



การเจริญเติบโตและคุณภาพวุ้นของ *Gracilaria* spp. ที่เลี้ยงบริเวณ

ทะเลสาบสงขลาตอนนอก

**Growth and Agar Quality of *Gracilaria* spp. from Cultivation in the  
Outer Songkhla Lake**

ศิริัญญา งามระลึก

Sirinya Ngamraluek

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิทยาศาสตร์

มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

**A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements for the Degree of  
Master of Science in Aquatic Science**

**Prince of Songkla University**

2553

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

ชื่อวิทยานิพนธ์ การเจริญเติบโตและคุณภาพฟุ้งของ *Gracilaria* spp. ที่เลี้ยงบริเวณทะเลสาบ  
สงขลาตอนนอก

ผู้เขียน นางสาวศิริกัญญา งามระลึก

สาขาวิชา วาริชศาสตร์

---

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

คณะกรรมการสอบ

.....

.....ประธานกรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ดวงรัตน์ มีแก้ว)

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อัญชญา ประเทพ)

.....กรรมการ

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ดวงรัตน์ มีแก้ว)

.....

.....กรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ระพีพร เรืองช่วย)

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ระพีพร เรืองช่วย)

.....กรรมการ

(ดร.พุทธ ส่องแสงจินดา)

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ อนุมัติให้รับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็น  
ส่วนหนึ่งของการศึกษา ตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวาริชศาสตร์

.....

(ศาสตราจารย์ ดร.อมรรัตน์

พงศ์คารา)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

ชื่อวิทยานิพนธ์      การเจริญเติบโตและคุณภาพวุ้นของ *Gracilaria* spp. ที่เลี้ยงบริเวณ  
ทะเลสาบสงขลาตอนนอก  
ผู้เขียน              นางสาวศิริกัญญา งามระลึก  
สาขาวิชา            วาริชศาสตร์  
ปีการศึกษา 2555      3

### บทคัดย่อ

การทดลองเลี้ยง *Gracilaria fisheri* และ *G. tenuistipitata* spp. น้ำหนักเริ่มต้น 225 g ทำในตะกร้าพลาสติกขนาด 30x50x30 cm<sup>3</sup> ที่ติดตั้งลอย วางตะกร้าเลี้ยงห่างจากชายฝั่ง 50, 70, 90 และ 110 m ระยะละ 4 ซ้ำ ที่บ้านท่าเสา อ.สิงหนคร จ.สงขลาในระหว่างเดือนเมษายน-กรกฎาคม พ.ศ.2551 ที่น้ำมีความเค็ม 4.0-17.5 ppt อุณหภูมิ.27.4-29.9 °C ความโปร่งใส 20.3-56.7 cm ความเป็นกรด-ด่าง 7.7-8.0 มีแอมโมเนีย ไนโตรที่ ไนเตรท และฟอสเฟต 0.021-0.030, 0.005-0.009, 0.006-0.011 และ 0.033-0.041 mg/l ตามลำดับ ปรากฏว่าสาหร่ายทั้งสองชนิด มีอัตราการเจริญเติบโต ให้ผลผลิต มีคุณค่าทางโภชนาการ และให้วุ้นที่มี ปริมาณ และคุณภาพแตกต่างกันทางสถิติ ( $p < 0.001$ ) ระยะห่างจากชายฝั่งมีอิทธิพลต่ออัตราการเจริญเติบโต และผลผลิตของสาหร่าย *Gracilaria* spp. ทั้งสองชนิดที่เลี้ยงห่างชายฝั่งมากกว่ามีอัตราการเจริญเติบโต และผลผลิตดีกว่าที่เลี้ยงใกล้ชายฝั่งมากกว่าอย่างมีนัยสำคัญ ( $p < 0.001$ ) ชนิด และระยะเวลาที่สาหร่ายเจริญมีอิทธิพลต่อปริมาณและคุณภาพของวุ้นที่มี *G. tenuistipitata* มีอัตราการเจริญเติบโต ดีกว่า ผลผลิตสูงกว่า มีคุณค่าทางโภชนาการสูงกว่า ให้วุ้นที่มีปริมาณมากกว่า และมีคุณภาพดีกว่า *G. fisheri* อย่างมีนัยสำคัญ การเจริญเติบโตของ *Gracilaria* spp. ทั้งสองชนิดมีความสัมพันธ์ทางสถิติในเชิงบวกกับความเค็มของน้ำ และปริมาณสารอาหารหลักทุกชนิดในน้ำ ( $p < 0.001$ ) แต่มีความสัมพันธ์เชิงลบกับค่าความโปร่งใส อุณหภูมิ และความเป็นกรด-ด่างของน้ำ ( $p < 0.001$ ) ปริมาณวุ้นในสาหร่ายทั้งสองชนิดมีความสัมพันธ์เชิงบวกกับความเค็มของน้ำ ( $p < 0.001$ ) ความแข็งของวุ้นจากสาหร่ายทั้งสองชนิดมีความสัมพันธ์เชิงลบกับปริมาณซัลเฟต ( $p < 0.001$ ) เฉพาะความแข็งของวุ้นจาก *G. fisheri* มีความสัมพันธ์เชิงบวกกับอัตราการเจริญเติบโตจำเพาะ ( $p < 0.001$ ) แต่มีความสัมพันธ์เชิงลบกับปริมาณวุ้น ( $p < 0.001$ )

**Thesis Title** Growth and Agar Quality of *Gracilaria* spp. from Cultivation in the Outer Songkhla Lake

**Author** Miss Sirinya Ngamraluek

**Major Program** Aquatic Science

**Academic Year** 20 10

### ABSTRACT

*Gracilaria fisheri* and *G. tenuistipitata*, at initial weight of 225g/repl, were cultured individually in 30x50x30 cm<sup>3</sup> floating plastic baskets at distances of 50, 70, 90 and 110 m from the shore-line. There were 4 baskets for each species at every distance. The experiment took place at Ban Thasao, Singhanakorn District, Songkhla Province during April-July 2008. Water salinity of 4.0-17.5 ppt during the culture period were determined, with 27.4-29.9 °C, 20.3-56.7 cm of transparency, pH of 7.7-8.0 average ammonia, nitrite, nitrate and phosphate of 0.021-0.030, 0.005-0.009, 0.006-0.011 and 0.033-0.041 mg/l respectively were recorded. Highly significant differences (p<0.001) were shown among special growth rates (SGR), algal production, nutritional proximate values, agar yields and qualities between species. In both *Gracilaria* spp., the SGRs and algal productions (p<0.001), but not the quantity and quality of agar (p<0.001), were remarkably better when culture were set up at further distances from shore line than any those were closer. Agar quantity and quality from both species were statistically depended upon the month (p<0.0001), as well as the species of algae (p<0.001). *G. tenuistipitata* exhibited statistically highly SGR and production (p<0.001), higher agar quantity and better qualities than *G. fisheri* (p<0.001). Higher agar yield and better quality were. The algal SGRs of both species were statistically positively correlated to salinity and to every major nutrient component of water (p<0.001), but statistically negatively to the water transparency, temperature and pH (p<0.001). There were positive correlation between agar yield and water salinity (p<0.001), and negative correlation between gel strength and sulfate content in both species (p<0.001). Only the gel strength of agar from *G. fisheri* correlated positively to the SGR but negatively to the agar yield (p<0.001).

## สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ	(3)
Abstract	(4)
กิตติกรรมประกาศ	(5)
สารบัญ	(6)
รายการตาราง	(7)
รายการภาพ	(10)
บทที่	
1. บทนำ	1
1.1 บทนำตั้งเรื่อง	1
1.2 การตรวจเอกสาร	3
1.2.1 ทะเลสาบสงขลา	3
1.2.2 <i>Gracilaria</i> spp.	6
1.2.3 วุ้น (Agar)	18
1.3 วัตถุประสงค์	22
2. วัสดุ อุปกรณ์ และวิธีการ	23
2.1 วัสดุ อุปกรณ์ และสารเคมี	23
2.1.1 การเลี้ยงและการตรวจสอบการเจริญเติบโตของสาหร่าย	23
2.1.2 การเก็บตัวอย่างน้ำและการตรวจวัดคุณภาพน้ำ	23
2.1.3 การวิเคราะห์คุณค่าทางโภชนาการของสาหร่าย	24
2.1.4 การวิเคราะห์ปริมาณและคุณภาพวุ้น	24
2.2 การทดลอง	25
2.2.1 การเลี้ยงสาหร่ายที่ทะเลสาบสงขลา : การศึกษาการเจริญเติบโตของ <i>G. fisheri</i> และ <i>G. tenuistipitata</i> และคุณภาพน้ำ	25
2.2.2 การศึกษาสภาวะ และคุณสมบัติขององค์ประกอบที่เหมาะสมในระหว่าง การสกัดวุ้นจาก <i>G. fisheri</i> และ <i>G. tenuistipitata</i>	26

## สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
2.2.3 การศึกษาคุณค่าทางโภชนาการ ปริมาณวุ้น และคุณภาพวุ้นของสาหร่าย <i>G. fisheri</i> และ <i>G. tenuistipitata</i> ที่ได้จากการเลี้ยง	27
2.3 การวิเคราะห์ข้อมูล	28
3. ผลการทดลอง	29
3.1 อัตราการเจริญเติบโตจำเพาะและผลผลิตของ <i>G. fisheri</i> และ <i>G. tenuistipitata</i>	29
3.1.1 การเจริญเติบโตจำเพาะ	29
3.1.2 ผลผลิต	31
3.2 คุณภาพน้ำ	33
3.2.1 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการเจริญเติบโตจำเพาะกับคุณภาพน้ำ	36
3.3 คุณค่าทางโภชนาการของ <i>G. fisheri</i> และ <i>G. tenuistipitata</i>	37
3.3.1 คุณค่าทางโภชนาการของสาหร่ายพ่อนพันธุ์	37
3.3.2 คุณค่าทางโภชนาการของ <i>G. fisheri</i> และ <i>G. tenuistipitata</i> ที่ได้จากการเลี้ยง	37
3.4 การสกัดวุ้นจาก <i>G. fisheri</i> และ <i>G. tenuistipitata</i>	41
3.4.1 ความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์	41
3.4.2 ระยะเวลาการแช่สาหร่ายแห้งในสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์	43
3.4.3 อุณหภูมิระหว่างการแช่สาหร่ายในสารละลาย โซเดียมไฮดรอกไซด์	45
3.4.4 ระยะเวลาในการสกัดวุ้นหลังกระบวนการแช่	46
3.5 ปริมาณและคุณภาพของวุ้นจาก <i>G. fisheri</i> และ <i>G. tenuistipitata</i>	48
3.5.1 ปริมาณวุ้น	48
3.5.2 ความแข็งของวุ้น	48
3.5.3 ปริมาณซัลเฟต	49
3.6 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณ และคุณภาพของวุ้นจาก <i>Gracilaria</i> spp. กับ อัตราการเจริญเติบโตจำเพาะ	52
4. วิจัยการผลิตทดลอง	54
4.1 การเจริญเติบโตของ <i>G. fisheri</i> และ <i>G. tenuistipitata</i> ที่เลี้ยงบริเวณทะเลสาบสงขลาตอนนอก	54

## สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
4.2 คุณค่าทางโภชนาการของ <i>G. fisheri</i> และ <i>G. tenuistipitata</i> ที่เลี้ยง	59
4.3 ปริมาณและคุณภาพของวุ้นของ <i>G. fisheri</i> และ <i>G. tenuistipitata</i> ที่เลี้ยง	60
5. สรุป	63
เอกสารอ้างอิง	65
ภาคผนวก	81
ประวัติผู้เขียน	96

## รายการตาราง

ตารางที่		หน้า
1	ปริมาณ และความแข็งของวุ้นที่สกัดได้จาก <i>Gracilaria</i> spp.	20
2	อัตราการเจริญเติบโตจำเพาะ (SGR) <sup>1</sup> ของ <i>G. fisheri</i> และ <i>G. tenuistipitata</i> ที่เลี้ยงบริเวณบ้านท่าเสา ห่างจากฝั่ง 50 , 70, 90 และ 110 m ระหว่างเดือนเมษายน-กรกฎาคม 2551	30
3	ผลผลิต (production, g) <sup>1</sup> ของ <i>G. fisheri</i> และ <i>G. tenuistipitata</i> ที่เลี้ยงบริเวณบ้านท่าเสา ห่างจากฝั่ง 50, 70, 90 และ 110 m ระหว่างเดือนเมษายน-กรกฎาคม 2551	32
4	คุณภาพน้ำ <sup>1</sup> ระหว่างการเลี้ยง <i>Gracilaria</i> spp. บริเวณบ้านท่าเสา ห่างจากฝั่ง 50 , 70, 90 และ 110 m ระหว่างเดือนเมษายน-กรกฎาคม 2551	34
5	ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการเจริญเติบโตจำเพาะ (SGR) ของ <i>Gracilaria</i> spp. ที่เลี้ยงบริเวณบ้านท่าเสา ระหว่างเดือนเมษายน-กรกฎาคม 2551 กับคุณภาพน้ำ	36
6	คุณค่าทางโภชนาการ <sup>1</sup> ของ <i>G. fisheri</i> และ <i>G. tenuistipitata</i> (%DW) ท่อนพันธุ์ (*) และที่ได้จากการเลี้ยงที่บ้านท่าเสา ระหว่างเดือนเมษายน-กรกฎาคม 2551	39
7	ปริมาณและความแข็งของวุ้น <sup>1</sup> ที่สกัดได้จาก <i>G. fisheri</i> และ <i>G. tenuistipitata</i> เมื่อแช่สารละลายในน้ำ และในสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 3, 5, 7 และ 10 N	42
8	ปริมาณและความแข็งของวุ้น <sup>1</sup> ที่สกัดได้จาก <i>G. fisheri</i> และ <i>G. tenuistipitata</i> ที่แช่ในสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์นาน 1, 6, 12, 18 และ 24 ชั่วโมง	44
9	ปริมาณและความแข็งของวุ้น <sup>1</sup> ที่สกัดได้จาก <i>G. fisheri</i> และ <i>G. tenuistipitata</i> ที่แช่ในสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่มีอุณหภูมิ 60, 70, 80, 90 และ 100 °C	45
10	ปริมาณและความแข็งของวุ้น <sup>1</sup> ที่สกัดได้จาก <i>G. fisheri</i> และ <i>G. tenuistipitata</i> ที่ใช้เวลาในการสกัด 5-60 นาที	47
11	ปริมาณวุ้น (Agar yield,%DW) ความแข็งของวุ้น (Gel strength, g cm <sup>-2</sup> ) และปริมาณซัลเฟต (Sulfate,%) ในวุ้น ที่ได้จากการสกัดของ <i>G. fisheri</i> และ <i>G. tenuistipitata</i> ที่เลี้ยงบริเวณบ้านท่าเสา ห่างจากฝั่ง 50, 70, 90 และ 110 m ระหว่างเดือนเมษายน-กรกฎาคม 2551	50
12	สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ระหว่างปริมาณวุ้น ความแข็งของวุ้น ปริมาณซัลเฟตในวุ้นที่สกัดได้กับอัตราการเจริญเติบโตจำเพาะของ <i>Gracilaria</i> spp. และคุณภาพน้ำบริเวณบ้านท่าเสา ระหว่างเดือนเมษายน-กรกฎาคม 2551	53



## รายการภาพ

ภาพที่	หน้า	
1	การแบ่งทะเลสาบสงขลาและสภาพทั่วไปบริเวณทะเลสาบสงขลา	4
2	การแตกแขนงแบบต่างๆของ <i>Gracilaria</i> spp.	7
3	วงจรชีวิตของ <i>Gracilaria</i> spp.	9
4	<i>G. fisheri</i> และ <i>G. tenuistipitata</i>	11
5	อัตราการเจริญเติบโตจำเพาะ ( SGR) ของ <i>G. fisheri</i> และ <i>G. tenuistipitata</i> ที่เลี้ยงบริเวณบ้านท่าเสา ห่างจากฝั่ง 50, 70, 90 และ 110 m ระหว่างเดือนเมษายน-กรกฎาคม 2551	31
6	ผลผลิตของ <i>G. fisheri</i> และ <i>G. tenuistipitata</i> ที่เลี้ยงบริเวณบ้านท่าเสา ห่างจากฝั่ง 50, 70, 90 และ 110 m ระหว่างเดือนเมษายน-กรกฎาคม 2551	33
7	คุณสมบัติทางกายภาพ และทางเคมีของน้ำบริเวณบ้านท่าเสา ห่างจากเส้นแนวชายฝั่ง 50, 70, 90 และ 110 m ในระหว่างเดือนเมษายน-กรกฎาคม 2551	35
8	คุณค่าทางโภชนาการของ <i>G. fisheri</i> และ <i>G. tenuistipitata</i> (%DW) ที่ได้จากการเลี้ยงบริเวณบ้านท่าเสา ในระหว่างเดือนเมษายน-กรกฎาคม 2551	40
9	ปริมาณและความแข็งของวุ้นที่สกัดได้จาก <i>G. fisheri</i> และ <i>G. tenuistipitata</i> เมื่อแช่สารละลายไนโตรเจนในน้ำและในสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 3, 5, 7 และ 10 N	42
10	ปริมาณและความแข็งของวุ้นที่สกัดได้จาก <i>G. fisheri</i> และ <i>G. tenuistipitata</i> ที่แช่ในสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 5 N ในระยะเวลา 1-24 ชั่วโมง	44
11	ปริมาณและความแข็งของวุ้นที่สกัดได้จาก <i>G. fisheri</i> และ <i>G. tenuistipitata</i> ที่แช่ในสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 5 N ที่มีอุณหภูมิ 60-100 °C	46
12	ปริมาณและความแข็งของวุ้นจาก <i>G. fisheri</i> และ <i>G. tenuistipitata</i> ที่ใช้เวลาในการสกัด 5-60 นาที	47
13	ปริมาณ และคุณภาพวุ้นของ <i>G. fisheri</i> และ <i>G. tenuistipitata</i> ที่ได้จากการเลี้ยงบริเวณบ้านท่าเสา ห่างจากฝั่ง 50, 70, 90 และ 110 m ในระหว่างเดือนเมษายน-กรกฎาคม 2551	51

# บทที่ 1

## บทนำ

### 1.1 บทนำตั้งเรื่อง

สาหร่ายทะเลมีแคลอรีต่ำ แต่มีกากใยอาหาร วิตามิน และเกลือแร่สูง ซึ่งเป็นคุณสมบัติที่ร่างกายมนุษย์ต้องการ (กาญจนภานัน, 2548) ในประเทศไทยมีสาหร่ายสกุลที่มีความสำคัญ เช่น *Gracilaria* spp. ที่พบได้ทั่วไปตามแนวชายฝั่งของประเทศ ( Chirapart, 2004) สามารถนำมาบริโภคโดยตรง แปรรูปเป็นสาหร่ายแห้ง ในอดีตที่ผ่านมาทุกปีสาหร่ายจากจังหวัดสงขลาและปัตตานีจะส่ง *Gracilaria* spp. ไปขายยังประเทศมาเลเซียในช่วงเดือนถือศีลของชาวมุสลิม (หน่วยวิจัย-ไบโอพอลิเมอร์ และกระทรวงเกษตรฯ , 2533) *Gracilaria* spp. ยังเป็นอาหารของหอยเป่าฮื้อ (คมน์ และคณะ, 2548) *Gracilaria* spp. ในธรรมชาติสาหร่ายทะเลเป็นแหล่งที่อยู่อาศัย เป็นแหล่งอนุบาล และเป็นที่ยลภัยของสัตว์น้ำ ( Ornogo, 1994) มีการใช้สาหร่ายทะเลหลายสกุลรวมทั้ง *Gracilaria* spp. เพื่อบำบัดน้ำทิ้งจากชุมชนและน้ำทิ้งจากบ่อเลี้ยงสัตว์น้ำ ( Buschmann, 2001; Haglund and Lidstroem, 1995; Martinez-Aragon *et al.*, 2002) ที่สำคัญที่สุด *Gracilaria* spp. เป็นที่มาของวุ้นธรรมชาติ (กาญจนภานัน, 2538; สรวิศ, 2543) ที่ส่วนใหญ่นำไปใช้เป็นองค์ประกอบของผลิตภัณฑ์ในอุตสาหกรรมต่างๆ เช่น อุตสาหกรรมยา อุตสาหกรรมเครื่องสำอาง อุตสาหกรรมอาหาร (Marinho-Soriano, 2001; Marinho-Soriano *et al.*, 2001) งานทางด้านชีววิทยา การวิจัย และทางการแพทย์ (Hanisak, 1998)

ปริมาณและคุณภาพของวุ้นจาก *Gracilaria* spp. ไม่มีลักษณะเฉพาะเจาะจง แต่สัมพันธ์กับชนิด (Lignell and Pedersen, 1989; Pondevida and Hurtado-Ponce, 1996) ระยะการเจริญของสาหร่าย (Marinho-Soriano *et al.*, 1999) ปัจจัยทางสิ่งแวดล้อม เช่น ฤดูกาล ( Bird, 1988; Chirapart and Ohno, 1993; Hurtado-Ponce, 1994; Price and Birlig, 1992) และวิธีการในการสกัด(Freile-Pelegrin and Robledo, 1997; Freile-Pelegrin and Murano, 2005; Lemus *et al.*, 1991) *Gracilaria* spp. มีวุ้นในปริมาณมาก วุ้นจาก *Gracilaria* spp. มีคุณภาพใกล้เคียงกับวุ้นจาก *Gelidium* spp. ที่เป็นวุ้นคุณภาพดีที่สุด (สรวิศ, 2543; Troell *et al.*, 1999; Wang, 2002; Yu-Feng *et al.*, 2006)

ในแต่ละปีประเทศไทยส่งออกสาหร่ายแห้งไปขายยังต่างประเทศเพื่อใช้สกัดวุ้น ในขณะที่เดียวกันก็มีการนำเข้าวุ้นจากต่างประเทศเพื่อใช้ในอุตสาหกรรมต่างๆ (กาญจนภานัน , 2536, 2548) มูลค่าการนำเข้าวุ้นจากต่างประเทศมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ ตามความต้องการใช้วุ้นภายในประเทศที่สูงขึ้น (กรมศุลกากร, 2550) การผลิตวุ้นในระดับอุตสาหกรรมภายในประเทศยังมีน้อยมาก เนื่องจากปริมาณสาหร่ายที่รวบรวมได้จากธรรมชาติมีไม่เพียงพอที่จะใช้เป็นวัตถุดิบและมี

ปริมาณไม่แน่นอนในแต่ละปี การอนุรักษ์และการขยายพันธุ์สาหร่าย รวมทั้งการพัฒนาเทคโนโลยีการเพาะเลี้ยงสาหร่ายวุ้นจึงยังคงเป็นสิ่งจำเป็น (จิตติมา, 2544) การเลี้ยงสาหร่ายได้เคยมีการศึกษากันมาโดยหลายหน่วยงานในอดีตยังเป็นการเลี้ยงขนาดเล็ก และส่วนใหญ่ยังอยู่ในขั้นตอนการทดลองเท่านั้น (ระพีพร, 2536; ระพีพร, 2537; สุวัฒน์ และ สอรรถ, 2541)

สำหรับประเทศไทย ทะเลสาบสงขลาเป็นแหล่งน้ำสำคัญของภาคใต้ตอนล่างที่มีอิทธิพลต่อวิถีการดำรงชีวิตของประชาชนในลุ่มน้ำมาแต่อดีต ทะเลสาบสงขลาเป็นระบบนิเวศที่มีความหลากหลายของสิ่งมีชีวิตมากมายทั้งสัตว์และพืชที่รวมทั้งสาหร่ายพวงมาลัยหรือ *Gracilaria* spp. ที่เข้าไปมีความเกี่ยวข้องต่อการดำรงชีวิตของประชากรในลุ่มน้ำ และต่อระบบนิเวศโดยรวมของทะเลสาบ (ศูนย์วิจัยทรัพยากรทางทะเลและชายฝั่งอ่าวไทยตอนล่าง, 2550ก, 2550ข) ในอดีตมี *G. fisheri* และ *G. tenuistipitata* ในปริมาณมากทั่วทะเลสาบสงขลาตอนนอก (กาญจนภรณ์ และคณะ, 2536; สุภาจรี, 2543, 2545) แต่ในปัจจุบันมี *Gracilaria* spp. แพร่กระจายอยู่ในปริมาณน้อยมาก (ศิริญา, 2550) ปริมาณการแพร่กระจายของ *Gracilaria* spp. ที่ทะเลสาบสงขลาขึ้นอยู่กับฤดูกาล ความเค็มของน้ำ รวมทั้งการมีที่ให้อาหารสาหร่ายยึดเกาะเป็นสำคัญ (ระพีพร, 2552) การลดลงของปริมาณสาหร่าย *Gracilaria* spp. มีผลต่อทั้งความเป็นอยู่ของทั้งคน และสัตว์น้ำ การศึกษาในครั้งนี้นับเป็นส่วนของความพยายามอีกครั้งหนึ่งที่จะทำให้เห็นว่าสาหร่าย *Gracilaria* spp. สามารถขึ้นได้ต่อไปที่ทะเลสาบสงขลา หากมีความช่วยเหลือ/มีการจัดการในบางสิ่งบางอย่างขาดหายไป การที่โดยธรรมชาติเคยมีสาหร่ายขึ้นได้ทั่วไป แสดงให้เห็นว่า น้ำในทะเลสาบสงขลาต้องมีคุณสมบัติที่เหมาะสมสำหรับสาหร่ายชนิดนี้ ปรกติมี *Gracilaria* spp. แพร่กระจายอยู่เพียงบริเวณชายฝั่งเท่านั้น เนื่องจากเป็นบริเวณที่มีที่ยึด การศึกษาในครั้งนี้ทำในพื้นที่บ้านท่าเสา อำเภอสิงหนครที่ยังคงมี *Gracilaria* spp. ค่อนข้างหนาแน่นกระทั่งทุกวันนี้ ต้องการชี้ให้เห็นความเป็นไปได้ที่จะทำให้อย่างคงมี *Gracilaria* spp. ขึ้นในพื้นที่ห่างจากชายฝั่งออกไป ซึ่งจะสามารถนำไปใช้เป็นแนวทางสำหรับการจัดการเพื่อการเพาะเลี้ยงสาหร่ายชนิดนี้ได้ในอนาคตต่อไป

## 1.2 การตรวจเอกสาร

### 1.2.1 ทะเลสาบสงขลา

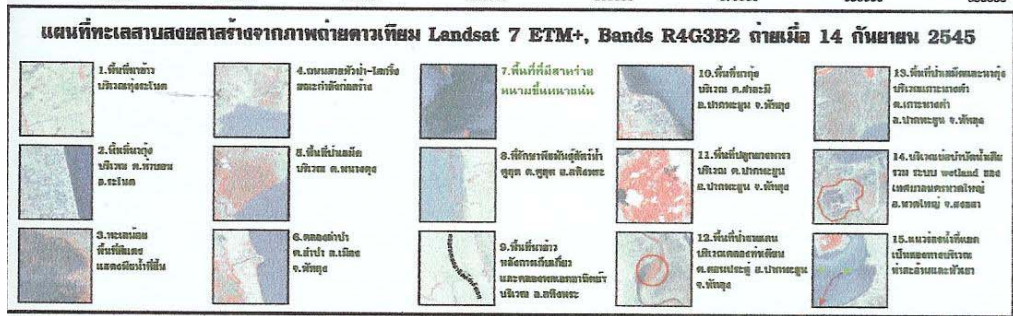
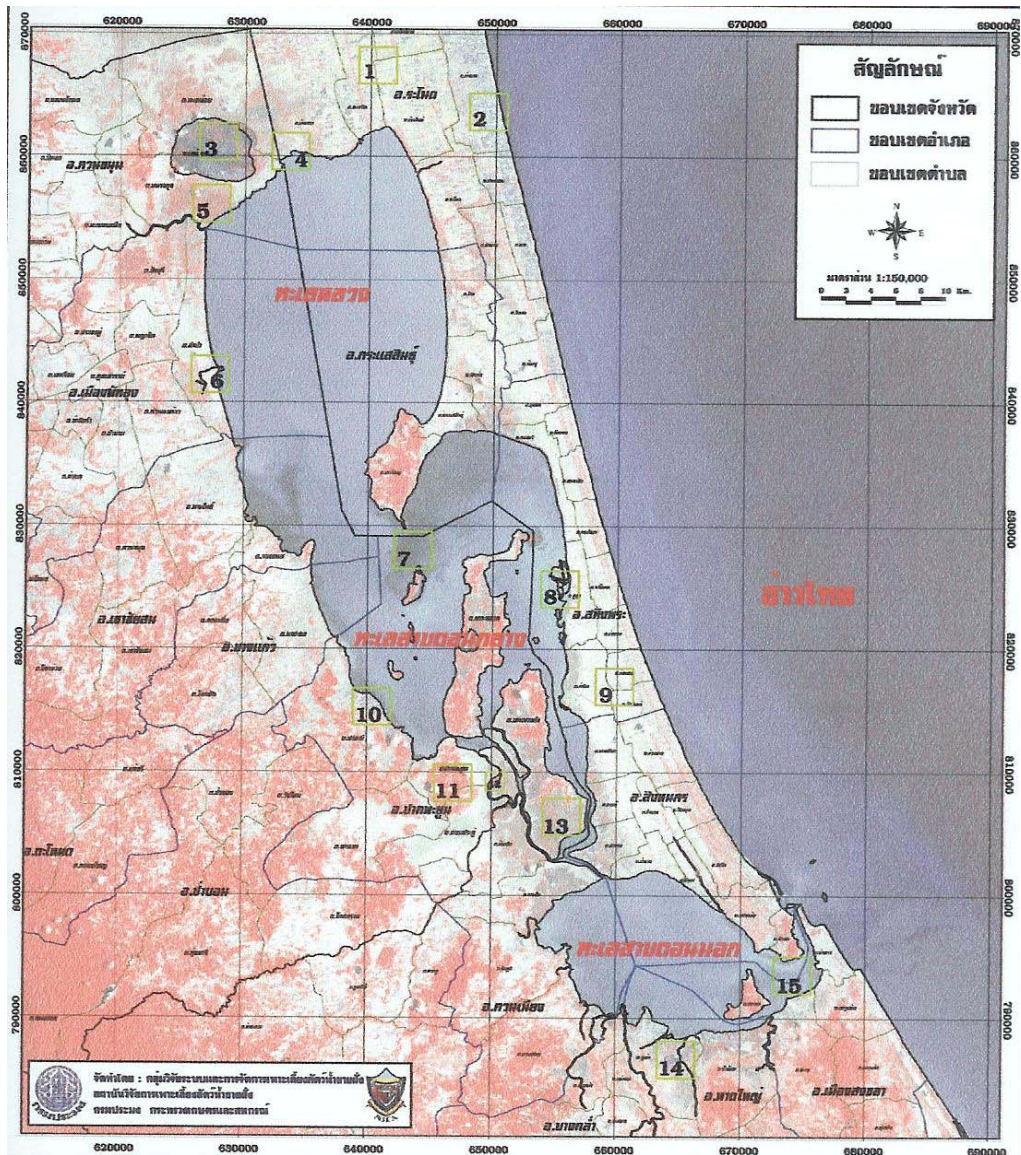
ทะเลสาบสงขลาเป็นทะเลสาบธรรมชาติที่มีขนาดใหญ่ที่สุดในประเทศไทย มีพื้นที่ประมาณ 1,018 ตารางกิโลเมตร ตั้งอยู่ทางตอนล่างของภาคใต้ของประเทศไทยระหว่างจังหวัดสงขลา และจังหวัดพัทลุง (โครงการจัดการทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อมลุ่มน้ำทะเลสาบสงขลา, 2542) ลักษณะเป็นลากูน ( lagoon) โดยมีช่องเปิดติดต่อกับอ่าวไทยอยู่ระหว่างอำเภอเมืองและอำเภอสิงหนคร จังหวัดสงขลา ความเค็มของน้ำในทะเลสาบสงขลาแต่ละพื้นที่จึงแตกต่างกันขึ้นอยู่กับฤดูกาล และระยะห่างจากปากทะเลสาบ ( Angsupanich, 1994) ทะเลสาบสงขลาเชื่อมติดต่อกับคลองต่างๆ หลายสายที่สำคัญ เช่น คลองอู่ตะเภา คลองพะวง คลองป่าพะยอม คลองนาท่อม และคลองท่าชีเข็ด เป็นต้น ส่วนก้นทะเลสาบมีลักษณะแบนคล้ายกระทะ (เพราพรรณ, 2529) สามารถแบ่งทะเลสาบสงขลาแบ่งตามลักษณะทางนิเวศวิทยา และตามความเค็มของน้ำที่แตกต่างกันได้ 3 ส่วน ดังนี้ (นิคม และคณะ, 2547; สากล และคณะ, 2549)

1) ทะเลสาบตอนนอก ทะเลสาบส่วนนี้เป็นส่วนที่อยู่นอกสุด มีอาณาเขตตั้งแต่บริเวณเชื่อมต่อกับอ่าวไทยหรือที่เรียกกันทั่วไปว่าปากทะเลสาบไปจนถึงปากคลองหลวง (คลองป่ากรอ) ทะเลสาบตอนนอกมีสภาพเป็นน้ำกร่อยเกือบตลอดทั้งปี และมีความเค็มสูงกว่าทะเลสาบส่วนอื่นๆ

2) ทะเลสาบตอนกลาง หรือทะเลสาบ เป็นส่วนที่อยู่ถัดจากทะเลสาบตอนนอกจนถึงตำบลเกาะใหญ่ อำเภอกระเสสินธุ์ จังหวัดสงขลา และตำบลแหลมจองถนน อำเภอเขาชัยสน จังหวัดพัทลุง แม้ว่าทะเลสาบส่วนนี้จะป็นน้ำกร่อยเกือบตลอดทั้งปีเช่นเดียวกับทะเลสาบตอนนอก แต่ความเค็มต่ำกว่า

3) ทะเลหลวง เป็นส่วนที่อยู่ถัดจากทะเลสาบตอนกลางเข้าไปข้างใน ในอดีตทะเลสาบส่วนนี้เป็นน้ำจืดเกือบตลอดทั้งปี (เริงชัย, 2536) แต่ปัจจุบันส่วนใหญ่มีสภาพเป็นน้ำกร่อยเกือบทั้งปี (นิคม และคณะ, 2547)

สำหรับทะเลน้อยเป็นทะเลสาบที่มีน้ำจืดแยกออกไปจากทะเลสาบสงขลา แต่เชื่อมติดต่อกับทะเลสาบสงขลาโดยคลองนางเรียม และคลองปากประ (เริงชัย, 2536)



ภาพที่ 1 การแบ่งทะเลสาบสงขลาและสภาพทั่วไปบริเวณทะเลสาบสงขลา  
ที่มา: นิคม และคณะ (2547)

### 1.2.1.1 สภาพภูมิอากาศบริเวณทะเลสาบสงขลา

บริเวณทะเลสาบสงขลามีลักษณะภูมิอากาศแบบลมมรสุมเขตร้อน คือ มีอากาศร้อน อุณหภูมิสูงตลอดปี และฝนตกชุก ส่วนฤดูกาลแบ่งได้ 2 ฤดู คือ ฤดูร้อน และฤดูฝน ฤดูร้อนเริ่มตั้งแต่กลางเดือนกุมภาพันธ์ถึงเดือนพฤษภาคม สำหรับฤดูฝนแบ่งได้ 2 ช่วง คือ ช่วงแรกเริ่มตั้งแต่กลางเดือนพฤษภาคมถึงกลางเดือนตุลาคม ได้รับอิทธิพลจากลมมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ ส่วนช่วงที่สองเริ่มตั้งแต่กลางเดือนตุลาคมถึงกลางเดือนมกราคม ได้รับอิทธิพลจากลมมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือ (กรมอุตุนิยมวิทยา, 2552)

### 1.2.1.2 คุณสมบัติของน้ำบางประการในทะเลสาบสงขลา

หน่วยงานต่างๆ ได้ศึกษาคุณสมบัติทางฟิสิกส์และเคมีของน้ำในทะเลสาบสงขลาที่ผ่านมาแล้ว จึงมีข้อมูลเกี่ยวกับคุณสมบัติทางฟิสิกส์และเคมีของน้ำในทะเลสาบสงขลาค่อนข้างมาก เมื่อเทียบกับแหล่งน้ำแหล่งอื่นในประเทศไทย สำนักวิจัยและพัฒนาประมงชายฝั่งสงขลา รายงานผลจากการตรวจสอบคุณภาพน้ำในทะเลสาบสงขลาตอนนอกในปี 2546-2549 โดยสรุปได้ดังนี้ (สำนักวิจัยและพัฒนาประมงชายฝั่งสงขลา, 2550)

1) **ความเค็มของน้ำ:** ความเค็มของน้ำในทะเลสาบสงขลาตอนนอกลดลงตามระยะทางที่ห่างจากปากทะเลสาบ (ขงยุทธ และ นิคม, 2540) และปริมาณน้ำฝนที่ไหลลงสู่ทะเลสาบ น้ำในทะเลสาบสงขลาตอนนอกมีความเค็มเฉลี่ย คือ 13.68 ppt (สำนักวิจัยและพัฒนาประมงชายฝั่ง - สงขลา, 2550)

2) **ความโปร่งใส:** น้ำในทะเลสาบทั้งหมด ความโปร่งใสของน้ำในทะเลสาบสงขลาตอนนอกมีค่าสูงสุด คือมีค่าเฉลี่ย 32.50 cm (สำนักวิจัยและพัฒนาประมงชายฝั่งสงขลา , 2550) ความโปร่งใสของน้ำในทะเลสาบสงขลาตั้งแต่ปี พ.ศ. 2528 เป็นต้นมา เริ่มมีการเปลี่ยนแปลงเมื่อเทียบกับปี พ.ศ. 2520 ซึ่งมีความโปร่งใสเฉลี่ย คือ 73 cm (ไพโรจน์ และคณะ, 2520)

3) **ปริมาณออกซิเจนละลายน้ำ:** ทะเลสาบสงขลาตอนนอกมีปริมาณออกซิเจนละลายน้ำอยู่ระหว่าง 1.46-9.14 mg/l (สำนักวิจัยและพัฒนาประมงชายฝั่งสงขลา , 2550) น้ำบริเวณปากคลองบางคลองที่เชื่อมต่อกับทะเลสาบตอนนอก เช่น คลองสำโรง คลองขวาง และบริเวณที่อยู่ใกล้แหล่งชุมชน ทำเทียบเรือประมง จะมีปริมาณออกซิเจนละลายน้ำค่อนข้างต่ำ และมีค่าเป็นศูนย์ในบางครั้ง (นฤกุล, 2536)

4) **ความเป็นกรด-ด่าง:** ความเป็นกรด-ด่างของน้ำในทะเลสาบสงขลามีค่าใกล้เคียงกับน้ำทะเลที่รุกลงไป คือ 6.26-8.27 (สำนักวิจัยและพัฒนาประมงชายฝั่งสงขลา, 2550)

5) **ปริมาณไนโตรเจน:** ในปี พ.ศ.2528 มีรายงานว่าน้ำในทะเลสาบสงขลามีปริมาณไนเตรทน้อยมากคือ 0.035-0.070 mg/l (ไพโรจน์ และคณะ, 2528) น้ำมีแอมโมเนีย 0.03-2.17 mg/l (สุภาพร, 2537) และ ไนไตรท์ 0.01-0.692 mg/l (สำนักวิจัยและพัฒนาประมงชายฝั่งสงขลา, 2550)

6) **ปริมาณฟอสเฟต :** ในปี พ.ศ. 2537 ทะเลสาบสงขลาตอนนอกมีฟอสเฟตเฉลี่ยเพียง 0.022 mg/l (สุภาพร, 2537) สำนักงานสิ่งแวดล้อมภาคที่ 16 รายงานไว้ว่าน้ำในทะเลสาบสงขลาตอนนอกในช่วงปี พ.ศ. 2546-2549 มีฟอสเฟตตั้งแต่ ND-0.93 mg/l (สำนักงานสิ่งแวดล้อมภาคที่ 16, 2550)

### 1.2.1.3 สิ่งมีชีวิตในทะเลสาบสงขลา

ระบบนิเวศในทะเลสาบสงขลาเป็นระบบเปิด (สากล และคณะ, 2549) และในขณะเดียวกันทะเลสาบสงขลามีความยาวมากพอที่ทำให้น้ำในทะเลสาบแต่ละส่วนมีความเค็มโดยเฉลี่ยที่แตกต่างกัน ตั้งแต่ น้ำเค็ม น้ำกร่อย และน้ำจืด จึงเกิดเป็นระบบนิเวศย่อยๆ ที่แตกต่างกันอยู่ภายในระบบนิเวศใหญ่ ส่งผลให้สิ่งมีชีวิตในน้ำที่พบที่ทะเลสาบสงขลามีความหลากหลายทางชีวภาพสูง (ศูนย์วิจัยทรัพยากรทางทะเลและชายฝั่งอ่าวไทยตอนล่าง, 2550ก, 2550ข, 2550ค; Angsupanich, 2001, 2004; Bamber *et al.*, 2001)

### 1.2.2. *Gracilaria* spp.

*Gracilaria* spp. หรือสาหร่ายพมนาง หรือสาหร่ายวุ้นเป็นสาหร่ายทะเลชนิดหนึ่ง โดยทั่วไปสาหร่ายทะเลขนาดใหญ่เป็นสิ่งมีชีวิตชั้นต่ำที่มีลักษณะคล้ายพืชชั้นสูง มีส่วนที่คล้ายราก ลำต้นและใบ รวมเรียกว่า ทัลลัส (thallus) มีคลอโรพิลล์ (chlorophyll) แตกต่างกันไปตามกลุ่มสาหร่าย ไม่มีระบบท่อลำเลียงอาหารจากรากสู่ ลำต้นและใบแบบพืชชั้นสูง แต่จะใช้วิธีดูดซับน้ำ และแร่ธาตุจากน้ำทะเลสู่เซลล์โดยตรง แพร่ขยายพันธุ์ด้วยการสร้างสปอร์และแบ่งตัว สาหร่ายทะเลแบ่งออกเป็นกลุ่มใหญ่ๆ ตามโครงสร้างและสีของสารสังเคราะห์แสงได้เป็น 4 กลุ่ม คือ สาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงิน (blue green algae) สาหร่ายสีเขียว (green algae) สาหร่ายสีน้ำตาล (brown algae) และสาหร่ายสีแดง (red algae) (กาญจนพานิช, 2527; ยุกดี, 2546)



*Gracilaria* spp. เป็นสาหร่ายสีแดง มีการจัดลำดับทางอนุกรมวิธานดังนี้

Kingdom	Plantae
Division	Rhodophyta
Class	Florideophyceae
Order	Gracilariales
Family	Gracilariaceae
Genus	<i>Gracilaria</i> Greville (1830)

ที่มา: Anonym (2010a, b)

*Gracilaria* spp. มีหลายสี ได้แก่ ดำ เหลือง แดง เขียว และอื่นๆ ซึ่งเกิดจากลักษณะทางพันธุกรรมและสภาพแวดล้อมตามธรรมชาติที่สาหร่ายขึ้นอยู่ สารสีที่ทำให้สาหร่ายมีสีแตกต่างกันออกไปนั้น ได้แก่ คลอโรฟิลล์ (chlorophyll) ไฟโคบิลิน (phycobilin) และแคโรทีน (carotene) *Gracilaria* spp. ส่วนมากมีทลัสเป็นพุ่มอวบน้ำ มีรากเล็กๆ ลักษณะเป็นรูปถ้วยสำหรับยึดเกาะ เรียกว่า holdfast ที่ แดกแขนงมากน้อยสุดแต่ชนิด ทลัสของ *Gracilaria* spp. มีการแตกแขนงเป็นแบบสลับ (alternate) แบบคู่ (dichotomous) แดกแขนงด้านเดียว (secund) หรือไม่เป็นระเบียบ (irregular) (ภาพที่ 2) ลักษณะของทลัสมีหลากหลาย บางชนิดแขนงกลม (terete) บางชนิดแบน (compressed) ปลายแขนงมีทั้งปลายกลม ปลายมน ปลายตัด หรือแยกเป็นแฉก ส่วนโคนแขนงบางชนิดอาจคอดหรือเรียวเล็ก (กาญจนภาชน์ และคณะ, 2536) *Gracilaria* spp. มีชื่อเรียกแตกต่างกันตามท้องถิ่นและลักษณะ บางชนิดเป็นข้อสั้นๆ เรียกสาหร่ายข้อ ส่วนพวกที่แตกแขนงเหมือนเขากวางเรียกสาหร่ายเขากวาง นอกจากนี้ยังมีชื่ออื่นๆ อีกหลายชื่อ ได้แก่ สาหร่ายฝอย สาย สาหร่ายวุ้น สายจัม สายหางม้า สายพม นาง และสายไหม (วิวรรธน์ และทรงสิทธิ์, 2543)



ก. แบบสลับ (*G. changii*)



ข. แบบคู่ (*G. textorii*)



ค. แบบด้านเดียว (*G. irregularis*)

ภาพที่ 2 การแตกแขนงแบบต่างๆของ *Gracilaria* spp.

