารละลาย Neutral Detergent

อ้างอิงจาก นฤมล ชูบัวทอง (2550)

1.1 ชั่ง Disodium ethylene diamine tetraacetate (EDTA) 16.18 กรัม และ sodium borate decahydrate ($Na_2B_4O_7 \cdot 10H_2O$) 6.81 กรัม ใส่ในบีกเกอร์ เติมน้ำกลั่นลงไปพอประมาณ นำไปต้มจนละลายหมด

1.2 ละลาย sodium lauryl sulfate ($NaC_{12}H_{25}SO_4$) 30 กรัม ในน้ำแล้วเติม 2-ethoxyethanol ($C_4H_{10}O_2$) 10 มิลลิลิตร

1.3 นำสารละลายในข้อ 1.1 และ 1.2 มาผสมกัน

1.4 ชั่ง Disodium hydrogen phosphate anhydrous (Na_2HPO_4) 4.56 กรัม ลงในบีกเกอร์ เติมน้ำกลั่นลงไปพอประมาณ แล้วนำไปต้มจนละลายหมด หลังจากนั้นนำไปต้มกับสารละลายที่ผสมได้ในข้อ 1.3 จากนั้นปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นให้ได้ 1 ลิตร และปรับ pH ให้อยู่ในช่วง 6.9 – 7.1

2. สารละลาย Acid Detergent

2.1 ละลาย cetyl trimethylammonium bromind (CTAB) 20 กรัม ใน Sulfuric acid (H_2SO_4) ความเข้มข้น 1 N แล้วปรับปริมาตรด้วยกรดให้ได้ 1 ลิตร

2.2 การเตรียม Sulfuric acid (H_2SO_4) ความเข้มข้น 1 N

2.2.1 เตรียม H_2SO_4 27 มิลลิลิตร ผสมกับน้ำกลั่นประมาณ 500 มิลลิลิตร

2.3 นำข้อ 2.2.1 มาละลายกับ CTAB จากนั้นปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นให้เป็น 1 ลิตร

3. สารละลาย Saturated potassium permanganate

ละลาย Potassium permanganate ($KMnO_4$) 50 กรัม และ Silver sulfate (Ag_2SO_4) 0.05 กรัม ในน้ำกลั่นแล้วปรับปริมาตรเป็น 1 ลิตร เก็บสารละลายในขวดสีชา ห้ามโดนแสงแดด

4. สาละลาย Lignin buffer

ละลาย ferric nitrate nanohydrate [$Fe(NO_3)_3 \cdot 9H_2O$] 6 กรัม และ Silver nitrate ($AgNO_3$) 0.15 กรัม ในน้ำกลั่น 100 มิลลิลิตร เติม Acetic acid glacia 500 มิลลิลิตร เติม potassium acetate (CH_3COOK) 5 กรัม และเติม tertiary butyl alcohol [$(CH)_3COH$] 400 มิลลิลิตร ผสมให้เข้ากัน

5. สารละลาย Combined permanganate

ผสมสารละลาย Saturated potassium permanganate กับสารละลาย Lignin buffer ในอัตราส่วน 2 : 1 (v/v) เก็บสารละลายนี้ในขวดสีชา แช่เย็นเพื่อไม่ให้ถูกแสงแดด ถ้าสารละลายเปลี่ยนเป็นสีแดงแล้วจะไม่สามมารถนำมาใช้ได้อีก

6. สารละลาย Dermineralizing

ละลาย oxalic acid dehydrate ($C_2H_6O_6$) 50 กรัม ในน้ำกลั่นปริมาตร 100 มิลลิลิตร จากนั้นเติมน้ำกลั่น 250 มิลลิลิตร และ Hydrochloric acid (HCl) 50 มิลลิลิตร ผสมให้เข้ากัน

7. สารละลาย 80% Ethanol

ผสม 95% Ethanol 843 มิลลิลิตร กับน้ำกลั่น 157 มิลลิลิตร แล้วเขย่าให้เข้ากัน

8. การเตรียมสารเคมีสำหรับการสกัดเยื่อใยสาหร่ายทะเล

1. การเตรียม 5% NaOH (w/v)