ที่มา: Lewmanomont and Ogawa (1995)



### 1.2.2.1 วงจรชีวิตของ *Gracilaria* spp.

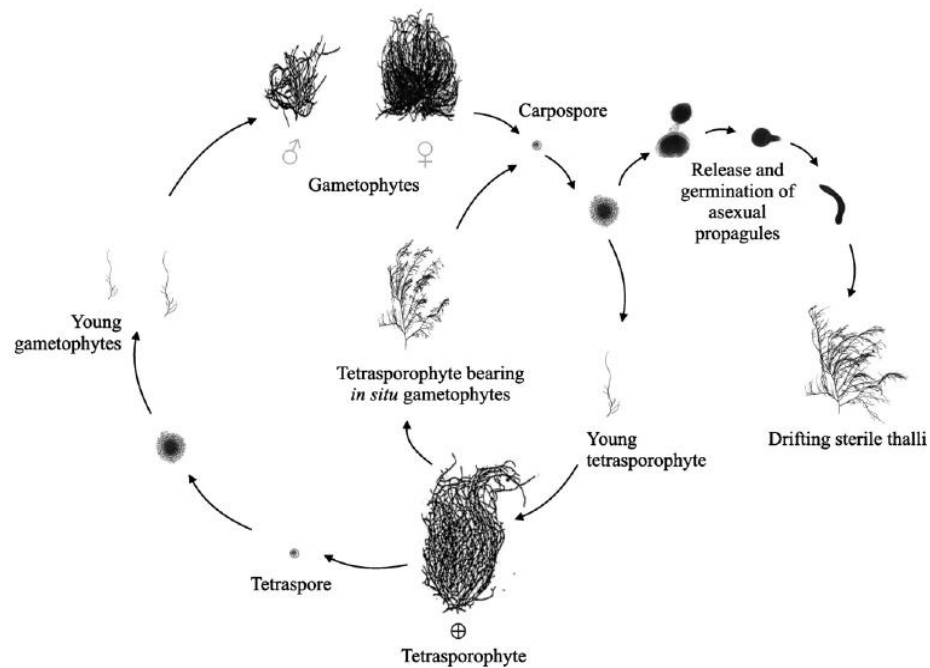
*Gracilaria* spp. มีวงจรชีวิตแบบสลับระหว่างต้นมีเพศ (gametophyte plant) กับต้นไม่มีเพศ (sporophyte plant) ต้นมีเพศแยกเป็นต้นเพศผู้และต้นเพศเมีย ดังนั้นจึงมีต้น 3 ชนิดด้วยกัน ต้นทั้ง 3 ชนิด มีรูปร่างลักษณะเหมือนกันทุกประการ ดังภาพที่ 3 (กาญจนภาชน์, 2538; Plastino *et al.*, 1999) วงจรชีวิตของ *Gracilaria* spp. ประกอบด้วย 3 ระยะ (triphasic type) ได้แก่

1) gametophyte phase คือช่วงชีวิตที่เป็นทลัสเพศผู้ และทลัสเพศเมีย ทลัสเพศผู้สร้างเซลล์สืบพันธุ์ที่เรียกว่า spermatium อยู่ใน spermatangium ถ้ามีลักษณะเป็นถุงหรือเป็นแอ่งเรียก spermatangial conceptacle และทลัสเพศเมียสร้างเซลล์สืบพันธุ์ที่เรียกว่า carpogonium การผสมเกิดบนทลัสเพศเมีย

2) carposporophyte phase คือช่วงหลังการผสมของเซลล์สืบพันธุ์เพศผู้กับเซลล์สืบพันธุ์เพศเมีย ที่ zygote พัฒนาจนเป็น cystocarp มีลักษณะเป็นปุ่มกลมๆ ขนาดหัวเข็มหมุด เกิดทั่วไปตามผิวของทลัสเพศเมีย ภายใน cystocarp มี carpospores

3) tetrasporophyte phase คือระยะที่ carpospore งอกเป็นทลัสไม่มีเพศ หรือ tetrasporophyte plant จะสร้าง tetraspores ที่จะงอกเป็นทลัสเพศผู้ และทลัสเพศเมียอย่างละเท่าๆ กันต่อไป

ต้น *Gracilaria* spp. 1 ต้นสามารถสร้าง tetraspores ได้มากกว่า 60,000 อัน และผลิต carpospore ได้มากกว่า 40,000 อัน (Shang, 1976) ในสภาวะปกติ *Gracilaria* spp. เจริญจนสามารถสืบพันธุ์ได้ภายในระยะเวลาประมาณ 5-6 เดือน ขึ้นอยู่กับชนิด ในห้องปฏิบัติการ การเจริญของสาหร่ายชนิดนี้อาจมีลักษณะแตกต่างกันออกไปบ้าง เช่นที่พบว่า carpospores อาจเจริญเติบโตเป็นต้นที่สามารถสร้างได้ทั้ง tetraspores และ spermatium หรือ tetraspores จะเจริญไปเป็น gametophyte phase เพศผู้อย่างเดียว ถ้าหากแยกสปอร์ออกมาเลี้ยงโดยไม่ให้อากาศ ซึ่งจะสร้างเซลล์ spermatium ได้หลังจาก 3 เดือนไปแล้ว ดังนั้นสภาพสิ่งแวดล้อมจึงเป็นปัจจัยสำคัญต่อการผสมพันธุ์ระหว่าง spermatium และ carpogonium (ระพีพร, 2552)



ภาพที่ 3 วงจรชีวิตของ *Gracilaria* spp.

ที่มา: Milena และคณะ (2006)

### 1.2.2.2 การแพร่กระจาย

พบ *Gracilaria* spp. ไม่น้อยกว่า 160 ชนิด (Graham and Wilcox, 2000) แพร่กระจายอยู่ทั้งในเขตร้อน เขตหนาว และในเขตอบอุ่น (Freile-Pelegrin and Murano, 2005; Marinho-Soriano and Bourret, 2005) เช่น ออสเตรเลีย บราซิล จีน ญี่ปุ่น เม็กซิโก อินเดีย ฟิลิปปินส์ ไทย และมาเลเซีย เป็นต้น (Trono and Gavino, 1997; Iyer, 2002; Iyer *et al.*, 2005) *Gracilaria* spp. ขึ้นอยู่บริเวณชายฝั่งในระดับน้ำตื้น บริเวณน้ำขึ้นน้ำลง หรือบริเวณที่อยู่ใต้น้ำตลอดเวลา พบได้ทั้งในแหล่งน้ำเค็มและกร่อย ในบริเวณที่พื้นที่น้ำเป็นโคลนปนทราย สาหร่ายที่พบส่วนใหญ่จะพบบริเวณอ่าวปิดที่ได้รับอิทธิพลจากพายุและกระแสน้ำน้อย คลื่นลมสงบ ใล่ทวีปที่มีความชันน้อย (Santelices and Doty, 1989) *Gracilaria* spp. ที่พบส่วนใหญ่เจริญเกาะกับวัสดุต่างๆ เช่น ก้อนหิน วัสดุต่างๆ ใต้น้ำ (San *et al.*, 1984 อ้างโดย Edding *et al.*, 1987) ในประเทศไทยพบ *Gracilaria* spp. มากกว่า 10 ชนิด ขึ้นอยู่ในบริเวณแหล่งน้ำชายฝั่งทะเลที่มีลักษณะพื้นเป็นโคลนปนทราย บนก้อนหิน ก้อนกรวด หรือเปลือกหอย หรือบนเนื้ออ่อนของกระชังเลี้ยงปลา (สิริ และคณะ , 2530; สุวัฒน์ และสอรรถ, 2541) พบตามจังหวัดที่ติดชายทะเลเกือบทุกจังหวัด เช่น ชายฝั่งทะเลตะวันออก พบตั้งแต่จังหวัดชลบุรีไปจนถึงจังหวัดตราด ภาคใต้ฝั่งตะวันออก พบตั้งแต่จังหวัดประจวบคีรีขันธ์

ลงไปถึงจังหวัดปัตตานี และภาคใต้ฝั่งตะวันตกพบตั้งแต่จังหวัดระนองถึงจังหวัดสตูล (สุชาติ, 2538; สุภาจรี, 2545)

### 1.2.2.3 *Gracilaria fisheri* (Xia & Abbott) และ *G. tenuistipitata* (Zhang & Xia)

1) *G. fisheri*: *G. fisheri* หรือสาหร่ายผมนางเส้นใหญ่มีทัลลัสเป็นพุ่ม แยกแขนงบริเวณโคนสั้นๆ (stipe) หรือแตกจากแกนกลาง 3-4 ครั้ง แขนงเป็นเส้นกลมยาว เส้นผ่าศูนย์กลาง 0.6-2.3 mm โคนแขนงคอด ปลายแขนงเรียวแหลม รากมีขนาดเล็ก ลักษณะเป็นรูปถ้วย ทำหน้าที่ยึดเกาะกับเปลือกหอยหรือก้อนกรวดเล็กๆ ความยาวของทัลลัส 13-30 cm หรืออาจยาวถึง 45 cm (ภาพที่ 4 ก)

*G. fisheri* มีอวัยวะสืบพันธุ์เพศผู้เป็นถุงเดี่ยวๆ แบบ verrucosa-type หรืออยู่รวมเป็นกลุ่มแบบ polycavernosa-type กระจาปะสปอร์รูปประฆัง ประกอบด้วย pericarp หนา มีเซลล์ 9-14 แถว เซลล์แถวนอกมี แถวในค่อนข้างแบน เซลล์ gonimoblast ลักษณะยาว absorbing filament อยู่ที่ฐานและด้านข้าง (Lewmanomont and Ogawa, 1995)

2) *G. tenuistipitata*: *G. tenuistipitata* หรือสาหร่ายผมนางเส้นเล็ก มีทัลลัสเป็นเส้นกลมผอมยาว ซึ่งอาจยาวได้ถึง 54 cm ทัลลัสมีการแตกแขนงจากแกนกลางจำนวนมาก และหนาแน่น แขนงมีลักษณะหึงกอ บนแขนงมีแขนงย่อยเล็กๆ จำนวนมาก พบ *G. tenuistipitata* ขึ้นปะปนกับ *G. fisheri* บนเปลือกหอย และก้อนกรวด *G. tenuistipitata* มักหลุดลอยเป็นกระจุกหรือเป็นแพ (ภาพที่ 4 ข)

อวัยวะสืบพันธุ์เพศผู้ของ *G. tenuistipitata* มีลักษณะเป็นแฉ่งสั้นๆ แบบ textorii-type กระจาปะสปอร์ลักษณะคล้ายดอกบัวตูม โคนคอดเว้า มีขนาดใหญ่เท่ากับเส้นผ่าศูนย์กลางของแขนงหรือใหญ่กว่า pericarp บางประกอบด้วยเซลล์ลักษณะกลม gonimoblast ประกอบด้วยเซลล์ขนาดใหญ่ (Lewmanomont and Ogawa, 1995)



ก.

ข.

ภาพที่ 4 *G. fisheri* (ก) และ *G. tenuistipitata* (ข)

#### 1.2.2.4 การเจริญเติบโตของ *Gracilaria* spp.

การเจริญเติบโตของ *Gracilaria* spp. ขึ้นอยู่กับ ความเค็ม แสง อุณหภูมิ ความเป็นกรดเป็นด่าง ชนิดและปริมาณสารอาหารในน้ำ ตลอดจนความเหมาะสมของที่อยู่อาศัย (สำนักวิจัยและพัฒนาประมงชายฝั่งสงขลา, 2550; Lobban and Harison, 1994)

1) ความเค็ม: ปัจจัยที่มีผลต่อการเจริญของ *Gracilaria* spp. ที่สำคัญที่สุด คือ ความเค็ม (กาญจนภานัน และคณะ, 2536) ความเค็มมีผลต่อ osmotic pressure ที่กำหนดการเคลื่อนย้ายโมเลกุลของน้ำระหว่างภายในและภายนอกเซลล์ ตามความแตกต่างของค่า water potential และการแลกเปลี่ยนประจุตามแรงของ electro-chemical gradient ทั้งสองกระบวนการจะเกิดขึ้นพร้อมๆ กัน และถูกควบคุมใน semi-permeable membrane รอบๆ เซลล์ เช่น Chloroplast, Mitochondria และ Vacuole เป็นต้น (Lobban and Horison, 1994; Wong and Chang, 2000) ปกติ *Gracilaria* spp. เจริญได้ดีในความเค็มช่วงกว้าง 15- 35 ppt (Trono, 1988) *Gracilaria* spp. เจริญได้ดีที่สุดเมื่อน้ำมีความเค็ม 25 ppt (Simonetti *et al.*, 1970 อ้างโดย ระพีพร, 2537; Trono, 1988; Wu *et al.*, 1989)

Bird and McLachlan (1986) รายงานว่า *Gracilaria* spp. 7 ชนิด จากชายฝั่งทะเลมหาสมุทรแอตแลนติกและมหาสมุทรแปซิฟิกตะวันออก สามารถเจริญอยู่ได้ตั้งแต่ระดับความเค็ม 15-60 ppt การทดลองเลี้ยง *G. gracilis* ในห้องปฏิบัติการที่มีอุณหภูมิ 20 °C ความเข้มแสง 80  $\mu\text{Em}^{-2}\text{s}^{-1}$  และได้รับแสง 12:12 ชั่วโมง เจริญได้มากที่สุด  $6.7 \pm 0.1\%$  เมื่อน้ำมีความเค็ม 30 ppt (Rebello *et al.*, 1996) *Gracilaria* spp. จะมีปริมาณลดลงหรือตายเมื่อน้ำมีความเค็ม 35 ppt (Trono, 1988) *Gracilaria* spp. ที่พบในบริเวณทะเลสาบสงขลาในน้ำ ขึ้นได้ดีในน้ำที่มีความเค็ม 25-35 ppt

(สมภพ, 2524) มีรายงานว่า *G. tenuistipitata* เจริญได้ในน้ำที่มีความเค็ม 18-30 ppt และเจริญดีที่สุดเมื่อน้ำมีความเค็ม 21-27 ppt ส่วน *G. fisheri* เจริญได้ในน้ำที่มีความเค็ม 10-30 ppt และเจริญดีที่สุดเมื่อน้ำมีความเค็มที่ 15-25 ppt (กาญจนภาชน์ และคณะ, 2536; Chaiyakam and Tunvilai, 1992) การเพาะเลี้ยง *Gracilaria* แบบพื้นบ้านที่บริเวณอ่าวปัตตานี จังหวัดปัตตานีที่เก็บเกี่ยวจากธรรมชาติสามารถเก็บเกี่ยว *Gracilaria* ได้ปริมาณมากในเดือนมีนาคม-เมษายน และลดน้อยลงในเดือนพฤษภาคม-มิถุนายน เมื่อความเค็มของน้ำทะเลมีค่าลดลง (สิริ และคณะ, 2530) *G. fisheri* และ *G. tenuistipitata* ที่เลี้ยงในบ่อดินธรรมชาติที่สถานีเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำชายฝั่งจังหวัดเพชรบุรี เจริญเติบโตลดลงเมื่อความเค็มมีค่าสูงขึ้นจาก 20-33 ppt เป็น 35-45 ppt ในเดือนกุมภาพันธ์ (จิตติมา, 2544)

2) ความขุ่นของน้ำ: น้ำที่มีความขุ่นมากแสงจะส่องผ่านลงไปได้น้อย ทำให้สาหร่ายเจริญได้ไม่เต็มที่ เนื่องจากสังเคราะห์แสงได้น้อยลง *Gracilaria* spp. จะเจริญได้ดีในน้ำใสในที่ตื้นๆ มากกว่าน้ำขุ่น (นิสรภรณ์, 2544) *G. fisheri* เจริญได้ไม่ดีเมื่อน้ำมีความขุ่น 25 -35 cm เนื่องจากมีตะกอนมาเกาะกับสาหร่ายค่อนข้างมาก (วราภรณ์ และคณะ, 2547; Chaiyakam and Tunvilai, 1992)

3) แสง: แสงมีความจำเป็นในการสังเคราะห์แสงเพื่อใช้ในการเจริญของสาหร่าย (Boyd, 1990) แสงที่สาหร่ายใช้ในการสังเคราะห์แสงอยู่ในช่วงความยาวคลื่น 400-750 nm (Graham and Wilcox, 2000) อัตราการสังเคราะห์แสงของสาหร่ายจะแตกต่างกันไปขึ้นอยู่กับชนิดของสาหร่าย สาหร่ายที่ได้รับแสงที่มีความเข้มแสงน้อยกว่าระดับที่พอเหมาะจะเจริญช้า หากความเข้มแสงที่สูงมากเกินไป ซึ่งจะแตกต่างกันขึ้นอยู่กับชนิดของสาหร่าย อาจทำให้เกิดภาวะการยับยั้งการสังเคราะห์แสง (Gacia *et al.*, 1996) ทำให้ผลผลิตสาหร่ายลดลง นอกจากนี้ความเข้มแสงยังมีผลต่อองค์ประกอบทางชีวเคมีภายในเซลล์อีกด้วย (สรวิศ, 2543)

สปอร์ของต้น tetrasporophyte และต้น gametophyte ของ *G. vermiculophyllum* ที่เก็บจากอ่าว Takamatsu ประเทศญี่ปุ่น ที่นำมาเลี้ยงสามารถเจริญเป็นต้นได้ดีที่สุดเมื่อมีแสง  $80-100 \mu\text{molm}^{-2}\text{s}^{-1}$  และเจริญได้ดีที่สุดเมื่อได้รับแสง  $20 \mu\text{molm}^{-2}\text{s}^{-1}$  อุณหภูมิ  $20 \pm 0.5 \text{ }^{\circ}\text{C}$  และความเค็ม 30-32 ppt (Yokoya *et al.*, 1999) สามารถใช้หลอดฟลูออเรสเซนต์ (Cool-white light) แทนแสงจากธรรมชาติในห้องปฏิบัติการสำหรับการเลี้ยงสาหร่ายชนิดนี้ได้ การใช้หลอดฟลูออเรสเซนต์จะทำให้สามารถปรับความเข้มแสงได้ตามต้องการ และช่วยลดการเจริญของสาหร่ายชนิดอื่นที่ไม่ต้องการลงได้ ความเข้มแสงที่เหมาะสมแก่การเลี้ยง *Gracilaria* spp. ในห้องปฏิบัติการควรมีค่า 1,000 -3,000 lux วันละ 12 ชั่วโมง (กาญจนภาชน์ และคณะ, 2536)

4) **อุณหภูมิ:** ความแตกต่างกันของอุณหภูมิในแต่ละช่วงฤดูกาลมีผลต่อการเจริญของ *Gracilaria* spp. (สมรักษ์, 2549; Lee *et al.*, 1999) ความเหมาะสมของอุณหภูมิที่ *Gracilaria* spp. ขึ้นอยู่และเจริญได้ดีแตกต่างกันในแต่ละพื้นที่ เช่น อุณหภูมิที่เหมาะสมสำหรับการเลี้ยง *Gracilaria* spp. ในจีน และได้วันคือ 20-30 °C (Chen, 1976; Santecies and Doty, 1989; Wu *et al.*, 1989) การเลี้ยง *Gracilaria* spp. ในสภาพที่มีอุณหภูมิเปลี่ยนแปลงในช่วงกว้างมากทำให้สาหร่ายเจริญไม่ดี กระทั่งตาย ซึ่งมักเกิดขึ้นในฤดูร้อน การเลี้ยง *Gracilaria* spp. ในที่ที่มีอุณหภูมิก่อนข้างต่ำ และมีช่วงของการเปลี่ยนแปลงแคบ เช่น 24±2 °C ช่วยลดการเน่าตายของสาหร่ายลงได้ (กาญจนภาชน์ และคณะ, 2536) ในที่มีแสง 80  $\mu\text{Em}^{-2}\text{s}^{-1}$  และความเค็ม 30 ppt *G. gracilis* เจริญได้สูงที่สุด 7.7±2.7 % เมื่อเลี้ยงที่อุณหภูมิ 18 °C (Rebello *et al.*, 1996) *Gracilaria* spp. ที่ทดลองเลี้ยงภายใต้ระบบ aquatron culture system มีแสง 100±10  $\mu\text{Mm}^{-2}\text{s}^{-1}$  วันละ 12 ชั่วโมง เจริญได้สูงที่สุด 2.47±1.05 % เมื่อมีอุณหภูมิ 16 °C และมีอัตราการเจริญต่ำสุด 1.2±0.27 % เมื่ออุณหภูมิ 28 °C (Chirapart *et al.*, 1994)

*Gracilaria* ที่เจริญบริเวณชายฝั่ง Uranouchi inlet ในอ่าว Tosa ทางตอนใต้ของประเทศญี่ปุ่น มีมวลชีวภาพค่าสูงที่สุดช่วงฤดูร้อนและฤดูใบไม้ผลิ มวลชีวภาพมีค่าสูงสุด 6,952  $\text{g m}^{-2}$  และค่อยๆ ลดลงในฤดูใบไม้ร่วงและฤดูหนาว (Chirapart *et al.*, 1994) *G. gracilis* ที่เลี้ยงในบริเวณอ่าว Tosa ทางใต้ของประเทศญี่ปุ่น มีอัตราการเจริญสูงสุด 11.01±1.56 % ในเดือนมิถุนายนในช่วงฤดูใบไม้ผลิ และเจริญต่ำสุด 2.9±1.4 % ในเดือนตุลาคมในช่วงฤดูใบไม้ร่วง (Rebello *et al.*, 1996) ในขณะที่ *G. multipartite* เจริญเติบโตสูงที่สุดทั้งในช่วงฤดูใบไม้ผลิ และฤดูใบไม้ร่วง แต่มีปริมาณวันมากที่สุดที่สุดในฤดูหนาวในเดือนมกราคมถึงเดือนมีนาคม 30%DW และลดลงเหลือ 25%DW ในช่วงเดือนมิถุนายนถึงเดือนตุลาคม 1995 (Givernaud *et al.*, 1999) *G. cervicornis* ในประเทศบราซิล มีน้ำหนักมากที่สุด 390  $\text{g m}^{-2}$  ในเดือนกุมภาพันธ์ที่มีอุณหภูมิ 30 °C และมีน้ำหนักต่ำสุด 126  $\text{g m}^{-2}$  ในเดือนสิงหาคมที่เป็นช่วงฤดูฝน เมื่อมีอุณหภูมิ 29 °C ปริมาณวันของ *G. cervicornis* เพิ่มขึ้นตามการเจริญเติบโตของสาหร่าย (Marinho-Soriano *et al.*, 2001) *G. salicornia* ที่อ่าว Oyster และอ่าว Chwaka ในประเทศแทนซาเนีย มีมวลชีวภาพค่าสูงสุด 59.8  $\text{g m}^{-2}$  ในเดือนเมษายน ซึ่งเป็นช่วงที่ได้รับอิทธิพลจากลมมรสุมตะวันออกเฉียงใต้ ขณะที่ปริมาณวันมีค่าผันแปรระหว่าง 13.7-30.2 %DW และมีค่าสูงสุดในช่วงที่ได้รับอิทธิพลจากลมมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือ (Buriyo and Kivaisi, 2003) *G. edulis* ที่เลี้ยงบริเวณบ้านอ่างศิลาจังหวัดชลบุรีเจริญเติบโตดีที่สุดในช่วงปลายฤดูฝน มีอัตราการเจริญเติบโตจำเพาะ 5.60±0.35-9.29±0.65 %  $\text{day}^{-1}$  เจริญเติบโตต่ำในช่วงฤดูร้อน มีอัตราการเจริญเติบโตจำเพาะ -1.95 ±2.67-1.42 ±2.25 %  $\text{day}^{-1}$  (มารินี, 2550) ในบ่อคินธรรมชาติ บริเวณสถานีเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำชายฝั่ง จังหวัดเพชรบุรีในระหว่างเดือนสิงหาคม 2541-กรกฎาคม 2542 *G. fisheri* มีอัตราการเจริญเติบโตสูงที่สุดในเดือนพฤษภาคม (ฤดูฝน) 5.40±2.58 %  $\text{day}^{-1}$

ในขณะที่ *G. tenuistipitata* เจริญเติบโตสูงที่สุดในช่วงเดือนมกราคม  $2.18 \pm 1.36 \% \text{day}^{-1}$  สำหรับยั้งสองชนิดเจริญเติบโตลดลงเมื่ออุณหภูมิของน้ำมากกว่า  $30^{\circ}\text{C}$  ในเดือนกุมภาพันธ์ (จิตติมา, 2544)

**5) การเคลื่อนที่ของมวลน้ำ:** การเคลื่อนที่ของมวลน้ำมีผลอย่างยิ่งต่อปริมาณและการเจริญของสาหร่าย การเคลื่อนที่ของมวลน้ำทำให้สาหร่ายมีโอกาสสัมผัสกับแสงที่บริเวณผิวน้ำ และอากาศที่ละลายในน้ำที่มีความสัมพันธ์ต่อกระบวนการสังเคราะห์แสง และทำให้สารอาหารด้านล่างถูกกวนให้ขึ้นมาสู่ด้านบนของมวลน้ำ ทำให้สาหร่ายสามารถนำไปใช้ได้ (นิสรารณณ์, 2544 ; Gonen *et al.*, 1993; Ng, 1972; Parker, 1982; Toma, 1987; Wheeler and Neushul, 1981) การเคลื่อนที่ของมวลน้ำสัมพันธ์กับความลึกของน้ำ การเลี้ยงสาหร่ายในบ่อดิน น้ำควรมีความลึก 0.5-0.8 m (Ohno and Critchley, 1997)

อัตราการสังเคราะห์แสงของ *G. conferta* มีค่าเพิ่มขึ้น 30-50 % เมื่อความเร็วของกระแสน้ำเพิ่มขึ้นจาก  $0-1.5 \text{ cm s}^{-1}$  (Gonen *et al.*, 1993) อัตราการสังเคราะห์แสงที่เพิ่มขึ้นในขณะที่การเคลื่อนที่ของมวลน้ำมีค่าสูงยังเป็นผลมาจากระดับความเข้มข้นของอินทรีย์คาร์บอนสาหร่ายได้รับ การเคลื่อนที่ของมวลน้ำมีผลมากต่อการอัตราการเจริญของทลัสของ *G. parvispora* และพัฒนาการของสปอร์ทลัสของสาหร่ายที่เลี้ยงในภาชนะมีการเจริญ 2.8-8.9 % เมื่อน้ำมีความเร็วมากกว่า  $13.7 \text{ cm s}^{-1}$  ที่เลี้ยงสาหร่ายในกระชังในทะเลสาบน้ำเค็มที่น้ำความเร็ว 3.6 และ  $11.6 \text{ cm s}^{-1}$  *G. parvispora* มีอัตราการเจริญระหว่าง 0.02-10 % (Ryder *et al.* , 2004)

**6) ความเป็นกรด-ด่าง:** ความเป็นกรดเป็นด่างของน้ำเป็นปัจจัยร่วมกับความเค็มของน้ำที่มีผลกระทบต่อเจริญของสาหร่าย (อรุณี, 2539) *Gracilaria* spp. สามารถเจริญได้ดีในน้ำที่มีความเป็นกรด-ด่าง 7.3 –8.5 (นิสรารณณ์, 2544 ; Chaiyakam and Tunvilai, 1992; Santecies and Doty, 1989) ที่อุณหภูมิ  $20^{\circ}\text{C}$  ความเข้มแสง  $100 \mu\text{molm}^{-2}\text{s}^{-1}$  การเจริญของ *G. tenuistipitata* var. *liui* มีค่าเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ ( $p < 0.05$ ) เมื่อน้ำมีความเป็นกรด-ด่าง 6.5 และ 7.0 ความเค็ม 20 และ 30 ppt ตามลำดับ (Israel *et al.*, 1999)

**7) สารอาหาร:** ปริมาณสารอาหารควบคุมกระบวนการทางชีวเคมี การสืบพันธุ์ การพัฒนารูปร่าง และการแพร่กระจาย (สนม, 2530) ธาตุอาหารมีความสัมพันธ์กับมวลชีวภาพของสาหร่าย (Glenn *et al.*, 1999) สารอาหารที่จำเป็นต่อการเจริญของสาหร่ายแบ่งออกเป็น 3 กลุ่มคือ ธาตุอาหารหลัก ที่สำคัญมากได้แก่ C, N, P, ธาตุอาหารรอง และธาตุอาหารกลุ่ม trace elements เช่น Ca, Fe และ Mg เป็นต้น (สมบุญ, 2544; ยงยุทธ, 2543) ปริมาณสารอาหารในน้ำที่สาหร่ายขึ้นอยู่จึงมี

อิทธิพลต่อการเจริญของสาหร่ายโดยตรง ( Andria *et al.*, 2001; Friedlander, 2004; Jesus *et al.*, 1999) สาหร่ายมีประสิทธิภาพในการเก็บสะสมธาตุอาหารเมื่อธาตุอาหารภายนอกมีความเหมาะสม และจะถูกดึงกลับมาใช้เมื่อธาตุอาหารภายนอกน้อยลงมาก หากธาตุอาหารมีมากเกินไป อาจทำให้การเจริญลดลง เนื่องจากธาตุอาหารส่วนเกินจะถูกพืช epiphyte นำไปใช้ และเมื่อพืชกลุ่มนี้มีการเจริญมากขึ้น เกิดการแก่งแย่งของปัจจัยในการเจริญ ทำให้สาหร่ายมีการเจริญลดลง (Bird and Benson, 1987)

สารอาหารไนโตรเจนมีสำคัญต่อกระบวนการสร้างสารพันธุกรรมของสาหร่าย ไนโตรเจน เป็นองค์ประกอบของ nucleotide กรดอะมิโน และรงควัตถุบางชนิด เช่น total chlorophyll และ phycoerythrin (Horrocks *et al.*, 1995; Lobban *et al.*, 1985) ส่วนคาร์บอนมีความสำคัญต่อกระบวนการสร้างคาร์โบไฮเดรต ( Jesus *et al.*, 1999) รูปแบบไนโตรเจนที่พบในน้ำจะมีตั้งแต่แก๊ส ไนเตรท ไนไตรท์ และแอมโมเนีย (ยนต์, 2531) สาหร่ายสามารถใช้ไนโตรเจนในรูปไนเตรท แอมโมเนีย ยูเรีย และ กรดอะมิโน สาหร่ายสามารถใช้ไนโตรเจนในรูปแอมโมเนียและไนเตรทได้มากที่สุด โดยส่วนใหญ่จะใช้ไนโตรเจนในรูปแอมโมเนียได้มากกว่าไนเตรท เนื่องจากแอมโมเนียสามารถนำไปใช้ได้โดยตรง ช่วยให้สาหร่ายสามารถประหยัดพลังงาน ( Horrocks *et al.*, 1995) ปริมาณไนโตรเจนที่พบใน *Gracilaria* spp. เป็นปฏิภาคผกผันกับคาร์โบไฮเดรต (Brid, 1982)

ปริมาณเหล็กที่มีในน้ำจะจำกัดการใช้ปริมาณธาตุอาหารที่มีอยู่ในแหล่งน้ำ ถ้าในน้ำมีธาตุเหล็กปริมาณน้อย ปริมาณการใช้ไนโตรเจนและฟอสฟอรัสจะน้อยตามไปด้วย ( Liu *et al.*, 2000) การใช้ธาตุอาหารยังขึ้นอยู่กับชนิดของสาหร่าย *Gracilaria* spp. ต้องการไนโตรเจนรวม (จากแอมโมเนียและจากไนเตรท) ไม่ต่ำกว่า 0.2-0.4  $\mu\text{mol}$  (Edward *et al.*, 1999; Wu *et al.*, 1989) *Gracilaria* spp. สะสมไนโตรเจนส่วนใหญ่ในรูปกรดอะมิโน โปรตีน และ DNA สารอินทรีย์ที่พบในสาหร่ายอยู่ในรูปของแอมโมเนียและไนเตรท *Gracilaria* spp. มี phycoerythrin เป็นแหล่งสำรองไนโตรเจนไว้ใช้ในยามขาดแคลน (Brid, 1982) การเพิ่มปุ๋ยไนโตรเจนในรูปแบบต่างๆ ให้แก่ *G. tikvahiae* ทำให้อัตราการเจริญของสาหร่ายสูงขึ้น (Bird *et al.*, 1981; Taw, 1993) ความเข้มข้นของแอมโมเนียมีความสัมพันธ์อย่างมีนัยสำคัญกับมวลชีวภาพของ *G. parvispora* ที่เจริญในบริเวณแนวปะการังเขตร้อนที่หมู่เกาะฮาวาย (Glenn *et al.*, 1999)

ฟอสฟอรัสหรือฟอสเฟตที่พบในแหล่งน้ำพบได้ทั้งในรูปสารประกอบอินทรีย์ และอนินทรีย์ ที่สำคัญได้แก่ สารประกอบออร์โทฟอสเฟต โดยทั่วไปปริมาณฟอสเฟตที่มีอยู่ในน้ำมีปริมาณน้อยกว่า 0.1 ml/l แหล่งน้ำธรรมชาติควรมีปริมาณฟอสฟอรัสไม่เกิน 0.03 ml/l (สำนักวิจัยและพัฒนาประมงชายฝั่งสงขลา, 2550) *Gracilaria* spp. จะเจริญได้ดีเมื่อสัดส่วนไนโตรเจนต่อฟอสฟอรัสเป็น 8:1 (Edding *et al.*, 1987) แต่มีรายงานว่า *G. fisheri* ที่เลี้ยงด้วยปุ๋ยที่มีอัตราส่วนของ



ไนโตรเจนต่อฟอสฟอรัส 2:1 เจริญสูงสุด มีผลผลิตเฉลี่ย 6.5 g/l (คมน์ และคณะ, 2548) อัตราการเจริญของ *G. robustum* เจริญได้สูงที่สุด 21 % เมื่อเลี้ยงในอาหารที่มีฟอสเฟต 150  $\mu\text{mol}$  อุณหภูมิ 25 °C ความเข้มข้น 200  $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$  (Sousa-Pinto *et al.*, 1996) ตันอ่อนของ *G. fisheri* เจริญได้ดีที่สุดเมื่อได้รับปุ๋ยจากปุ๋ยเคมีสูตร 16-20-0 รองลงมาได้แก่ปุ๋ยเคมีสูตร 46-0-0, 15-15-15 และ 0-45-0 ตามลำดับในปริมาตร 1 ml ค่อน้ำทะเล 100 ml (วิวรรธน์, 2543)

ปัจจุบันมีการประกอบธุรกิจการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำเพิ่มมากขึ้น ในน้ำที่ใช้เลี้ยงสัตว์น้ำแล้วประกอบด้วยธาตุอาหารจำนวนมากซึ่งโดยทั่วไปมักถูกปล่อยลงสู่แหล่งน้ำธรรมชาติ ( Chirapart and Lewmanomont, 2004; Marinho-sariano *et al.*, 2009; Nelson *et al.*, 2001; Ryder *et al.*, 2004) มีความพยายามแก้ไขปัญหาดังกล่าวด้วยการนำสาหร่ายมาใช้บำบัดน้ำเกรียงไกร ( 2537) ทดลองเลี้ยง *G. fisheri* ในบ่อเลี้ยงกุ้ง พบว่าสาหร่ายมีน้ำหนักเพิ่มจาก kg เป็น 93.28 kg ในระยะเวลา 8 สัปดาห์ ผลจากการตรวจสอบคุณภาพน้ำ พบว่าปริมาณแอมโมเนีย ไนโตรเจน ไนเตรท และออร์โธฟอสเฟตมีค่าลดลงกว่าเมื่อไม่มีสาหร่าย

#### 1.2.2.5 การเลี้ยง *Gracilaria* spp.

ในอดีตผลผลิตของ *Gracilaria* spp. ส่วนใหญ่ได้มาจากการเก็บเกี่ยวในธรรมชาติ แต่ในปัจจุบันตลาดมีความต้องการสูงขึ้น ประกอบกับสภาพแวดล้อมของแหล่งน้ำที่เสื่อมโทรมลงทำให้สาหร่ายในธรรมชาติมีปริมาณลดลง ทำให้มีการเลี้ยงสาหร่ายชนิดนี้เกิดขึ้น ประเทศแรกๆ ที่ทำการเลี้ยงคือ จีน ไต้หวัน และชิลี และเมื่อการเลี้ยงจากประเทศเหล่านี้ได้ผล จึงทำให้เกิดการเลี้ยงในเชิงพาณิชย์เกิดขึ้นอีกในหลายประเทศเช่น บราซิล มาเลเซีย อินโดนีเซีย ฟิลิปปินส์ และไทย แต่สำหรับประเทศไทยนั้นการเลี้ยงยังเป็นการเลี้ยงในฟาร์มขนาดเล็ก (ระพีพร, 2552 ; Santelices and Doty, 1989; McHugh, 2003)

การทำฟาร์มสาหร่ายในประเทศไทยยังไม่เป็นที่นิยมนัก ในระยะเวลาที่ผ่านมา มีการพัฒนาการเลี้ยง *Gracilaria* spp. ในจังหวัดภาคใต้ ได้แก่ จังหวัดสงขลา และจังหวัดปัตตานี ซึ่งเป็นแหล่งที่มีสาหร่ายชนิดนี้ตามธรรมชาติมาก ( Lewmanomont, 1998) บริเวณอ่าวปัตตานี จังหวัดปัตตานี มีการเพาะเลี้ยง *Gracilaria* แบบพื้นบ้าน และมีการเก็บเกี่ยวจากธรรมชาติ โดยสามารถเก็บเกี่ยว *Gracilaria* ได้ปริมาณมากในเดือนมีนาคม-เมษายน และลดน้อยลงในเดือนพฤษภาคม-มิถุนายน เนื่องจากน้ำทะเลมีความเค็มลดลง (สิริ และคณะ, 2530) ต่อมาได้มีการทดลองเลี้ยง *G. fisheri* แบบผลผลิตสูงในบ่อดิน ขนาด 0.5 ไร่ ด้วยแผงตาข่ายพลาสติกขนาด 3  $\text{m}^2$  ความหนาแน่น 5,000  $\text{g m}^{-2}$  เก็บเกี่ยวผลผลิตสาหร่ายทุกๆ 2 สัปดาห์ เป็นเวลา 8 เดือน สามารถเก็บ

ผลผลิตสาหร่ายได้ 141 .45 kg แต่ผลผลิตเพิ่มสูงในช่วง 3 เดือนแรก เท่านั้น (วิวรรณ และคณะ, 2538)

ลักษณะภูมิประเทศ และภูมิอากาศมีส่วนเกี่ยวข้องกับการเจริญเติบโตของสาหร่าย เช่น *Gracilaria* ที่เจริญบริเวณชายฝั่ง Uranouchi inlet ในอ่าว Tosa ทางตอนใต้ของประเทศญี่ปุ่น มีมวลชีวภาพค่าสูงที่สุดช่วงฤดูร้อนและฤดูใบไม้ผลิ มวลชีวภาพมีค่าสูงสุด  $6,952 \text{ g m}^{-2}$  และค่อยๆ ลดลงในฤดูใบไม้ร่วงและฤดูหนาว (Chirapart *et al.*, 1994) *G. gracilis* ที่เลี้ยงในบริเวณอ่าว Tosa ทางใต้ของประเทศญี่ปุ่น มีอัตราการเจริญสูงสุด  $11.01 \pm 1.56 \%$  ในฤดูใบไม้ผลิ (เดือนมิถุนายน) และต่ำสุดในฤดูใบไม้ร่วง (เดือนตุลาคม) คือ  $2.9 \pm 1.4 \%$  (Rebello *et al.*, 1996) *G. multipartite* เจริญเติบโตสูงสุดในช่วงฤดูใบไม้ผลิและฤดูใบไม้ร่วง มีปริมาณวัฏมีการเปลี่ยนแปลงตามฤดูกาล มีปริมาณวัฏมากที่สุด ในฤดูหนาว ช่วงเดือนมกราคมถึงเดือนมีนาคม  $30 \%$  DW และลดลงในช่วงที่มีการเจริญเติบโตต่ำในระหว่างเดือนมิถุนายนถึงเดือนตุลาคม 1995 มีปริมาณวัฏ  $25 \%$  DW (Givernaud *et al.*, 1999) ในระหว่างฤดูร้อน (เดือนกุมภาพันธ์) ที่มีอุณหภูมิ  $30 \text{ }^{\circ}\text{C}$  *G. cervicornis* ในประเทศบราซิล มีน้ำหนักมากที่สุด  $390 \text{ g m}^{-2}$  และมีน้ำหนักต่ำสุด  $126 \text{ g m}^{-2}$  ในฤดูฝน (เดือนสิงหาคม) ที่อุณหภูมิ  $29 \text{ }^{\circ}\text{C}$  ส่วนปริมาณวัฏจะเพิ่มขึ้นตามการเจริญเติบโตของสาหร่าย (Marinho-Soriano *et al.*, 2001) *G. salicornia* ที่อ่าว Oyster และอ่าว Chwaka ในประเทศแทนซาเนีย มีมวลชีวภาพค่าสูงสุด  $59.8 \text{ g m}^{-2}$  ในเดือนเมษายน ซึ่งเป็นช่วงที่ได้รับอิทธิพลจากลมมรสุมตะวันออกเฉียงใต้ ขณะที่ปริมาณวัฏมีค่าผันแปรระหว่าง  $13.7\text{-}30.2 \%$  DW และมีค่าสูงสุดในช่วงที่ได้รับอิทธิพลจากลมมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือ (Buriyo and Kivaisi, 2003)

การเจริญเติบโตของสาหร่าย *G. fisheri* และ *G. tenuistipitata* ที่เลี้ยงในบ่อดินธรรมชาติ บริเวณสถานีเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำชายฝั่ง จังหวัดเพชรบุรี ตั้งแต่เดือนสิงหาคม 2541 ถึงเดือนกรกฎาคม 2542 พบว่า *G. fisheri* มีอัตราการเจริญเติบโตสูงสุดในช่วงฤดูฝน (เดือนพฤษภาคม)  $5.40 \pm 2.58 \%$   $\text{day}^{-1}$  ในขณะที่ *G. tenuistipitata* เจริญเติบโตสูงสุดในช่วงเดือนมกราคม  $2.18 \pm 1.36 \%$   $\text{day}^{-1}$  สาหร่ายทั้ง 2 ชนิดเจริญเติบโตลดลงเมื่ออุณหภูมิ และความเค็มมีค่าสูงขึ้นในเดือนกุมภาพันธ์ และสาหร่ายทั้งสองชนิดมีปริมาณวัฏเพิ่มสูงเมื่อสาหร่ายมีอัตราการเจริญเติบโตลดลง (จิตติมา, 2544) ส่วน *G. edulis* ที่ทำการเพาะเลี้ยงบริเวณบ้านอ่างศิลา จังหวัดชลบุรี เจริญเติบโตดีที่สุดในช่วงปลายฤดูฝน มีอัตราการเจริญเติบโตจำเพาะ  $5.83 \pm 4.90 \%$   $\text{day}^{-1}$  มีปริมาณวัฏมากที่สุดในช่วงฤดูร้อน  $29.70 \pm 3.33 \%$  (มารินี, 2550)

### 1.2.3 วุ้น (Agar)

วุ้นที่ใช้ประกอบอาหารและใช้ในอุตสาหกรรมต่างๆ เป็น phycocolloid ที่ถูกสังเคราะห์ขึ้นในสาหร่ายทะเล เป็น biopolymer ที่จัดอยู่ในหมวดหมู่คาร์โบไฮเดรต เป็นพอลิเมอร์ของน้ำตาลที่มีชื่อทางเคมีว่า polysaccharide เป็นสารไฟโคคอลลอยด์ที่มีสมบัติในการละลายน้ำแล้วเกิดเป็นเจล *Gracilaria* สามารถให้สารสกัด polysaccharide ที่เกิดจากพอลิเมอร์ของอนุพันธ์ซัลเฟตของน้ำตาลกาแลคโตส หรือเรียกว่า Sulfate galactan สิ่งสกัดได้จากสาหร่ายสกุลนี้คือ วุ้น (หน่วยวิจัยไบโอพอลิเมอร์และกระทรวงเกษตรฯ, 2533)

#### 1.2.3.1 คุณสมบัติทางเคมีของวุ้น

วุ้นเป็นสารประกอบเชิงซ้อนที่ประกอบด้วย agarose และ agaropectin agarose ประกอบด้วย disaccharide เรียกว่า agarobiose ประกอบด้วย D-galactose และ 3,6-anhydro-L-galactose เรียงต่อกัน agarobiose เป็น neutral polysaccharide คือเป็นกลางทางไฟฟ้าหรือมีประจุจ้อยมาก ส่วน agaropectin เป็น acid polysaccharide ที่มีหมู่ sulfate ester, pyruvic acid และ D-glucuronic acid ที่เกาะอยู่ใน agarobiose วุ้นที่มีส่วนของ agarose ปริมาณสูงจะมีคุณภาพดี มีความแข็งแรงสูง ส่วน agaropectin ถ้าวุ้นมี agaropectin ในปริมาณมากจะทำให้วุ้นมีคุณภาพต่ำ (หน่วยวิจัยไบโอพอลิเมอร์และกระทรวงเกษตรฯ, 2533; Chirapart, 2004; Norziah *et al.*, 2006; Andriamanantoanina *et al.*, 2007; Li *et al.*, 2008)

#### 1.2.3.2 คุณสมบัติทางกายภาพของวุ้น

วุ้นเป็นสารที่มีคุณสมบัติพิเศษในการเกิดเจล ไม่เหมือนสารใด สารละลายของวุ้นที่มีความเข้มข้นต่ำจะเกิดการแข็งตัวเป็นเจลที่อุณหภูมิห้อง และสามารถกลับเป็นสารละลายได้เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น สมบัติที่กลับไปกลับมาเรียกว่า hysteresis คุณสมบัติของวุ้นมีดังนี้ (ประมุข, 2525; วลัย, 2525)

1) วุ้นมีความสามารถในการเกิดเจลกับน้ำได้ และเป็นเจลที่แข็งแรงกว่าการเกิดเจลแบบอื่นๆ มากเมื่อเทียบในปริมาณความเข้มข้นที่เท่ากัน นอกจากนี้วุ้นยังเกิดเจลกับน้ำได้โดยตรงไม่ต้องเติมสารอื่นลงไปเพื่อช่วยให้เกิดเจล ซึ่งต่างจากผลิตภัณฑ์อื่น เช่น carragenan จะเกิดเจลกับน้ำได้ต้องเติมเกลือแคลเซียมลงไป

2) สารละลายวุ้น 1.5 % เกิดเป็นเจลที่อุณหภูมิตั้งแต่ 32-43 °C และเจลเหล่านั้นไม่ละลายที่อุณหภูมิต่ำกว่า 85 °C อันเป็นสมบัติที่พิเศษอย่างเดี่ยวของวุ้นที่ต่างจากสารอื่น

- 3) วัณเป็นสารที่ทนต่อความร้อนได้กว่า 100 °C โดยไม่สลายตัว ฉะนั้นสามารถใช้ได้อย่างดีในการทำ sterilization ของ medium ในอาหารเลี้ยงเชื้อ
- 4) วัณเป็นสารที่ใช้ได้ในช่วงความเป็นกรด-ด่างที่กว้างมากโดยไม่เปลี่ยนแปลงคุณสมบัติการเกิดเจล คือสามารถใช้ได้ในช่วงความเป็นกรด-ด่าง ระหว่าง 5-8 ในบางกรณีอาจกว้างกว่านี้
- 5) วัณเกิดเป็นเจลที่ไม่มีกลิ่นใดๆ จึงไม่ก่อให้เกิดปัญหาในการใช้กับอาหารทุกชนิด
- 6) การเกิดเจลของวัณใส แสงผ่านทะลุได้ จึงทำให้เกิดสีตามความต้องการได้ง่าย โดยเติมสารที่ต้องการลงไป
- 7) การเกิดเจลของวัณมีสมบัติย้อนกลับไประหว่างสารละลายกับเจลที่แข็งตัวได้ง่ายด้วยการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ โดยไม่ทำให้เกิดการสูญเสียสมบัติใดๆ ทั้งสิ้น
- 8) การเกิดเจลของวัณมีความคงตัว ไม่ก่อให้เกิดการตกตะกอน ดังนั้นจึงเหมาะในการช่วยให้เกิดการคงรูปแก่ผลิตภัณฑ์อื่นๆ ได้ ฉะนั้นมักใช้เป็นสาร Fixation ที่คงรูปได้ยาวนาน

### 1.2.3.3 ปัจจัยที่มีผลต่อปริมาณและคุณภาพวัณ

1) ชนิดของวัตถุดิบ : ชนิดของสาหร่ายมีอิทธิพลต่อปริมาณวัณและคุณภาพของวัณ (Chirapart and Ohno, 1993; Hurtado-Ponce and Umezaki, 1988; Meena *et al.*, 2007; Pondevida and Hurtado-Ponce, 1996) วัณจากสาหร่ายต่างชนิดมีอุณหภูมิที่เหมาะสมในการเกิดเจลที่แตกต่างกัน (Marinho-Soriano and Bourret, 2003) *G. bursa-pastoris* ให้ปริมาณวัณมากที่สุด 34.8± 0.28 % *G. dura* และ *G. gracilis* ให้วัณ 33.5±0.5 และ 30±0.45 % ตามลำดับ วัณที่ได้จาก *G. gracilis* มีความแข็งสูงที่สุดคือ 630± 15 g cm<sup>-2</sup> ส่วน *G. dura* และ *G. bursa-pastoris* ให้วัณที่มีความแข็ง 318±49 และ 22.2±3.6 g cm<sup>-2</sup> ตามลำดับ (Marinho-Soriano, 2001) *G. bursa-pastoris* ให้วัณ 27.63 % *G. gracilis* 25.75 % (Marinho-Soriano and Bourret, 2003)

ตารางที่ 1 ปริมาณ และความแข็งของวุ้นที่สกัดได้จาก *Gracilaria* spp.

Species	yield (%)	gel strength (g cm <sup>-2</sup> )	references
<i>G. fisheri</i>	34.66-44.13	-	จิตติมา (2544)
	40.07-43.48	623-658.6	Chirapart และคณะ (2006)
<i>G. tenuitipitata</i>	34.16-35.41	-	จิตติมา (2544)
	35.75-39.28	565.8-611	Chirapart และคณะ (2006)
<i>G. edulis</i>	14.30-35.52	15-192.50	มารีนี (2550)
<i>G. edulis</i>	24-26	-	Price และ Bieligi (1992)
<i>G. tikvahiae</i>	7	260	Lopez-Bautista และ Kapraun (1995)
<i>G. vermiculophylla</i>	17.8	120-240	Mollet และคณะ (1998)
<i>G. bursa-pastoris</i>	20-36	-	Marinho-Soriano (1999)
<i>G. eucheumoides</i>	20-29	225-430	Villanueva และคณะ (1999)
<i>G. dura</i>	34±1.0	455±97.85	Marinho-Soriano และ Bourret (2005)

2) **ระยะการเจริญเติบโตของสาหร่าย** : สาหร่ายแต่ละระยะของการเจริญเติบโตจะให้ปริมาณและคุณภาพที่แตกต่างกัน เช่นเดียวกับการเก็บสาหร่ายในแต่ละฤดูกาลหรือแต่ละชนิด (Christiaen *et al.*, 1987; Marinho-Soriano *et al.*, 1999) วุ้นจาก *G. verrucosa* ระยะ gametophyte มีปริมาณ 20.76-29.31 % วุ้นมีความแข็ง 7-15.5 g cm<sup>-2</sup> ส่วนวุ้นที่ได้จากระยะ carposorphyte มีปริมาณ 20.16-30.09 % ความแข็ง 9-122 g cm<sup>-2</sup> (ประมุข, 2525) *G. bursa-pastoris* ระยะ tetrasporic ให้วุ้นปริมาณวุ้นมากที่สุด 38.3% ระยะ vegetative ให้วุ้นมีคุณภาพวุ้นดีที่สุด มีความแข็ง 41.3 g cm<sup>-2</sup> (Marinho-Soriano *et al.*, 1999)

### 3) คุณสมบัติของสิ่งแวดล้อม

3.1) **ฤดูกาล** : วุ้นที่สกัดได้จากสาหร่ายชนิดเดียวกัน ที่เก็บสาหร่ายในช่วงเวลา หรือ ฤดูกาลที่ต่างกัน มีปริมาณและคุณภาพของวุ้นแตกต่างกัน (Price and Bieligi, 1992; Villanueva *et al.*, 1999) ฤดูร้อนให้สาหร่ายที่มีผลผลิตวุ้นที่ดี (Daugherty and Bird, 1988; Marinho-Soriano *et al.*, 2001; Marinho-Soriano and Bourret, 2003) ปริมาณวุ้นจะมีมากตั้งแต่เดือนตุลาคมไปจนถึงฤดูร้อน (Givernaud *et al.*, 1999; Marinho-Soriano, 1999) การศึกษาผลของฤดูกาลที่มีผลกระทบต่อคุณภาพ

วุ้นจาก *G. gracilis* และ *G. bursa-pastoris* พบว่า ฤดูกาลมีผลต่อคุณภาพวุ้น ในช่วงฤดูร้อนสกัดได้วุ้นที่มีความแข็ง  $36 \text{ g cm}^{-2}$  และในช่วงฤดูหนาวสกัดได้วุ้นที่มีความแข็ง  $23 \text{ g cm}^{-2}$  นอกจากนี้ฤดูกาลยังมีผลต่อการเกิดเจลด้วย ตัวอย่าง เช่น วุ้นที่สกัดจาก *G. confervoides* ที่เก็บในฤดูกาลที่แตกต่างกัน มีอุณหภูมิในการเกิดเจลแตกต่างกันมากกว่า  $20 \text{ }^{\circ}\text{C}$  (Marinho-Soriano and Bourret, 2003; Wood, 1974) *G. cervicornis* จากแหล่งเดียวกัน ที่เก็บในช่วงฤดูร้อนให้ผลผลิตวุ้นตั้งแต่ 11-20% ซึ่งมีค่าสูงกว่าวุ้นที่ได้จากสาหร่ายที่เก็บในช่วงฤดูฝน แม้ว่าจะไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ (Marinho-Soriano *et al.*, 2001)

**3.2) ธาตุอาหาร :** ธาตุอาหารที่สาหร่ายได้รับเป็นอีกปัจจัยหนึ่งที่มีผลต่อการแปรเปลี่ยนคุณสมบัติวุ้น *G. tenuistipitata* ให้ปริมาณวุ้นสูงสุด  $570.9 \pm 6.7 \%$  เมื่อเลี้ยงในที่มืดแสง  $1,650 \text{ } \mu\text{mol photon m}^{-2} \text{ s}^{-1}$  นานเวลา 6 สัปดาห์ และได้รับแอมโมเนีย  $0.5 \text{ } \mu\text{mol/l}$  และมีปริมาณวุ้นต่ำสุดเมื่อมีแอมโมเนีย  $0 \text{ } \mu\text{mol l}^{-1}$  (Israel *et al.*, 1999) ปริมาณฟอสฟอรัสมีผลต่อคุณสมบัติวุ้นในการทำงานเดียวกับปริมาณไนโตรเจน *G. robustum* ที่เลี้ยงมี  $0-20 \text{ } \mu\text{mol/l}$  มีความแข็งของวุ้นมีค่าเพิ่มสูงขึ้นเมื่อในน้ำมีฟอสเฟตมากขึ้น *G. robustum* ที่เลี้ยงในน้ำที่ไม่มีฟอสเฟตให้วุ้น 10 % และ 43 % เมื่อในน้ำมีฟอสเฟต  $20 \text{ } \mu\text{mol l}^{-1}$  (Sousa-Pinto *et al.*, 1996)

**4) กระบวนการสกัดวุ้น :** วิธีการในการสกัดวุ้นมีผลต่อปริมาณและคุณภาพวุ้นที่สกัดได้ (Freile-Pelegri and Robledo, 1997; Lemus *et al.*, 1991) การแช่สาหร่ายที่ต้องการสกัดในสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์จะช่วยให้วุ้นที่สกัดได้มีคุณภาพที่ดีขึ้น การสกัดวุ้นจากสาหร่ายแต่ละชนิดจะใช้ความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์แตกต่างกัน (Buriyo and Kivaisi, 2003; Freile-Pelegri and Murano, 2005; Givernaud *et al.*, 1999; Wakibia *et al.*, 2001) การสกัดอาจทำในที่ที่มีอุณหภูมิแตกต่างกันขึ้นอยู่กับชนิดของสาหร่าย เช่น บางชนิดต้มที่อุณหภูมิน้ำเดือดภายใต้สภาวะการควบแน่น (Rebello *et al.*, 1996) หรือต้มในหม้อควบคุมความดัน ที่  $121^{\circ}\text{C}$  (Buriyo and Kivaisi, 2003)

การแช่สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 10 % (wt/v) ก่อนการสกัดวุ้นจากจาก *G. blodgettii* ที่อุณหภูมิ  $90^{\circ}\text{C}$  เป็นเวลา 1 ชั่วโมง แล้วล้างน้ำจนหมดค้าง แล้วทำการสกัดด้วยกรดกำมะถัน 0.01% ในอัตราส่วน สาหร่าย:สารละลายกรดกำมะถัน (1:30) ให้ความร้อนโดยการใช้หม้อนึ่งอัดความดันที่ 15 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว เป็นเวลา 5 นาที สกัดได้วุ้นแห้ง 19.21 % ความแข็ง  $184.50 \text{ g cm}^{-2}$  ส่วนการสกัดวุ้นจาก *G. confervoides* ที่ผ่านการแช่ในสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 4 % (wt/v) อุณหภูมิ  $70^{\circ}\text{C}$  นาน 1.30 ชั่วโมง หลังจากล้างน้ำจนหมดค้างแล้วสกัดด้วยน้ำโดยใช้อัตราส่วนของ

สาหร่าย:น้ำ (1:30) ใช้หม้อนึ่งอัดความดัน 15 lb inch<sup>-2</sup> เป็นเวลา 30 นาที ได้วุ้นแห้ง 35.16 % ความแห้ง 183.75 g cm<sup>-2</sup> (วลัย, 2525)

### 1.3 วัตถุประสงค์ เพื่อศึกษา

- 1) อัตราการการเจริญเติบโตจำเพาะและผลผลิตของ *G. fisheri* และ *G. tenuistipitata* ที่เลี้ยงบริเวณทะเลสาบสงขลาตอนนอก
- 2) ความสัมพันธ์ระหว่างคุณสมบัติของน้ำกับการเจริญเติบโตของ *G. fisheri* และ *G. tenuistipitata* ที่เลี้ยงบริเวณทะเลสาบสงขลาตอนนอก
- 3) คุณค่าทางโภชนาการของ *G. fisheri* และ *G. tenuistipitata* ที่ได้จากการเลี้ยงบริเวณทะเลสาบสงขลาตอนนอก
- 4) สภาวะ และคุณสมบัติขององค์ประกอบที่เหมาะสมเมื่อสกัดวุ้นจาก *G. fisheri* และ *G. tenuistipitata* ด้วยวิธีการ Alkaline Treatment
- 5) ปริมาณวุ้น และคุณภาพของวุ้น ได้แก่ ความแข็ง และปริมาณซัลเฟตในวุ้นจาก *G. fisheri* และ *G. tenuistipitata* ที่ได้จากการเลี้ยงบริเวณทะเลสาบสงขลาตอนนอก

## บทที่ 2

### วัสดุ อุปกรณ์ และวิธีการทดลอง

#### 2.1 วัสดุ อุปกรณ์ และสารเคมี สำหรับ

##### 2.1.1 การเลี้ยง และตรวจสอบการเจริญเติบโตของสาหร่าย ประกอบด้วย

- 1) ท่อนพันธุ์สาหร่าย *G. fisheri* และ *G. tenuistipitata* จากอ่าวปัตตานี
- 2) ถังไฟเบอร์กลาส ขนาดความจุ 1 m<sup>3</sup> สำหรับพักสาหร่าย
- 3) ตะกร้าเลี้ยงสาหร่าย ใช้ตะกร้าพลาสติกขนาด 30x50x30 cm<sup>3</sup>
- 4) ตาข่ายพลาสติกขนาดตา 1"
- 5) หลักไม้ความยาว 5 m จำนวน 128 ท่อน สำหรับยึดตะกร้า
- 6) ทุ่นลอยน้ำ 128 อัน
- 7) เครื่องชั่งละเอียดแบบสปริง ขนาด 1 kg
- 8) เครื่องชั่งไฟฟ้าทศนิยม 2 ตำแหน่ง
- 9) ผ้าและทิชชูซับน้ำ
- 10) ถุงพลาสติก
- 11) ลังโฟม

##### 2.1.2 การเก็บตัวอย่างน้ำ และการตรวจวัดคุณภาพน้ำ ประกอบด้วย

- 1) ขวดเก็บน้ำตัวอย่างขนาด 1 L และลังโฟม
- 2) เครื่องชั่งไฟฟ้าทศนิยม 2 และ 4 ตำแหน่ง
- 3) เครื่องวัดความเป็นกรด-ด่าง
- 4) เครื่องวัดอุณหภูมิ
- 5) เครื่องวัดค่าการดูดกลืนแสง (spectrophotometer)
- 6) เครื่องวัดความเค็ม
- 7) แผ่นวัดความโปร่งใส (Secchi disc)
- 8) กระดาษกรองเบอร์ 42 (Whatman)
- 9) โถดูดความชื้น
- 10) ตู้อบ



11) เครื่องแก้วชนิดต่างๆ ได้แก่ คอลัมน์ ขวดปรับปริมาตร บีกเกอร์ ขวดรูปชมพู่ ขวดลีลา ปีเปต บิวเรต แท่งแก้วคนสาร หลอดหยด และหลอดทดลอง

### 2.1.3 การวิเคราะห์คุณค่าทางโภชนาการของอาหารாய ประกอบด้วย

- 1) ความชื้น ได้แก่ ถ้วยกระเบื้องเคลือบ ตู้อบ โถดูดความชื้น และเครื่องชั่งไฟฟ้าทศนิยม 4 ตำแหน่ง
- 2) โปรตีน ได้แก่ เครื่องย่อย เครื่องกลั่น หลอดย่อย โปรตีน กระดาษชั่งตัวอย่าง ปราศจากไนโตรเจน กระจกตวง บีกเกอร์ บิวเรต และขวดรูปชมพู่
- 3) เถ้า ได้แก่ ถ้วยกระเบื้องเคลือบ เตาเผา โถดูดความชื้น และเครื่องชั่งไฟฟ้าทศนิยม 4 ตำแหน่ง
- 4) อุปกรณ์วิเคราะห์ไขมัน ได้แก่ ชุดเครื่องมือวิเคราะห์ไขมัน กระดาษกรองสาร ถ้วยสกัดไขมัน ตู้อบ โถดูดความชื้น และเครื่องชั่งไฟฟ้าทศนิยม 4 ตำแหน่ง
- 5) อุปกรณ์วิเคราะห์เยื่อใย ได้แก่ ชุดเครื่องมือวิเคราะห์เยื่อใย ถ้วยแก้ว ( glass crucible) เบอร์ 1 ตู้อบ เตาเผา โถดูดความชื้น และเครื่องชั่งไฟฟ้าทศนิยม 4 ตำแหน่ง

### 2.1.4 การวิเคราะห์ปริมาณ และคุณภาพวัุ้น ประกอบด้วย

- 1) เครื่องชั่งไฟฟ้าทศนิยม 2 และ 4 ตำแหน่ง
- 2) เครื่องวัดความเป็นกรด-ด่าง แบบดิจิทัล
- 3) เครื่องวัดค่าการดูดกลืนแสง
- 4) อ่างควบคุมอุณหภูมิ (water bath)
- 5) หม้อนึ่งความดันไอ
- 6) แผ่นให้ความร้อน (0-300°C)
- 7) เครื่องวิเคราะห์ความแข็งวัุ้น (Texture Analyzer)
- 8) เครื่องกรองสุญญากาศ
- 9) โถดูดความชื้น
- 10) โกร่งบดตัวอย่าง
- 11) ถาดอลูมิเนียม
- 12) ผ้าขาวบาง
- 13) เครื่องปั่น

14) ตู้อบ

15) ตู้แช่แข็ง

16) เครื่องแก้วชนิดต่างๆ ได้แก่ ขวดรูปชมพู่ บีกเกอร์ กระจกตวง ปีเปต หลอดหยด หลอดทดลอง แท่งแก้วคนสาร และถ้วยแก้ว

## 2.2 การทดลอง

### 2.2.1 การเลี้ยงสาหร่ายที่ทะเลสาบสงขลา : การศึกษาการเจริญเติบโตของ *G. fisheri* และ *G. tenuistipitata* และคุณภาพน้ำ

วางแผนการทดลองแบบแฟกเตอร์เรียล ( Factorial Design; Completely Randomized Design: CRD) เป็นแบบ 4x2x4 มีการศึกษา 3 ปัจจัย ได้แก่ 1) ระยะทางการเพาะเลี้ยงสาหร่าย 4 ระยะ คือ 50, 70, 90 และ 110 เมตร จากแนวชายฝั่ง; 2) ชนิดของสาหร่าย คือ *G. tenuistipitata* และ *G. fisheri*; 3) ระยะระหว่างเวลาในการเลี้ยงสาหร่าย 4 เดือน คือ เมษายน-กรกฎาคม แต่ละชุดการทดลองประกอบด้วย 4 ซ้ำ

#### 2.2.1.1 การเตรียมอุปกรณ์การทดลอง

ใช้ตะกร้าเลี้ยงสาหร่ายที่ผูกท่อนลอยมัดติดด้านข้างทั้ง 2 ด้าน ผูกตะกร้ากับไม้หลัก 2 มุมที่อยู่ห่างจากชายฝั่ง 50, 70, 90 และ 110 m ปรับการผูกตะกร้ากับหลักทั้ง 2 ด้านให้ตะกร้าสามารถปรับระดับการลอยขึ้น-ลงได้อัตโนมัติตามระดับน้ำขึ้น-ลง มีจำนวนตะกร้าเลี้ยงสาหร่ายรวม 8 ลูกในแต่ละระยะห่างจากชายฝั่ง

#### 2.2.1.2 การเตรียมสาหร่ายก่อนพันธุ์

เก็บรวบรวมสาหร่าย *G. fisheri* และ *G. tenuistipitata* ที่อ่าวปัตตานี จังหวัดปัตตานี มาพักปรับสภาพไว้ในน้ำบริเวณบ้านท่าเสาเป็นเวลา 7 วันก่อนทำการทดลอง สาหร่ายที่จะใช้เป็นก่อนพันธุ์ก่อนนำไปปล่อยลงเลี้ยงในตะกร้า นำมาล้างทำความสะอาดด้วยน้ำทะเล ชั่งน้ำหนักเท่ากับ 22 กรัม สำหรับการเลี้ยง 1 ตะกร้า ผูกสาหร่ายที่ชั่งน้ำหนักแล้วกับตาข่ายพลาสติกขนาดตา 1 นิ้ว ผูกแขวนติดบริเวณก้นตะกร้าและปิดด้านบนของตะกร้าเลี้ยงด้วยตาข่ายพลาสติกขนาดตา 1 นิ้ว เพื่อป้องกันตัวอย่างสาหร่ายหลุดออกมาจากตะกร้าเลี้ยง

### 2.2.1.3 การเก็บข้อมูลระหว่างการทดลอง

1) การเจริญเติบโตของสาหร่าย : ปลูกสาหร่ายทั้งหมดออกจากตาข่ายที่ผูกไว้เมื่อเริ่มต้นล้างตะกอนออก แล้วจึงชั่งน้ำหนักสรวมทั้งหมดของสาหร่ายแต่ละซ้ำ ก่อนทำการเก็บเกี่ยวสาหร่ายจากน้ำหนักส่วนที่เกินจากน้ำหนักเมื่อเริ่มต้นคือ 225 g โดยการสุ่มเก็บ ก่อนผูกสาหร่ายน้ำหนัก 225 g กลับเข้ากับตาข่ายพลาสติกแล้วนำลงเลี้ยงต่อไปในตะกร้า ปิดฝาตะกร้า ทำเช่นนี้ทุก

2 สัปดาห์จนครบระยะเวลาที่กำหนด ข้อมูลที่ได้นำมาคำนวณหาอัตราการเจริญเติบโตจำเพาะ

(Specific Growth Rate: SGR) (Lobban *et al.*, 1985)

$$SGR = [100 \ln(W_t/W_0)]/T$$

เมื่อ SGR คือ อัตราการเจริญเติบโตจำเพาะ (%d<sup>-1</sup>)

W<sub>0</sub> คือ น้ำหนักเมื่อเริ่มต้นการทดลอง (g)

W<sub>t</sub> คือ น้ำหนักเมื่อการทดลองผ่านไปเป็นเวลา T (g)

T คือ ระยะเวลาที่ใช้ในการทดลอง (d)

2) การเก็บ และรักษาสาหร่ายที่เก็บเกี่ยวได้ : นำสาหร่ายส่วนที่เก็บเกี่ยวได้มาล้างทำความสะอาดด้วยน้ำจืด ก่อนนำไปตั้งให้แห้ง จากนั้นนำสาหร่ายแห้งไปวิเคราะห์ความชื้น ตามวิธีการของ AOAC (1990) (ภาคผนวก) หลังจากวิเคราะห์ความชื้นแล้ว เก็บรักษาสาหร่ายแห้งเก็บไว้ในโถสุญญากาศ เพื่อนำไปศึกษาคุณค่าทางโภชนาการ ปริมาณวุ้น และคุณภาพวุ้นต่อไป

3) การตรวจวัดคุณภาพน้ำ : ทำการตรวจวัดคุณภาพน้ำทุก 2 สัปดาห์ เช่นเดียวกับการศึกษาการเจริญของสาหร่าย การวัดความเค็ม ความเป็นกรด-ด่าง อุณหภูมิ ความโปร่งใสของน้ำ และการเก็บตัวอย่างน้ำสำหรับการวิเคราะห์คุณสมบัติทางเคมี ได้แก่ แอมโมเนีย ไนโตรที่ ไนเตรท และออร์โธฟอสเฟต (Strickland and Parsons, 1972; Sasaki and Sawada, 1980; ภาคผนวก) ทำที่ระดับความลึก 30 cm เท่ากับความลึกที่เลี้ยงสาหร่าย

### 2.2.2. การศึกษาสภาวะ และคุณสมบัติขององค์ประกอบที่เหมาะสมในระหว่างการ สกัดวุ้น จาก

#### *G. fisheri* และ *G. tenuistipitata*

ใช้วิธีการสกัดวุ้นของ Marinho-Soriano และคณะ (1999); Freile-Pelegrin และ Murano (2005) โดยทำการศึกษาสภาวะและคุณสมบัติขององค์ประกอบที่ใช้ที่เหมาะสมเมื่อ สกัดวุ้นจากสาหร่ายทั้งสองชนิดที่ได้จากการเลี้ยงที่บ้านท่าเสา ใช้ผลจากการทดลองส่วนนี้สำหรับการสกัดวุ้น

จากสาหร่ายที่ได้จากการเลี้ยงต่อไป ทำการศึกษาสถานะและคุณสมบัติขององค์ประกอบที่ใช้ประกอบด้วย

- 1) การศึกษาความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์
- 2) การศึกษาระยะเวลาที่ใช้เมื่อแช่สาหร่ายแห้งในสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้นตามผลของการทดลองข้อ 1)
- 3) การศึกษาอุณหภูมิที่ใช้แช่สาหร่ายแห้งของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ ตามผลจากข้อ 1) และ 2)
- 4) การศึกษาระยะเวลาการสกัด ตามผลของการทดลองข้อ 1)-3)

### 2.2.3 การศึกษาคุณค่าทางโภชนาการ ปริมาณวุ้น และคุณภาพวุ้นของสาหร่าย *G. fisheri* และ *G. tenuistipitata* ที่ได้จากการเลี้ยง

**2.2.3.1 การศึกษาคุณค่าทางโภชนาการ :** นำสาหร่ายจากข้อ 2. 2.1.3 ข้อ 2) มาวิเคราะห์คุณค่าทางโภชนาการ การศึกษาคุณค่าทางโภชนาการนั้นจะทำการศึกษาทั้งก่อนการทดลองและระหว่างการทดลองทุกๆ เดือน จะใช้ตัวอย่างสาหร่าย 4.5 g/rep โดยค่าที่ทำการวิเคราะห์ ได้แก่ โปรตีน ไขมัน คาร์โบไฮเดรต เยื่อใย และเถ้า ตามวิธีการของ AOAC (1990) (ภาคผนวก)

**2.2.3.2 การตรวจวัดปริมาณวุ้น:** นำสาหร่ายที่ทำการหาค่าความชื้นแล้วมาตัดเป็นชิ้นเล็กๆ หลังจากนั้นก็นำสาหร่ายแต่ละชนิดไปสกัดตามวิธีการที่ได้จากข้อ 2.2.2 นำสารละลายวุ้นที่ได้กรองแล้วนำไปแช่ที่อุณหภูมิ -10 °C และนำไปอบที่ 60 °C เป็นเวลา 24 ชั่วโมง เพื่อนำมาตรวจวัดปริมาณวุ้นเป็นเปอร์เซ็นต์น้ำหนักแห้งของวุ้นต่อน้ำหนักสาหร่ายแห้งที่นำมาสกัด ( Roleda *et al.*, 1997; Villanueva *et al.*, 1999) คำนวณได้จากสูตร

$$\text{วุ้น (\%)} = \left[ \frac{\text{น้ำหนักแห้งของวุ้น}}{\text{น้ำหนักแห้งของสาหร่าย}} \right] \times 100$$

**2.2.3.3 การตรวจวัดคุณภาพวุ้น :** นำตัวอย่างผงวุ้นที่ได้จากการหาปริมาณวุ้นแบ่งออกเป็น 2 ส่วน โดยส่วนที่ 1 จะนำมาหาความแข็งของวุ้น จากการนำเอาผงวุ้นที่ได้มาละลายโดยใช้ความเข้มข้น .5 % (น้ำหนัก/ปริมาตร) ใส่ในถ้วยแก้ว วางทิ้งให้แข็งในอุณหภูมิห้องหลังจากนั้นนำมาตรวจวัดค่าความแข็งของวุ้นด้วยเครื่อง Texture Analyser ส่วนที่ 2 นำมาหาปริมาณซัลเฟตในวุ้นการวัดปริมาณซัลเฟตในวุ้นทำตามวิธีการ AOAC Gravimetri (Santos, 1990) คือนำตัวอย่างวุ้น 0.5 g

ใส่กรดไนตริก 10 ml ต้มที่อุณหภูมิ 123 °C จนกระทั่งเหลือตัวอย่างประมาณ 2-3 ml หลังจากนั้นใส่ BaSO<sub>4</sub> จนกระทั่งไม่มีควันสีน้ำตาล หลังจากนั้นนำมาคำนวณด้วยสูตร

$$\text{ซัลเฟต (\%)} = [(41.16 \times \text{ปริมาณ BaSO}_4 \text{ ที่ใช้} - \text{ml}) / \text{น้ำหนักตัวอย่าง}] \times 100$$

### 2.3 การวิเคราะห์ข้อมูล

การศึกษากาการเจริญเติบโต คุณภาพน้ำ และคุณค่าทางโภชนาการ วิเคราะห์ความแตกต่างทางสถิติของตัวแปร โดยการวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบแจกแจงสองทาง ( Two-way analysis of variance: Two-way ANOVA) ส่วนการศึกษาปริมาณและคุณภาพน้ำ วิเคราะห์แตกต่างทางสถิติของตัวแปร โดยการวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบแจกแจงทางเดียว ( One-way analysis of variance: One-way ANOVA) ทดสอบความแตกต่างค่าเฉลี่ยของตัวแปร ด้วย Duncan's multiple range test ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% และวิเคราะห์หาความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยต่างๆ ด้วยการวิเคราะห์หาค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ ( Partial correlation coefficient) ด้วยการใช่วิธี Linear Regression แบบ Stepwise การวิเคราะห์ทางสถิติทั้งหมดใช้โปรแกรมสำเร็จรูป SPSS Versions 16 (กัลยา, 2548)

### บทที่ 3

#### ผลการทดลอง

##### 3.1 อัตราการเจริญเติบโตจำเพาะและผลผลิตของ *G. fisheri* และ *G. tenuistipitata*

อัตราการเจริญเติบโตจำเพาะและผลผลิตของ *Gracilaria* spp. ที่เลี้ยงในทะเลสาบสงขลา ตอนนอก บริเวณบ้านท่าเสา ห่างจากชายฝั่ง 50, 70, 90 และ 110 m นาน 4 เดือนแตกต่างกันทางสถิติ ตามชนิดของสาหร่าย (species), ระยะห่างจากชายฝั่ง และเดือนที่เลี้ยง ( $p < 0.01$ ) อิทธิพลร่วมที่ทำให้สาหร่ายทั้งสองชนิดมีอัตราการเจริญเติบโตและผลผลิตแตกต่างกันคือ ชนิดของสาหร่าย และเดือนที่เลี้ยงสาหร่าย ( $p < 0.05$ ) อิทธิพลร่วมระหว่างระยะห่างจากชายฝั่งกับชนิดของสาหร่าย, ระยะห่างจากชายฝั่งกับเดือน และระยะห่างจากชายฝั่งกับชนิดของสาหร่ายและเดือน ไม่ทำให้อัตราการเจริญเติบโตจำเพาะ และผลผลิตแตกต่างกันทางสถิติ ( $p > 0.05$ )

##### 3.1.1 การเจริญเติบโตจำเพาะ (ตารางที่ 2, ภาพที่ 5)

*G. tenuistipitata* มีอัตราการเจริญเติบโตจำเพาะดีกว่า *G. fisheri* ( $p < 0.01$ ) เมื่อเลี้ยงในที่ห่างจากเส้นแนวชายฝั่งเท่ากัน *G. tenuistipitata* มีอัตราการเจริญเติบโตจำเพาะเฉลี่ย  $0.78 \pm 0.31 - 1.08 \pm 0.35$  %  $d^{-1}$ ; *G. fisheri*  $0.70 \pm 0.32 - 0.85 \pm 0.43$  %  $d^{-1}$  สาหร่ายทั้งสองชนิดที่เลี้ยงในที่ห่างจากเส้นแนวชายฝั่งมากกว่ามีอัตราการเจริญเติบโตจำเพาะดีกว่าที่เลี้ยงใกล้ชายฝั่งอย่างมีนัยสำคัญ อัตราการเจริญเติบโตจำเพาะของสาหร่ายทั้งสองชนิดดีที่สุดในเดือนกรกฎาคม รองลงมาคือในเดือนพฤษภาคม เมษายน และมีถุนายน ตามลำดับ

ตารางที่ 2 อัตราการเจริญเติบโตจำเพาะ (SGR)<sup>1</sup> ของ *G. fisheri* และ *G. tenuistipitata* ที่เลี้ยงบริเวณบ้านท่าเสา ห่างจากฝั่ง 50, 70, 90 และ 110 m ระหว่างเดือนเมษายน-กรกฎาคม 2551

---

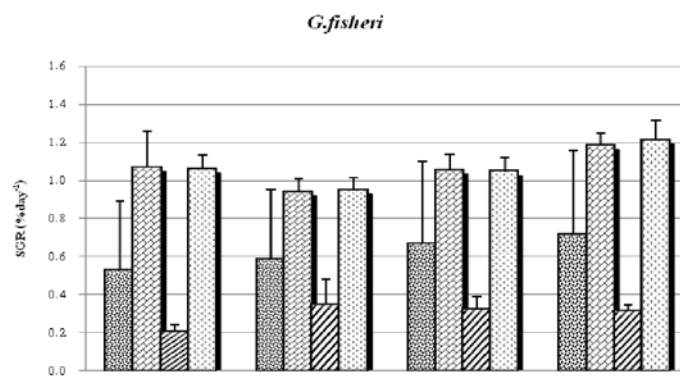
Distance (m)	species	SGR (% d <sup>-1</sup> )				
		April	May	June	July	Average
50	<i>Gf</i>	0.53±0.36 <sup>nsB</sup>	1.07±0.19 <sup>bc</sup>	0.20±0.04 <sup>aA</sup>	1.06±0.17 <sup>abC</sup>	0.71±0.34 <sup>a</sup>
70		0.58±0.37 <sup>nsB</sup>	0.94±0.07 <sup>aCD</sup>	0.35±0.13 <sup>abA</sup>	0.95±0.06 <sup>aCD</sup>	0.70±0.32 <sup>a</sup>
90		0.67±0.43 <sup>nsB</sup>	1.05±0.09 <sup>bc</sup>	0.32±0.07 <sup>abA</sup>	1.05±0.13 <sup>abC</sup>	0.77±0.38 <sup>ab</sup>
110		0.71±0.44 <sup>nsB</sup>	1.18±0.07 <sup>cdC</sup>	0.31±0.04 <sup>abA</sup>	1.21±0.07 <sup>cdC</sup>	0.85±0.43 <sup>ab</sup>
50	<i>Gt</i>	0.64±0.39 <sup>nsB</sup>	1.00±0.07 <sup>abC</sup>	0.51±0.25 <sup>bcB</sup>	0.97±0.11 <sup>aC</sup>	0.78±0.31 <sup>ab</sup>
70		0.72±0.39 <sup>nsBC</sup>	1.09±0.09 <sup>bcD</sup>	0.59±0.26 <sup>cdB</sup>	1.11±0.12 <sup>bcD</sup>	0.88±0.33 <sup>ab</sup>
90		0.78±0.42 <sup>nsB</sup>	1.22±0.09 <sup>dc</sup>	0.63±0.26 <sup>cdB</sup>	1.24±0.08 <sup>deC</sup>	0.97±0.36 <sup>bc</sup>
110		0.92±0.40 <sup>nsB</sup>	1.13±0.06 <sup>cC</sup>	0.74±0.21 <sup>dB</sup>	1.34±0.08 <sup>ec</sup>	1.08±0.35 <sup>c</sup>
				F	P	
Distance				11.130	<0.0007	***
Species				126.030	<0.0007	***
Month				32.843	<0.0003	***
Distance *Species				0.427	<0.920	NS
Distance*Month				1.533	<0.207	NS
Species*Month				3.248	<0.023	*
Distance*Species*Month				0.420	<0.924	NS