ชั่ง NaOH 5 g ละลายในน้ำกลั่น แล้วปรับปริมาตรให้เป็น 1 L ด้วยขวดปรับปริมาตร

2. การเตรียม 15% H_2O_2 (v/v)

ตวง H_2O_2 500 mL ผสมกับน้ำกลั่น 400 mL แล้วปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นให้เป็น 1 L ด้วยขวดปรับปริมาตร

3. การเตรียม α-amylase จาก malt (5%)

ชั่งผงเอนไซม์ 10 mg ละลายในน้ำกลั่น 10 mL (เก็บไว้ในตู้เย็น)

4. การเตรียม 0.4% $NaClO_2$ (w/v)

ชั่ง $NaClO_2$ 4 g ละลายในน้ำ 900 mL ปรับpH จนได้ pH 5 หลังจากนั้นเติมน้ำกลั่นและปรับปริมาตรให้เป็น 1L

5. การเตรียม 3% NaCl (w/v)

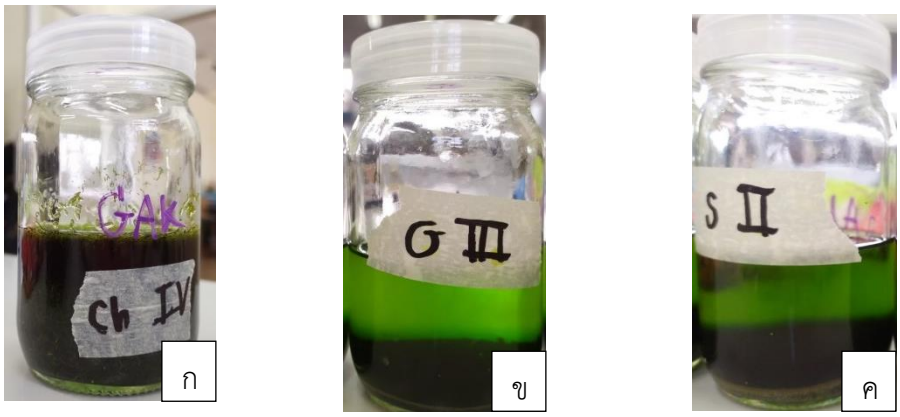
ชั่ง NaCl 30 g ละลายในน้ำกลั่นแล้วปรับปริมาตรให้เป็น 1 L

ภาคผนวก ข
ภาพประกอบงานวิจัย

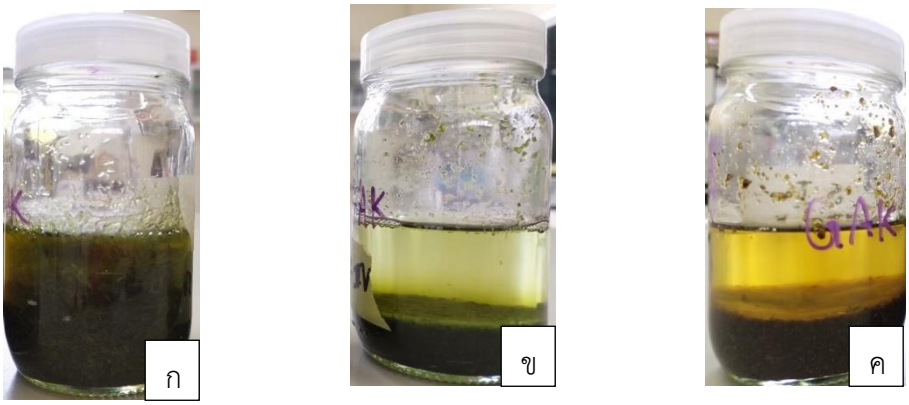
ภาพที่ ข-1 สาหร่ายทั้ง 3 ชนิด สกัดด้วยน้ำร้อ**น** ก่อนอบแห้ง ที่อุณหภูมิ 50°C ได้แก่ *Chaetomorpha* sp. (ก) ; *Gracilaria* sp. (ข); *Sargassum* sp. (ค)