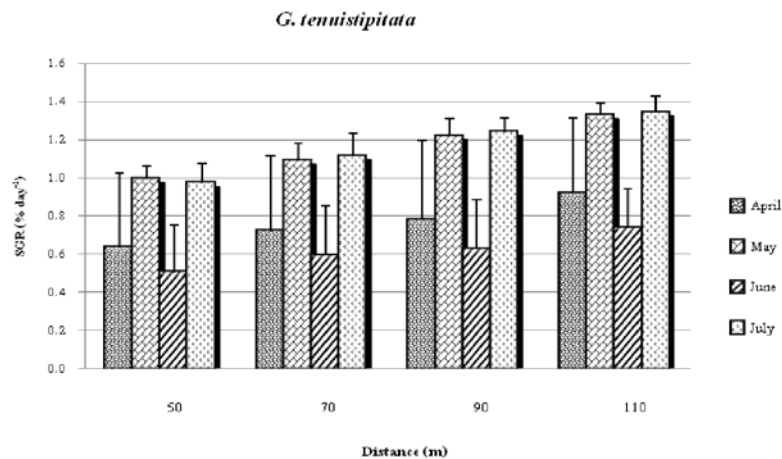
*Gf* = *G. fisheri*, *Gt* = *G. tenuistipitata*; <sup>1</sup> ค่าเฉลี่ย±ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (n = 8)

NS - ไม่แตกต่างกันทางสถิติ (p>0.05); \* - แตกต่างกันทางสถิติ (p<0.05); \*\*\* - แตกต่างกันทางสถิติ (p<0.001)

อักษรตัวพิมพ์เล็ก แสดงผลการเปรียบเทียบระหว่างอัตราการเจริญเติบโตเฉพาะในเดือนเดียวกัน

อักษรตัวพิมพ์ใหญ่ แสดงผลการเปรียบเทียบระหว่างอัตราการเจริญเติบโตเฉพาะเมื่อเลี้ยงห่างชายฝั่งเท่ากัน





ภาพที่ 5 อัตราการเจริญเติบโตจำเพาะ (SGR) ของ *G. fisheri* และ *G. tenuistipitata* ที่เลี้ยงบริเวณบ้านท่าเสา ห่างจากฝั่ง 50, 70, 90 และ 110 m ระหว่างเดือนเมษายน-กรกฎาคม 2551

### 3.1.2 ผลผลิต (ตารางที่ 3, ภาพที่ 6)

สาหร่ายทั้งสองชนิดเมื่อเลี้ยงห่างจากเส้นแนวชายฝั่งมากขึ้นผลผลิตจะมีค่ามากขึ้น การเลี้ยงสาหร่ายทั้งสองชนิดในพื้นที่ ห่างจากเส้นแนวชายฝั่ง 110 m ให้ผลผลิตมากที่สุด และน้อยที่สุดเมื่อเลี้ยงในระยะห่างจากเส้นแนวชายฝั่ง 50 m เมื่อเลี้ยงห่างชายฝั่งเท่ากัน *G. tenuistipitata* ให้ผลผลิตดีกว่า *G. fisheri* อย่างมีนัยสำคัญยิ่ง ( $p < 0.01$ ) *G. tenuistipitata* ให้ผลผลิต  $16.62 \pm 8.35 - 46.59 \pm 3.22$  g; *G. fisheri*  $6.43 \pm 1.33 - 41.49 \pm 2.70$  g ในเดือนกรกฎาคม ได้ผลผลิตของสาหร่ายทั้งสองชนิดมากที่สุด รองลงมาคือในเดือนพฤษภาคม เมษายน และมิถุนายน ตามลำดับ

ตารางที่ 3 ผลผลิต (production, g)<sup>1</sup> ของ *G. fisheri* และ *G. tenuistipitata* ที่เลี้ยงบริเวณบ้านท่าเสา ห่างจากฝั่ง 50, 70, 90 และ 110 m ระหว่างเดือนเมษายน-กรกฎาคม 2551

Distance (m)	Species	Production (g)				
		April	May	June	July	Sum
50	<i>Gf</i>	17.48±12.34 <sup>nsB</sup>	36.34±6.89 <sup>bc</sup>	6.43±1.33 <sup>aA</sup>	36.03±6.03 <sup>abC</sup>	770.24 <sup>a</sup>
70		19.43±12.68 <sup>nsB</sup>	31.61±2.59 <sup>aCD</sup>	11.22±4.42 <sup>abA</sup>	31.88±2.14 <sup>aCD</sup>	753.11 <sup>a</sup>
90		22.45±14.93 <sup>nsB</sup>	35.71±3.20 <sup>bc</sup>	10.33±2.30 <sup>abA</sup>	35.51±4.80 <sup>abC</sup>	831.92 <sup>ab</sup>
110		24.07±15.47 <sup>nsB</sup>	40.44±2.58 <sup>cdC</sup>	10.03±1.20 <sup>abA</sup>	41.49±2.70 <sup>cdC</sup>	928.27 <sup>ab</sup>



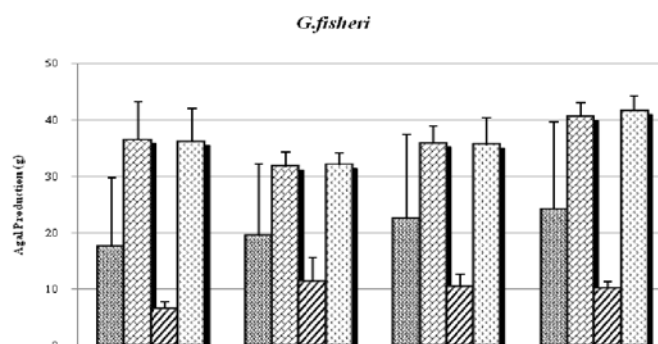
50	<i>Gt</i>	21.32±13.34 <sup>nsB</sup>	33.66±2.49 <sup>abC</sup>	16.62±8.35 <sup>bcB</sup>	32.86±3.81 <sup>aC</sup>	835.62 <sup>ab</sup>
70		24.22±13.71 <sup>nsBC</sup>	37.12±3.32 <sup>bcD</sup>	19.61±8.88 <sup>cdB</sup>	37.97±4.38 <sup>bcD</sup>	951.38 <sup>ab</sup>
90		26.31±14.73 <sup>nsB</sup>	41.93±3.35 <sup>dC</sup>	20.79±8.86 <sup>cdB</sup>	42.67±2.83 <sup>deC</sup>	1053.59 <sup>b</sup>
110		31.25±14.22 <sup>nsB</sup>	46.00±2.44 <sup>cC</sup>	24.50±7.25 <sup>dB</sup>	46.59±3.22 <sup>cC</sup>	1186.68 <sup>c</sup>
				F	P	
Distance				11.942	<0.0002	***
Species				127.207	<0.0003	***
Month				32.973	<0.0003	***
Distance *Species				0.495	<0.877	NS
Distance*Month				1.686	<0.171	NS
Species*Month				2.865	<0.038	*
Distance*Species*Month				0.441	<0.911	NS

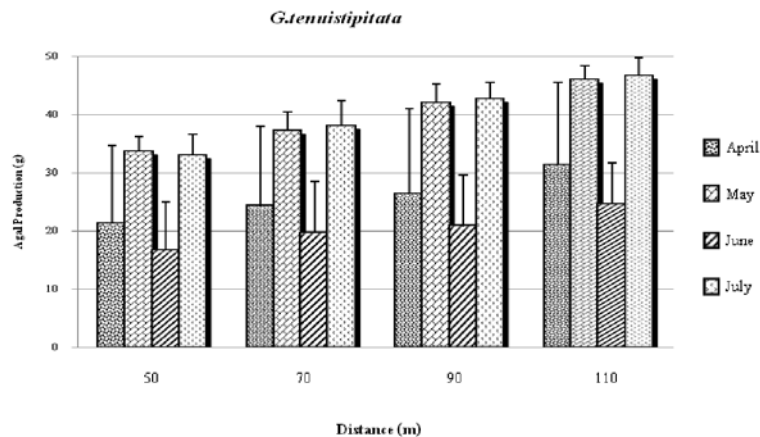
*Gf* = *G. fisheri*, *Gt* = *G. tenuistipitata*; <sup>1</sup> ค่าเฉลี่ย±ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (n = 8)

NS - ไม่แตกต่างกันทางสถิติ (p>0.05); \* - แตกต่างกันทางสถิติ (p<0.05); \*\*\* - แตกต่างกันทางสถิติ (p<0.001)

อักษรตัวพิมพ์เล็ก แสดงผลการเปรียบเทียบระหว่างผลในเดือนเดียวกัน

อักษรตัวพิมพ์ใหญ่ แสดงผลการเปรียบเทียบระหว่างผลการเลี้ยงห่างจากชายฝั่งเท่ากัน





ภาพที่ 6 ผลผลิตของ *G. fisheri* และ *G. tenuistipitata* ที่เลี้ยงบริเวณบ้านท่าเสา ห่างจากฝั่ง 50, 70, 90 และ 110 m ระหว่างเดือนเมษายน-กรกฎาคม 2551

### 3.2 คุณภาพน้ำ (ตารางที่ 4, ภาพที่ 7)

อุณหภูมิของน้ำในระหว่างการเลี้ยงสาหร่าย  $27.44 \pm 1.54 - 29.94 \pm 0.07$  °C อุณหภูมิของน้ำต่ำที่สุดในเดือนมิถุนายน และสูงที่สุดในเดือนกรกฎาคม มีความเค็ม  $4.00 \pm 2.14 - 17.50 \pm 3.74$  ppt ความเค็มของน้ำมีค่าต่ำที่สุดในเดือนมิถุนายน และสูงที่สุดในเดือนเมษายน ความเป็นกรด-ด่าง  $7.71 \pm 0.06 - 8.05 \pm 0.05$  ความโปร่งใส  $20.34 \pm 21.70 - 56.75 \pm 12.16$  cm น้ำในเดือนกรกฎาคมขุ่นมากที่สุด และใสที่สุดเมื่อเดือนมิถุนายน

ในน้ำมีแอมโมเนีย  $0.021 \pm 0.001 - 0.030 \pm 0.001$  mg/l ไนไตรท์  $0.005 \pm 0.001 - 0.009 \pm 0.000$  mg/l ไนเตรท  $0.006 \pm 0.002 - 0.011 \pm 0.001$  mg/l และออร์โธฟอสเฟต  $0.033 \pm 0.001 - 0.041 \pm 0.001$  mg/l ปริมาณสารอาหารทุกชนิดมีค่าต่ำที่สุดในเดือนเมษายน และสูงที่สุดในเดือนกรกฎาคม

**ตารางที่ 4** คุณภาพน้ำ<sup>1</sup> ระหว่างการเลี้ยง *Gracilaria* spp. บริเวณบ้านท่าเสา ห่างจากฝั่ง 50, 70, 90 และ 110 m ระหว่างเดือนมษายน-กรกฎาคม 2551

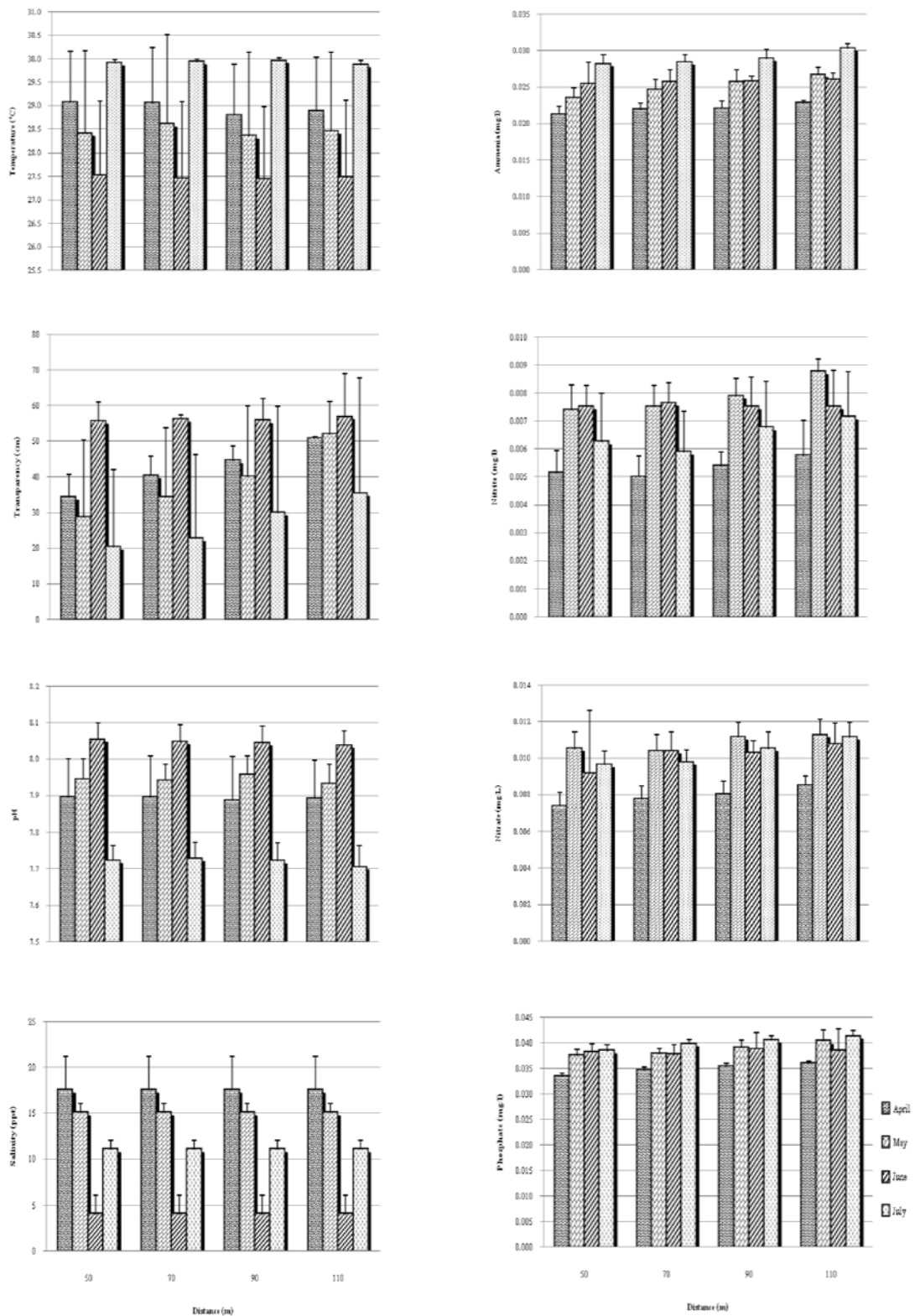
Distance (m)	Month	Temperature (°C)	Salinity (ppt)	pH	Transparency (cm)	Ammonia (mg/l)	Nitrite (mg/l)	Nitrate (mg/l)	Phosphate (mg/l)
50	April	29.06±1.10 <sup>BC</sup>	17.50±3.74 <sup>D</sup>	7.89±0.11 <sup>B</sup>	34.33±6.42 <sup>AA</sup>	0.021±0.001 <sup>AA</sup>	0.005±0.001 <sup>A</sup>	0.007±0.001 <sup>AA</sup>	0.033±0.001 <sup>AA</sup>
	May	28.40±1.77 <sup>AB</sup>	15.00±1.07 <sup>C</sup>	7.94±0.06 <sup>B</sup>	28.66±21.62 <sup>A</sup>	0.024±0.001 <sup>AB</sup>	0.007±0.001 <sup>ABC</sup>	0.011±0.001 <sup>B</sup>	0.038±0.001 <sup>AB</sup>
	June	27.51±1.59 <sup>A</sup>	4.00±2.14 <sup>A</sup>	8.05±0.05 <sup>C</sup>	55.50±5.52 <sup>B</sup>	0.025±0.003 <sup>B</sup>	0.008±0.001 <sup>C</sup>	0.009±0.003 <sup>AB</sup>	0.038±0.002 <sup>B</sup>
	July	29.90±0.08 <sup>C</sup>	11.00±1.07 <sup>B</sup>	7.72±0.04 <sup>A</sup>	20.34±21.70 <sup>A</sup>	0.028±0.002 <sup>C</sup>	0.006±0.002 <sup>B</sup>	0.010±0.001 <sup>abb</sup>	0.038±0.001 <sup>ab</sup>
70	April	29.05±1.19 <sup>B</sup>	17.50±3.74 <sup>D</sup>	7.89±0.11 <sup>B</sup>	40.38±5.37 <sup>BB</sup>	0.022±0.001 <sup>ABA</sup>	0.005±0.001 <sup>A</sup>	0.008±0.001 <sup>AA</sup>	0.035±0.001 <sup>BA</sup>
	May	28.60±1.92 <sup>A</sup>	15.00±1.07 <sup>C</sup>	7.94±0.05 <sup>B</sup>	34.25±19.42 <sup>AB</sup>	0.025±0.001 <sup>ABB</sup>	0.008±0.001 <sup>AB</sup>	0.010±0.001 <sup>B</sup>	0.038±0.001 <sup>AB</sup>
	June	27.45±1.64 <sup>AB</sup>	4.00±2.14 <sup>A</sup>	8.05±0.05 <sup>C</sup>	56.09±1.35 <sup>C</sup>	0.026±0.002 <sup>BB</sup>	0.008±0.001 <sup>B</sup>	0.010±0.001 <sup>B</sup>	0.038±0.002 <sup>B</sup>
	July	29.93±0.07 <sup>B</sup>	11.00±1.07 <sup>B</sup>	7.73±0.05 <sup>A</sup>	22.75±23.40 <sup>A</sup>	0.028±0.001 <sup>AC</sup>	0.006±0.001 <sup>A</sup>	0.010±0.001 <sup>abb</sup>	0.040±0.001 <sup>BC</sup>
90	April	28.79±1.09 <sup>AB</sup>	17.50±3.74 <sup>D</sup>	7.89±0.12 <sup>B</sup>	44.49±4.11 <sup>BNS</sup>	0.022±0.001 <sup>ABA</sup>	0.005±0.001 <sup>A</sup>	0.008±0.001 <sup>aba</sup>	0.035±0.001 <sup>baA</sup>
	May	28.35±1.80 <sup>A</sup>	15.00±1.07 <sup>C</sup>	7.96±0.05 <sup>B</sup>	40.01±19.91 <sup>NS</sup>	0.026±0.002 <sup>BB</sup>	0.008±0.001 <sup>AB</sup>	0.011±0.001 <sup>C</sup>	0.039±0.002 <sup>abb</sup>
	June	27.44±1.54 <sup>A</sup>	4.00±2.14 <sup>A</sup>	8.04±0.05 <sup>C</sup>	55.59±6.41 <sup>NS</sup>	0.026±0.001 <sup>B</sup>	0.008±0.001 <sup>B</sup>	0.010±0.001 <sup>B</sup>	0.039±0.003 <sup>B</sup>
	July	29.94±0.07 <sup>B</sup>	11.00±1.07 <sup>B</sup>	7.72±0.05 <sup>A</sup>	21.34±20.63 <sup>NS</sup>	0.029±0.001 <sup>AC</sup>	0.007±0.001 <sup>B</sup>	0.010±0.001 <sup>bbBC</sup>	0.040±0.001 <sup>bbB</sup>
110	April	28.88±1.16 <sup>AB</sup>	17.50±3.74 <sup>D</sup>	7.89±0.11 <sup>B</sup>	50.74±0.52 <sup>CNS</sup>	0.023±0.000 <sup>BA</sup>	0.006±0.001 <sup>A</sup>	0.009±0.001 <sup>ba</sup>	0.036±0.001 <sup>CA</sup>
	May	28.45±1.69 <sup>A</sup>	15.00±1.07 <sup>C</sup>	7.93±0.06 <sup>B</sup>	51.78±9.35 <sup>NS</sup>	0.027±0.001 <sup>CB</sup>	0.009±0.000 <sup>BC</sup>	0.011±0.001 <sup>B</sup>	0.040±0.002 <sup>bbC</sup>
	June	27.48±1.63 <sup>A</sup>	4.00±2.14 <sup>A</sup>	8.04±0.04 <sup>C</sup>	56.75±12.16 <sup>NS</sup>	0.026±0.001 <sup>B</sup>	0.008±0.001 <sup>BC</sup>	0.011±0.001 <sup>B</sup>	0.038±0.004 <sup>B</sup>
	July	29.86±0.11 <sup>B</sup>	11.00±1.07 <sup>B</sup>	7.71±0.06 <sup>A</sup>	35.38±32.30 <sup>NS</sup>	0.030±0.001 <sup>BC</sup>	0.007±0.002 <sup>B</sup>	0.011±0.001 <sup>cb</sup>	0.041±0.001 <sup>cC</sup>

<sup>1</sup> ค่าเฉลี่ยค่าป้อนแบบมาตรฐาน (n = 8); NS - ไม่แตกต่างกันทางสถิติ (p>0.05); \*\*\* - แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ (p<0.001)

อักษรพิมพ์เล็ก แสดงการเปรียบเทียบค่า ระหว่างตำแหน่งเส้นแนวชายฝั่งเดียวกัน

อักษรพิมพ์ใหญ่ แสดงผลการเปรียบเทียบระหว่างค่าในเดือนเดียวกัน





ภาพที่ 7 คุณสมบัติทางกายภาพ และทางเคมีของน้ำบริเวณบ้านท่าเสา ห่างจากเส้นแนวชายฝั่ง 50, 70, 90 และ 110 m ในระหว่างเดือนเมษายน-กรกฎาคม 2551

### 3.2.1 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการเจริญเติบโตจำเพาะกับคุณภาพน้ำ (ตารางที่ 5)

ความสัมพันธ์ระหว่าง อัตราการเจริญเติบโตจำเพาะของ *G. fisheri* และ *G. tenuistipitata* กับคุณสมบัติทางกายภาพและคุณสมบัติทางเคมีของน้ำ โดยการหาค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (Linear Regression) พบว่า อัตราการเจริญเติบโตจำเพาะของ *G. fisheri* และ *G. tenuistipitata* มีความสัมพันธ์ทั้งในเชิงบวก (positive), เชิงลบ (negative) ( $p < 0.05$ ) และที่ไม่มีความสัมพันธ์กันทางสถิติ ( $p > 0.05$ ) กับคุณสมบัติของน้ำดังรายละเอียดต่อไปนี้

**3.2.1.1 ปัจจัยที่มีความสัมพันธ์กันในเชิงบวก :** อัตราการเจริญเติบโตจำเพาะของ *G. fisheri* และ *G. tenuistipitata* มีความสัมพันธ์เชิงบวกกับ ความเค็ม ปริมาณ ไนเตรท และปริมาณฟอสเฟต สำหรับ *G. fisheri* อัตราการเจริญเติบโตจำเพาะ ยังมีความสัมพันธ์ในเชิงบวกกับปริมาณ แอมโมเนีย และปริมาณไนไตรท์ด้วย

**3.2.1.2 ปัจจัยที่มีความสัมพันธ์กันในเชิงลบ :** อัตราการเจริญเติบโตจำเพาะของ *G. fisheri* และ *G. tenuistipitata* มีความสัมพันธ์เชิงลบกับอุณหภูมิของน้ำ อัตราการเจริญเติบโตจำเพาะของ *G. fisheri* ยังมีความสัมพันธ์เชิงลบกับค่าความเป็นกรด-ด่าง และค่าความโปร่งใสของน้ำ

**3.2.1.3 ปัจจัยที่ไม่มีความสัมพันธ์กันทางสถิติ :** อัตราการเจริญเติบโตจำเพาะของ *G. tenuistipitata* ไม่มีมีความสัมพันธ์ทางสถิติกับค่าความเป็นกรด-ด่าง ค่าความโปร่งใสของน้ำ ปริมาณแอมโมเนีย และปริมาณ ไนไตรท์ที่มีในน้ำ

**ตารางที่ 5** ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการเจริญเติบโตจำเพาะ (SGR) ของ *Gracilaria* spp. ที่เลี้ยงบริเวณบ้านท่าเสา ระหว่างเดือนเมษายน-กรกฎาคม 2551 กับคุณภาพน้ำ

SGR	Model	$r^2$	P
<i>G. fisheri</i>	= 11.239-1.388(pH)+39.688(nitrate)+0.050(salinity)+30.498(phosphate)-0.084(temperature)-0.005(transparency)+50.678(nitrite)+23.878(ammonia)	0.914	<0.0001
<i>G. tenuistipitata</i>	= 12.701+64.428(phosphate)+0.037(salinity)-0.106(temperature)+38.753(nitrate)	0.874	<0.0004

### 3.3 คุณค่าทางโภชนาการของ *G. fisheri* และ *G. tenuistipitata*

### 3.3.1 คุณค่าทางโภชนาการของสาหร่ายท่อนพันธุ์ (ตารางที่ 6)

สาหร่ายทั้งสองชนิดที่เป็นท่อนพันธุ์ที่ได้มาจากอ่าวปัตตานี จังหวัดปัตตานี คุณค่าทางโภชนาการทุกองค์ประกอบระหว่าง *G. fisheri* และ *G. tenuistipitata* แตกต่างกันอย่างสถิติ ( $p < 0.01$ ) *G. fisheri* มีโปรตีน  $11.72 \pm 0.10$  %DW ไขมัน  $0.48 \pm 0.01$  %DW คาร์โบไฮเดรต  $63.94 \pm 0.05$  %DW ความชื้น  $16.07 \pm 0.17$  %DW เถ้า  $16.50 \pm 0.21$  %DW และเยื่อใย  $7.36 \pm 0.01$  %DW *G. tenuistipitata* มีโปรตีน  $12.72 \pm 0.10$  %DW ไขมัน  $0.34 \pm 0.01$  %DW คาร์โบไฮเดรต  $65.84 \pm 0.17$  %DW ความชื้น  $15.12 \pm 0.06$  %DW เถ้า  $14.26 \pm 0.15$  %DW และเยื่อใย  $6.84 \pm 0.01$  %DW

### 3.3.2 คุณค่าทางโภชนาการของ *G. fisheri* และ *G. tenuistipitata* ที่ได้จากการเลี้ยง (ตารางที่ 6, ภาพที่ 9)

1) โปรตีน: สาหร่ายที่เก็บเกี่ยวในเดือนกรกฎาคมทั้ง *G. fisheri* และ *G. tenuistipitata* มีปริมาณโปรตีนสูงที่สุด *G. fisheri* มีโปรตีน  $11.98 \pm 0.14$  %DW ต่ำกว่า *G. tenuistipitata* ที่มีปริมาณโปรตีน  $12.18 \pm 0.05$  %DW สาหร่ายที่เก็บเกี่ยวในเดือนพฤษภาคมมีโปรตีนปริมาณต่ำที่สุด *G. fisheri* มีปริมาณโปรตีน  $11.17 \pm 0.11$  %DW *G. tenuistipitata*  $11.86 \pm 0.05$  %DW

2) ไขมัน: *G. fisheri* มีไขมันสูงกว่า *G. tenuistipitata* ไขมันของ *G. fisheri* มีค่าต่ำที่สุดในเดือนเมษายน และสูงที่สุดในเดือนกรกฎาคม  $0.46 \pm 0.02$ ,  $0.54 \pm 0.04$  %DW ปริมาณโปรตีน ส่วน *G. tenuistipitata* มีค่าต่ำที่สุดในเดือนพฤษภาคม และสูงที่สุดในเดือนกรกฎาคม  $0.27 \pm 0.03$  และ  $0.39 \pm 0.03$  %DW ตามลำดับ

3) คาร์โบไฮเดรต: ปริมาณคาร์โบไฮเดรตของ *G. fisheri* และ *G. tenuistipitata* มีค่าสูงที่สุดในเดือนพฤษภาคม  $64.56 \pm 0.08$  และ  $67.28 \pm 0.13$  %DW และต่ำที่สุดในเดือนกรกฎาคม  $62.99 \pm 0.13$  และ  $66.27 \pm 0.04$  %DW ตามลำดับ

4) ความชื้น: สาหร่ายที่เก็บเกี่ยวในเดือนกรกฎาคมทั้งสองชนิดมีความชื้นปริมาณสูงที่สุด *G. fisheri* มีความชื้น  $16.80 \pm 0.11$  %DW สูงกว่า *G. tenuistipitata* ที่มีความชื้น  $15.5149 \pm 0.09$  %DW *G. fisheri* มีความชื้นปริมาณต่ำที่สุดในเดือนเมษายน  $16.28 \pm 0.13$  %DW ส่วน *G. tenuistipitata* มีความชื้นต่ำปริมาณที่สุดในเดือนพฤษภาคม  $15.10 \pm 0.06$  %DW

5) **เถา:** *G. fisheri* มีปริมาณเถาส่งกว่า *G. tenuistipitata* ปริมาณเถาของ *G. fisheri* มีค่าต่ำสุดในเดือนพฤษภาคมและสูงที่สุดในเดือนมิถุนายน  $16.53 \pm 0.07$ ,  $16.70 \pm 0.04$  %DW *G. tenuistipitata* ที่เก็บเกี่ยวในเดือนพฤษภาคมมีปริมาณเถาต่ำที่สุด  $14.30 \pm 0.07$  %DW ในเดือนกรกฎาคม *G. tenuistipitata* มีปริมาณเถาส่งที่สุดที่สุด  $14.67 \pm 0.04$  %DW

6) **เยื่อใย:** *G. fisheri* มีปริมาณเยื่อใยสูงกว่า *G. tenuistipitata* *G. fisheri* ที่เก็บเกี่ยวในเดือนพฤษภาคมมีปริมาณเยื่อต่ำที่สุด และสูงที่สุดในเดือนกรกฎาคม  $7.27 \pm 0.00$ ,  $7.70 \pm 0.03$  %DW *G. tenuistipitata* มีค่าต่ำที่สุดในเดือนพฤษภาคม และสูงที่สุดในเดือนเมษายน  $6.28 \pm 0.08$ ,  $6.73 \pm 0.07$  %DW



ตารางที่ 6 คุณค่าทางโภชนาการ ของ *G. fisheri* และ *G. tenuistipitata* (%DW) ท่อนพันธุ์ (\*) และที่ได้จากการเลี้ยงที่นานเท่าเสา ระหว่างเดือนเมษายน-

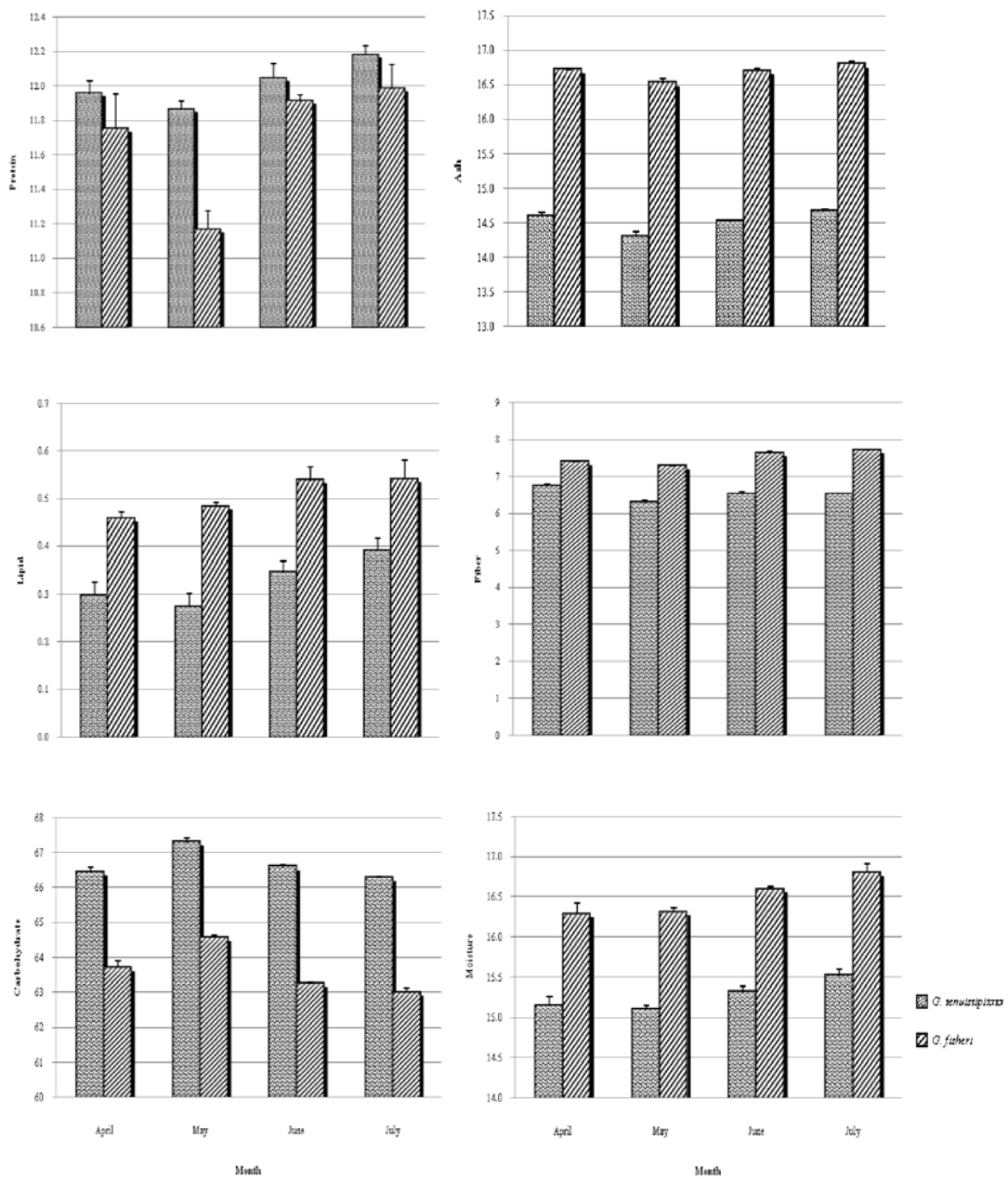
กรกฎาคม 2551

Month	Species	Protein	Lipid	Carbohydrate	Moisture	Ash	Fiber
0*	<i>Gf</i>	11.72±0.10 <sup>b</sup>	0.48±0.01 <sup>a</sup>	63.94±0.05 <sup>d</sup>	16.07±0.17 <sup>a</sup>	16.50±0.21 <sup>a</sup>	7.36±0.01 <sup>b</sup>
April		11.75±0.21 <sup>b</sup>	0.46±0.02 <sup>a</sup>	63.70±0.21 <sup>c</sup>	16.28±0.13 <sup>b</sup>	16.72±0.01 <sup>b</sup>	7.38±0.00 <sup>b</sup>
May		11.17±0.11 <sup>a</sup>	0.48±0.01 <sup>a</sup>	64.56±0.08 <sup>c</sup>	16.31±0.06 <sup>b</sup>	16.53±0.07 <sup>a</sup>	7.27±0.00 <sup>a</sup>
June		11.91±0.04 <sup>bc</sup>	0.54±0.03 <sup>b</sup>	63.25±0.03 <sup>b</sup>	16.59±0.04 <sup>c</sup>	16.70±0.04 <sup>b</sup>	7.62±0.07 <sup>c</sup>
July		11.98±0.14 <sup>c</sup>	0.54±0.04 <sup>b</sup>	62.99±0.13 <sup>a</sup>	16.80±0.11 <sup>c</sup>	16.79±0.05 <sup>b</sup>	7.70±0.03 <sup>d</sup>
0*	<i>Gt</i>	12.72±0.10 <sup>d</sup>	0.34±0.01 <sup>b</sup>	65.84±0.17 <sup>a</sup>	15.12±0.06 <sup>a</sup>	14.26±0.15 <sup>a</sup>	6.84±0.01 <sup>d</sup>
April		11.96±0.08 <sup>ab</sup>	0.30±0.03 <sup>a</sup>	66.43±0.15 <sup>bc</sup>	15.15±0.12 <sup>a</sup>	14.59±0.07 <sup>bc</sup>	6.73±0.07 <sup>c</sup>
May		11.86±0.05 <sup>a</sup>	0.27±0.03 <sup>a</sup>	67.28±0.13 <sup>d</sup>	15.10±0.06 <sup>a</sup>	14.30±0.07 <sup>a</sup>	6.28±0.08 <sup>a</sup>
June		12.04±0.08 <sup>b</sup>	0.35±0.02 <sup>b</sup>	66.58±0.08 <sup>c</sup>	15.32±0.08 <sup>b</sup>	14.51±0.02 <sup>b</sup>	6.52±0.07 <sup>b</sup>
July		12.18±0.05 <sup>c</sup>	0.39±0.03 <sup>c</sup>	66.27±0.04 <sup>b</sup>	15.51±0.09 <sup>c</sup>	14.67±0.04 <sup>c</sup>	6.51±0.03 <sup>b</sup>
Species		F P	F P	F P	F P	F P	F P
		41.218 <0.0001 ***	22.233 <0.0004 ***	170.114 <0.0002 ***	44.580 <0.0005 ***	57.359 <0.0004 ***	62.658 <0.0001 ***
Month		F P	F P	F P	F P	F P	F P
		64.619 <0.0002 ***	352.641 <0.0007 ***	5003.358 <0.0002 ***	1445.348 <0.0005 ***	14614.545 <0.0006 ***	2649.379 <0.0004 ***
Species*Month		F P	F P	F P	F P	F P	F P
		11.586 <0.0006 ***	2.169 <0.118 NS	15.177 <0.0009 ***	1.155 <0.347 NS	1.869 <0.157 NS	37.497 <0.0003 ***

*Gf* = *G. fisheri*, *Gt* = *G. tenuistipitata*; ค่าเฉลี่ยค่าเปรียบเทียบบนมาตรฐาน (n = 8); NS - ไม่แตกต่างกันทางสถิติ (p>0.05); \*\*\* - แตกต่างกันทางสถิติ (p<0.001)

อักษรพิมพ์เล็ก แสดงผลการเปรียบเทียบระหว่างค่าเฉลี่ยของสายพันธุ์เดียวกัน เดือนต่างกัน





ภาพที่ 8 คุณค่าทางโภชนาการของ *G. fisheri* และ *G. tenuistipitata* (%DW) ที่ได้จากการเลี้ยง บริเวณบ้านท่าเสา ในระหว่างเดือนเมษายน-กรกฎาคม 2551



### 3.4 การสกัดวุ้นจาก *G. fisheri* และ *G. tenuistipitata*

การสกัดวุ้นตามวิธีการ Alkaline Treatment ได้ศึกษาความเหมาะสมของปัจจัยที่เกี่ยวข้องสำหรับการสกัดวุ้นจาก *G. fisheri* และ *G. tenuistipitata* แห่ง เพื่อให้ได้วุ้นปริมาณมากที่สุดและมีคุณภาพดีที่สุด ได้แก่ การศึกษา ระดับความเข้มข้น ระยะเวลาในการแช่ อุณหภูมิระหว่างการแช่ สาหร่ายในสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ และระยะเวลาในการสกัดวุ้น ได้ผลดังนี้

#### 3.4.1 ความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (ตารางที่ 7, ภาพที่ 10)

การแช่จาก *G. fisheri* และ *G. tenuistipitata* ในสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ ความเข้มข้น 0, 3, 5, 7 และ 10 N นาน 12 ชั่วโมง ก่อนทำการสกัดวุ้น ทำให้ได้วุ้น ที่มีปริมาณ (Agar yield) และความแข็ง (Gel strength) แตกต่างกันอย่างสถิติ ( $p < 0.01$ ) ดังนี้

1) ปริมาณวุ้น: ปริมาณวุ้นที่สกัดได้จากสาหร่ายทั้งสองชนิด (เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักแห้งของสาหร่าย, %DW) *G. fisheri* ให้วุ้นเฉลี่ย  $19.05 \pm 0.05 - 29.58 \pm 0.1$  %DW *G. tenuistipitata*  $19.11 \pm 0.02 - 28.06 \pm 0.17$  %DW การแช่ สาหร่าย แห่ง ทั้งสองชนิดก่อนการสกัด ในน้ำ ที่ไม่มีโซเดียมไฮดรอกไซด์ได้วุ้นจากกระบวนการสกัดปริมาณมากกว่า การแช่สาหร่ายแห่งในสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ทุกความเข้มข้น ปริมาณวุ้นที่สกัดได้จากสาหร่ายทั้ง สองชนิดลดลงเป็นลำดับเมื่อความเข้มข้น ของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ มีค่าสูง ขึ้น การแช่ *G. fisheri* และ *G. tenuistipitata* ด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้นต่างกัน ได้วุ้นปริมาณแตกต่างกันทางสถิติ ( $p < 0.01$ )

2) ความแข็งของวุ้น : การแช่ *G. fisheri* และ *G. tenuistipitata* แห่งก่อนการสกัดในสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 5 N ได้วุ้นที่มีความแข็งดีที่สุด  $110.29 \pm 0.05$  และ  $120.66 \pm 0.01$  g cm<sup>-2</sup> ตามลำดับ วุ้นที่สกัดได้จาก *G. fisheri* และ *G. tenuistipitata* ที่ผ่านการแช่ในสารละลาย โซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้นต่างกัน มีความแข็งแตกต่างกันทางสถิติ ( $p < 0.01$ )