ภาพที่ ข-2 สาหร่ายทั้ง 3 ชนิด สกัดด้วยสารละลายด่างร่วมกับตัวทำละลายอินทรีย์ ก่อนอบแห้ง ที่อุณหภูมิ 50°C ได้แก่ *Chaetomorpha* sp. (ก) ; *Gracilaria* sp. (ข); *Sargassum* sp. (ค)

ภาพที่ ข-3 สาหร่ายทั้ง 3 ชนิด สกัดด้วยเอนไซม์ ก่อนอบแห้ง ที่อุณหภูมิ 50°C ได้แก่ *Chaetomorpha* sp. (ก) ; *Gracilaria* sp. (ข); *Sargassum* sp. (ค)



ภาพที่ ข-4 สาหร่ายแห้งที่บดละเอียดแล้วมาแช่ในตัวทำละลายอินทรีย์ 95% Ethanol ในอัตราส่วน ตัวทำละลาย : สาหร่าย เท่ากับ 14 : 1 เป็นเวลา 16 ชั่วโมง ได้แก่ *Chaetomorpha* sp. (ก) ; *Gracilaria* sp. (ข); *Sargassum* sp. (ค)



ภาพที่ ข-5 นำสาหร่ายมาผสมกับ 5% NaOH ที่ pH 12 เป็นเวลา 24 ชั่วโมง ได้แก่ *Chaetomorpha* sp. (ก) ; *Gracilaria* sp. (ข); *Sargassum* sp. (ค)

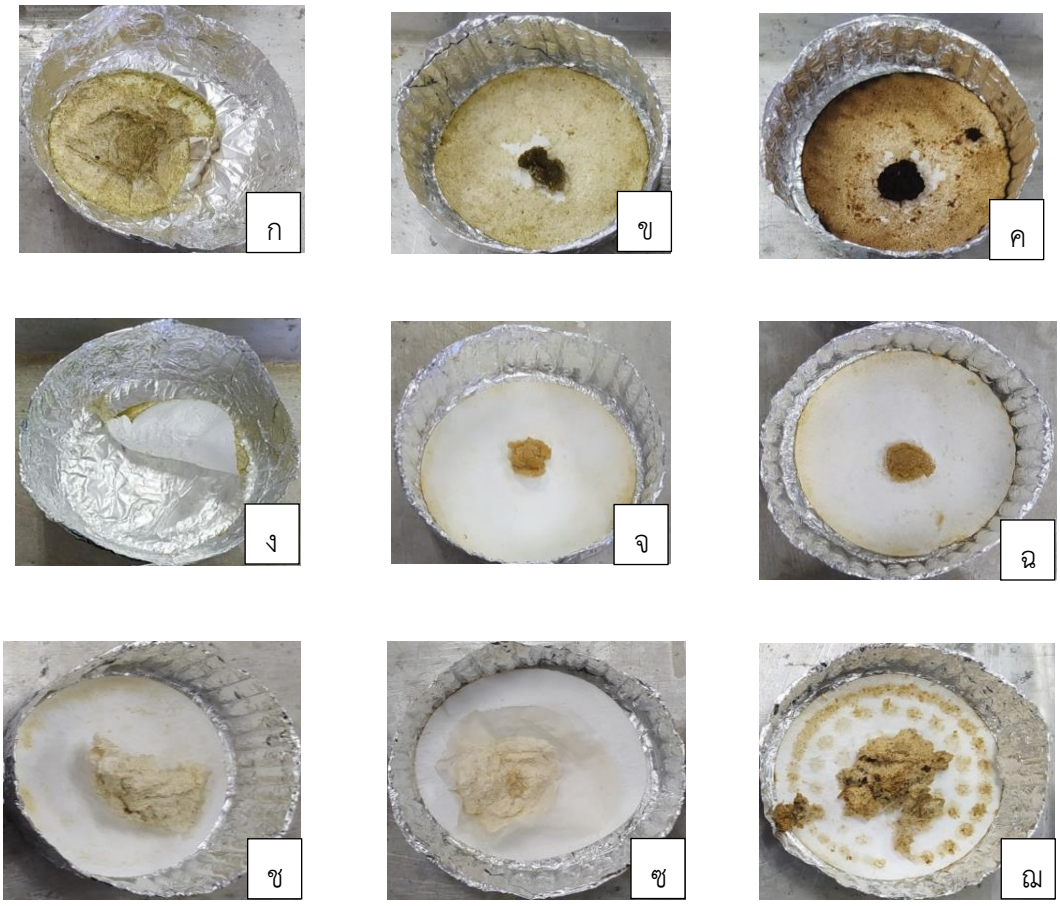
ภาพที่ ข-6 กำจัดสีออกจากสาหร่ายแช่ใน 15% H_2O_2 (Hydrogen peroxide) เป็นเวลา 15 ชั่วโมงได้แก่ *Chaetomorpha* sp. (ก) ; *Gracilaria* sp. (ข); *Sargassum* sp. (ค)

ภาพที่ ข-7 ปริมาณของใยอาหารจากเยื่อใยสาหร่ายทะเล 3 ชนิด ก่อนอบที่ได้จากวิธีการสกัดที่แตกต่างกัน 3 วิธี

1)การสกัดด้วยน้ำร้อน ได้แก่ *Chaetomorpha* sp. (ก) ; *Gracilaria* sp. (ข); *Sargassum* sp. (ค)

2)การสกัดด้วยสารละลายด่างร่วมกับตัวทำละลายอินทรีย์ ได้แก่ *Chaetomorpha* sp. (ง) ; *Gracilaria* sp. (จ); *Sargassum* sp. (ฉ)

3)การสกัดด้วยเอนไซม์ ได้แก่ *Chaetomorpha* sp. (ช) ; *Gracilaria* sp. (ซ); *Sargassum* sp. (ฌ)



ภาพที่ ข-8 ปริมาณของใยอาหารจากเยื่อใยสาหร่ายทะเล 3 ชนิด หลังอบที่ได้จากวิธีการสกัดที่แตกต่างกัน 3 วิธี

1)การสกัดด้วยน้ำร้อน ได้แก่ *Chaetomorpha* sp. (ก) ; *Gracilaria* sp. (ข); *Sargassum* sp. (ค)

2)การสกัดด้วยสารละลายด่างร่วมกับตัวทำละลายอินทรีย์ ได้แก่ *Chaetomorpha* sp. (ง) ; *Gracilaria* sp. (จ); *Sargassum* sp. (ฉ)

3)การสกัดด้วยเอนไซม์ ได้แก่ *Chaetomorpha* sp. (ช) ; *Gracilaria* sp. (ซ); *Sargassum* sp. (ฌ)

ลักษณะเถ้าจากการวิเคราะห์เซลลูโลส

เถ้าเซลลูโลสจากการวิเคราะห์องค์ประกอบโดยวิธี Goreing and Van Soest (1970)

(1) (2) (3)

ภาพที่ ข-9. *Chaetomorpha* sp. จากการสกัดวิธีที่ 1 การสกัดด้วยน้ำร้อน

(1) (2) (3)

ภาพที่ ข-10 *Sargassum* sp. จากการสกัดวิธีที่ 1 การสกัดด้วยน้ำร้อน

(1) (2) (3)

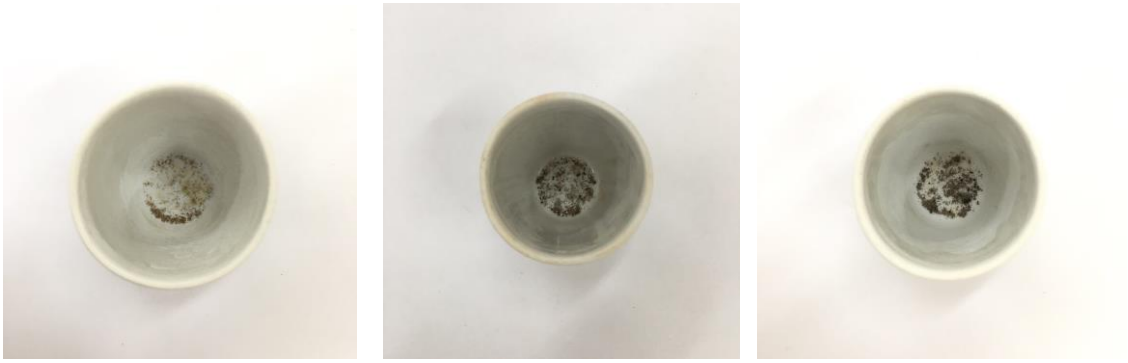
ภาพที่ ข-11 *Gracilaria* sp. จากการสกัดวิธีที่ 1 การสกัดด้วยน้ำร้อน