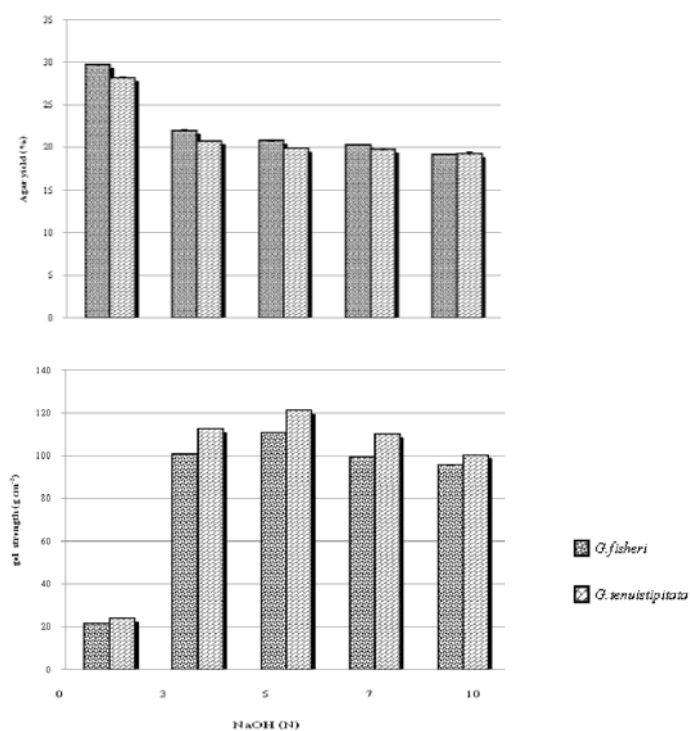
ตารางที่ 7 ปริมาณและความแข็งของวุ้น<sup>1</sup> ที่สกัดได้จาก *G. fisheri* และ *G. tenuistipitata* เมื่อแช่สาหร่ายแห้งในน้ำ และในสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 3, 5, 7 และ 10 N

Species	NaOH (N)	Agar yield (%DW)	Gel strength (g cm <sup>-2</sup> )
<i>Gf</i>	0	29.58±0.17 <sup>c</sup>	21.14±0.14 <sup>a</sup>
	3	21.85±0.23 <sup>d</sup>	100.26±0.05 <sup>d</sup>
	5	20.66±0.05 <sup>c</sup>	110.29±0.00 <sup>c</sup>
	7	20.17±0.03 <sup>b</sup>	98.93±0.12 <sup>c</sup>
	10	19.05±0.05 <sup>a</sup>	95.27±0.31 <sup>b</sup>
<i>Gt</i>	0	28.06±0.17 <sup>d</sup>	23.71±0.12 <sup>a</sup>
	3	20.62±0.06 <sup>c</sup>	112.03±0.03 <sup>d</sup>
	5	19.74±0.12 <sup>b</sup>	120.66±0.01 <sup>c</sup>
	7	19.63±0.09 <sup>b</sup>	109.64±0.07 <sup>c</sup>
	10	19.11±0.02 <sup>a</sup>	100.00±0.01 <sup>b</sup>

*Gf* = *G. fisheri*; *Gt* = *G. tenuistipitata*

<sup>1</sup> ค่าเฉลี่ย±ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (n = 3)

เปรียบเทียบระหว่างสาหร่ายชนิดเดียวกัน; ค่าเฉลี่ยที่มีอักษรต่างกันกำกับ แตกต่างกันทางสถิติ (p<0.01)



ภาพที่ 9 ปริมาณและความแข็งของวุ้นที่สกัดได้จาก *G. fisheri* และ *G. tenuistipitata* เมื่อแช่สาหร่ายแห้งในน้ำและในสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 3, 5, 7 และ 10 N

### 3.4.2 ระยะเวลาการแช่สาหร่ายแห้งในสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (ตารางที่ 8, ภาพที่ 11)

การแช่สาหร่ายแห้งทั้งสองชนิดในสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้น 5 N นาน 1, 6, 12, 18 และ 24 ชั่วโมง ก่อน กระบวนการสกัดวุ้น ทำให้วุ้นที่ได้มีปริมาณและความแข็งแตกต่างกันทางสถิติ ( $p < 0.01$ ) ดังนี้

1) ปริมาณวุ้น: ปริมาณวุ้นที่สกัดได้จาก การแช่ *G. tenuistipitata* แห้งในสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 5 N นาน 1-24 ชั่วโมง ได้ปริมาณวุ้นแตกต่างกันทางสถิติ *G. fisheri* ให้วุ้นเฉลี่ย  $15.76 \pm 0.15 - 23.02 \pm 0.04$  %DW *G. tenuistipitata*  $16.85 \pm 0.15 - 21.09 \pm 0.02$  %DW ปริมาณวุ้นที่สกัดได้จาก *G. fisheri* ที่แช่ในสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 5 N นาน 1 และ 6 ชั่วโมงไม่แตกต่างกันทางสถิติ ( $p > 0.05$ ) การ สกัดวุ้นจากสาหร่ายทั้ง สองชนิด ได้วุ้นปริมาณมากที่สุดเมื่อแช่สาหร่ายแห้งในโซเดียมไฮดรอกไซด์ 5 N นาน 1 ชั่วโมง ปริมาณวุ้นที่สกัดได้ลดลงเมื่อระยะเวลาการแช่ในสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์นานขึ้นตามลำดับ

2) ความแข็งของวุ้น: วุ้นที่ได้จากการสกัดจากทั้ง *G. fisheri* และ *G. tenuistipitata* ที่ผ่านการแช่ในสารละลาย โซเดียมไฮดรอกไซด์ 5 N นาน 1, 6, 12, 18 และ 24 ชั่วโมง มีความแข็งแตกต่างกันทางสถิติ ( $p < 0.01$ ) ทั้ง *G. fisheri* และ *G. tenuistipitata* ที่แช่ในสารละลาย โซเดียมไฮดรอกไซด์ 5 N 12 ชั่วโมง ได้วุ้นที่มีความแข็งดีกว่าการแช่ในระยะเวลาอื่นอย่างมีนัยสำคัญ *G. fisheri* ได้วุ้นที่มีความแข็ง  $110.29 \pm 0.00$  g cm<sup>-2</sup> และ *G. tenuistipitata* ได้วุ้นที่มีความแข็ง  $120.66 \pm 0.01$  g cm<sup>-2</sup> รองลงไปได้แก่วุ้นที่ได้จากการแช่สาหร่ายแห้งนาน 6 ชั่วโมง การแช่สาหร่ายแห้ง 18 และ 24 ชั่วโมง ทำให้ได้วุ้นที่มีคุณภาพต่ำลงเป็นลำดับ

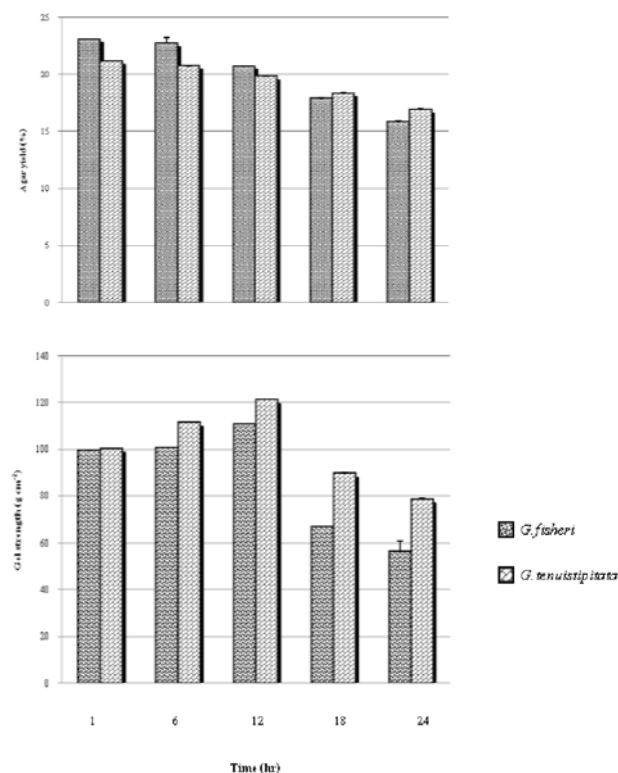
ตารางที่ 8 ปริมาณและความแข็งของวุ้น<sup>1</sup> ที่สกัดได้จาก *G. fisheri* และ *G. tenuistipitata* ที่แช่ในสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์นาน 1, 6, 12, 18 และ 24 ชั่วโมง

Species	Time (hr.)	Agar yield (%DW)	Gel strength (g/cm <sup>2</sup> )
<i>Gf</i>	1	23.02±0.04 <sup>d</sup>	99.27±0.55 <sup>c</sup>
	6	22.65±0.57 <sup>d</sup>	100.29±0.02 <sup>c</sup>
	12	20.66±0.05 <sup>c</sup>	110.29±0.00 <sup>d</sup>
	18	17.82±0.11 <sup>b</sup>	66.72±0.31 <sup>b</sup>
	24	15.76±0.15 <sup>a</sup>	56.11±4.74 <sup>a</sup>
<i>Gt</i>	1	21.09±0.02 <sup>c</sup>	99.97±0.02 <sup>c</sup>
	6	20.68±0.03 <sup>d</sup>	111.09±0.00 <sup>d</sup>
	12	19.74±0.12 <sup>c</sup>	120.66±0.01 <sup>e</sup>
	18	18.27±0.16 <sup>b</sup>	89.28±0.53 <sup>b</sup>
	24	16.85±0.15 <sup>a</sup>	78.35±0.73 <sup>a</sup>

*Gf* = *G. fisheri*; *Gt* = *G. tenuistipitata*

<sup>1</sup> ค่าเฉลี่ย±ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (n = 3)

เปรียบเทียบระหว่างสายพันธุ์เดียวกัน; ค่าเฉลี่ยที่มีอักษรต่างกันกำกับ แตกต่างกันอย่างสถิติ (p<0.01)



ภาพที่ 10 ปริมาณและความแข็งของวุ้นที่สกัดได้จาก *G. fisheri* และ *G. tenuistipitata* ที่แช่ในสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 5 N ในระยะเวลา 1-24 ชั่วโมง



### 3.4.3 อุณหภูมิระหว่างการแช่สาหร่ายในสารละลาย โซเดียมไฮดรอกไซด์ (ตารางที่ 9, ภาพที่ 12)

การแช่สาหร่ายแห้งทั้ง สองชนิดในสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 5 N นาน 12 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิ 60, 70, 80, 90 และ 100 °C ก่อนกระบวนการสกัด ทำให้ได้วุ้นมีปริมาณ และความแข็งแรงแตกต่างกันทางสถิติ ( $p < 0.01$ )

1) ปริมาณวุ้น: ได้วุ้นปริมาณมากเมื่อแช่สาหร่ายแห้งใน สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 5 N 60 °C นาน 12 ชั่วโมง *G. fisheri* ให้วุ้นได้เฉลี่ย  $24.33 \pm 0.10$  %DW *G. tenuistipitata*  $22.10 \pm 0.03$  %DW ปริมาณวุ้นที่สกัดได้จากสาหร่ายทั้งสองชนิดจะลดลงเมื่ออุณหภูมิที่ใช้แช่สูงขึ้นตามลำดับ

2) ความแข็งของวุ้น: การแช่ *G. fisheri* แห้งในสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 5 N 80 °C และ *G. tenuistipitata* ที่อุณหภูมิ 60 °C นาน 12 ชั่วโมงเท่ากัน สามารถสกัดได้วุ้นที่มีความแข็งดีที่สุด วุ้นที่สกัดได้จาก *G. fisheri* และ *G. tenuistipitata* มีความแข็ง  $110.29 \pm 0.00$  และ  $121.90 \pm 0.01$  g cm<sup>-2</sup> ตามลำดับ วุ้นจากสาหร่ายทั้งสองชนิดที่ได้จากการสกัด ที่ผ่านการแช่ด้วย โซเดียมไฮดรอกไซด์ ที่มีอุณหภูมิต่างกัน มีความแข็งแตกต่างกันทางสถิติ ( $p < 0.01$ )

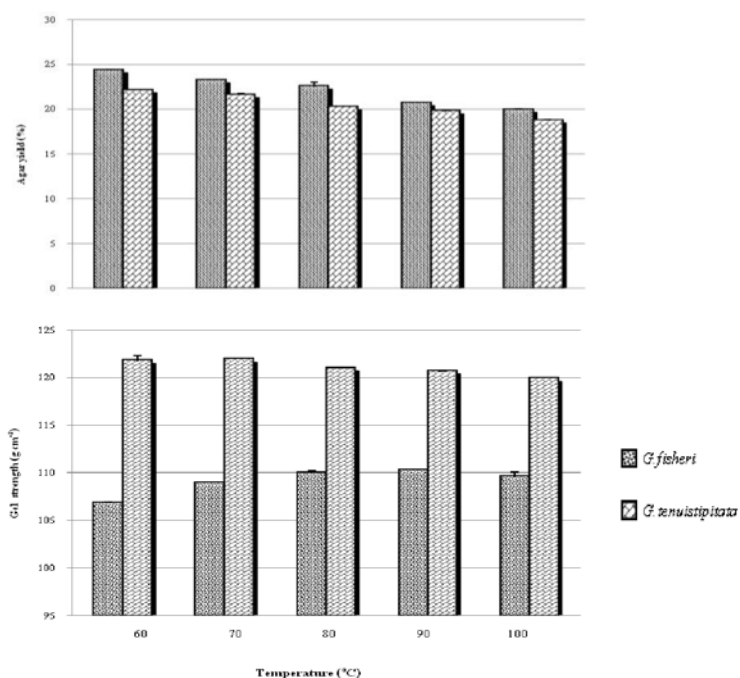
ตารางที่ 9 ปริมาณและความแข็งของวุ้น<sup>1</sup> ที่สกัดได้จาก *G. fisheri* และ *G. tenuistipitata* ที่แช่ในสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่มีอุณหภูมิ 60, 70, 80, 90 และ 100 °C

Species	Temperature (°C)	Agar yield (%DW)	Gel strength (g cm <sup>-2</sup> )
<i>Gf</i>	60	$24.33 \pm 0.10^c$	$106.85 \pm 0.07^a$
	70	$23.21 \pm 0.02^d$	$108.90 \pm 0.00^b$
	80	$22.51 \pm 0.47^c$	$110.00 \pm 0.10^d$
	90	$20.66 \pm 0.05^b$	$110.29 \pm 0.00^d$
	100	$19.91 \pm 0.13^a$	$109.57 \pm 0.50^c$
<i>Gt</i>	60	$22.10 \pm 0.03^c$	$121.77 \pm 0.58^c$
	70	$21.56 \pm 0.18^d$	$121.90 \pm 0.01^c$
	80	$20.21 \pm 0.05^c$	$120.99 \pm 0.10^b$
	90	$19.74 \pm 0.12^b$	$120.66 \pm 0.01^b$
	100	$18.74 \pm 0.06^a$	$119.90 \pm 0.01^a$

*Gf* = *G. fisheri* ; *Gt* = *G. Tenuistipitata*

<sup>1</sup> ค่าเฉลี่ย±ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (n = 3)

เปรียบเทียบระหว่างสาหร่ายชนิดเดียวกัน; ค่าเฉลี่ยที่มีอักษรต่างกันกำกับ แตกต่างกันทางสถิติ ( $p < 0.01$ )



ภาพที่ 11 ปริมาณและความแข็งของวุ้นที่สกัดได้จาก *G. fisheri* และ *G. tenuistipitata* ที่แช่ในสารละลายโซเดียมไคลอโรไซด์ 5 N ที่มีอุณหภูมิ 60-100 °C

### 3.4.4 ระยะเวลาในการสกัดวุ้นหลังกระบวนการแช่ (ตารางที่ 10, ภาพที่ 13)

การแช่สำหรับแห้งทั้ง สองชนิดในสารละลายโซเดียมไคลอโรไซด์ 5 N นาน 12 ชั่วโมง อุณหภูมิ 80 °C สำหรับ *G. fisheri* และ 60 °C สำหรับ *G. tenuistipitata* ที่ใช้เวลาในการสกัดวุ้น 5-60 นาที ได้วุ้นที่มีปริมาณ และความแข็งแตกต่างกันทางสถิติ ( $p < 0.01$ )

1) ปริมาณวุ้น: การสกัดวุ้นจาก *G. fisheri* และ *G. tenuistipitata* นาน 5-60 นาที ได้ปริมาณวุ้นเฉลี่ย  $16.88 \pm 0.10$ - $25.02 \pm 0.06$  และ  $20.09 \pm 0.10$ - $28.55 \pm 0.38$  %DW ตามลำดับ สำหรับทั้งสองชนิดให้ปริมาณวุ้นมากที่สุดเมื่อใช้เวลาในการสกัดนาน 60 นาที *G. fisheri* ให้วุ้น  $25.02 \pm 0.06$  %DW และ *G. tenuistipitata* ให้วุ้น  $28.55 \pm 0.38$  %DW ปริมาณวุ้นที่สกัดได้จากสารแห้งทั้งสองชนิดลดลงเมื่อใช้เวลาในการสกัดลดลง ตามลำดับ การสกัดวุ้นจาก *G. fisheri* และ *G. tenuistipitata* ในสถานะที่กล่าวมาข้างต้นในระยะเวลาสกัดต่างกัน ได้วุ้นปริมาณแตกต่างกันทางสถิติ ( $p < 0.01$ )

2) ความแข็งของวุ้น: การสกัดวุ้นจาก *G. fisheri* และ *G. tenuistipitata* นาน 5-60 นาที ได้ความแข็งของวุ้นเฉลี่ย  $98.47 \pm 0.41$ - $108.99 \pm 1.64$  และ  $100.08 \pm 0.02$ - $121.07 \pm 0.05$  g cm<sup>-2</sup> ตามลำดับ ความแข็งของวุ้นที่สกัดได้จากสารแห้งทั้งสองชนิด ลดลงเมื่อใช้เวลาในการสกัดลดลง และเวลาใน

การสกัดที่ทำให้วุ้นมีค่าความแข็งมากที่สุดคือ 60 นาที โดยที่ *G. fisheri* มีความแข็ง  $108.99 \pm 1.64 \text{ g cm}^{-2}$  ส่วน *G. tenuistipitata* มีความแข็ง  $121.07 \pm 0.05 \text{ g cm}^{-2}$

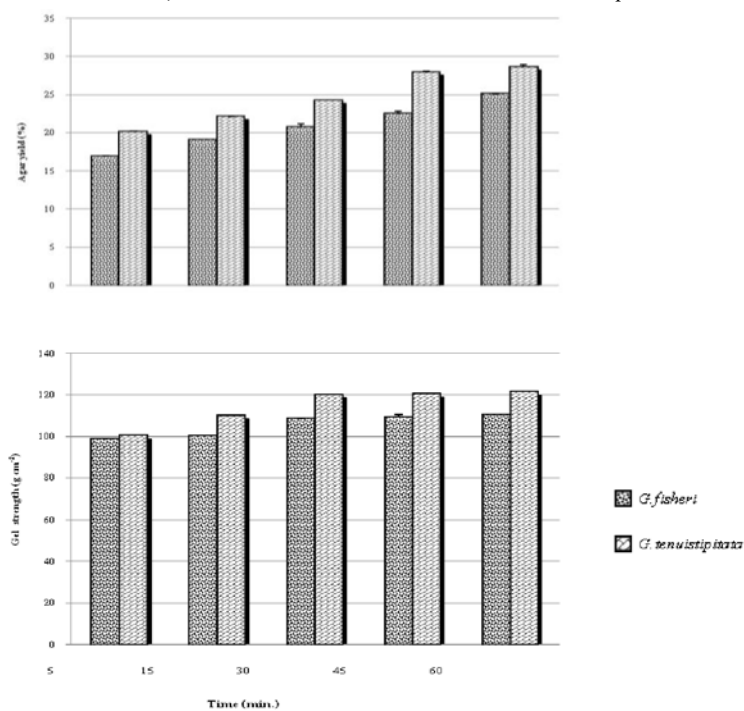
ตารางที่ 10 ปริมาณและความแข็งของวุ้น<sup>1</sup> ที่สกัดได้จาก *G. fisheri* และ *G. tenuistipitata* ที่ใช้เวลาในการสกัด 5-60 นาที

Species	Time (min.)	Agar yield (%DW)	Gel strength ( $\text{g cm}^{-2}$ )
<i>Gf</i>	5	$16.88 \pm 0.10^a$	$98.47 \pm 0.41^a$
	15	$19.03 \pm 0.06^b$	$99.97 \pm 0.05^b$
	30	$20.68 \pm 0.45^c$	$108.06 \pm 0.64^c$
	45	$22.41 \pm 0.45^d$	$108.99 \pm 1.64^{cd}$
	60	$25.02 \pm 0.06^c$	$110.08 \pm 0.01^d$
<i>Gt</i>	5	$20.09 \pm 0.10^a$	$100.08 \pm 0.02^a$
	15	$22.07 \pm 0.06^b$	$109.68 \pm 0.15^b$
	30	$24.19 \pm 0.04^c$	$119.81 \pm 0.10^c$
	45	$27.88 \pm 0.18^d$	$120.10 \pm 0.06^d$
	60	$28.55 \pm 0.38^c$	$121.07 \pm 0.05^c$

*Gf* = *G. fisheri* ; *Gt* = *G. tenuistipitata*

<sup>1</sup> ค่าเฉลี่ย  $\pm$  ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (n = 3)

เปรียบเทียบระหว่างสายพันธุ์ชนิดเดียวกัน ; ค่าเฉลี่ยที่มีอักษรต่างกันกำกับ แตกต่างกันอย่างสถิติ ( $p < 0.01$ )



ภาพที่ 12 ปริมาณและความแข็งของวุ้นจาก *G. fisheri* และ *G. tenuistipitata* ที่ใช้เวลาในการสกัด 5-60 นาที

### 3.5 ปริมาณและคุณภาพของวุ้นจาก *G. fisheri* และ *G. tenuistipitata* (ตารางที่ 11, ภาพที่ 14)

การทดสอบปริมาณ และคุณภาพของวุ้น ประกอบด้วยการการตรวจวัดความแข็ง และปริมาณซัลเฟตในวุ้นที่สกัดได้จากสาหร่ายทั้งสองชนิดที่ได้จากการเพาะเลี้ยงในพื้นที่ ห่างจากชายฝั่ง 50, 70, 90 และ 110 เมตร ที่เก็บเกี่ยวได้ในแต่ละเดือน สกัดวุ้นจากสาหร่ายด้วยกระบวนการที่ได้ผ่านการทดสอบ (ข้อ 3.4) ได้ผลดังนี้

#### 3.5.1 ปริมาณวุ้น

*G. fisheri* และ *G. tenuistipitata* ให้ปริมาณวุ้นเทียบ (% DW) แตกต่างกันทางสถิติ ( $p < 0.01$ ) *G. tenuistipitata* ให้วุ้นเฉลี่ย  $26.65 \pm 1.74$  %DW มากกว่า *G. fisheri* ที่ให้วุ้นเฉลี่ย  $24.52 \pm 1.82$  %DW สาหร่ายทั้งสองชนิดที่ได้จากการเพาะเลี้ยงในตำแหน่งที่ห่างจากเส้นแนวชายฝั่ง 50, 70, 90 และ 110 m มีปริมาณวุ้นไม่แตกต่างกันทางสถิติ ( $p > 0.05$ ) ปริมาณวุ้นที่สาหร่ายมีแตกต่างกันตามเดือนที่เพาะเลี้ยง ( $p < 0.01$ ) สาหร่ายทั้งสองชนิดที่เก็บเกี่ยวได้ในเดือนพฤษภาคมให้ปริมาณวุ้นมากที่สุด *G. fisheri* ให้วุ้น 26.10-26.42 %DW *G. tenuistipitata* 28.04-28.64 %DW รองลงมาคือสาหร่ายที่เก็บเกี่ยวในเดือนเมษายน มิถุนายน และกรกฎาคม *G. fisheri* ให้วุ้นได้เฉลี่ย 26.10-26.42, 23.24-23.48 และ 22.08-22.35 %DW *G. tenuistipitata* 27.83-28.31, 25.17-26.42 และ 24.40-24.76 %DW ตามลำดับ

#### 3.5.2 ความแข็งของวุ้น

วุ้นที่ได้จาก *G. fisheri* และ *G. tenuistipitata* มีความแข็งแตกต่างกันทางสถิติ ( $p < 0.01$ ) *G. tenuistipitata* ให้วุ้นที่มีความแข็งเฉลี่ย  $122.31 \pm 1.84$  g cm<sup>-2</sup> ดีกว่าวุ้นที่ได้จาก *G. fisheri* ที่มีความแข็งเฉลี่ย  $111.45 \pm 2.35$  g cm<sup>-2</sup> อย่างมีนัยสำคัญ วุ้นที่ได้จาก *Gracilaria* ทั้งสองชนิดที่เพาะเลี้ยงในพื้นที่ห่างจากเส้นแนวชายฝั่ง 50, 70, 90 และ 110 m มีความแข็งไม่แตกต่างกันทางสถิติ ( $p > 0.05$ ) สาหร่ายที่เก็บเกี่ยวในเดือนที่ต่างกันให้วุ้นที่มีความแข็งแตกต่างกันทางสถิติ ( $p < 0.01$ ) *G. fisheri* ที่ได้จากการเก็บเกี่ยวในเดือนพฤษภาคมให้วุ้นมีความแข็งดีที่สุดที่สุด 115.11-115.64 g cm<sup>-2</sup> รองลงมาคือวุ้นที่เก็บเกี่ยวในเดือนกรกฎาคม เมษายน และมิถุนายน มีความแข็งเฉลี่ย 110.28-110.43, 110.03-110.43 และ 109.74-109.99 g cm<sup>-2</sup> ตามลำดับ ส่วน *G. tenuistipitata* วุ้นที่ได้จากการเก็บเกี่ยวในเดือนพฤษภาคมเช่นเดียวกันที่ให้วุ้นที่มีความแข็งดีที่สุดที่สุด 125.03-125.53 g cm<sup>-2</sup> รองลงมาได้แก่วุ้นที่ได้จากสาหร่ายที่เก็บเกี่ยวเมื่อเดือนเมษายน มิถุนายน และกรกฎาคม มีความแข็ง 121.53-121.96, 120.79-121.20 และ 120.56-121.14 g cm<sup>-2</sup> ตามลำดับ

### 3.5.3 ปริมาณซัลเฟต

ปริมาณซัลเฟตที่มีในวุ้นผกผันกับความแข็งของวุ้น วุ้นที่สกัดได้จาก *G. fisheri* และ *G. tenuistipitata* ที่ได้จากการเพาะเลี้ยงมีปริมาณซัลเฟตแตกต่างกันทางสถิติ ( $p < 0.01$ ) *G. fisheri* ให้วุ้นที่มีปริมาณซัลเฟตเฉลี่ย  $1.07 \pm 0.10$  % มากกว่าวุ้นที่ได้จาก *G. tenuistipitata* ที่มีปริมาณซัลเฟตเฉลี่ย  $0.61 \pm 0.09$  % มีปริมาณซัลเฟตในวุ้นที่สกัดได้จากสาหร่ายทั้งสองชนิดที่ได้จากการเลี้ยงห่างจากชายฝั่ง 50, 70, 90 และ 110 m ไม่แตกต่างกันทางสถิติ ( $p > 0.05$ ) แต่แตกต่างกันตามเดือนที่เลี้ยง ( $p < 0.01$ ) วุ้นที่สกัดได้จากสาหร่ายทั้งสองชนิดที่เก็บเกี่ยวเมื่อเดือนกรกฎาคมมีปริมาณซัลเฟตมากที่สุด *G. fisheri* 1.18-1.20 % *G. tenuisipitata* 0.69-0.70 % รองลงมาวุ้นที่ได้จากสาหร่ายที่เก็บเกี่ยวเมื่อเดือนมิถุนายน เมษายน และพฤษภาคม *G. fisheri* มีซัลเฟต 1.10-1.11, 1.08-1.09 และ 0.91-0.92 % *G. tenuisipitata* 0.64-0.65, 0.62 และ 0.46-0.47 % ตามลำดับ

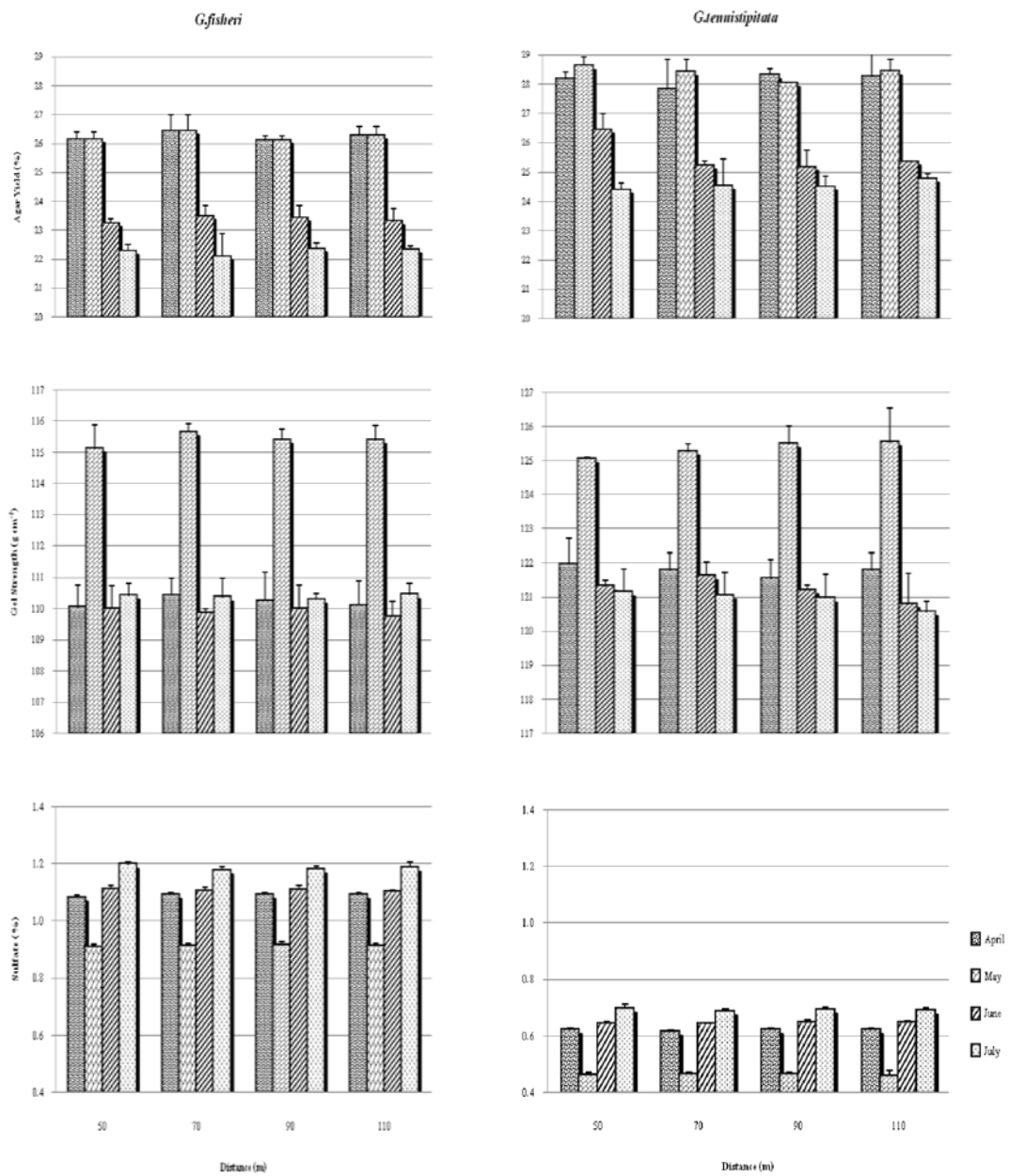
---

ตารางที่ 11 ปริมาณวุ้น (Agar yield,%DW) ความแข็งของวุ้น (Gel strength, g cm<sup>-2</sup>) และปริมาณซัลเฟต (Sulfate,%) ในวุ้น ที่ได้จากการสกัดของ *G. fisheri* และ *G. tenuistipitata* ที่เลี้ยงบริเวณบ้านท่าเสา ห่างจากฝั่ง 50 , 70, 90 และ 110 m ระหว่างเดือน เมษายน-กรกฎาคม 2551

Month	Distance (m)	Species	Agar yield (%DW)			Gel strength (g cm <sup>-2</sup> )			Sulfate (%)		
April	50	<i>Gf</i>	26.14±0.27 <sup>c</sup>			110.03±0.74 <sup>a</sup>			1.08±0.01 <sup>b</sup>		
	70		26.42±0.57 <sup>c</sup>			110.43±0.57 <sup>a</sup>			1.09±0.01 <sup>b</sup>		
	90		26.10±0.18 <sup>c</sup>			110.24±0.94 <sup>a</sup>			1.09±0.01 <sup>b</sup>		
	110		26.28±0.31 <sup>c</sup>			110.09±0.81 <sup>a</sup>			1.09±0.01 <sup>b</sup>		
May	50		26.14±0.26 <sup>c</sup>			115.11±0.79 <sup>b</sup>			0.91±0.01 <sup>a</sup>		
	70		26.42±0.59 <sup>c</sup>			115.64±0.29 <sup>b</sup>			0.91±0.01 <sup>a</sup>		
	90		26.10±0.20 <sup>c</sup>			115.39±0.37 <sup>b</sup>			0.92±0.01 <sup>a</sup>		
	110		26.28±0.30 <sup>c</sup>			115.38±0.47 <sup>b</sup>			0.91±0.01 <sup>a</sup>		
June	50		23.24±0.17 <sup>b</sup>			109.99±0.74 <sup>a</sup>			1.11±0.01 <sup>c</sup>		
	70		23.48±0.37 <sup>b</sup>			109.85±0.14 <sup>a</sup>			1.11±0.01 <sup>b</sup>		
	90		23.48±0.37 <sup>b</sup>			109.85±0.14 <sup>a</sup>			1.11±0.02 <sup>b</sup>		
	110		23.30±0.43 <sup>b</sup>			109.74±0.49 <sup>a</sup>			1.10±0.01 <sup>b</sup>		
July	50		22.26±0.25 <sup>a</sup>			110.41±0.40 <sup>a</sup>			1.20±0.01 <sup>d</sup>		
	70		22.08±0.80 <sup>a</sup>			110.35±0.61 <sup>a</sup>			1.18±0.00 <sup>c</sup>		
	90		22.35±0.21 <sup>a</sup>			110.28±0.20 <sup>a</sup>			1.18±0.01 <sup>c</sup>		
	110		22.32±0.16 <sup>a</sup>			110.43±0.37 <sup>a</sup>			1.19±0.02 <sup>c</sup>		
			F	P		F	P		F	P	
Distance			2.380	<0.082	NS	0.758	<0.523	NS	0.748	<0.529	NS
Month			218.083	<0.0001	***	196.182	<0.0001	***	1737.359	<0.0003	***
Distance*Month			1.638	<0.132	NS	0.940	<0.500	NS	0.403	<0.927	NS
April	50	<i>Gt</i>	28.19±0.23 <sup>c</sup>			121.96±0.75 <sup>a</sup>			0.62±0.01 <sup>b</sup>		
	70		27.83±1.01 <sup>b</sup>			121.79±0.51 <sup>a</sup>			0.62±0.01 <sup>b</sup>		
	90		28.31±0.21 <sup>c</sup>			121.53±0.56 <sup>a</sup>			0.62±0.01 <sup>b</sup>		
	110		28.26±0.83 <sup>b</sup>			121.79±0.50 <sup>b</sup>			0.62±0.01 <sup>b</sup>		
May	50		28.64±0.30 <sup>c</sup>			125.03±0.05 <sup>b</sup>			0.46±0.01 <sup>a</sup>		
	70		28.42±0.44 <sup>b</sup>			125.25±0.25 <sup>b</sup>			0.47±0.01 <sup>a</sup>		
	90		28.04±0.04 <sup>c</sup>			125.48±0.55 <sup>b</sup>			0.47±0.01 <sup>a</sup>		
	110		28.45±0.41 <sup>b</sup>			125.53±1.02 <sup>c</sup>			0.46±0.02 <sup>a</sup>		
June	50		26.42±0.58 <sup>b</sup>			121.31±0.18 <sup>a</sup>			0.65±0.01 <sup>c</sup>		
	70		25.22±0.17 <sup>a</sup>			121.62±0.40 <sup>a</sup>			0.64±0.01 <sup>c</sup>		
	90		25.17±0.57 <sup>b</sup>			121.20±0.40 <sup>a</sup>			0.65±0.01 <sup>c</sup>		
	110		25.35±0.05 <sup>a</sup>			120.79±0.92 <sup>ab</sup>			0.65±0.01 <sup>c</sup>		
July	50		24.40±0.24 <sup>a</sup>			121.14±0.68 <sup>a</sup>			0.70±0.02 <sup>d</sup>		
	70		24.52±0.95 <sup>a</sup>			121.05±0.68 <sup>a</sup>			0.69±0.01 <sup>d</sup>		
	90		24.49±0.39 <sup>a</sup>			120.97±0.71 <sup>a</sup>			0.69±0.01 <sup>d</sup>		
	110		24.76±0.20 <sup>a</sup>			120.56±0.33 <sup>a</sup>			0.69±0.01 <sup>d</sup>		
			F	P		F	P		F	P	
Distance			0.474	<0.702	NS	0.303	<0.823	NS	0.407	<0.749	NS
Month			444.567	<0.0005	***	314.287	<0.0001	***	1536.285	<0.0001	***
Distance*Month			0.456	<0.897	NS	0.264	<0.981	NS	1.127	<0.363	NS

*Gf* = *G. fisheri*, *Gt* = *G. tenuistipitata*; <sup>1</sup> ค่าเฉลี่ย±ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (n = 4); NS - ไม่แตกต่างกันทางสถิติ (p>0.05); \*\*\* - แตกต่างกันทางสถิติ (p<0.001)

อักษรพิมพ์เล็ก แสดงผลการเปรียบเทียบระหว่างการเลี้ยงในตำแหน่งที่ห่างจากชายฝั่งเท่ากัน



ภาพที่ 13 ปริมาณ และคุณภาพวุ้นของ *G. fisheri* และ *G. tenuistipitata* ที่ได้จากการเลี้ยงบริเวณ บ้านท่าเสา ห่างจากฝั่ง 50, 70, 90 และ 110 m ในระหว่างเดือนเมษายน-กรกฎาคม 2551

### 3.6 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณ และคุณภาพของวุ้นจาก *Gracilaria* spp. กับอัตราการเจริญเติบโตจำเพาะ (ตารางที่12)

การหาความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณ และคุณภาพของวุ้น ได้แก่ ความแข็ง และปริมาณ ซัลเฟตที่มีในวุ้น โดยการหาค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ กับ อัตราการเจริญเติบโตจำเพาะ ของ สาหร่าย (SGR) และคุณภาพน้ำ พบว่ามีความสัมพันธ์กันทั้งในเชิงบวกและลบ ดังนี้

#### 3.6.1 ปัจจัยที่มีความสัมพันธ์ในเชิงบวก ได้แก่

1) ปริมาณวุ้น: ปริมาณวุ้นที่สกัดได้จาก *G. fisheri* มีความสัมพันธ์เชิงบวกกับค่าความเค็ม และค่าความโปร่งใสของน้ำ ส่วนปริมาณวุ้นที่สกัดได้จาก *G. tenuistipitata* มีความสัมพันธ์เชิงบวก กับค่าความเค็ม และความเป็นกรด-ด่างของน้ำ

2) ความแข็งของวุ้น: ความแข็งของวุ้นที่สกัดได้จาก *G. fisheri* มีความสัมพันธ์เชิงบวกกับ อัตราการเจริญเติบโตจำเพาะของสาหร่าย

#### 3.6.2 ปัจจัยที่มีความสัมพันธ์ในเชิงลบ ได้แก่

1) ปริมาณวุ้น: ปริมาณวุ้นที่สกัดได้จาก *G. fisheri* มีความสัมพันธ์เชิงลบกับปริมาณ แอมโมเนีย ฟอสเฟตที่มีในน้ำ และปริมาณซัลเฟตในวุ้น ส่วนปริมาณวุ้นที่สกัดได้จาก *G. tenuistipitata* มีสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เชิงลบกับปริมาณซัลเฟตในวุ้น

2) ความแข็งของวุ้น: ความแข็งของวุ้นที่สกัดได้จาก *G. fisheri* มีความสัมพันธ์เชิงลบกับ ปริมาณวุ้น และปริมาณซัลเฟตในวุ้น ส่วนความแข็งของวุ้นจาก *G. tenuistipitata* มีความสัมพันธ์ เชิงลบกับปริมาณซัลเฟตในวุ้น และค่าความโปร่งใสของน้ำ

3) ปริมาณซัลเฟตในวุ้น: ปริมาณซัลเฟตในวุ้นที่สกัดได้จาก *G. fisheri* มีความสัมพันธ์เชิง ลบกับความเป็นกรด-ด่างของน้ำ อัตราการเจริญเติบโตจำเพาะของสาหร่าย ปริมาณวุ้นที่สกัดได้ และความแข็งของวุ้น ส่วนปริมาณซัลเฟตในวุ้นที่สกัดได้จาก *G. tenuistipitata* มีความสัมพันธ์เชิง ลบกับปริมาณไนโตรเจน ปริมาณวุ้น และค่าความแข็งของวุ้น



ตารางที่ 12 สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ ระหว่างปริมาณ วุ้น ความแข็งของวุ้น ปริมาณซัลเฟตในวุ้น ที่ สกัดได้จากอัตราการเจริญเติบโตจำเพาะของ *Gracilaria* spp. และคุณภาพน้ำบริเวณ บ้าน ท่าเสา ระหว่างเดือนเมษายน-กรกฎาคม 2551

	Model	$r^2$	P
<b><i>G. fisheri</i></b>			
Agar Yield	= 36.788-119.335(ammonia)-8.047(sulfate)+0.177(salinity) +0.038(transparency)-111.243(phosphate)	0.980	<0.0001
Gel Strength	= 140.198-22.271(sulfate)+2.427(SGR)-0.273(agar yield)	0.961	<0.0002
Sulfate	= 7.082-0.022(gel strength)-0.394(pH)-0.017(agar yield)-0.077(SGR)	0.979	<0.0005
<b><i>G. tenuistipitata</i></b>			
Agar Yield	= -41.570-3.430(sulfate)+0.283(salinity)+8.471(pH)	0.948	<0.0009
Gel Strength	= 135.362-20.332(sulfate)-0.018(transparency)	0.951	<0.0005
Sulfate	= 4.903-0.031(gel strength)-0.016(agar yield)-11.812(nitrite)	0.968	<0.0004