(1) (2) (3)

ภาพที่ ข-12 *Chaetomorpha* sp. จากการสกัดวิธีที่ 2 การสกัดด้วยตัวทำละลายอินทรีย์

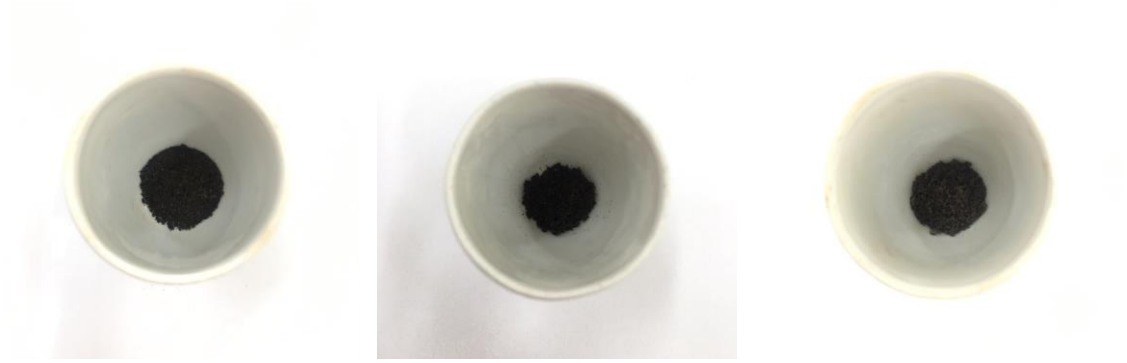
(1) (2) (3)

ภาพที่ ข-13 *Sargassum* sp. จากการสกัดวิธีที่ 2 การสกัดด้วยตัวทำละลายอินทรีย์



(1) (2) (3)

ภาพที่ ข-14 *Gracilaria* sp. จากการสกัดวิธีที่ 2 การสกัดด้วยตัวทำละลายอินทรีย์



(1) (2) (3)

ภาพที่ ข-15 *Chaetomorpha* sp. จากการสกัดวิธีที่ 3 การสกัดด้วยเอนไซม์

(1) (2) (3)

ภาพที่ ข-16 *Sargassum* sp. จากการสกัดวิธีที่ 3 การสกัดด้วยเอนไซม์

(1) (2) (3)

ภาพที่ ข-17 *Gracilaria* sp. จากการสกัดวิธีที่ 3 การสกัดด้วยเอนไซม์

หมายเหตุ ซ้ำที่ 1 (1) ซ้ำที่ 2 (2) และซ้ำที่ 3 (3)

ภาคผนวก ค

การคำนวณในการทดลอง

1. การคำนวณปริมาณสารสกัด (% Yield Crude Extract) (นันทวดี ขำดี, 2551)

ตารางที่ ข-1 การสกัดเยื่อใยในสาหร่าย *Chaetomorpha* sp. จากการสกัดวิธีที่ 1

การสกัดวิธีที่ 1 *Chaetomorpha* sp.	น้ำหนัก (w/w, DM)				
	ซ้ำที่ 1	ซ้ำที่ 2	ซ้ำที่ 3	Mean	SD
น้ำหนักตัวอย่างสาหร่าย (g)	3.0249	3.0230	3.0127	3.0202	0.0066
น้ำหนักเยื่อใยหลังสกัด (g)	2.6026	2.4709	2.4626	2.5120	0.0785
น้ำหนักเยื่อใยหลังสกัด (%)	86.04	81.74	81.74	83.17	2.48

ตัวอย่างการคำนวณ

$$\text{จากสูตร Yield Crude Extract (\%)} = \frac{\text{น้ำหนักเฉลี่ยเยื่อใยที่สกัดได้ (กรัม)}}{\text{น้ำหนักเฉลี่ยตัวอย่างสาหร่าย (กรัม)}} \times 100$$

$$\text{Yield Crude Extract (\%)} = (2.5120/3.0202) \times 100$$

$$= 83.17\ \%$$

2. การคำนวณหาความชื้นและวัตถุแห้ง (อรรถพล นุ่มหอม, 2530)

ตารางที่ ข-2 ปริมาณความชื้นและวัตถุแห้งของสาหร่ายทะเล

ปริมาณความชื้นและวัตถุแห้ง (Mean ± Standard deviation)					
น้ำหนักสาหร่ายทะเล					
Condition	*Chaetomorpha* sp.				
	ซ้ำที่ 1	ซ้ำที่ 2	ซ้ำที่ 4	Mean	SD
น้ำหนักสาหร่ายสด (g)	5.6496	5.9284	5.5852	5.7211	0.1824
น้ำหนักสาหร่ายหลังอบ 50 °C (g)	0.5315	0.5047	0.5214	0.5192	0.0135
น้ำหนักสาหร่ายหลังอบ 105 °C (g)	0.5236	0.4949	0.5149	0.5111	0.0147
% ความชื้น (น้ำหนักเปียก)	90.7321	91.652	90.781	91.06	0.52
% ความชื้น (น้ำหนักแห้ง)	1.5088	1.9802	1.2624	1.58	0.36
% วัตถุแห้ง (ต่อน้ำหนักเปียก)	9.2679	8.3480	9.2190	8.94	0.52

หมายเหตุ การคำนวณจะใช้ค่าจากซ้ำที่ 1

ตัวอย่างการคำนวณความชื้น (%)

จากสูตร % ความชื้น (น้ำหนักเปียก) = [(c – b) / c] x 100

= [(5.6496 - 0.5236) / 5.6496] x100

= 90.73%

จากสูตร % ความชื้น (น้ำหนักแห้ง) = [(a – b) / b] x 100

= [(0.5315 - 0.5236) / 0.5236] x100

= 1.51%

ตัวอย่างการคำนวณวัตถุแห้ง (%)

จากสูตร วัตถุแห้ง (%) = (b / c) x 100

= (0.5236 / 5.6496) x100

= 9.27%

โดยที่ a = น้ำหนักสาหร่ายหลังอบ 50 °C (g)

b = น้ำหนักสาหร่ายหลังอบ 105 °C (g)

c = น้ำหนักสาหร่ายสด (g)

3. การคำนวณ NDF ADF Lignin Cellulose และ Hemicellulose

ตารางที่ ข-3 การวิเคราะห์องค์ประกอบในสาหร่าย *Chaetomorpha* sp. จากการสกัดวิธีที่ 1

การสกัดวิธีที่ 1 *Chaetomorpha* sp.	น้ำหนัก (w/w,)				
	ซ้ำที่ 1	ซ้ำที่ 2	ซ้ำที่ 3	Mean	SD
น้ำหนักเยื่อใยสาหร่ายทะเล (g)	2.6000	2.4280	2.4870	2.5050	0.0874
น้ำหนักจานเพาะเชื้อ (g)	43.7379	42.5749	44.2781	43.5303	0.8704
น้ำหนักจานเพาะเชื้อ + น้ำหนัก NDF (หลังอบ) (g)	45.2468	43.9912	45.7820	45.0067	0.9192
NDF (%)	58.0346	58.3320	60.4704	58.9457	1.3288
น้ำหนักจานเพาะเชื้อ (g)	49.2073	44.921	45.1643	46.4309	2.4075
น้ำหนักจานเพาะเชื้อ + น้ำหนัก ADF (หลังอบ) (g)	50.2180	45.8964	46.2238	47.4461	2.4061
น้ำหนัก ADF (g)	1.0107	0.9754	1.0595	1.0152	0.0422
ADF (%)	38.8731	40.1730	42.6015	40.5492	1.8925
น้ำหนักตัวอย่างที่ผ่านการสกัดลิกนินออก (PML) (g)	0.9942	0.9713	1.0370	1.0008	0.0333
น้ำหนักเถ้า (g)	0.5346	0.6507	1.6727	0.9527	0.6262
ลิกนิน (%)	0.6346	0.1689	0.9047	0.5694	0.3722
เฮมิเซลลูโลส (%)	19.1615	18.1590	17.8689	18.3965	0.6782
เซลลูโลส (%)	37.7038	39.3534	40.0241	39.0271	1.1941