## บทที่ 4 วิจารณ์

### 4.1 การเจริญเติบโตของ *G.fisheri* และ *G.tenuistipitata* ที่เลี้ยงบริเวณทะเลสาบสงขลาตอนนอก

จากการศึกษาในครั้งนี้ทั้งสาหร่ายพมนางเส้นใหญ่ *G. fisheri* และสาหร่ายพมนางเส้นเล็ก *G. tenuistipitata* ที่ทดลองเลี้ยงชายฝั่งบ้านท่าเสา ในพื้นที่ห่างจากชายฝั่ง 50 , 70, 90 และ 110 m ในระยะเวลา 4 เดือน (เมษายน-กรกฎาคม 2551) เจริญเติบโตได้ไม่ด้นักและได้ผลผลิตค่อนข้างต่ำ *G. tenuistipitata* เจริญเติบโตเฉลี่ย  $0.78 \pm 0.31 - 1.08 \pm 0.35 \% d^{-1}$  มีผลผลิตรวม  $835.65 - 1186.68 g$  ดีกว่า *G. fisheri* ที่มีอัตราเจริญเติบโตเฉลี่ย  $0.70 \pm 0.32 - 0.85 \pm 0.43 \% d^{-1}$  มีผลผลิตรวม  $753.11 - 928.27 g$  (wet wt) โดยทั่วไปอัตราการเจริญเติบโตของ *Gracilaria* spp. ขึ้นอยู่กับปัจจัยแวดล้อมต่างๆที่เปลี่ยนแปลงไปตามฤดูกาลและขึ้นอยู่กับชนิดของสาหร่าย ( Buriyo and Kivaisi, 2003; Chirapart et al., 1994; Friedlander et al., 1987; Friedlander 1991; Kumar et al., 2010; Wong and Chang, 2000) ดังเช่นที่เคยมีในรายงานของ Yongjian และคณะ (2009) พบว่า *G. lichenoides* สามารถเจริญได้ถึง  $16.26 \% d^{-1}$  เมื่อน้ำมีความเค็ม 32.10 ppt มีอุณหภูมิ  $31.30 ^\circ C$  และมีแสง  $287.23 \mu mol m^{-2}.s$  *G. tenuistipitata* สามารถเจริญได้ถึง  $14.83 \% d^{-1}$  เมื่อน้ำมีความเค็ม 21.1 ppt มีอุณหภูมิ  $25.38 ^\circ C$  และมีแสง  $229.07 \mu mol m^{-2}.s$

อัตราการเจริญเติบโตของสาหร่ายทั้งสองชนิดในการทดลองนี้สูงกว่าที่ ระพีพร ( 2536) รายงานจากการเลี้ยง *G. fisheri* และ *G. tenuistipitata* บนเส้นเชือกในบ่อดิน ที่น้ำมีความเค็ม 20-30 ppt ในจังหวัดปัตตานี พบว่า *G. fisheri* มีอัตราการเจริญเติบโต  $0.73 \% d^{-1}$  ส่วน *G. tenuistipitata* มีอัตราการเจริญเติบโตเพียง  $0.20 \% d^{-1}$  แต่ต่ำกว่าที่ จิตติมา (2544) รายงานจากการทดลองเลี้ยงสาหร่ายทั้งสองชนิดในบ่อดินธรรมชาติที่จังหวัดเพชรบุรี ในน้ำความเค็ม 18-30 ppt *G. fisheri* มีอัตราการเจริญเติบโต  $5.40 \pm 2.58 \% d^{-1}$  *G. tenuistipitata* มีอัตราการเจริญเติบโต  $2.18 \pm 1.36 \% d^{-1}$  แต่จากการทดลองทั้งสองพบว่า *G. fisheri* มีอัตราการเจริญเติบโตที่ดีกว่า *G. tenuistipitata* เนื่องจากความเค็มเป็นปัจจัยที่สำคัญมากสำหรับการเจริญของสาหร่ายพมนาง (กาญจนพานิช และคณะ, 2536) ซึ่งช่วงที่ทำการทดลองนั้นความเค็มของน้ำต่ำมากเพียง 4-17 ppt ต่างจากการทดลองจิตติมา แต่ในการทดลองของจิตติมาและระพีพร ความเค็มที่รายงานอยู่ในช่วงเดียวกันและอยู่ในช่วงความเค็มที่สาหร่ายในทั้งสองควรเจริญได้ดี แต่สาหร่ายในการทดลองของระพีพรเจริญได้ดีกว่าจึงเนื่องมาจากสาเหตุอื่นที่นอกเหนือจากความเค็มของน้ำ ผลในส่วนนี้ขัดแย้งกับที่ Capo และคณะ (1999) รายงานจากการเลี้ยง *G. ferox* แบบหนาแน่นในบ่อที่มีความเค็ม 31.0-36.5 ppt ที่ให้ธาตุอาหารเต็มที่นาน 4 ปีต่อเนื่อง ได้ผลผลิตถึง  $21.4 - 59.2 g dw m^{-2} d^{-1}$  โดย Capo และคณะ สรุปว่า

ปริมาณแสง อุณหภูมิ รวมทั้งความเค็มไม่มีอิทธิพลต่อการเจริญของสาหร่ายที่เลี้ยงเมื่อให้ธาตุอาหารเต็มที่ และผลผลิตของสาหร่ายที่เลี้ยงยังเปลี่ยนแปลงตามฤดูกาล

Chirapart and Lewmanomont (2004) เลี้ยง *G. fisheri* และ *G. tenuistipitata* ในปี 1999 ในน้ำที่มีความเค็ม 20-35 ppt อุณหภูมิ 18-35°C ในน้ำจากบ่อเลี้ยงกุ้งที่จังหวัดเพชรบุรี เปรียบเทียบกับในแหล่งน้ำธรรมชาติ พบว่า *G. fisheri* และ *G. tenuistipitata* มีอัตราการเจริญเติบโตในบ่อเลี้ยงกุ้งดีกว่าในแหล่งน้ำธรรมชาติ *G. fisheri* เจริญได้ดีและให้ผลผลิตมากกว่า *G. tenuistipitata* ในทั้งสองแหล่งที่ทดลอง สาหร่ายสองชนิดที่เลี้ยงในบ่อเลี้ยงกุ้งมีอัตราการเจริญเติบโตดีที่สุดในเดือนมกราคม  $3.08 \pm 1.14 \%d^{-1}$  และ  $2.68 \pm 1.76 \%d^{-1}$  และได้ผลผลิตมากที่สุดในช่วงเวลาเดียวกัน 1000 และ 961 กรัม (นน. เปียก) ตามลำดับ *G. fisheri* และ *G. tenuistipitata* ที่เลี้ยงในแหล่งน้ำธรรมชาติ เจริญได้ไม่แตกต่างกันคือ  $1.85 \pm 1.00$  และ  $1.70 \pm 0.49 \%d^{-1}$  ตามลำดับ สาเหตุที่ทำให้สาหร่ายในบ่อเลี้ยงกุ้งมีอัตราการเจริญเติบโตดีกว่าที่เลี้ยงในแหล่งน้ำธรรมชาติ เนื่องจากในบ่อธรรมชาติมีธาตุอาหารต่ำกว่า ปริมาณอาหารที่มีจึงเป็นปัจจัยหลักอีกปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการเจริญของสาหร่ายผสมนาง (Figuerola *et al.*, 2010; Marinho-Soriano *et al.*, 2009; Yu and Yang, 2008)

ในระหว่างการทดลองเลี้ยงสาหร่ายผสมนาง ตลอดแนวชายฝั่งบ้านท่าเสามีการแพร่กระจายของ *G. tenuistipitata* หนาแน่นมากแต่ไม่พบ *G. fisheri* ในบริเวณบ้านท่าเสา ส่วนการแพร่กระจายของ *G. fisheri* พบในพื้นที่ถัดออกไปทางปากทะเลสาบ เช่น ที่บ้านแหลมสน และบ้านหัวเขาแดงที่น้ำมีความเค็มโดยเฉลี่ยสูงกว่า น้ำในบริเวณทะเลสาบสงขลาตอนนอกปกติมีความเค็มสูงกว่าและมีความผันแปรมากกว่าส่วนอื่นๆ ( Emsong, 1998) ความเค็มของน้ำในทะเลสาบสงขลาลดลงตามระยะที่ห่างจากปากทะเลสาบ (ฉัฐพงษ์ และอนุพงษ์, 2552; Tamhi, 2008) ความเค็มโดยเฉลี่ยของน้ำที่บ้านแหลมสนจึงสูงกว่าน้ำที่บ้านท่าเสาอย่างมีนัยสำคัญ เนื่องจากบ้านแหลมสนอยู่ใกล้ปากทะเลสาบมากกว่า น้ำเค็มที่มาจากปากทะเลสาบลดความเค็มลงตามระยะทางที่น้ำไหลเข้ามา (ยงยุทธ และนิคม, 2540) มีรายงานว่าการขุดลอกร่องน้ำที่ปากทะเลสาบทำให้เกิดการรูก้ำของน้ำเค็มเข้าสู่ทะเลสาบมากขึ้น ( Limpadanai, 1977) แต่ความเค็มของน้ำหลังจากลอดผ่านคอสะพานติณสูลานนท์ไปทางบ้านท่าเสาลดลงมาก จากความเค็ม 22-33 ppt เมื่อน้ำลอดผ่านคอสะพานไปแล้วจะเหลือความเค็มเพียง 12-28 ppt (Tamhi, 2008) นอกจากนี้บ้านท่าเสาเป็นชุมชนชายฝั่งที่มีคลองพาน้ำจืดไหลลงสู่บริเวณนี้ นอกเหนือจากการเป็นพื้นที่รับน้ำจืดที่ไหลมาจากต้นทะเลสาบและทะเลสาบตอนใน ทำให้ความเค็มของน้ำที่บริเวณบ้านท่าเสาต่ำลงอีก ความเค็มของน้ำในทะเลสาบสงขลาตอนนอกในระหว่างปี พ.ศ. 2549-2550 เฉพาะในระหว่างเดือนมีนาคมและเมษายนเท่านั้นที่น้ำมีความเค็มสูงเกินกว่า 20 ppt ในช่วงเดือนอื่นๆ ความเค็มของน้ำลดต่ำมาก จนกระทั่งเป็นน้ำจืด (ความเค็มเป็นศูนย์) (ศิริบุญญา , 2550) ดังที่ได้กล่าวมาแล้วว่า ความเค็ม

ของน้ำในบริเวณที่ทำการทดลองอยู่ในระดับที่ค่อนข้างต่ำคือ 4-17 ppt ต่ำกว่าช่วงความเค็มของน้ำที่เลี้ยงสาหร่ายผสมนางที่ระบุในเอกสารอื่น และต่ำกว่าความเค็มในช่วงเวลาเดียวกันเมื่อปี พ.ศ. 2550 (ศิริบุญญา, 2550) เนื่องจากมีปริมาณน้ำจืดจากฝนที่มากกว่าในปี พ.ศ. 2550 ไหลลงสู่ทะเลสาบมากขึ้น (กรมอุตุนิยมวิทยา ; 2552) ความเค็มของน้ำควรเป็นสาเหตุหลักที่ทำให้สาหร่ายทั้งสองชนิดที่เลี้ยงที่บ้านท่าเสาเจริญได้ดีต่ำกว่าที่ปรากฏในรายงานอื่น (กาญจนภาชน์ และคณะ, 2536; จิตติมา, 2544; Chirapart and Lewmanomont, 2004) อย่างไรก็ตามความเค็มของน้ำในทะเลสาบสงขลามีความแตกต่างกันมาก (Bunsom, 2010) และยังคงเกิดการเปลี่ยนแปลงได้ตลอดเวลาขึ้นอยู่กับระยะเวลาซึ่งเกี่ยวข้องกับปริมาณของน้ำทะเลที่สามารถหนุนเข้าเมื่อน้ำขึ้น และปริมาณน้ำท่ารวมกับน้ำฝนที่ไหลลงสู่ทะเลสาบในช่วงเวลาต่างๆ ของปีเป็นหลัก (สำนักงานสิ่งแวดล้อมภาคที่ 16, 2550; กรมอุตุนิยมวิทยา, 2552) การเกิดและการเจริญเติบโตของ *Gracilaria* spp. ชนิดต่างๆ ในพื้นที่ต่างๆ บริเวณทะเลสาบสงขลาตอนนอก จึงยังคงมีการเปลี่ยนแปลงได้ตลอดเวลา เช่นเดียวกัน ในช่วงเวลาเดียวกันกับเมื่อมีการทดลองนี้ในปี (พ.ศ. 2553) ความเค็มของน้ำโดยเฉลี่ยในบริเวณท่าเสาและในพื้นที่ใกล้เคียงมีค่ามากกว่า 20 ppt ติดต่อกันเป็นระยะเวลานาน สาหร่ายผสมนางชนิดที่เจริญบนชายหาดบ้านท่าเสาส่วนมากเปลี่ยนจาก *G. tenuistipitata* เป็น *G. fisheri* เกือบทั้งหมด (ดวงรัตน์, 2553) ความเค็มของน้ำจึงมีอิทธิพลต่อการแพร่กระจายของสาหร่ายสกุลนี้ทั้งสองชนิดนี้มาก

ดังที่รู้จักกันโดยทั่วไปเกี่ยวกับความสัมพันธ์ของความเค็มของน้ำที่มีต่อการเกิดและการแพร่กระจายของสาหร่ายผสมนาง (สุวิวัฒน์, 2534; Trono and Gavino, 1997; Capo *et al.*, 1999) ช่วงความเค็มที่ทำให้สาหร่ายเจริญนั้นแตกต่างกันตามชนิดของสาหร่าย (กาญจนภาชน์ และคณะ, 2536; Rebello *et al.*, 1996; Yokoya *et al.*, 1999) การศึกษาในครั้งนี้ผลจากทดสอบทางสถิติชี้ว่า อัตราการเจริญเติบโตของสาหร่ายทั้ง *G. tenuistipitata* และ *G. fisheri* ที่เลี้ยงในพื้นที่ห่างจากชายฝั่ง 50, 70, 90 และ 110 m มีความแตกต่างทางสถิติแต่ความเค็มของน้ำทุกระยะในเวลาเดียวกันไม่มีความแตกต่างทางสถิติ เนื่องจากการทดลองทำการวัดความเค็มของน้ำในระดับความลึก 30 cm (ความลึกตะกั่วเลี้ยงสาหร่าย) ทุกระยะห่างจากชายฝั่ง ความเค็มของน้ำแตกต่างกันทางสถิติเมื่อระยะเวลาแตกต่างกัน แต่น้ำในทะเลสาบสงขลาในระดับที่มีความลึก 1-4 m ความเค็มของน้ำมีการแบ่งชั้นตามระดับความลึก (สมบุรณ์, 2548; ณัฐพงษ์ และ อนุพงษ์, 2552; Tamhi, 2008) พื้นที่ทดลองที่อยู่ห่างชายฝั่งมากกว่า มีระดับน้ำลึกกว่าในพื้นที่ใกล้ฝั่งเข้ามา พื้นที่เหล่านี้นอกจากจะได้รับอิทธิพลของกระแสน้ำทั้งในระหว่างน้ำขึ้น-ลงแล้ว ยังอยู่ในรัศมีที่มีเรือสัญจรไปมา จึงได้รับอิทธิพลจากคลื่นมากกว่าพื้นที่ใกล้ฝั่ง สาหร่ายที่เลี้ยงในระยะห่างจากชายฝั่งทั้งในระยะ 70, 90 หรือ 110 m ย่อมได้รับอิทธิพลจากความเค็มของน้ำที่มีค่าสูงกว่าจากมวลน้ำด้านล่างที่อยู่ลึกลงไปในเวลา

ที่มีคลื่นแรงได้ ในขณะที่สาหร่ายที่เลี้ยงในโคล์ฝั่งเข้าไปในระยะ 50 หรือ 70 m อาจไม่ได้รับอิทธิพลนี้หรือได้รับเพียงเล็กน้อยแล้วแต่สภาพอากาศและกิจกรรมของชาวประมงบริเวณนั้นที่เกี่ยวข้องกับการหมุนเวียนของน้ำที่เกิดมากกว่า มีคลื่นแรงกว่าตลอดเวลา ที่มีช่วยให้สาหร่ายพมนางเจริญดีกว่า (Ng, 1972; Nelson *et al.*, 2001; Ryder *et al.*, 2004; Wheeler and Neushul, 1981)

อัตราการเจริญเติบโตของสาหร่ายพมนางทั้งสองชนิดมีความสัมพันธ์กับปริมาณสารอาหารทุกชนิด และปริมาณสารอาหารทุกชนิดรวมทั้งคุณสมบัติทางกายภาพทุกองค์ประกอบมีความสัมพันธ์กับระยะเวลาอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง สาหร่ายทั้งสองชนิดมีอัตราการเจริญเติบโตที่ดีที่สุดในเดือนกรกฎาคมซึ่งเป็นระยะที่ในน้ำมีแอมโมเนีย และฟอสเฟตในปริมาณมากกว่าปริมาณที่มีในเดือนอื่นอย่างมีนัยสำคัญ สอดคล้องกับที่มีรายงาน ( Hanisak, 1998; Thomas and Harrison, 1992) ในช่วงที่ทำการทดลอง บริเวณใกล้ๆมีกิจกรรมการเตรียมปลาสดสำหรับการเลี้ยงปลากะพงขาวในพื้นที่ บริเวณนี้มีน้ำที่จากเครื่องบดปลาเปิดที่ให้ปลากะพงขาวเกือบทุกวัน จึงได้รับธาตุอาหารหลัก โดยเฉพาะอย่างยิ่งแอมโมเนียที่เกิดจากการย่อยสลายของเศษเนื้อเยื่อปลาเปิดจากการเลี้ยงปลากะพงขาวโดยตรง น้ำในบริเวณนี้มีปริมาณออกซิเจนละลายอยู่น้อยมาก แต่มีธาตุอาหาร โดยเฉพาะอย่างยิ่งแอมโมเนียละลายอยู่มาก แต่ตลอดเวลาที่ทำการทดลองปริมาณสารอาหารหลักในพื้นที่ทดลองลดลงเมื่อเข้าใกล้แนวชายฝั่งมากขึ้น โดยเฉพาะอย่างยิ่งแอมโมเนีย และฟอสเฟต แสดงให้เห็นว่า ปริมาณสารอาหารหลักที่มีในน้ำได้รับอิทธิพลจากน้ำที่ไหลลงมาจากชุมชนโดยรอบทะเลสาบ โดยเฉพาะอย่างยิ่งส่วนที่มาจากต้นน้ำ เช่น จากคลองต่างๆ ที่อยู่ถัดขึ้นจากท่าเสาขึ้นไป เช่น คลองปากกรอ คลองรัตภูมิ คลองอู่ตะเภา ฯ (สำนักงานสิ่งแวดล้อมภาคที่ 16, 2550) มากกว่าที่ได้รับจากพื้นที่ในบริเวณนั้นโดยตรง ปริมาณฟอสเฟตที่มีในน้ำในระยะที่ทำการทดลองที่บ้านท่าเสาสูงกว่าปริมาณที่ Chirapart and Lewmanomont (2004) พบในน้ำในบ่อเลี้ยงสัตว์น้ำและแหล่งเลี้ยงในบ่อดินธรรมชาติที่เพชรบุรีมาก แต่การเจริญของสาหร่ายพมนางทั้งสองชนิดนี้ต่ำกว่ามาก แสดงให้เห็นว่าสาหร่ายที่เลี้ยงไม่สามารถใช้สารอาหารที่มีอยู่ในน้ำในทะเลสาบสงขลาในปริมาณมากในการเจริญได้มากนัก เนื่องจากน้ำในทะเลสาบสงขลาในช่วงเวลานั้นค่อนข้างขุ่น โดยเฉพาะในระยะที่ใกล้ชายฝั่ง น้ำขุ่นมาก มีตะกอนมากมายมาจากคลองต่างๆ ที่ไหลลงสู่ทะเลสาบสงขลา โดยเฉพาะอย่างยิ่งตะกอนที่ออกมาจากคลองทางอำเภอหาดใหญ่ ตะกอนเหล่านี้ที่ไม่สามารถถูกพัดพาออกสู่ทะเลภายนอกได้ทันเมื่อน้ำลงเช่นที่เคยเป็นมาในอดีต เนื่องจากหลายสาเหตุ เช่น 1) การสร้างท่าเรือน้ำลึกบริเวณปากทะเลสาบพร้อมกับการสร้างเขื่อนกั้นน้ำเค็มในปี พ.ศ. 2532 ทำให้พื้นที่บริเวณปากทะเลสาบเดิมที่เป็นคอขวดอยู่แล้วเพิ่มความยาวอีกเท่าตัว ระยะทางที่น้ำไหลเข้าและออกระหว่างทะเลภายนอก และทะเลสาบสงขลาจึงยาวกว่าเดิม ระยะเวลาการไหลผ่านเข้า-ออกของน้ำระหว่างทะเลสาบและทะเลภายนอกกินเวลานานกว่าเดิม

2) การสร้างคลองระบายน้ำเพื่อป้องกันน้ำท่วมอำเภอหาดใหญ่ที่มีลักษณะเป็นคลองตรงเพื่อทำให้น้ำไหลออกสู่ทะเลสาบเร็วขึ้น น้ำจากคลองที่มีลักษณะตรงเหล่านี้พัดพาตะกอนลงสู่ทะเลสาบมากและเร็วขึ้น 3) การสร้างสะพานติณสูลานนท์เชื่อมเกาะยอเข้ากับแผ่นดินใหญ่ที่เป็นผลมาจากแผนพัฒนาเศรษฐกิจฉบับที่ 5 (สำนักงานคณะกรรมการพัฒนาการเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติ, 2540) มีเสาตอม่อที่สะพานทั้งสองช่วงทุกระยะ 4 เมตร ตอม่อเหล่านี้ชะลอการไหลเข้า-ออก ระหว่างทะเลสาบ-ทะเลภายนอก น้ำจืดที่มาจากคลองต่างๆ ทางชายฝั่งด้านใต้ที่พาเอาของเสียจากชุมชนเมืองในพื้นที่อำเภอหาดใหญ่ รวมทั้งจากบริเวณปากอ่าวที่ปกติพาเอาน้ำทิ้งรวมทั้งขยะและตะกอนจำนวนมากไหลลงรวมกับน้ำจืดลงสู่ทะเลสาบสงขลา คุณภาพน้ำโดยรวมในทะเลสาบสงขลาจึงต่ำลงมาก (สำนักงานสิ่งแวดล้อมภาคที่ 16, 2550; สากล และคณะ, 2549) กลุ่มน้ำทะเลสาบสงขลา 2553) เกิดการเจริญของสาหร่ายขนาดเล็กจำนวนมาก (eutrophication) หลายชนิดในบางพื้นที่เป็นระยะๆ เกิดการตายของปลาที่เลี้ยงในกระชังเกือบทุกปี (กลุ่มน้ำทะเลสาบสงขลา, 2553) น้ำจืดส่วนนี้ส่วนมากไหลเลียบชายฝั่งทางทิศใต้ผ่านร่องน้ำใต้สะพานติณฯ ช่วงที่ 1 เกิดการทับถมของตะกอนเบาจำนวนมากในหลายพื้นที่ใกล้เคียง โดยเฉพาะทางฝั่งทิศใต้ตลอดแนวหลังสะพานช่วงที่ 1 รวมทั้งทางชายฝั่งทิศใต้ของเกาะยอ เกิดพื้นที่ตื้นเขินจากการทับถมของตะกอนเบาเหล่านี้เป็นแนวกว้าง

ปกติสาหร่ายพมนางเจริญเติบโตดีในน้ำที่มีความลึก 30 เซนติเมตร มีความขุ่น 25-35 cm (Wu *et al.*, 1989) บริเวณที่ทดลองระหว่างเดือนเมษายน-กรกฎาคม 2551 น้ำมีความขุ่นตั้งแต่  $20.34 \pm 21.70 - 56.75 \pm 12.16$  cm เฉพาะในเดือนมิถุนายนที่น้ำค่อนข้างใส ที่ชายหาดท่าเสามีการสะสมของตะกอนไม่มากเช่นบริเวณอื่น เช่นใกล้แนวสะพานติณสูลานนท์ช่วงที่ 1 ยกเว้นบริเวณที่มีลักษณะเป็นแอ่ง เป็นหลุม หรือระหว่างแนวหาดกับชายฝั่ง ตะกอนที่ยังคงแขวนลอยอยู่ในน้ำในทะเลสาบสงขลาส่วนนี้ตลอดเวลา อาจช่วยบังแสง (Friedlander and Levy, 1995) แต่ในบางสภาพ เช่น เมื่อความเค็มของน้ำต่ำ ตะกอนทำให้อัตราการหายใจของสาหร่ายลดลง (Bunsom, 2010) ตะกอนที่แขวนลอยอยู่ในน้ำจำนวนมาก จึงมีส่วนทำให้ *Gracilaria* spp. ทั้งสองชนิดที่เลี้ยงเจริญเติบโตได้ไม่ดี (นิสรภรณ์, 2544 ; Parker, 1982) บนที่ล้นของสาหร่ายมีตะกอนมาเกาะค่อนข้างมาก สาหร่ายได้รับแสงจำกัดลง การสังเคราะห์แสงได้ลดน้อยลง (วรภรณ์ และคณะ, 2547; Bunsom, 2010) การเจริญของสาหร่ายพมนางทั้งสองชนิดจึงมีความสัมพันธ์ทางสถิติกับความขุ่นของน้ำ ความแตกต่างของการเจริญเติบโตของสาหร่ายทั้งสองชนิดทางสถิติทั้งอัตราการเจริญเติบโตจำเพาะ และผลผลิตในพื้นที่ห่างจากชายฝั่งมากขึ้น เนื่องจากน้ำในบริเวณห่างจากชายฝั่งขุ่นน้อยกว่าในบริเวณที่ตื้นกว่า สาหร่ายเจริญได้ดีกว่า (นิสรภรณ์, 2544 ; Parker, 1982; Bunsom, 2010) อย่างไรก็ตาม Bunsom (2010) รายงานว่า ในระยะสั้นเฉพาะปริมาณตะกอนในน้ำ

ไม่มีอิทธิพลต่อผลผลิตของสาหร่าย *G. tenuistipitata* ทางสถิติ มีอิทธิพลร่วมระหว่างความเค็ม ปริมาณแสง และปริมาณตะกอนในทางลบต่อปริมาณคลอโรฟิลล์ของสาหร่าย แต่การมีตะกอน ปริมาณมากในระยะยาวมีอิทธิพลในทางลบต่อกระบวนการสังเคราะห์แสง สาหร่ายจึงเจริญได้ต่ำลง

นอกจากนี้ยังพบว่าน้ำในตะกร้าลึก 30 cm ที่เลี้ยง *Garcilaria* spp. ทั้งสองชนิด มีอุณหภูมิของน้ำในระยะ 3 ใน 4 เดือน (ยกเว้นเดือนกรกฎาคม) ค่อนข้างสูงคือเกือบ 30 °C เนื่องจากอุณหภูมิของน้ำมีความสำคัญต่อการเจริญของ *Gracilaria* spp. (Trono and Gavino, 1997; Capo *et al.*, 1999) *G. tikvahiae* มีอัตราการเจริญเติบโตลดลงในระยะที่อุณหภูมิของน้ำสูงเกินกว่า 25 °C อุณหภูมิของน้ำที่สูงเกินจะทำให้ทำงานของเอ็นไซม์ที่ควบคุมกระบวนการสังเคราะห์แสงในช่วงที่ไม่ใช่แสงถูกจำกัด (Hanisak, 1987) ดังที่พบในแพลงค์ตอนพืชทั้งที่อยู่ในทะเล (Eppley, 1972) และในการเลี้ยงในบ่อกลางแจ้ง (Goldman, 1979) ทำให้การเลี้ยงสาหร่ายในการทดลองนี้ในเดือนกรกฎาคม เมื่อน้ำมีอุณหภูมิเฉลี่ยต่ำกว่าคือ 27.5 °C สาหร่ายเจริญเติบโตได้ดีกว่าในเดือนอื่นๆ ที่เหลือ

การเลี้ยงสาหร่ายที่บ้านท่าเสา มีสาหร่ายสีเขียว และหนอนท่อมมาเกาะอยู่บนสาหร่ายพอสมควร การเลี้ยงสาหร่าย *Gracilaria* spp. มักพบปัญหาการมี Epiphytes มาเกาะบนพัลลัสของสาหร่าย ทำให้สาหร่ายเจริญเติบโตลดลง (จิตติมา , 2544; Friedlander, 1991; Friedlander and Ben-Amotz, 1991; Hanisak, 1987) พิชัย (2549) รายงานว่ามีสาหร่ายสีเขียวที่เป็น Epiphyte พวก Enteromorpha เกาะบนพัลลัสของสาหร่าย ที่เลี้ยงในบ่อซีเมนต์ จังหวัดสมุทรสงคราม

#### 4.2 คุณค่าทางโภชนาการของ *G. fisheri* และ *G. tenuistipitata*

สาหร่ายทั้งสองชนิดที่นำมาจากปัตตานี และที่เลี้ยงได้ที่ทะเลสาบสงขลา ยังคงมีปริมาณสารอาหารใกล้เคียงกัน สำหรับสาหร่ายที่ได้จากการเลี้ยงปริมาณโปรตีน ไขมันของทั้ง *G. fisheri* และ *G. tenuistipitata* ไม่แตกต่างกันนัก *G. fisheri* มีปริมาณโปรตีนต่ำกว่า *G. tenuistipitata* แต่ไขมันสูงกว่าเล็กน้อย ใกล้เคียงกับผลจากการศึกษาของ บุญเรือง และสมยศ ( 2540) ที่เก็บ *Gracilaria* spp. จากทะเลสาบสงขลาที่รายงานว่าสาหร่ายผสมนางมีโปรตีน 8.90 ไขมัน 0.34 และคาร์โบไฮเดรต 55.94 %DW สุรภีร์ และคณะ ( 2543) รายงานจากการศึกษาคุณค่าทางโภชนาการของ *G. fisheri* ที่เก็บจากทะเลสาบสงขลาแห่งนี้ว่ามีโปรตีน 10.5 ไขมัน 0.79 และคาร์โบไฮเดรต 62.78 %DW Norziah and Chio (2000) รายงานจากการศึกษาคุณค่าทางโภชนาการของ *G. changii* มีโปรตีน 6.9 ไขมัน 3.3 เยื่อใย 24.7 และเถ้า 22.7 %DW Hong และคณะ (2007) กล่าวว่า *G. tenuistipitata* มีโปรตีน 6.9 ไขมัน 1.0 คาร์โบไฮเดรต 70.5 เยื่อใย 11.2 และเถ้า 26.5 %DW ส่วนประกอบเหล่านี้ อาจแตกต่างกันไปตามชนิดของสาหร่ายและสภาพแวดล้อมที่สาหร่ายอาศัยอยู่

เมื่อในน้ำมีปริมาณธาตุอาหารสูง ปริมาณโปรตีนของสาหร่ายจะมีปริมาณสูง ในภาวะเช่นนี้ปริมาณคาร์โบไฮเดรตจำมีค่าต่ำลง Brid (1982) รายงานไว้ว่า ไนโตรเจนส่วนใหญ่ของ *G. tikvahiae* สะสมอยู่ในรูปโปรตีน และ DNA พบสารอินทรีย์ในปริมาณน้อยที่อยู่ในรูปของแอมโมเนีย และไนเตรท phycoerythrin เป็นแหล่งสำรองไนโตรเจนในยามขาดแคลน ปริมาณไนโตรเจนที่มีเป็นปฏิภาค ผกผันกับคาร์โบไฮเดรต เนื่องจากกระบวนการสร้างคาร์โบไฮเดรตขึ้นอยู่กับปริมาณคาร์บอนที่มีเป็นสำคัญ (Jesus *et al.*, 1999) นอกจากนี้ปริมาณก็ยังมีความสัมพันธ์เชิงลบกับปริมาณคาร์โบไฮเดรตด้วยเช่นกัน (ระพีพร, 2552)

#### 4.3 ปริมาณและคุณภาพของวุ้นของ *G. fisheri* และ *G. tenuistipitata*

สภาวะที่เหมาะสมต่อการสกัดวุ้นจาก *G. fisheri* และ *G. tenuistipitata* ที่ศึกษาในครั้งนี้ คือ แซ่สาหร่ายแห้งก่อนการสกัดวุ้นในสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 5 N โดย *G. fisheri* แซ่ที่อุณหภูมิ 80 °C *G. tenuistipitata* แซ่ที่อุณหภูมิ 60 °C นาน 12 ชั่วโมง และใช้เวลาสกัด 60 นาที เท่ากัน *G. fisheri* ให้วุ้น 24.65±1.81 % ความแข็ง 111.46±2.35 g cm<sup>-2</sup> *G. tenuistipitata* ให้วุ้น 26.65±1.75 % ความแข็ง 122.31±1.86 g cm<sup>-2</sup> การปรับปรุงวิธีการสกัดวุ้นทำให้ได้วุ้นปริมาณมากกว่าและคุณภาพดีกว่า เพราะวิธีการในการสกัดวุ้นถือเป็นปัจจัยหนึ่งที่ส่งผลต่อปริมาณและคุณภาพวุ้น (Freile-Pelegrin and Robledo, 1997; Lemus *et al.*, 1991) บุญเรือง และสมยศ (2540) สกัดวุ้นจาก *Gracilaria* spp. ที่เก็บได้จากทะเลสาบสงขลา ที่ผ่านการแช่สาหร่ายแห้งก่อนการสกัดวุ้นในสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 4 N ที่อุณหภูมิ 90°C นาน 2 ชั่วโมง และใช้เวลาสกัด 1 ชั่วโมง ได้วุ้นปริมาณต่ำกว่า และมีความแข็งต่ำกว่าคือสกัดวุ้นได้ 9.02 % วุ้นความแข็ง 100.9 g cm<sup>-2</sup> Freile-Pelegrin และ Murano (2005) สกัดวุ้นจาก *G. cervicornis*, *G. blodgettii* และ *G. crassissima* สกัดโดยใช้ความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 0, 3, 5 และ 7 % พบว่าสาหร่ายทุกชนิดมีปริมาณน้อยลงเมื่อเพิ่มความเข้มข้นของสารละลาย จึงเห็นได้ว่าความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ใช้แช่สาหร่ายก่อนการสกัด ระยะเวลาในการแช่สารละลาย และอุณหภูมิในการแช่สารละลาย ถ้ามักเกินไปจะส่งผลทำให้ได้วุ้นปริมาณน้อยลง และความแข็งก็จะมีค่าต่ำลงด้วยเช่นกัน เนื่องจากต่างจะใช้เวลาช่วงหนึ่งที่เหมาะสมเพื่อให้เกิดการตกตะกอนของหมู่ซัลเฟต และจะเกิด 3,6 anhydro-galactose ซึ่งทำให้ค่าความแข็งของวุ้นสูงขึ้น แต่ถ้านานเกินไปสารละลายจะเข้าไปทำลายโครงสร้าง 3,6 anhydro-galactose อนุมูลของโซเดียมทำให้ค่าความแข็งของวุ้นลดต่ำลงและเปอร์เซ็นต์วุ้นที่ได้ลดลงเช่นกัน (ชนรรชน, 2537)

*G. fisheri* และ *G. tenuistipitata* ที่เลี้ยงตั้งแต่เดือนเมษายน-กรกฎาคม เมื่อนำมาสกัดวุ้นพบว่าเดือนที่สาหร่ายมีปริมาณวุ้นมากที่สุดคือ เดือนพฤษภาคม *G. fisheri* และ *G. tenuistipitata*



มีปริมาณวุ้น 26.10-26.42, 28.04-28.64 % ความแข็ง 115.11-115.64 และ 125.03-125.53 g cm<sup>-2</sup> ตามลำดับ และการเลี้ยงสาหร่ายที่ห่างจากฝั่งมากที่สุดจะให้ปริมาณวุ้นมากที่สุด ในสาหร่ายชนิดเดียวกันสาหร่ายที่สกัดได้มีค่าสูงกว่า Bunsom (2010) ที่สกัดได้ 24.80 % แต่มีค่าน้อยกว่า จิตติมา (2544) สกัดวุ้นจาก *G.fisheri* และ *G.tenuistipitata* ได้ปริมาณวุ้น 34.66-44.13, 34.16-35.41 % ตามลำดับ และ Chirapart และคณะ (2006) สกัดวุ้นจาก *G. fisheri* และ *G. tenuistipitata* ที่เลี้ยงในบ่อดินธรรมชาติ และที่เลี้ยงจากบ่อเลี้ยงกุ้ง ที่จังหวัดเพชรบุรี ได้วุ้น 40.07-43.48, 35.75-39.28 % ความแข็ง 623-658.6, 565.8-611 g cm<sup>-2</sup> ตามลำดับ แต่วุ้นที่ได้สาหร่ายทั้งสองชนิดมีค่าค่อนข้างต่ำกว่าสาหร่ายชนิดอื่น เช่น *G. salicornia* ให้วุ้น 22.6-30.2 % (Buriyo and Kivaisi, 2003) *G. dura* ให้วุ้น 34 % (Marinho-Soriano and Bourret, 2005) และ *G.edulis* ให้ปริมาณวุ้น 25.19-29.70 % (มารินี, 2550) ปริมาณวุ้นที่มีจึงขึ้นอยู่กับชนิดของสาหร่าย สภาพแวดล้อม ฤดูกาล อัตราการเจริญเติบโตของสาหร่าย และระยะการเจริญเติบโตของสาหร่าย (Chirapart and Ohno, 1993; Givernaud *et al.*, 1999; Marinho-Soriano *et al.*, 2001; Marinho-Soriano and Bourret, 2003; Meena *et al.*, 2007; Pondevida and Hurtado-Ponce, 1996) รวมทั้งกระบวนการที่ใช้ในการสกัด

วุ้นที่สกัดได้จาก *G. fisheri* และ *G. tenuistipitata* มีปริมาณสูงเมื่อสาหร่ายอัตราการเจริญเติบโตลดลง สอดคล้องกับผลการรายงานของ จิตติมา ( 2544) เช่นเดียวกับการศึกษาใน *G. salicornia* บริเวณชายฝั่งประเทศเทนซาเนีย เมื่อสาหร่ายมีปริมาณมวลชีวภาพสูง ( 59.8 g/m<sup>2</sup>) จะมีปริมาณวุ้นต่ำ ( 22.6 %) และเมื่อที่สาหร่ายมีมวลชีวภาพต่ำ ( 21 g/m<sup>2</sup>) จะมีปริมาณวุ้นกลับเพิ่มขึ้น (30.2 %) (Buriyo and Kivaisi, 2003) แต่ Givernaud และคณะ (1999) รายงานว่าปริมาณวุ้นของ *G. multipartita* ที่มีค่าสูงสุด 30 % ลดลงในช่วงที่สาหร่ายมีอัตราการเจริญเติบโตลดลง

ในช่วงเวลาที่สกัดวุ้นได้มาก มีปริมาณสารอาหารในน้ำน้อยลง ตรงกับ Bird และคณะ (1981) รายงาน การเพิ่มสารอาหารในโตรเจนในระบบการเลี้ยงจะทำให้อัตราการเจริญเติบโตเพิ่มขึ้นแต่ปริมาณวุ้นลดลง ผลส่วนนี้ตรงข้ามกับผลที่ Marinho-Soriano *et al.*, (2006) รายงานว่าปริมาณวุ้นจาก *G.gracilis* มีความสัมพันธ์เชิงบวกกับปริมาณ DIN (Dissolved Inorganic Nitrogen) เช่นเดียวกับการศึกษาของ Chirapart และคณะ (2006) ที่พบว่าปริมาณวุ้นของ *G. fisheri* และ *G. tenuistipitata* มีความสัมพันธ์เชิงบวกกับปริมาณ DIN ในน้ำ

ปริมาณวุ้นมีค่าสูงเมื่อความเค็มในน้ำมีแนวโน้มสูงขึ้น ซึ่งมีความสัมพันธ์กับความขุ่นของน้ำด้วย (Bunsom, 2010) เนื่องจากความเค็มมีผลต่อกระบวนการออสโมซิส ( Lobban and Harison, 1994) เมื่อความเค็มเพิ่มขึ้นสาหร่ายต้องใช้พลังงานส่วนหนึ่งที่ได้จากกระบวนการสังเคราะห์แสงไปใช้ในการป้องกันการสูญเสียน้ำออกนอกเซลล์แทนการใช้เพื่อการเจริญเติบโต

ทำให้สาหร่ายมีอัตราการเจริญเติบโตลดลง ในขณะที่เดียวกันสาหร่ายอาจมีกลไกที่ทำให้ผนังเซลล์แข็งแรงขึ้น อันอาจเนื่องมาจากแรงดันที่เกิดจากความแตกต่างกันของความเข้มข้นภายในเซลล์และสภาพแวดล้อม (มารินี, 2550) *G. tenuistipitata* ให้วุ้นได้มากที่สุด  $24.80 \pm 2.96$  % เมื่อเลี้ยงในน้ำใส มีแสง  $1000 \text{ umolm}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$  ได้วุ้นเพียง  $4.00 \pm 0.60$  % เมื่อเลี้ยงในที่มืดก่อน ความเค็ม ปริมาณแสง และปริมาณตะกอนมีอิทธิพลทั้งจากแต่ละปัจจัย และมีอิทธิพลร่วมต่อปริมาณวุ้นทางสถิติ ปริมาณวุ้นมีความสัมพันธ์ทางสถิติกับความเค็มในทางบวก แต่กับปริมาณแสง และตะกอนในทางลบ (Bunsom, 2010)