หมายเหตุ การคำนวณจะใช้ค่าจากซ้ำที่ 1

ตัวอย่างการคำนวณ

$$\text{NDF (\%)} = \frac{[(\text{น้ำหนักจานเพาะเชื้อ} + \text{น้ำหนัก NDF}) - \text{น้ำหนักจานเพาะเชื้อ}]}{\text{น้ำหนักตัวอย่าง}} \times 100$$

= [(45.2468 - 43.7379) / 2.6000] x100

= 58.03%

ตัวอย่างการคำนวณ

$$\text{ADF (\%)} = \frac{[(\text{น้ำหนักจานเพาะเชื้อ} + \text{น้ำหนัก ADF}) - \text{น้ำหนักจานเพาะเชื้อ}]}{\text{น้ำหนักตัวอย่าง}} \times 100$$

= [(50.2180 – 49.2073) / 2.6000] x 100

= 38.87%

ตัวอย่างการคำนวณ

% Hemicellulose = % NDF - % ADF

= 58.03 - 38.87

= 19.16%

ตัวอย่างการคำนวณ

$$\text{Lignin (\%)} = \frac{(A-B)}{C} \times 100$$

โดยที่ A = น้ำหนัก ADF

B = น้ำหนัก PML

C = น้ำหนักตัวอย่าง

Lignin (%) = [(1.0107 – 0.9942) / 2.6000] x 100

= 0.63%

โดยค่า น้ำหนัก ADF และ น้ำหนัก PML ที่ได้เป็นค่าจากตัวอย่างที่อยู่ในสภาพวัตถุแห้ง (Dry Matter, DM)