ความแข็งของวุ้นจาก *G. fisheri* และ *G. tenuistipitata* ที่ได้จากสาหร่ายที่เก็บเกี่ยวในแต่ละเดือนแตกต่างกันทางสถิติ วุ้นที่ได้จากสาหร่ายทั้งสองชนิดที่เก็บเกี่ยวในเดือนพฤษภาคมมีความแข็งมากที่สุด *G. tenuistipitata* มีความแข็ง  $125.03-125.53 \text{ g cm}^{-2}$  *G. fisheri* มีความแข็ง  $115.11-115.64 \text{ g cm}^{-2}$  การเปลี่ยนแปลงของระยะเวลาที่สาหร่ายเจริญอยู่หรือฤดูกาลจึงมีผลต่อค่าความแข็งของวุ้นอย่างมีนัยสำคัญ เช่นเดียวกับที่พบใน *G. eucheumatoides* (Villanueva et al., 1999) แต่มารินี (2550) ศึกษาใน *G. edulis* รายงานว่าทุกคุณสมบัติทางกายภาพในแต่ละช่วงฤดูกาลไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ความแข็งของวุ้นมีค่าต่ำสุดช่วงปลายฤดูฝน  $92.64 \pm 16.37 \text{ g cm}^{-2}$  และมีค่าเฉลี่ยสูงสุด  $116.08 \pm 34.51 \text{ g cm}^{-2}$  ในช่วงฤดูฝนปี

ความแข็งของวุ้นมีความสัมพันธ์เชิงลบกับปริมาณวุ้น เช่นเดียวกับ มารินี ( 2550) รายงานว่าค่าความแข็งของวุ้นจาก *G. edulis* มีค่าสูงที่สุด  $114.30 \pm 58.79 \text{ g cm}^{-2}$  ในช่วงเดียวกันกับที่ปริมาณวุ้นมีค่าเฉลี่ยสูงสุด  $29.90 \pm 3.33$  % Li และคณะ (2008) สกัดวุ้นจาก *G. lemaneiformis* ให้วุ้น 25.8 % ที่มีความแข็ง  $2042 \text{ g cm}^{-2}$  ในขณะที่วุ้นที่มีความแข็ง  $1940 \text{ g cm}^{-2}$  ให้วุ้นเพียง 23.8 % ค่าความแข็งของวุ้นยังมีความสัมพันธ์ในเชิงลบกับปริมาณซัลเฟต ( Li et al., 2008; Praiboon, 2008; Praiboon et al., 2006; Sousa et al., 2010)

## บทที่ 5

### สรุป

*G. fisheri* และ *G. tenuistipitata* นำหนัก 225 g/repl ที่เลี้ยงในตะกร้าขนาด 30x50x30 cm<sup>3</sup> ที่บ้านท่าเสา บริเวณทะเลสาบสงขลาตอนนอก ห่างจากชายฝั่ง 50 70 90 และ 110 m ในระหว่างเดือนเมษายน-กรกฎาคมพ.ศ. 2551 ได้ผลสรุปดังนี้

#### 5.1 การเจริญเติบโต และผลผลิตของ *G. fisheri* และ *G. tenuistipitata*

อัตราการเจริญเติบโตจำเพาะและผลผลิตของ *Gracilaria* spp. ที่เลี้ยงบริเวณทะเลสาบสงขลาตอนนอกแตกต่างกันทางสถิติ ขึ้นอยู่กับชนิดของสาหร่าย (species), ระยะห่างจากชายฝั่ง และเดือนที่เลี้ยง ( $p < 0.01$ ) ชนิดของสาหร่ายและเดือนที่เลี้ยงสาหร่าย มีอิทธิพลร่วมที่ทำให้สาหร่ายทั้งสองชนิดมีอัตราการเจริญเติบโตและผลผลิตแตกต่างกันทางสถิติ ( $p < 0.05$ )

#### 5.2 คุณภาพน้ำระหว่างการเลี้ยง *G. fisheri* และ *G. tenuistipitata*

อัตราการเจริญเติบโตของ *Gracilaria* spp. มีความสัมพันธ์ทางสถิติในเชิงบวกกับความเค็มของน้ำ และปริมาณสารอาหารที่มีในน้ำทุกชนิด ( $p < 0.001$ ) แต่มีความสัมพันธ์เชิงลบกับค่าความโปร่งใส อุณหภูมิ และความเป็นกรด-ด่างของน้ำ ( $p < 0.001$ )

#### 5.3 องค์ประกอบทางโภชนาการของ *G. fisheri* และ *G. tenuistipitata*

คุณค่าทางโภชนาการของสาหร่ายทั้งสองชนิดแตกต่างกันตามชนิด (species) และเดือนที่เลี้ยง ( $p < 0.001$ ) *G. fisheri* มีโปรตีน คาร์โบไฮเดรต และเถ้าปริมาณต่ำกว่า *G. tenuistipitata* แต่มีไขมัน ความชื้น และเยื่อใยปริมาณสูงกว่า ( $p < 0.001$ )

#### 5.4 สภาพะสำหรับการสกัดวุ้น ปริมาณวุ้น และคุณภาพวุ้นของ *G. fisheri* และ *G. tenuistipitata*

การสกัดวุ้นจากสาหร่ายทั้งสองชนิดมีประสิทธิภาพดีที่สุดเมื่อ แช่สาหร่ายแห้ง ในสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 5 N นาน 12 ชั่วโมง *G. fisheri* แช่ที่อุณหภูมิ 80°C *G. tenuistipitata* แช่ที่อุณหภูมิ 60°C และใช้เวลาในการสกัดวุ้นจากสาหร่ายทั้งสองชนิดนาน 60 นาที เท่ากัน

ปริมาณวุ้นที่สกัดได้จากสาหร่ายทั้งสองชนิดมีความสัมพันธ์เชิงบวกกับความเค็มของน้ำ ( $p < 0.001$ ) ปริมาณวุ้น และคุณภาพวุ้นที่ได้จาก *G. fisheri* และ *G. tenuistipitata* แตกต่างกันตาม

เดือนที่เลี้ยงทางสถิติ ( $p < 0.001$ ) *G. fisheri* ให้วุ้นปริมาณน้อยกว่า และวุ้นที่ได้มีคุณภาพต่ำกว่า *G. tenuistipitata* อย่างมีนัยสำคัญยิ่ง ( $p < 0.001$ ) ความแข็งของวุ้นที่ได้จากสาหร่ายทั้งสองชนิดมีความสัมพันธ์เชิงลบกับปริมาณซัลเฟต ( $p < 0.001$ ) เฉพาะความแข็งของวุ้นจาก *G. fisheri* มีความสัมพันธ์เชิงบวกกับอัตราการเจริญเติบโตจำเพาะ ( $p < 0.001$ ) แต่มีความสัมพันธ์เชิงลบกับปริมาณวุ้น ( $p < 0.001$ )

## เอกสารอ้างอิง

- กรมศุลกากร. 2550. สถิติการนำเข้า-ส่งออก. เข้าถึงได้จาก <http://www.customs.go.th> [เข้าถึงเมื่อ 1 มกราคม 2550].
- กรมอุตุนิยมวิทยา. 2552. สำนักงานทรัพยากรน้ำภาค 8 กรมทรัพยากรน้ำ กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม. เข้าถึงได้จาก <http://www.sbasin.net> [เข้าถึงเมื่อ 12 ธันวาคม 2552].
- กัลยา วานิชย์บัญชา. 2548. การวิเคราะห์สถิติขั้นสูงด้วย SPSS for windows. กรุงเทพฯ: ชรรรมสาร.
- กาญจนภรณ์ ลีวมโนมนต์. 2527. สาหร่าย. กรุงเทพฯ : คณะประมง มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตบางเขน.
- กาญจนภรณ์ ลีวมโนมนต์. 2538. การศึกษาชนิดและแหล่งของสาหร่ายวุ้นในอ่าวไทย. กรุงเทพฯ : ภาควิชาวิทยาศาสตร์การประมง คณะประมง มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตบางเขน.
- กาญจนภรณ์ ลีวมโนมนต์. 2548. บริโภคสาหร่ายได้ประโยชน์อะไร. จุลสารชมรมคณะปฏิบัติงานวิทยาการ อพ.สธ. 1(2): 1-2.
- กาญจนภรณ์ ลีวมโนมนต์ สุจินต์ดีแท้อุดม สิทธิ ภูประเสริฐ ปิยพงศ์ โชติพันธ์ ลิขิต ชูชิต และ ประเมษฐ์ พลอยประดับ. 2536. การคัดเลือกชนิดของสาหร่ายวุ้นเพื่อการเพาะเลี้ยง. กรุงเทพฯ: คณะประมง มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตบางเขน.
- เกรียงไกร แก้วสุรลิขิต. 2537. การใช้สาหร่าย *Gracilaria fisheri* ช่วยลดปริมาณแอมโมเนียในไนโตรเจนในเตรท และฟอสเฟต ในน้ำทิ้งจากการเลี้ยงกุ้งกุลาดำ. วิทยานิพนธ์ วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- คมนัส ศิลปาจารย์ คมคาย ลาวัณยวุฒิ รัชดาภรณ์ เอี่ยมสำอางค์ และอุไร เจียรนัย. 2548. การทดลองหาระดับไนโตรเจนและฟอสฟอรัสที่เหมาะสมในการเลี้ยงสาหร่ายผสมนาง *Gracilaria fisheri* (Xia & Abbott) Abbott, Zhang & Xia โดยวิธี non-linear regression analysis. เอกสารวิชาการฉบับที่33/2548. ศูนย์วิจัยและพัฒนาประมงชายฝั่งประจวบคีรีขันธ์ กรมประมง.
- โครงการการจัดการทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อมลุ่มน้ำทะเลสาบสงขลา. 2542. การวิเคราะห์สภาพปัญหาทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อมลุ่มน้ำทะเลสาบสงขลา. กรุงเทพฯ : กระทรวงวิทยาศาสตร์เทคโนโลยี และสิ่งแวดล้อม.

- จิตติมา หมั่นกิจ. 2544. การเจริญเติบโตและปริมาณวุ้นของสาหร่ายทะเลสกุลกราซีลาเรีย , *Gracilaria fisheri* (Xia et Abbott) Abbott, Zhang et Xia และ *G. tenuistipitata* var. liui Chang et Xia ที่เลี้ยงในสภาพบ่อธรรมชาติ . วิทยานิพนธ์ วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- ณัฐพงศ์ สูงแก้ว และอนุพงษ์ รัตตโน. 2552. คุณสมบัติทางกายภาพของดินและน้ำที่มีอิทธิพลต่อการแพร่กระจายของสาหร่ายผสมนางที่ทะเลสาบสงขลาตอนนอก. ปัญหาพิเศษ ภาควิชาวาริชศาสตร์ คณะทรัพยากรธรรมชาติ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.
- ชนรรชน ยศราวชรกุล. 2537. การพัฒนากระบวนการผลิตวุ้นสำหรับเลี้ยงแบคทีเรียจากสาหร่ายสกุลกราซีลาเรีย. วิทยานิพนธ์ วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.
- นิคม ละอองมณี ภาสกร ถมพลกรัง ลักษณะ ละอองมณี และทองเพชร สันนุกา. 2547. ยูโทรฟิเคชัน: ผลกระทบต่อการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำและการประมงในทะเลสาบสงขลา. สงขลา : สถาบันวิจัยการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำชายฝั่งจังหวัดสงขลา.
- นิตราภรณ์ ภักดีพันธ์. 2544. การเจริญเติบโตและคุณค่าทางอาหารของสาหร่ายพวงองุ่น, *Caulerpa lentillifera*. วิทยานิพนธ์ วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- นุกูล อินทรสังขา. 2536. การศึกษาผลกระทบของการขยายชุมชนและโรงงานอุตสาหกรรมต่อสภาพแวดล้อมทางน้ำในทะเลสาบสงขลา. สงขลา : คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ สงขลา.
- บุญเรือง กิริวรรณ และสมยศ นาวาสมุทร. 2540. การผลิตวุ้นและผลิตภัณฑ์จากสาหร่ายผสมนาง. ปัญหาพิเศษ คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.
- ประมุข เพ็ญสุด. 2525. การศึกษาวุ้นและองค์ประกอบอย่างอื่นในสาหร่ายทะเลสกุลกราซีลาเรีย. วิทยานิพนธ์ วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- พิชัย อ่อนจันทร์. 2549. ผลกระทบของระบบการเลี้ยงสาหร่ายทะเลร่วมกับปลากระพงขาว ที่มีต่อการเจริญเติบโตของสาหร่ายวุ้น *Gracilaria fisheri* (Xia & Abbott) Abbott, Zhang & Xia. วิทยานิพนธ์ วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- เพราพรณ แสงสกุล. 2529. การเปลี่ยนแปลงตามฤดูกาลของฟอสฟอรัสที่สิ่งมีชีวิตนำไปใช้ได้ ในทะเลสาบสงขลา. วิทยานิพนธ์ วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- ไพศาล เหล่าสุวรรณ. 2547. สถิติ: แผนการทดลองและการวิเคราะห์. นครราชสีมา : สาขาเทคโนโลยีการผลิตพืช สำนักวิชาเทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี.
- ไพโรจน์ สิริมนตาภรณ์ สุชาติ วิเชียรสรรค์ และสุจิตรา กระบวนรัตน์. 2520. การศึกษาคุณสมบัติของน้ำในทะเลสาบสงขลา. กรุงเทพฯ: กรมประมง.

- ไพโรจน์ สิริมนตาภรณ์ ไพบัญญ์ แซ่จู้ สิริ ทุกษ์วินาศ และเพิ่มศักดิ์ เฟิงมาก. 2528. การสำรวจผล  
เก็บเกี่ยวของสัตว์น้ำและคุณภาพน้ำในทะเลสาบสงขลา. เอกสารวิชาการฉบับที่ 34/2528  
สถาบันวิจัยการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำชายฝั่ง จังหวัดสงขลา, กรมประมง.
- มารินี คำแก้ว. 2550. การผันแปรตามฤดูกาลในการเจริญเติบโตและคุณสมบัติด้านทางกายภาพของ  
สาหร่าย *Gracilaria edulis* (Gmelin) Silva ในบ่อเก็บกักน้ำทะเล บริเวณบ้านอ่างศิลา  
จังหวัดชลบุรี. วิทยานิพนธ์ วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- ยงยุทธ โอสดสภา. 2543. ธาตุอาหารพืช. กรุงเทพฯ: คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- ยงยุทธ ปรีดาลัมพะบุตร และนิคม ละอองศิริวงศ์. 2540. การเปลี่ยนแปลงและความสัมพันธ์ระหว่าง  
คุณภาพน้ำกับแพลงก์ตอนพืชในทะเลสาบสงขลา. เอกสารวิชาการฉบับที่ 4/2540.  
สถาบันวิจัยการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำชายฝั่ง จังหวัดสงขลา, กรมประมง.
- ยนต์ มุสิก. 2531. กำลังผลิตทางชีวภาพในบ่อปลา กรุงเทพฯ คณะประมง มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- ยุวดี พิรพลพิศาส. 2546. สาหร่ายวิทยา. เชียงใหม่ : คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่  
เชียงใหม่.
- ระพีพร เรืองช่วย. 2536. การเลี้ยง *Gracilaria tenuistipitata* Chang & Xia และ *G. fisheri* (Xia &  
Abbott) Abbott, Zhang & Xia ในบ่อโดยใช้เส้นเชือก. ปัตตานี : คณะวิทยาศาสตร์และ  
เทคโนโลยี มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตปัตตานี.
- ระพีพร เรืองช่วย. 2537 . ความชุกชุมและวงจรสืบพันธุ์ของสาหร่ายวุ้น 2 ชนิด ในอ่าวปัตตานี.  
ปัตตานี : คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขต  
ปัตตานี.
- ระพีพร เรืองช่วย. 2552 . สาหร่ายวุ้นกราซิลารีเรีย : เทคนิคการเพาะเลี้ยงที่มีประสิทธิภาพ. ปัตตานี :  
คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตปัตตานี.
- เริงชัย ต้นสกุล. 2536. ผลกระทบสิ่งแวดล้อมจากการสร้างเขื่อนกั้นน้ำเค็มทะเลสาบสงขลา ตอนที่1:  
ทะเลสาบสงขลา. รายงานการสัมมนาเรื่องเขื่อนกั้นน้ำเค็มทะเลสาบสงขลา. กองทัพอากาศที่  
ศูนย์อำนวยการบริหาร จังหวัดชายแดนภาคใต้ และมหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์  
ณ โรงแรมบีพีแกรนด์ทาวเวอร์ อ.หาดใหญ่ จ.สงขลา 21 มกราคม 2535 หน้า 92-94.
- ลุ่มน้ำทะเลสาบสงขลา. 2553. คณะกรรมการสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์. เข้าถึงได้  
จาก <http://www.songkhlalake.com> [เข้าถึงเมื่อ 1 มกราคม 2553].
- วารภรณ์ แก้วไทย วัลลภ ทิมดี อารณีย์ เทพพานิช และอุทัย รัตนอุบล. 2547. การทดลองเลี้ยง  
สาหร่ายผสมนาง (*Gracilaria fisheri*), สาหร่ายพริกไทย (*Caulerpa lentillifera*) และ

- สาหร่ายมงกุฎหนาม (*Acanthophora spicifera*) ในบ่อดิน. เอกสารวิชาการฉบับที่ 23/2547. ศูนย์วิจัยและพัฒนาประมงชายฝั่งสุราษฎร์ธานี, กรมประมง.
- วลัย วราโห. 2525. การสกัดวุ้นจากสาหร่ายทะเลสกุลกราซิลารีเย. วิทยานิพนธ์ วิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาวชิราวุธ.
- วิวรรณ สิงห์ทวีศักดิ์. 2543. ผลของปุ๋ยเคมีต่อการเจริญเติบโตของต้นอ่อนสาหร่ายผสมนาง, *Gracilaria fisheri* (Xia & Abbott) Abbott, Zhang & Xia., เอกสารวิชาการฉบับที่ 10/2543. ศูนย์พัฒนาการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำชายฝั่งจันทบุรี, กรมประมง.
- วิวรรณ สิงห์ทวีศักดิ์ และทรงสิทธิ์ ลิ้มสกุล. 2543. การเลี้ยงสาหร่ายผสมนาง *Gracilaria fisheri* (Xia & Abbott) Abbott, Zhang & Xia, ร่วมกับปลากะพงขาว, *Lates Calcarifer* Blach, ในดิน. เอกสารวิชาการฉบับที่ 14/2543. ศูนย์พัฒนาการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำชายฝั่งจันทบุรี, กรมประมง.
- วิวรรณ สิงห์ทวีศักดิ์ บุญส่ง สิริกุล และอรุณ มีกิริยา. 2538. การเลี้ยงสาหร่ายผสมนาง, *Gracilaria fisheri* (Xia & Abbott) Abbott, Zhang & Xia, แบบผลผลิตสูงในบ่อดิน. เอกสารวิชาการฉบับที่ 58/2538. ศูนย์พัฒนาการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำชายฝั่งจันทบุรี, กรมประมง.
- ศิริกัญญา นามระลึก. 2550. ชนิดและการแพร่กระจายของสาหร่ายสกุลกราซิลารีเยในทะเลสาบสงขลาตอนนอก ปี พ.ศ. 2550. ปัญหาพิเศษ ภาควิชาวาริชศาสตร์ คณะทรัพยากรธรรมชาติ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.
- ศูนย์วิจัยทรัพยากรทางทะเล และชายฝั่งอ่าวไทยตอนล่าง. 2550 ก. คู่มือภาพจำแนกชนิดพืชและสัตว์น้ำที่สำคัญในทะเลสาบสงขลา และพื้นที่ใกล้เคียง. สงขลา: แอปเปิ้ลฮาร์ด.
- ศูนย์วิจัยทรัพยากรทางทะเล และชายฝั่งอ่าวไทยตอนล่าง. 2550 ข. สถานภาพทรัพยากรและคู่มือปฏิบัติการ การศึกษาระบบนิเวศทะเลสาบสงขลาและพื้นที่ใกล้เคียง: ระบบนิเวศพื้นที่ชุ่มน้ำ. สงขลา: แอปเปิ้ลฮาร์ด.
- ศูนย์วิจัยทรัพยากรทางทะเล และชายฝั่งอ่าวไทยตอนล่าง. 2550 ค. สถานภาพทรัพยากรและคู่มือปฏิบัติการ การศึกษาระบบนิเวศทะเลสาบสงขลาและพื้นที่ใกล้เคียง : ระบบนิเวศหาดทราย. สงขลา: แอปเปิ้ลฮาร์ด.
- สนม วันเพ็ญ. 2530. การศึกษาวิธีการรองรับสปอร์และวัสดุที่เหมาะสมในการเกาะ การงอก และการเจริญเติบโตของสปอร์ในสาหร่ายสกุลกราซิลารีเย. วิทยานิพนธ์ วิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาวชิราวุธ ศรีนครินทร์วิโรฒ ประสานมิตร.
- สมบุญ เตชะภิญญาวัฒน์. 2544. สรีรวิทยาของพืช. กรุงเทพฯ: ภาควิชาพฤกษศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.



- สมบุรณ์ พรนิเนตพงศ์. 2548. การเคลื่อนที่ของความเค็มในทะเลสาบสงขลา. ว. สงขลานครินทร์ ฉบับวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี 27(4): 889-900.
- สมภพ อินทรสุวรรณ. 2524. สาหร่ายทะเลในทะเลสาบสงขลาตอนนอก. สงขลา: คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ สงขลา.
- สมรภัษ รอดเจริญ. 2549. การบำบัดน้ำจากการเลี้ยงปลาตู้โดยวิธีทางชีวภาพ. ตรีง: คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการประมง มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย วิทยาเขตตรัง.
- สรวิศ เผ่าทอง. 2543. สาหร่าย ศักยภาพการวิจัยและพัฒนาเพื่อการใช้ประโยชน์จากสาหร่ายในประเทศไทย. กรุงเทพฯ: จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย กรุงเทพฯ.
- สากล ฐิณะกุล สาวิตรี ศรีสุข ระเบียบ ภูผา อลงกต ศรีวิจิตรกมล และนันทวรรณ เหล่าฤทธิ. 2549. รัศมีเลสาบ: คู่มือการเรียนรู้สำหรับประชาชน เพื่อการอนุรักษ์สิ่งแวดล้อมในพื้นที่ลุ่มน้ำทะเลสาบสงขลา.สงขลา: กรมส่งเสริมคุณภาพสิ่งแวดล้อม กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม.
- สำนักวิจัยและพัฒนาประมงชายฝั่งสงขลา. 2550. คุณภาพน้ำทะเลสาบสงขลา. เข้าถึงได้จาก <http://www.nicaonline.com> [เข้าถึงเมื่อ 7 มกราคม 2550]
- สำนักงานคณะกรรมการพัฒนาการเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติ. 2540. การจัดการสาหร่ายพิษภาคใต้ของประเทศไทย. สงขลา: คณะทรัพยากรธรรมชาติ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตหาดใหญ่.
- สำนักงานสิ่งแวดล้อมภาคที่ 16. 2550. รายงานการติดตามตรวจสอบคุณภาพน้ำในพื้นที่ลุ่มน้ำทะเลสาบสงขลา ปี 2549. สงขลา: สำนักงานสิ่งแวดล้อม.
- สิริ ทุกข์วินาส สุชาติ เตชนราวศ์ และศราวุช เจะโ๊ะ . 2530. การเพาะเลี้ยงสาหร่ายพมนางแบบพื้นที่บ้านที่อ่าวปัตตานี. ว. ประมง 42: 425-433.
- สุชาติ เตชนราวศ์. 2538. ผลของความเค็ม อุณหภูมิ และแสงต่อการงอกของคาร์โบสปอร์ของสาหร่ายวุ้น *Gracilaria fisheri* (Xia & Abbott) Abbott, Zhang & Xia. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- สุภาจรี นิยะมานนท์. 2543. การศึกษาสัณฐานวิทยา กายวิภาคศาสตร์ และการใช้ประโยชน์ของสาหร่ายทะเลในภาคใต้ของประเทศไทย . สงขลา: ภาควิชาชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยทักษิณ สงขลา.
- สุภาจรี นิยะมานนท์. 2545. ชีววิทยาของสาหร่ายวุ้น (*Gracilaria*) และการใช้ประโยชน์ในจังหวัดภาคใต้. ว. มหาวิทยาลัยทักษิณ 5(1-3): 36-45.

- สุภาพร รักเขียว. 2537. คุณภาพน้ำ. ใน รายงานการวิจัยเรื่อง พลวัตของระบบนิเวศในทะเลสาบสงขลาตอนนอก ประเทศไทยตอนใต้. หน้า 12-46. สงขลา: คณะทรัพยากรธรรมชาติ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตหาดใหญ่.
- สุรสิทธิ์ วีรวานิช จารุวรรณ สุจริต และสนิท อุโพธิ์. 2543. การศึกษาและวิเคราะห์คุณค่าอาหารของสาหร่ายผสมนางกราชลาเรีย ฟิชเชอไร บริเวณทะเลสาบสงขลาตอนในและตอนนอก. สงขลา: คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏสงขลา สงขลา.
- สุวัฒน์ ฆานานุภาพไพศาล. 2534. ผลของระดับความเข้มข้นในการใช้ปุ๋ยแอมโมเนียมซัลเฟตและความหนาแน่นของสาหร่ายต่อการเจริญเติบโตของสาหร่ายวุ้น 2 ชนิด ที่เลี้ยงในบ่อดิน. วิทยานิพนธ์ วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- สุวัฒน์ ฆานานุภาพไพศาล และสรอัฐ มากบุญ. 2541. การเพาะเลี้ยงสาหร่ายผสมนางเงิงพาดิษย์. สุราษฎร์ธานี: มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตสุราษฎร์ธานี.
- หน่วยวิจัยไบโอพอลิเมอร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ประสานมิตร และกระทรวงเกษตรและสหกรณ์. 2533. ผลกระทบมูลค่าเพิ่มจากการแปรรูปสาหร่ายทะเล. กระเทศฯ : กระทรวงเกษตรและสหกรณ์.
- อรุณี มานะกล้า. 2539. การเลี้ยงสาหร่ายเขากวาง *Gracilaria changii* (Xia & Abbott) Abbott, Zhang & Xia. เอกสารวิชาการฉบับที่ 19/2539. ศูนย์พัฒนาการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำทะเลชายฝั่งจันทบุรี, กองเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำชายฝั่ง กรมประมง.
- Andriamanantonina, H., Chambat, G. and Rinaudo, M. 2007. Fractionation of extracted madagascan *Gracilaria corticata* polysaccharide: Structure and properties. Carbohydr. Res. 68: 77-88.
- Andria, J.R., Brun, F.G., Perez-Llorens, J.L. and Vergara, J.J. 2001. Acclimation responses of *Gracilaria* sp. (Rhodophyta) and *Enteromorpha intestinalis* (Chlorophyta) to changes in the external inorganic carbon concentration. Bot. Mar. 44(4): 361-370.
- Angsupanich, S. 1994. Introduction *In* Ecosystem dynamic of the Outer Songkhla Lake, Southern Thailand, pp. 1-11. (eds. Angsupanich, S. amd Aruga, Y.). Tokyo: Nodai Center for International Programs Tokyo University of Agriculture.
- Angsupanich, S. 2001. A new species of *Pagurapseudopsis* (Tanaidacea) from Songkhla Lake, Thailand. Crustaceana 74: 871-882.
- Angsupanich, S. 2004. A new species of *Longiflagrum* (Tnaidacea, Parapseudidae), from Songkhla Lagoon, Thailand. Custaceana 77: 849-60.

- Anonym. 2010a. *Classification of Species: Gracilaria parvispora Abbott*.  
<http://data.gbif.org/species/browse/taxon/13277455> (accessed on November 24, 2010)
- Anonym. 2010b. Gracilaria. <http://en.wikipedia.org/wiki/Gracilaria#References> (accessed on November 24, 2010)
- AOAC (Association of Official Analytical Chemists). 1990. Official method of analysis. Washington, DC: AOAC.
- Bamber, R.N., Bird, G.J. and Angsupanich, S. 2001. Tanaidaceans (Crustacea: *Peracarida*) from Thailand: new records and new species. *Asian Mar. Biol.* 18: 35-69.
- Brid, K.T. 1982. Nitrogen allocation and storage patterns in *Gracilaria tikvahiae* (Rhodophyta). *Phycology* 18: 344-348.
- Bird, K.T. 1988. Agar production and quality from *Gracilaria* sp. strain G-16: Effects of environmental factors. *Bot. Mar.* 31: 33-39.
- Bird, K.T. and Benson, P.H. 1987. Seaweed cultivation for renewable resources. New York: Elsevier Science Publishing Company Inc.,
- Bird, C. J. and McLachlan, J. 1986. The effect of salinity on distribution of species of *Gracilaria* Grev. (Rhodophyta, Gigartinales): An experimental assessment. *Bot. Mar.* 29: 231-238.
- Bird, K.T., Hanisak, M.D. and Ryther, J. 1981. Chemical quality and production of agars extracted from *Gracilaria tikvahiae* grown in different nitrogen enrichment conditions. *Bot. Mar.* 24: 441-444.
- Buriyo, A.S. and Kivaisi, A.K. 2003. Standing stock, agar yield and properties of *Gracilaria salicornia* harvested along the Tanzanian Coast. *Western Indian Ocean Mar. Sci.* 2(2): 171-178.
- Bunsom, C. 2010. Effect of salinity, light intensity and sediment on growth, pigments, agar production and reproduction in *Gracilaria tenuistipitata* C.F. Chang & B.M. Xia at Koh Yor, Songkhla Lagoon, Songkhla Province, Thailand. Songkhla: Master of Science in Botany Prince of Songkla University.
- Buschmann, A.H. 2001. The use of seaweed in integrated aquaculture: The Chilean experience. *Phycology* 37(3): 9.
- Boyd, C.E. 1990. Water quality in ponds for aquaculture. Auburn: Alabama Agricultural Experiment Station Auburn University.

- Capo, T.R., Jaramillo, J.C., Boyd, A.E., Laponite, B.E. and Serafy, J.E. 1999. Sustained high yields of *Gracilaria* (Rhodophyta) grown in intensive large-scale culture. *Appl. Phycol.* 11: 143-147.
- Chaiyakam, K. and Tunvilai, D. 1992. Experimental culture of seaweed, *Gracilaria fishery* in outer part of Songkhla Lake. Technical paper no.7/1992. National Institute of Coastal Aquaculture Songkhla (Thailand).
- Chen, T.P. 1976. Culture of *Gracilaria* in aquaculture practice in Taiwan. *In* Aquaculture in Taiwan. New York: Norwich Ltd.,
- Chirapart, A. 2004. Extraction of phycocolloid training course on phycological techniques, Phuket, Thailand, 5-8 April 2004, pp. 1-10.
- Chirapart, A. and Lewmanomont, K. 2004. Growth and production of Thai agarophyte cultured in natural pond using the effluent seawater from shrimp culture. *Hydrobiologia* 512:117-126.
- Chirapart, A. and Ohno, M. 1993. Seasonal variations in the physical properties of agar and biomass of *Gracilaria* sp. (chorda type) from Tosa bay, Southern Japan. *Hydrobiologia* 260/261: 541-547.
- Chirapart, A., Ohno, M., Sawamura, M. and Kusunose, H. 1994. Effect of temperature on growth rate and agar quality of a new member of Japanese *Gracilaria* in Tosa Bay, Southern Japan. *Jpn.* 42: 325-329.
- Chirapart, A., Munkit, J. and Lewmanomont, K. 2006. Changes in yield and quality of agar from the agarophytes, *Gracilaria fisheri* and *Gracilaria tenuistipitata* var. *liui* cultivated in earthen ponds. *Kasetsart* 40: 529-540.
- Christiaen, D., Stadler, T., Ordarza, M. and Verdus, M.C. 1987. Structures and functions of the polysaccharides from the cell wall of *Gracilaria verrucosa* (Rhodophyta, Gigartinales). *Hydrobiologia* 151/152: 139-146.
- Daugherty, B.K. and Bird, K.T. 1988. Salinity and temperature effects on agar product from *Gracilaria verrucosa* strain G-16. *Aquaculture* 75: 105-113.
- Edding, M., McC, J. and Black, H. 1987. Culture of *Gracilaria* sp. in out door tanks: productivity. *Hydrobiologia* 151-152: 319-373.

- Edward, P., Glenn, S., Moore, D., Akutagawa, M., Himler, A., Walsh, T. and Nelson, S. 1999. Correlation between *Gracilaria parvispora* (Rhodophyta) biomass production and water quality factors on a tropical reef in Hawaii. *Aquaculture* 178: 323-331.
- Emsong Project. 1998. Environmental diagnosis for the Songkhla Lake Basin: Technical background report NO. 9. VKI in association with: DHI, PEM consult A/S, COWI A/S, Prince of Songkla University and Seatec International Ltd.
- Eppley, R.W. 1972. Temperature and phytoplankton growth in the sea. *Fish. Bull.* 70(4): 1063-1085.
- Figueroa, F.L., Israel, A., Neori, A., Martinez, B., Malta, E.J., Put, A., Inken, S., Marquardt, R., Abdala, R. and Korbee, N. 2010. Effect of nutrient supply on photosynthesis and pigmentation to short-term stress (UV radiation) in *Gracilaria conferta* (Rhodophyta). *Mar. Pol. Bul.* (IN PRESS)
- Friedlander, M. 1991. Growth rate, epiphyte biomass and agar yield of *Gracilaria conferta* in an annual outdoor experiment: Irradiance and nitrogen. *Bioresour. Technol.* 38: 203-208.
- Friedlander, M. 2004. Inorganic nutrition in pond cultivated *Gracilaria conferta* (Rhodophyta): Nitrogen, phosphate and sulfate. *Appl. Phycol.* 13(3): 279-286.
- Friedlander, M. and Ben-Amotz, A. 1991. The effect of outdoor culture conditions on growth and epiphyte of *Gracilaria conferta*. *Aquatic Bot.* 39: 315-333.
- Friedlander, M. and Levy, I. 1995. Cultivation of *Gracilaria* in outdoor tanks and ponds. *App. Phycol.* 7(3): 315-324.
- Friedlander, M., Shalev, R., Ganor, T., Strimling, S., Ben-Amotz, A., Klar, H. and Wax, Y. 1987. Seasonal fluctuations of growth rate and chemical composition of *Gracilaria* cf. *conferta* in outdoor culture in Israel. *Hydrobiologia* 151/152: 501-507.
- Freiel-Pelegri, Y. and Murano, E. 2005. Agar from three species of *Gracilaria* (Rhodophyta) from Yucatan Peninsula. *Bioresour. Technol.* 96: 295-302.
- Freiel-Pelegri, Y. and Robledo, D. 1997. Influence of alkali treatment on agar from *Gracilaria cornea* from Yucatan, Mexico. *Appl. Phycol.* 9: 533-539.
- Gacia, E., Littler, M.M. and Littler, D.S. 1996. The relationships between morphology and photosynthetic parameter within the polymorphic genus *Caulerpa*. *Mar. Biol. Ecol.* 204: 209-224.

- Graham, L.E. and Wilcox, L.W. 2000. *Algae*. New York: Prentice-Hall Inc.,
- Givernaud, T., Gourji, A.E., Mouradi-Givernaud, A., Lemoine, Y. and Chiadmi, N. 1999. Seasonal variation of growth and agar composition of *Gracilaria multipartite* harvested along the Atlantic coast of Morocco. *Hydrobiologia* 398/399: 167-172.
- Glenn, E.P., Moore, D., Akutagawa, M., Himler, A., Walsh, T. and Nelson, S.G. 1999. Correlation between *Gracilaria parvispora* (Rhodophyta) biomass production and water quality factor on a tropical reef in Hawaii. *Aquaculture* 178: 323-331.
- Gonen, Y., Kimmel, E. and Friedlander, M. 1993. Effect of relative water motion on photosynthetic rate of red algae *Gracilaria conferta*. *Hydrobiologia* 260/261: 493-498.
- Goldman, J.C. 1979. Outdoor algal mass cultures-I. *Water Res.* 13: 1-18.
- Haglund, K. and Lindstroem, J. 1995. The potential use of macroalgae for removal of nutrients from sewage water in East Africa. *Ambio. Stockholm (Ambio)*. 24(7-8): 510-512.
- Hanisak, M.D. 1987. Cultivation of *Gracilaria* and other macroalgae in Florida for energy production. *In Seaweed cultivation for renewable resources*. (eds., Bird, K.T. and Benson, P.H.). Amsterdam: Elsevier.
- Hanisak, M.D. 1998. Seaweed cultivation: Global trends. *World Aquacult.* 29: 18-21.
- Hong, D., Hien, H.M. and Son, P.N. 2007. Seaweed from vietnam used for functional food, medicine and biofertilizer. *Appl. Phycol.* 19: 817-826.
- Horrocks, J.L., Stewart, G.R. and Denniso, W.C. 1995. Tissue nutrient content of *Gracilaria* spp. (Rhodophyta) and water quality along an estuarine gradient. *Mar. Fresh. Resear.* 46(6): 975-983.
- Hurtado-Ponce, A.Q. 1994. Agar production from *Gracilariopsis heteroclada* (Gracilariales, Rhodophyta) grown at different salinity levels. *Bot. Mar.* 37: 97-100.
- Hurtado-Ponce, A.Q. and Umezaki, I. 1988. Physical properties of agar gel from *Gracilaria* (Rhodophyta) of Philippines. *Bot. Mar.* 31: 171-174.
- Iyer, R. 2002. Systematics of the Gracilariaceae (Rhodophyta) of Southern Africa. Ph.D. Thesis University of Cape Town.

- Iyer, R., Tronchin, E.M., Bolton, J.J. and Coyne, V.E. 2005. Molecular systematics of the Gracilariaceae (Gracilariales, Rhodophyta) with emphasis on Southern Africa. *Phycology* 41: 672-684.
- Israel, A., Martinez-Goss, M. and Friedlander, M. 1999. Effect of salinity and pH on growth and agar yield of *Gracilaria tenuistipitata* var. *liui* in laboratory and outdoor cultivation. *Appl. Phycol.* 11: 543-549.
- Jesus, R.A., Juan, J.V. and Perez-Llores, L.J. 1999. Biochemical responses and photosynthetic performance of *Gracilaria* sp. (Rhodophyta) from Cadiz, Spain, cultured under different inorganic carbon and nitrogen levels. *Phycology* 34: 497-504.
- Kumar, M., Kumari, P., Gupta, V., Reddy, C.R.K. and Jha, B. 2010. Biochemical responses of red algae *Gracilaria corticata* (Gracilariales, Rhodophyta) to salinity induced oxidative stress. *Experimental Mar. Biol. Ecol.* (*ARTICLE IN PRESS*).
- Lee, T.M., Chang, Y.C. and Lin, Y.H. 1999. Differences in physiological responses between winter and summer *Gracilaria tenuistipitata* (Gigartinales, Rhodophyta) to varying temperature. *Bot. Bul. Aca. Sin.* 49: 93-100.
- Lemus, A., Bird, K.T., Kapraun, D.F. and Koehn, F. 1991. Agar yield, quality and standing crop biomass of *Gelidium serrulatum*, *Gelidium floridanum* and *Pterochadia capillacea* in Venezuela. *Food. Hydrocoll.* 5: 469-479.
- Lewmanomont, K. 1998. The seaweed resources of Thailand. *In* Seaweed resources of the world. (eds., Critchley, A.T. and Ohno, M.), pp. 79-87, Japan International Cooperation Agency).
- Lewmanomont, K. and Ogawa, H. 1995. Common seaweeds and seagrasses of Thailand. Bangkok: Kasetsart University.
- Li, H., Yu, X., Jin, Y., Zhang, W. and Liu, Y. 2008. Development of an eco-friendly agar extraction technique from the red seaweed *Gracilaria lemaneiformis*. *Bioresour. Technol.* 99: 3301-3305.
- Lignell, A. and Pedersen, M. 1989. Agar composition as a function of morphology and growth rate studies on some morphological strains of *Gracilaria secundata* and *Gracilaria verrucosa* (Rhodophyta). *Bot. Mar.* 32: 219-227.

- Limpadanai, D. 1977. Lake Songkhla: Status Report for Ecological Impact Evaluation. Songkhla: Prince of Songkhla University.
- Liu, J., Dong, S., Liu, X. and Ma, S. 2000. Responses of the macroalga *Gracilaria tenuistipitata* var. *lili* (Rhodophyta) to iron stress. *Appl. Phycol.* 12(6): 605-612.
- Lobban, C. S. and Harrison, P.J. 1994. *Seaweed Ecology and Physiology*. London: Cambridge University.
- Lobban, C.S., Harrison, P.J. and Duncan, M.J. 1985. *The Physiological Ecology of Seaweeds*. London: Cambridge University Press.
- Lopez-Bautista, J. and Kapraun, D.F. 1995. Agar analysis nuclear genome quantification and characterization of four agarophytes (*Gracilaria*) from the Mexico Gulf Coast. *Appl. Phycol.* 2: 237-279.
- Marinho-Soriano, E. 1999. Biomass and agar yield of *Gracilaria bursa-pastoris* in a Mediterranean lagoon. *Seaweed Resear. Utiliza.* 21(1-2): 1-8.
- Marinho-Soriano, E. 2001. Agar polysaccharides from *Gracilaria* species (Rhodophyta, Gracilariaceae). *Biotechnology* 89: 81-84.
- Marinho-Soriano, E. and Bourret, E. 2003. Effects of season on the yield and quality of agar from *Gracilaria* species (Gracilariaceae, Rhodophyta). *Bioresour. Technol.* 90: 329-333.
- Marinho-Sorino, E. and E. Bourret. 2005. Polysacchride from the red seaweed *Gracilaria dura* (Gracilariales, Rhodophyta). *Bioresour. Technol.* 96: 379-382.
- Marinho-Soriano, E., Silva, T.S.F. and Moreira, W.S.C. 2001. Seasonal variation in the biomass and agar yield from *Gracilaria cervicornis* and *Hydropuntia cornea* from Brazil. *Bioresour. Technol.* 77: 115-120.
- Marinho-Soriano, E., Nunes, S.O., Carneiro, M.A.A. and Pereira, D.C. 2009. Nutrients removal from aquaculture wastewater using the macroalgae *Gracilaria birdiae*. *Bio. Bioener.* 33: 327-331.
- Marinho-Soriano, E., Bourret, E., DeCasabianca, M.L. and Maury, L. 1999. Agar from the reproductive and vegetative stages of *Gracilaria bursa-pastoris*. *Bioresour. Technol.* 67: 1-5.