หมายเหตุ PML คือ น้ำหนักสาหร่ายทะเลที่ผ่านการสกัดลิกนินออก

ตัวอย่างการคำนวณ

$$\text{Cellulose (\%)} = \frac{(B-D)}{C} \times 100$$

โดยที่ B = น้ำหนัก PML
D = น้ำหนักเถ้า
C = น้ำหนักตัวอย่าง

Cellulose (%) = [(0.9942 - 0.5346) / 2.6000] x 100
= 37.70%

4. การคำนวณต้นทุนการเตรียมสารเคมีที่ใช้ในการสกัดวัตถุดิบ

การแสดงราคาต้นทุนสารเคมีเพื่อนเป็นทางเลือกในการเลือกใช้วิธีที่เหมาะสมและคุ้มค่า

1. การสกัดเยื่อใยจากสาหร่ายทะเลด้วยน้ำร้อน

การสกัดสาหร่ายทะเล 1 กิโลกรัม

การกำจัดไขมันด้วย 3% NaCl ปริมาตร 15 ลิตร

โดยใช้ NaCl 450 กรัม x 0.2 บาท = 90 บาท

ค่าใช้จ่ายในการสกัดสาหร่ายทะเล 1 กิโลกรัม = 90 บาท

2. การสกัดเยื่อใยจากสาหร่ายทะเลด้วยตัวทำละลายอินทรีย์

การสกัดสาหร่ายทะเล 1 กิโลกรัม

การกำจัดไขมันด้วย 95% Ethanol 15 ลิตร

ใช้ Ethanol 15000 มิลลิลิตร x 0.08 บาท = 1200 บาท

การกำจัดโปรตีนโดยใช้สารละลาย 5% NaOH 15 ลิตร

NaOH 750 กรัม x 0.32 บาท = 240 บาท

การกำจัดสีด้วยสารละลาย 15% H_2O_2

30% H_2O_2 7500 มิลลิลิตร x 0.8560 บาท = 6420 บาท

ค่าใช้จ่ายรวม = 1200 + 240 + 6420 = 7860 บาท

3. การสกัดเยื่อใยจากสาหร่ายทะเลด้วยเอนไซม์

การสกัดสาหร่ายทะเล 1 กิโลกรัม

กำจัดแป้งโดยใช้เอนไซม์ **α**-amylase from malt

α-amylase from malt 15 กรัม x 7.8 บาท = 117 บาท

กำจัดเฮมิเซลลูโลสด้วยสารละลาย 2% NaOH 25 ลิตร

NaOH 1250 กรัม x 0.32 บาท = 400 บาท

กำจัดลิกนินและสีด้วยสารละลาย $NaClO_2$ 25 ลิตร

$NaClO_2$ 1000 กรัม x 2.28 บาท = 2280 บาท

ค่าใช้จ่ายรวม = 117 + 400 + 2280 = 2797 บาท

หมายเหตุ 1. การคำนวณทั้งหมดเป็นปริมาตรสารที่ใช้พอดีกับสาหร่าย 1 กิโลกรัม

2. สาหร่ายทะเลที่ใช้เป็นสาหร่ายทะเลแห้ง 1 กิโลกรัม

3. ไม่รวมราคาสาหร่ายทะเล

5. การคำนวณปริมาณผลผลิตต่อวิธีการสกัด

ตารางที่ ข-4 ปริมาณผลผลิตต่อวิธีการสกัด (%cellulose จากการคิดใหม่)

ปริมาณผลผลิตต่อวิธีการสกัด	**ชนิดสาหร่ายทะเล**		
	Chaetomorpha sp.	*Sargassum* sp.	*Gracilaria* sp.
การสกัดเยื่อใยด้วยวิธีที่ 3			
ปริมาณ Cellulose (% ต่อน้ำหนักแห้ง)	77.48 ± 11.53	31.67 ± 3.28	48.77 ± 11.87
ปริมาณสาหร่ายแห้ง (g)/ปริมาณเซลลูโลส 100 กรัม	129.06 g	315.77 g	205.06 g
ปริมาณสาหร่ายสด (g)/ปริมาณเซลลูโลส 100 กรัม	1,443.67 g	2,760.25 g	961.81 g
ราคาค่าสกัดเยื่อใย (บาท)/ปริมาณเซลลูโลส 100 กรัม (น้ำหนักสาหร่ายแห้ง)	360.99 บาท	883.22 บาท	573.55 บาท

หมายเหตุ การคำนวณจะใช้ค่าจากซ้ำที่ 1

1. ปริมาณสาหร่ายแห้ง (g)/ปริมาณเซลลูโลส 100 กรัม
   หากต้องการเซลลูโลส 100 กรัมต้องใช้สาหร่ายแห้งกี่กรัม เช่น Cellulose 77.48 g ใน *Chaetomorpha* sp. มาจากน้ำหนักสาหร่ายแห้ง 100 g
   ถ้าต้องการ Cellulose 100 g ต้องชั่งสาหร่ายแห้ง *Chaetomorpha* sp. มาเท่าไหร่
   = (100 x 100) / 77.48 = 129.06 g
2. ปริมาณสาหร่ายสด (g)/ปริมาณเซลลูโลส 100 กรัม
   เช่น *Chaetomorpha* sp. แห้ง 8.94 g (**ตารางที่ 4-1**) มาจากน้ำหนักสาหร่ายสด 100 g
   ถ้าต้องใช้ *Chaetomorpha* sp. แห้ง 129.06 g (เพื่อสกัดให้ได้เยื่อใย 100 g) ต้องใช้สาหร่ายสดเท่าไหร่
   = (129.06 x 100)/ 8.94 = 1,443.67 g
3. ราคาค่าสกัดเยื่อใย (บาท)/ปริมาณเซลลูโลส 100 กรัม (น้ำหนักแห้ง)
   เช่น วิธีที่ 3 ค่าสกัดสาหร่าย 1000 g ราคา 2797 บาท ถ้าจะสกัด *Chaetomorpha* sp.
   แห้ง 129.06 g (เพื่อสกัดให้ได้เยื่อใย 100 g) ต้องเงินเท่าไหร่
   = (129.06 x 2797) /1000 = 360.99 บาท