- Marinho-Soriano, E., Fonseca, P.C., Carneiro, M.A.A. and Moreira, W.S.C. 2006. Seasonal variation in the chemical composition of two tropical seaweeds. *Bioresour. Technol.* 97(18): 2402-2406.
- Martinez-Aragon, J., Hernandez, I., Perez-llorens, J., Vazquez, R. and Vergara, J. 2002. Bio-filtering efficiency in removal of dissolved nutrients by three species of estuarine macroalgae cultivated with seabass (*Dicentrarchus labrax*) waste waters I. Phosphate. *Appl. Phycol.* 14(5): 365-374.
- McHugh, DJ. 2003. A guide to the seaweed industry. FAO Fisheries Technical Paper no. 441. Rome: FAO.
- Meena, R., Prasad, K. and Siddhanta, A.K. 2007. Studies on “sugar-reactivity” of agars extracted from some Indian agarophytes. *Food Hydrocol.* 69(1):179-188.
- Milena, P., Masi, F.D. and Gargiulo, G.M. 2006. Alternative pathways in the life history of *Gracilaria gracilis* (Gracilariales, Rhodophyta) from north-eastern Sicily (Italy). *Aquaculture* 261(3): 1003-1013.
- Mollet, J.C., Rahaoui, A. and Lemoine. 1998. Yield chemical composition and gel strength of agarocolloids of *Gracilaria gracilis*, *Gracilariopsis longissima* and the newly reported *Gracilaria cf. vermiculophylla* from Roscoff (Brittany, France). *Appl. Phycol.* 10: 59-66.
- Ng, K.S. 1972. Biological nitrogen removal by photosynthesis for water reclamation. Pathumthani: Master Thesis Asian Institute of Technology.
- Nelson, S.G., Edward, P.G., Jeff, C., David, M., Ted, W. and Malia, A. 2001. Cultivation of *Gracilaria parvispora* (Rhodophyta) in shrimp-farm effluent ditches and floating cages in Hawaii: A two-phase polyculture system. *Aquaculture* 193: 239-248.
- Norxiah, M.H. and Chio, Y.C. 2000. Nutritional composition of edible seaweed *Gracilaria changii*. *Food Chem.* 68: 69-76.
- Norziah, M.H., Foo, S.L. and Karim, A.Abd. 2006. Rheological studies on mixtures of agar (*Gracilaria changii*) and k-carrageenan. *Food hydrocol.* 20: 204-217.
- Ohno, M. and Critchley, A.T. 1997. Seaweed cultivation and marine ranching. Yokosuka: Kanagawa International Fisheries Training Center, Japan International Cooperation Agency.

- Orogo, V.P. 1994. The viability of establishing a one hectare cooperative seaweed farm. Seaweed Manila: Production Development Project, FAO.
- Parker, H.S. 1982. Effects of simulated current on the growth rate and nitrogen metabolism of *Gracilaria tikvahiae* (Rhodophyta). Mar. Biol. 96: 137-147.
- Plastino, E.M., Guimaraes, M., Matioli, S.R. and Oliverira, E.C. 1999. Codominant inheritance of polymorphic color variants of *Gracilaria domingensis* (Gracilariales, Rhodophyta). Mol. Biol. 22: 1415-1457.
- Pondevida, H.B. and Hurtado-Ponce, A.Q. 1996. Assessment of some agarophytes from the coastal areas of Iloilo, Philippines II seasonal variations in the agar quality of *Gracilaria changii*, *Gracilaria manilaensis* and *Gracilariopsis bailinae* (Gracilariales, Rhodophyta). Bot. Mar. 39: 123-127.
- Price, I.R. and Bielig, M.L. 1992. Agar yield from *Gracilaria edulis* (Gracilariales, Rhodophyta) in the townsville region, eastern tropical Australia. Bot. Mar. 35: 457-460.
- Praiboon, J. 2008. Physicochemical properties, chemical structure and bioactive effects of sulfated polysaccharide from the red seaweed genus *Gracilaria*. Ph.D. Thesis (Biotechnology). Bangkok: Kasetsart University.
- Praiboon, J., Chirapart, A., Akakabe, Y., Bhumibhamon, O. and Kajiwara, T. 2006. Physical and chemical characterization of agar polysaccharides extracted from Thai and Japanese species of *Gracilaria*. Sci. Asia 32: 11-17.
- Rebello, J., Ohno, M., Critchley, A.T. and Sawamura, M. 1996. Growth rate and agar quality of *Gracilaria gracilis* (Stackhouse) Steentoft from Namibia, Southern Africa. Bot. Mar. 39: 273-279.
- Roleda, M.Y., Ganzon-Fortes, E.T., Montano, N.E. and Reyes, F.N. 1997. Temporal variation in the biomass, quantity and quality of agar from *Gelidiella acerosa* (Forsskal) Feldman & Hamel (Rhodophyta: Gelidiales) from Cape Bolinao, NW Philippines. Bot. Mar. 40: 487-495.
- Ryder, E., Nelson, S.G., McKeon, C., Glenn, E.P., Fitzsimmons, K. and Napoleon, S. 2004. Effect of water motion on the cultivation of the economic seaweed *Gracilaria parvispora* (Rhodophyta) on Molokai, Hawaii. Aquaculture 238: 207-219.
- Santelices, B. and Doty, M.S. 1989. A review of *Gracilaria* farming. Aquaculture 78: 95-133.

- Santos, G.A. 1990. A manual for the processing of agar from *Gracilaria*. Available from: <http://www.fao.org> [accessed May 9, 2008].
- Sasaki, K. and Sawada, Y. 1980. Determination of ammonia in estuary. Bull. Jap. Soc. Sci. Fish. 46:319-321.
- Shang, Y.C. 1976. Ecological aspects of *Gracilaria* culture in Taiwan. Aquaculture 8: 1-7.
- Sousa, A.M.M., Alves, V.D., Morais, S., Delerue-Matos, C. and Goncalves, M.P. 2010. Agar extraction from integrated multitrophic aquacultured *Gracilaria vermiculophylla*: Evaluation of a microwave-assisted process using response surface methodology. Bioresour. Technol. 101: 3258-3267.
- Sousa-Pinto, I., Lewis, R. and Polne-Füller, M. 1996. The effect of phosphate concentration on growth and agar content of *Gelidium robustum* (Gelidiaceae, Rhodophyta) in culture. Hydrobiologia 326/327: 437-443.
- Strickland, D. and Parsons, T.R. 1972. A practical handbook of seawater analysis. Available from: <http://www.fao.org> [accessed on January 12, 2008].
- Tamhi, A. 2008. Investigation of water flow in the lower Songkhla Lake. Project of Science in Geology Prince of Songkla University.
- Taw, N. 1993. Manual on seaweed *Gracilaria* farming. Available from: <http://www.fao.org> [accessed on January 12, 2008].
- Toma, T. 1987. *Caulerpa lentillifera*. In Aquaculture in tropical area (eds., Shokito, S. and Yamaguhi, M.), pp. 45-55, Midori Shoba: International Society for Horticultural Science.
- Thomas, C.D. and Harrison, S. 1992. Spatial dynamics of a patchily distributed butterfly species. Anita. Ecol. 61: 437-446.
- Troell, M., Ronnbank, P., Halling, C., Kautsky, N. and Buschmann, A. 1999. Ecological engineering in aquaculture: Use of seaweeds for removing nutrients from intensive mariculture. Appl. Phycol. 11: 89-97.
- Trono, G.C. 1988. Manual on seaweed culture: Pond culture of *Caulerpa* and pond culture of *Gracilaria*. Manila: ASEAN/UNDP/FAO.
- Trono, J.R. and Gavino, C. 1997. Field guide and atlas of the seaweed resources of the Philippines. Makati: Bookmark Inc.,

- Villanueva, R.D., Montano, N.E., Romero, J.B. Aliganga, A.K.A. and Enriquez, E.P. 1999. Seasonal variation in the yield *Gracilaria euchemoides* and *Gelidiella acerosa* (Rhodophyta) from Philippines. Bot. Mar. 42: 175-182.
- Wakibia, J.G., Anderson and, R.J., Keats, D.W. 2001. Growth rate and agar properties of three gracilarioids in suspended open-water cultivation in St. Helena Bay, South Africa. Appl. Phycol. 13: 195-207.
- Wang, G.C. 2002. Isolation and purification of phycoerythrin from red alga *Gracilaria verrucosa* by combined expanded bed adsorption and ion exchange chromatography. Chrommatographia 56: 509-513.
- Wong, S.L. and Chang, J. 2000. Salinity and light effects on growth, photosynthesis, and respiration of *Grateloupia filicina* (Rhodophyta). Aquaculture 182: 387-395.
- Wheeler, W.N. and Neushul, M. 1981. The aquatic environment. Available from: <http://www.fao.org> [accessed on January 12, 2008].
- Wood, C.G. 1974. Seaweed extracts. Chemi. Edu. 517: 449.
- Wu, C.L.R., Lin, G., Wen, Z., Dong, L., Zhang, J. and Huang, X. 1989. Some aspects of the growth of *Gracilaria tenuistipitata* in pond culture. Available from: <http://www.fao.org> [accessed on January 12, 2008].
- Yu-Feng, Y., Xiu-Geng, F., Jin-Ming, S., Hai-Yan, H., Guang-Ce, W. and Ik, K.C. 2006. Growth of *Gracilaria lemaneiformis* under different cultivation conditions and its effects on nutrient removal in Chinese coastal waters. Aquaculture 254: 248-255.
- Yu, J. and Yang, Y.F. 2008. Physiological and biochemical response of seaweed *Gracilaria lemaneiformis* to concentration changes of N and P. Mar. Biol. Ecol. 367: 142-148.
- Yokoya, N.S., Kakita, H., Obika, H. and Kitamura, T. 1999. Effects of environmental factors and plant growth regulators on growth of the red algae *Gracilaria vermiculophylla* from Shikoku Island, Japan. Hydrobiologia 398/399: 339-347.
- Yongjian, X., Wei, W. and Jianguang, F. 2009. Effects of salinity, light and temperature on growth rates of two species of *Gracilaria* (Rhodophyta). Chinese Oceanol. Limnol. 27(2): 350-355.

**ภาคผนวก**

## วิธีวิเคราะห์คุณค่าทางโภชนาการ (ตามวิธีมาตรฐานของ AOAC, 1990)

### 1. การวิเคราะห์ความชื้น

1. นำถ้วยกระเบื้องเคลือบซึ่งเข้าสู่อบอุณหภูมิ 100 °C เป็นเวลา 40 นาที และทำให้เย็นในโถดูดความชื้น

2. ชั่งและบันทึกน้ำหนักของถ้วยกระเบื้องเคลือบซึ่งโดยละเอียด

3. ชั่งตัวอย่างใส่ถ้วยอบความชื้นประมาณ 3 g และบันทึกน้ำหนัก

4. นำตัวอย่างเข้าสู่อบ โดยใช้อุณหภูมิประมาณ 100 °C เป็นเวลา 8 ชั่วโมง

5. นำตัวอย่างที่อบแล้วใส่โถดูดความชื้นทิ้งไว้ให้เย็น แล้วบันทึกน้ำหนักของตัวอย่าง

6. ทำซ้ำตามข้อ 4-5 จนกระทั่งน้ำหนักที่ได้คงที่ โดยน้ำหนักที่หายไป คือน้ำหนักของ

ความชื้น

คำนวณหาความชื้นด้วยสมการ

$$\text{ความชื้น (\%)} = [(a-b)/W] \times 100$$

เมื่อ a = น้ำหนักของตัวอย่างก่อนอบแห้ง

b = น้ำหนักของตัวอย่างหลังอบแห้ง

w = น้ำหนักของตัวอย่างก่อนอบ

### 2. การวิเคราะห์ปริมาณเถ้า

1. ชั่งน้ำหนักตัวอย่าง 2 g ใส่ในถ้วยกระเบื้องเคลือบ

2. นำไปเผาในเตาเผาที่อุณหภูมิ 600 °C เป็นเวลา 3 ชั่วโมง จนเถ้าเป็นสีขาว

3. นำถ้วยกระเบื้องเคลือบเข้าโถดูดความชื้น และเมื่อตัวอย่างเย็นดีแล้ว นำออกมาชั่งทันที

ด้วยเครื่องชั่ง 4 ตำแหน่ง

คำนวณหาเถ้าด้วยสมการ

$$\text{เถ้า (\%)} = [(b-a)/W] \times 100$$

เมื่อ a = น้ำหนักของถ้วยกระเบื้องเคลือบ

b = น้ำหนักของถ้วยกระเบื้องเคลือบกับน้ำหนักของตัวอย่างหลังการเผา

c = น้ำหนักของตัวอย่างก่อนเผา

### 3. การวิเคราะห์หาโปรตีน

#### สารเคมี

1. กรดซัลฟูริก (sulfuric acid,  $H_2SO_4$ ) เข้มข้น 93–98 %
2. สารเร่งรวม (catalyst mixture): เตรียมโดยชั่งคอปเปอร์ซัลเฟต (copper sulfate,  $CuSO_4$ ) 7 g และโพแทสเซียมซัลเฟต (potassium sulfate,  $K_2SO_4$ ) 100 g ผสมให้เข้ากัน
3. โซเดียมไฮดรอกไซด์ 45% (sodium hydroxide, NaOH) : เตรียมโดยชั่งโซเดียมไฮดรอกไซด์ชนิดเกล็ด 450 g ละลายในน้ำกลั่น ปรับปริมาตรให้เป็น 1 L
4. สารละลายกรดเกลือ (hydrochloric acid, HCl) 0.1 N : เตรียมโดยสารละลายกรดเกลือ 9 ml ลงในน้ำกลั่น ปรับปริมาตรให้ได้เป็น 1 L
5. กรดบอริก (boric acid,  $H_2BO_3$ ) 4 % : เตรียมโดยต้มน้ำกลั่น 50 ml ให้ร้อนแล้วใส่กรดบอริกลงไป 4 g คนจนละลายหมด เมื่อสารละลายเย็นลงแล้วจึงเติมน้ำกลั่นปรับปริมาตรให้ได้ 100 ml
6. อินดิเคเตอร์รวม (mixed indicator): เตรียมโดยละลายเมทิลเรด (methyl red) 0.2 g ในแอลกอฮอล์ 95 % ปรับปริมาตรให้ได้ 100 ml และละลายเมทิลีนบลู (methylene blue) 0.2 g ในแอลกอฮอล์ 95 % ปรับปริมาตรให้ได้ 100 ml จากนั้นนำสารละลายเมทิลเรด 2 ส่วน ผสมเข้ากับสารละลายเมทิลีนบลู 1 ส่วน เขย่าให้เข้ากัน
7. เมทิลออเรนจ์ อินดิเคเตอร์ (methyl orange indicator) : เตรียมโดยละลายเมทิลออเรนจ์ 0.1 g ในน้ำกลั่น ปรับปริมาตรให้ได้ 100 ml
8. สารละลายโซเดียมคาร์บอเนต (sodium carbonate,  $Na_2CO_3$ ) 0.1 N : เตรียมโดยอบโซเดียมคาร์บอเนตที่อุณหภูมิ 260–270 °C เป็นเวลา 30 นาที ชั่งสารที่อบแล้ว 1.325 g เติมน้ำกลั่นปรับปริมาตรให้ได้ 250 ml

#### การหาความเข้มข้นของสารละลายกรดเกลือมาตรฐาน

ดูดสารละลายโซเดียมคาร์บอเนต 40 ml ใส่ในขวดรูปชมพู่ ขนาด 250 ml เติมน้ำกลั่น 20 ml เติมนเมทิลออเรนจ์ อินดิเคเตอร์ 2–3 หยด ทำการไตเตรดด้วยสารละลายกรดเกลือ 0.1 N คำนวณความเข้มข้นของสารละลายกรดเกลือโดยใช้สูตร

$$N_1V_1 = N_2V_2$$

เมื่อ  $N_1$  = ความเข้มข้นของสารละลายที่ปรับค่า

$N_2$  = ความเข้มข้นของสารละลายที่ต้องการ

$V_1$  = ปริมาตรของสารละลายที่จะปรับค่า

$$V_2 = \text{ปริมาตรของสารละลายที่ต้องการ}$$

## วิธีการ

### ก. ขั้นตอนการย่อย

1. ชั่งตัวอย่างอาหารให้ได้น้ำหนักประมาณ 0.5 g โดยชั่งด้วยกระดาษกรองที่ปราศจากสารไนโตรเจนแล้วใส่ในหลอดแก้ววิเคราะห์โปรตีน
2. เติมสารเร่งรวม 3 g เพื่อเป็นตัวช่วยเร่งปฏิกิริยาการย่อย
3. เติมกรดซัลฟูริกเข้มข้น 10 ml
4. นำไปย่อยด้วยชุดเครื่องย่อยโปรตีน ที่อุณหภูมิ 375 °C กระทั่งสารละลายในหลอดแก้ววิเคราะห์โปรตีนเป็นสีเขียวใส ทิ้งไว้ให้เย็น

### ข. ขั้นตอนการกลั่น (distillation)

1. เมื่อสารละลายเย็นลง เติมน้ำกลั่นปริมาตร 20 ml
2. ใส่ลูกแก้ว 2 ลูก เพื่อป้องกันการกระแทกของสารละลายต่อหลอดแก้ววิเคราะห์โปรตีนเข้ากับเครื่องกลั่นที่มีขวดปากแคบวัดปริมาตร ซึ่งมีกรดบอริก 40 ml อยู่โดยให้ปลายของหลอดแก้วที่ต่อจากกระบอกแก้วควมแน่นจุ่มอยู่ในกรดบอริก เติมโซเดียมไฮดรอกไซด์ลงในหลอดแก้ววิเคราะห์ซ้ๆ จนกระทั่งสารละลายไม่มีสีดำ
3. หยดอินดิเคเตอร์รวมในกรดบอริก 2-3 หยด
4. ทำการกลั่นจนกระทั่งไม่มีแก๊สแอมโมเนียออกมา ทำการกลั่นต่อไปอีก 10 นาที แล้วล้างปลายเครื่องกลั่นด้วยน้ำกลั่น นำขวดปากแคบวัดปริมาตรออกจากเครื่องกลั่น

### ค. ขั้นตอนการไทเตรท (titration)

1. ไทเตรทด้วยกรดเกลือมาตรฐานที่ทราบความเข้มข้น ( 0.1 N) จนถึงจุดยุติ (end point) สารละลายจะเปลี่ยนเป็นสีน้ำเงินอ่อน
2. บันทึกปริมาตรของกรดเกลือ เพื่อใช้คำนวณต่อไป

การคำนวณหาโปรตีนด้วยสมการ

$$\text{โปรตีน (\%)} = [1.4 \times (V_1 - V_2) \times N \times 6.25] / W$$

เมื่อ  $V_1$  = ปริมาตรของกรดมาตรฐานที่ใช้ไทเตรทตัวอย่าง

$V_2$  = ปริมาตรของกรดมาตรฐานที่ใช้ไทเตรทตัวอย่างที่ใช้ตรวจสอบ



$N$  = เป็นความเข้มข้นของกรดเกลือเป็นนอร์มอล

$W$  = น้ำหนักตัวอย่าง

#### 4. การวิเคราะห์ไขมัน (ใช้เครื่อง Soxtec System HT6)

##### สารเคมี

1. Trichloroetherline

##### วิธีการ

1. อบด้วยพร้อมลูกแก้วที่อุณหภูมิ 100 °C นาน 8 ชั่วโมง ทิ้งไว้ให้เย็นในโถดูดความชื้น
2. อบตัวอย่างที่จะวิเคราะห์ที่อุณหภูมิ 65 °C เป็นเวลา 1 คืน ทิ้งไว้ให้เย็นในโถดูดความชื้น
3. ชั่งน้ำหนักด้วยพร้อมลูกแก้ว ( $w_1$ )
4. ชั่งตัวอย่างที่ต้องการวิเคราะห์ใส่กระดาษกรองเบอร์ 1 ประมาณ 1–2 g ( $w_2$ ) ห่อให้มิดชิดใส่ลงในใส่กรอง (thimble) ที่เตรียมไว้ นำไปใส่เข้าเครื่อง
5. นำด้วยพร้อมลูกแก้วที่ชั่งน้ำหนักไว้แล้วมาเติม Trichloroetherline ให้ได้ปริมาตร 25 มิลลิลิตร แล้วใส่เข้าเครื่อง
6. เปิดเครื่องปรับอุณหภูมิไปที่ 160 °C เปิดเครื่องทำความเย็น เปิดวาล์ว เลื่อนปุ่มไปที่ boiling ต้มให้เดือด 30 นาที
7. จากนั้นเลื่อนปุ่มไปที่ rinsing เพื่อล้างตัวอย่าง 20 นาที
8. ปิดวาล์ว เปิดสวิตช์อากาศ เลื่อนปุ่มไปที่ evaporation เพื่อให้สารระเหย 5 นาที
9. ปิดสวิตช์อากาศ และเครื่องทำความเย็น เลื่อนปุ่ม evaporation กลับตำแหน่งเดิม นำถ้วยออกจากเครื่อง อบที่ 135 °C เป็นเวลา 2 ชั่วโมง
10. นำถ้วยออกมาใส่โถอบแห้ง ทิ้งไว้ให้เย็น แล้วนำมาชั่งน้ำหนัก ( $w_3$ )

##### คำนวณหาไขมันด้วยสมการ

$$\text{ไขมัน (\%)} = [W_3 - W_1 / W_2] \times 100$$

เมื่อ  $W_1$  = น้ำหนักถ้วยพร้อมลูกแก้ว

$W_2$  = น้ำหนักตัวอย่าง

$W_3$  = น้ำหนักถ้วยพร้อมลูกแก้วและไขมันหลังอบ

## 5. การวิเคราะห์เยื่อใย (ใช้เครื่อง Fibertec system)

### สารเคมี

1. กรดซัลฟูริก 0.128 M: เตรียมโดยเจือจางกรดซัลฟูริกเข้มข้น 7 ml ในน้ำปราศจากไอออนปรับปริมาตรเป็น 1 L
2. โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ 0.223 M: เตรียมโดยชั่งโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ 12.5125 g ละลายในน้ำปราศจากไอออนปรับปริมาตรเป็น 1 L
3. ออกทานอล (1-Octanol reinst)
4. อะซิโตน (acetone)

### วิธีการ

1. นำถ้วยกระเบื้องเคลือบไปอบที่อุณหภูมิ 135 °C เป็นเวลา 2 ชั่วโมง (ถ้าถ้วยกระเบื้องเคลือบสกปรกมากให้นำไปเผาที่อุณหภูมิ 500 °C ประมาณ 3 ชั่วโมง)
2. ชั่งน้ำหนักถ้วยกระเบื้องเคลือบ ( $W_1$ ) ชั่งน้ำหนักตัวอย่างประมาณ 1-2 g ( $W_2$ ) ใส่ในถ้วยกระเบื้องเคลือบ นำไปใส่เข้าเครื่อง Fibertec system
3. เติมกรดซัลฟูริก ปริมาตร 150 ml หยดออกทานอล 2-3 หยด เพื่อป้องกันไม่ให้เกิดฟองในขณะเดือด
4. เปิดเครื่องและน้ำเข้าเครื่อง เปิดความร้อนจนสุดสเกล และเลื่อนวาล์วทุกตัวให้อยู่ในตำแหน่งปิด ต้มให้สารละลายเดือดเต็มที่ แล้วลดความร้อนลงเหลือประมาณ 4.5 ต้มนานประมาณ 30 นาที จากนั้นปิดเครื่องแล้วกรองสารละลายออกโดยเลื่อนปุ่มไปที่ Vaccunm เพื่อกรองน้ำออก
5. ล้างตัวอย่างด้วยน้ำอุ่น 3 ครั้ง โดยเติมน้ำอุ่นลงไปเลื่อนปุ่มไปที่ Vaccunm เพื่อกรองน้ำออก
6. เติมโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ประมาณ 150 ml ทำเช่นเดียวกับข้อ 6.2.4-6.2.5
7. ย้ายถ้วยกระเบื้องเคลือบไปที่ cold extraction unit ล้างตัวอย่างด้วยอะซิโตนให้ท่วมตัวอย่างทิ้งไว้สักครู่ แล้วจึงกรองอะซิโตนออก
8. นำถ้วยกระเบื้องเคลือบ ไปอบที่อุณหภูมิ 135 °C นานครึ่งชั่วโมง
9. นำถ้วยกระเบื้องเคลือบ ไปวางไว้ในโถอบแห้ง จึงชั่งน้ำหนัก ( $W_3$ ) แล้วนำไปเผาที่อุณหภูมิ 500 °C เป็นเวลา 3 ชั่วโมง
10. นำถ้วยกระเบื้องเคลือบ ไปวางไว้ให้เย็นในโถอบแห้ง จึงชั่งน้ำหนัก ( $W_4$ )

การคำนวณหาเชื้อไขด้วยสมการ

$$\text{เชื้อไข (\%)} = [(W_3 - W_4)/W_2] \times 100$$

เมื่อ  $W_2$  = น้ำหนักของตัวอย่าง

$W_3$  = น้ำหนักถ้วยกระเบื้องเคลือบ พร้อมตัวอย่างหลังการอบ

$W_4$  = น้ำหนักถ้วยกระเบื้องเคลือบ พร้อมตัวอย่างหลังการเผา

## วิธีวิเคราะห์คุณภาพน้ำ

### 1. การวิเคราะห์หาแอมโมเนีย (Strickland and Parsons, 1972)

#### สารเคมีและวิธีเตรียม

1. น้ำกลั่น de-ionized ใช้สำหรับเตรียมสารละลาย, แบลงค์ และสารมาตรฐาน ซึ่งน้ำกลั่นที่ใช้ควรได้จากการกลั่นใหม่ๆ

2. สารละลายฟีนอล : ละลายฟีนอล ( $C_6H_5OH$ ) 5 g ในเอธิลแอลกอฮอล์ 95 % (V/V) 50 ml

3. สารละลายโซเดียมไนโตรปริสไซค์ : ละลายโซเดียมไนโตรปริสไซค์ ( $Na_2Fe(CN)_5NO \cdot 2H_2O$ ) 0.5 g ในน้ำกลั่น de-ionized 100 ml เก็บรักษาสารละลายนี้ในขวดแก้วสีน้ำตาล สารละลายนี้มีอายุ 1 เดือน

4. สารละลายอัลคาไลน์ : ละลายไตรโซเดียมซิติเรทไดไฮเดรต ( $Na_3C_6H_5O_7 \cdot 2H_2O$ ) (analytical reagent grade) 20 g และโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) (analytical reagent grade) 1 g ในน้ำกลั่น de-ionized 100 ml

5. สารละลายโซเดียมไฮโปคลอไรท์ ใช้สารละลายโซเดียมไฮโปคลอไรท์ ที่มีอยู่ในท้องตลาด (เช่น ไฮเตอร์) เพื่อให้ความเข้มข้นของคลอไรด์มากกว่า 1.5 N ควรซื้อที่ผลิตขึ้นมาใหม่ ๆ ใดก็ตามจะต้องตรวจสอบความแรงของไฮเตอร์ก่อนใช้ ดังนี้

1) ละลายโซเดียมโซโธซัลเฟต ( $Na_2S_2O_3 \cdot 5H_2O$ ) 12.5 g ในน้ำ deionized 500 ml สารละลายนี้มีความเข้มข้น 0.1 N

2) ละลายโปแทสเซียมไอโอไดด์ (KI) 2 g ในน้ำ de-ionized 50 ml ในพลาสติก แล้วเติมไฮเตอร์ลงไป 1 ml

3) เติมกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น (12 N) ลงในสารละลายในข้อ 2)

4) ไตเตรทด้วยสารละลายโซเดียมโซโธซัลเฟต 0.1 N จนกระทั่งสารละลายเปลี่ยนจากสีเหลืองเป็นไม่มีสี

5) ไฮเตอร์จะเสื่อมสภาพและนำมาวิเคราะห์หาแอมโมเนียไม่ได้ถ้าการไตเตรทตามข้อ 4) ใช้สารละลายโซเดียมโซโธซัลเฟตน้อยกว่า 12 ml

6. สารละลาย oxidizing : ผสมสารละลายอัลคาไลน์และสารละลายโซเดียมไฮโปคลอไรท์ เข้าด้วยกันในอัตราส่วน 4 : 1 สารละลายนี้ควรเตรียมใหม่ทุกครั้ง

7. น้ำทะเลเทียม ละลายโซเดียมคลอไรด์ (analytical reagent quality) เป็นกรัมตามความเค็มที่ต้องการในน้ำกลั่น 1 L

8. สารละลายมาตรฐานของแอมโมเนีย : ละลายแอมโมเนียมซัลเฟต  $(\text{NH}_4)_2 \text{SO}_4$  (analytical reagent grade) ที่อบแห้ง  $105-110^\circ\text{C}$  นาน 1-24 ชั่วโมง 0.165 g ด้วยน้ำกลั่น de-ionized แล้วปรับปริมาตรให้ได้ 1 L ด้วยขวดวัดปริมาตร สารละลายนี้มีความเข้มข้น 35 mg-N/L และเรียกสารละลายนี้ว่า stock standard solution เก็บสารละลายนี้ไว้ในขวดสีชา สารละลายนี้มีอายุการใช้งาน 6 เดือน ถึง 1 ปี

### ขั้นตอนการวิเคราะห์

#### 1. การเตรียมกราฟมาตรฐาน

1) คุคสารละลายจาก stock standard solution มา 10 ml แล้วปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นให้ได้ 100 ml สารละลายนี้มีความเข้มข้น 3.5 mg-N/L

2) คุคสารละลายจากข้อ 1) มา 1, 2, 4 และ 8 มิลลิลิตร ใส่ขวดวัดปริมาตรขนาด 50 ml แล้วปรับปริมาตรให้ได้ 50 ml ด้วยน้ำกลั่น หรือน้ำทะเลเทียม สารละลายนี้มีความเข้มข้น 0.070, 0.140, 0.280 และ 0.56 mg-N/L ตามลำดับ สำหรับแปลงค่าใช้น้ำกลั่นหรือน้ำทะเลเทียมให้สอดคล้องกับสารละลายมาตรฐาน

3) จากนั้นเติมสารละลายฟีนอล 2.5 ml เขย่าให้เข้ากัน แล้วเติมสารละลายโซเดียมไนโตรปริสไซค์ และสารละลายออกซิไดซิง 2.5 และ 5 ml ตามลำดับ หลังจากเติมน้ำยาเคมีแต่ละชนิดเขย่าให้เข้ากัน

4) ทิ้งไว้อย่างน้อย 1 ชั่วโมง แต่ไม่เกิน 24 ชั่วโมง นำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 640 nm จดบันทึกค่าการดูดกลืนแสงที่ได้ หาความสัมพันธ์ระหว่างค่าการดูดกลืนแสงที่วัดได้กับความเข้มข้นด้วยวิธี Linear regression (ผู้วิเคราะห์อาจหาความสัมพันธ์จากเครื่องวัดการดูดกลืนแสงโดยตรงก็ได้)

#### 2. การวิเคราะห์ตัวอย่าง

1) คุคน้ำตัวอย่าง ซึ่งผ่านการกรองด้วยแผ่นกรอง GF/C ด้วยไปเปต 10 ml ใส่ลงในหลอดทดลองที่มีฝาปิดเป็นเกลียวเพื่อป้องกันการระเหยของแอมโมเนีย

2) เติมสารละลายฟีนอล 0.5 ml เขย่าให้เข้ากัน จากนั้นเติมสารละลายโซเดียมไนโตรปริสไซค์ และสารละลายออกซิไดซิง 0.5 และ 1 ml ตามลำดับ หลังจากเติมน้ำยาเคมีแต่ละชนิดเขย่าให้เข้ากัน ทิ้งไว้ประมาณ 1 ชั่วโมง แต่ไม่เกิน 24 ชั่วโมง

3) นำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 640 nm

4) จดบันทึกค่าความเข้มข้นที่วัดได้ หรือนำค่าการดูดกลืนแสงที่ได้ไปคำนวณหา

### ความเข้มข้นของแอมโมเนีย

ในตัวอย่างจากกราฟมาตรฐานที่ได้เตรียมไว้ในกรณีความเค็มของน้ำตัวอย่างและสารละลายมาตรฐานแตกต่างกันเกิน 2 ppt ควรปรับแก้ค่าความเข้มข้นที่วัดได้จากตัวอย่างด้วยสูตรดังต่อไปนี้

$$\text{NH}_{3(\text{corr})} = (1 + 0.0073 \times (S_s - S_0)) \times \text{NH}_{3(\text{unc})}$$

เมื่อ  $\text{NH}_{3(\text{corr})}$ ,  $\text{NH}_{3(\text{unc})}$  = ความเข้มข้นของแอมโมเนียในตัวอย่างที่ปรับแก้ผลเนื่องจากความเค็มแล้ว และยังไม่ปรับแก้ผลเนื่องจากความเค็มตามลำดับ สำหรับ  $S_0$  และ  $S_s$  = ความเค็มของสารละลายมาตรฐานและน้ำตัวอย่างตามลำดับ

## 2. การวิเคราะห์หาไนไตรท์ ( $\text{NO}_2^-$ ) (Strickland and Parsons, 1972)

### สารเคมีและวิธีเตรียม

1. สารละลายซัลฟานิลาไมด์ : ละลายซัลฟานิลาไมด์ ( $\text{C}_6\text{H}_8\text{N}_2\text{O}_2\text{S}$ ) 5 g ในของผสมของ 50 ml ของกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้นกับน้ำกลั่นประมาณ 300 ml จากนั้นเจือจางสารละลายที่ได้ให้มีปริมาตร 500 ml

2. สารละลายแนฟทิล เอธิลีน ไดอะมีน ไดไฮโดรคลอไรด์ (NED) : ละลายแนฟทิลเอธิลีน ไดอะมีน ไดไฮโดรคลอไรด์ ( $\text{C}_{10}\text{H}_7\text{NHCH}_2\text{CH}_2\text{NH}_2 \cdot 2\text{HCl} \cdot \text{CH}_3\text{OH}$ ) 0.50 g ในน้ำกลั่น แล้วปรับปริมาตรให้ได้ 500 ml

3. สารละลายมาตรฐานของไนไตรท์ : ละลายโซเดียมไนไตรท์ ( $\text{NaNO}_2$ ) ที่อบแห้ง 105-110 °C เป็นเวลา 1 ชั่วโมง (อบนาน 24 ชั่วโมงก็ได้) 0.345 g ในน้ำกลั่น แล้วปรับปริมาตรให้ได้ 1,000 ml สารละลายนี้มีความเข้มข้น 70 mg-N/L สารละลายนี้เรียกว่า stock nitrite standard solution เก็บสารละลายนี้ไว้ในขวดสีชาแล้วแช่เย็นไว้ สารละลายนี้มีอายุ 1-2 เดือน

### ขั้นตอนการวิเคราะห์

#### 1. การเตรียมกราฟมาตรฐาน

1) คุ้ดสารละลายมาตรฐานไนไตรท์จาก stock standard solution มา 1 มิลลิลิตร ใส่ในขวดวัดปริมาตรขนาด 100 มิลลิลิตร แล้วปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นหรือน้ำทะเลเทียมให้ได้ 100 มิลลิลิตร สารละลายนี้มีความเข้มข้น 0.70 mg-N/L สารละลายนี้เรียกว่า intermediate standard solution

2) ดูดสารละลายจากข้อ 1) มา 1, 5, 10, 20 และ 40 ml ใส่ขวดวัดปริมาตรขนาด 50 ml ปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นให้ได้ 50 ml สารละลาย working standard นี้มีความเข้มข้น 0.014, 0.07, 0.14, 0.28 และ 0.56 mg-N/L ตามลำดับ สำหรับแบลงค์ใช้น้ำทะเลเทียมหรือน้ำกลั่นให้สอดคล้องกับสารละลาย working standard

3) เติมสารละลายซัลไฟด์นิลาไมด์ 1 ml เขย่าให้เข้ากัน ตั้งทิ้งไว้ 2-8 นาที เพื่อให้เกิดปฏิกิริยาสมบูรณ์ แล้วเติมสารละลาย NED 1 ml เขย่าตัวอย่างทันที ทิ้งไว้ 10 นาที ถึง 1 ชั่วโมง นำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 540 nm หาความสัมพันธ์ระหว่างค่าการดูดกลืนแสงที่วัดได้กับความเข้มข้นด้วยวิธี linear regression (ผู้วิเคราะห์อาจหาความสัมพันธ์จากเครื่องวัดการดูดกลืนแสงโดยตรงก็ได้)

## 2. การวิเคราะห์ตัวอย่าง

1) ตวงน้ำตัวอย่าง ซึ่งผ่านการกรองด้วยแผ่นกรอง GF/C 50 ml ด้วยกระบอกตวงใส่ฟลาสก์รูปชมพู่ขนาด 125 ml

2) เติมสารละลายซัลฟานิลาไมด์ 1 ml เขย่าให้เข้ากัน ตั้งทิ้งไว้ 2-8 นาที เพื่อให้เกิดปฏิกิริยาสมบูรณ์

3) เติมสารละลาย NED 1 ml เขย่าตัวอย่างทันที แล้วทิ้งไว้ 10 นาที ถึง 2 ชั่วโมง จากนั้นนำน้ำตัวอย่างทั้งที่เติมน้ำยาเคมีและไม่ได้เติมน้ำยาเคมีไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 540 nm

4) สำหรับแบลงค์ใช้น้ำกลั่น แล้วทำเช่นเดียวกับน้ำตัวอย่าง

5) จดบันทึกค่าความเข้มข้นที่วัดได้ หรือนำค่าการดูดกลืนแสงที่ได้ไปคำนวณหาความเข้มข้นของไนโตรท์ในตัวอย่างจากกราฟมาตรฐานที่ได้เตรียมไว้

## 3. การวิเคราะห์หาไนเตรท ( $\text{NO}_3^-$ ) (Cadmium reduction method) (Strickland and Parsons, 1972)

### สารเคมีและวิธีเตรียม

1. สารละลายแอมโมเนียมเข้มข้น โดยละลายแอมโมเนียมคลอไรด์ ( $\text{NH}_4\text{Cl}$ ) 125 g ในน้ำกลั่น 500 ml เก็บสารละลายที่ได้ในขวดแก้วหรือขวดพลาสติก

2. สารละลายแอมโมเนียมเจือจาง โดยดูดสารละลายในข้อ 1 มา 50 ml แล้วเจือจางด้วยน้ำกลั่นให้ได้ 2000 ml เก็บสารละลายที่ได้ในขวดแก้วหรือขวดพลาสติก

3. สารละลายซัลฟานิลาไมด์ ใช้สารละลายเดียวกับไนโตรท์

4. สารละลายแนฟทิล เอธิลีน ไดอะมีน ไดไฮโดรคลอไรด์ (NED) ใช้สารละลายเดียวกับไนโตรท์

5. น้ำทะเลเทียม เตรียมเช่นเดียวกับการวิเคราะห์หาแอมโมเนีย
6. สารละลาย  $\text{CuSO}_4$  2 % (W/V) โดยละลาย  $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$  10 g ในน้ำกลั่น 500 ml
7. สารละลายมาตรฐานของไนเตรท โดยละลายโปแทสเซียมไนเตรท ( $\text{KNO}_3$ ) ที่อบแห้ง 105-110 °C นาน 1-1.5 ชั่วโมง จำนวน 1.02 g ในน้ำกลั่น แล้วเจือจางให้เป็น 1 L สารละลายนี้มีความเข้มข้น 140 mg-N/L สารละลายที่ได้เรียกว่า stock standard solution เก็บสารละลายนี้ไว้ในขวดสีชาแล้วแช่เย็นไว้ สารละลายนี้เสถียรตลอดไป

### การเตรียมคอลัมน์

1. ชั่งโลหะแคดเมียมมาประมาณ 50 g ผสมกับสารละลาย  $\text{CuSO}_4$  2 % (W/V) 250 ml กวนจนกระทั่งสีฟ้าของสารละลายจางลงและเริ่มมีตะกอนของทองแดงในสารละลาย จากนั้นล้างด้วยน้ำกลั่นประมาณ 10 ครั้ง
2. อุดด้านในของคอลัมน์ด้วยใยแก้วหรือขดลวดทองแดง แล้วเติมสารละลายแอมโมเนียมคลอไรด์เจือจางให้เต็มคอลัมน์ ทำการบรรจุผงแคดเมียมลงในคอลัมน์ (ระวังอย่าให้แคดเมียมสัมผัสกับอากาศ) จากนั้นล้างคอลัมน์ด้วยสารละลายแอมโมเนียมคลอไรด์เจือจาง 3 ครั้ง
3. เติมสารละลายมาตรฐานของไนเตรท 1.4 mg-N/L 100 ml (เติมสารละลายแอมโมเนียเข้มข้น 2 ml แล้ว) ปล่อยให้ไหลผ่านคอลัมน์ด้วยอัตราการไหล 8-12 ml/นาที่ เพื่อ activated คอลัมน์ จากนั้นล้างคอลัมน์ด้วยสารละลายแอมโมเนียมคลอไรด์เจือจางอีก 3 ครั้ง

### ขั้นตอนการวิเคราะห์

1. การเตรียมกราฟมาตรฐาน
  - 1) ใ้ไปเปิดดูดสารละลายจาก stock standard solution มา 5 ml ใ้ในขวดวัดปริมาตรแล้วเจือจางด้วยน้ำกลั่นใ้ได้ 500 ml สารละลายนี้มีความเข้มข้น 1.4 mg-N/L สารละลายนี้เรียกว่า intermediate standard solution
  - 2) ดูดสารละลาย intermediate standard solution 1, 5, 10 และ 20 ml ใ้ในขวดวัดปริมาตรขนาด 100 ml เจือจางด้วยน้ำทะเลเทียมใ้ได้ 100 ml สารละลายนี้มีความเข้มข้น 0.014, 0.070, 0.140, และ 0.280 mg-N/L ตามลำดับ สารละลายนี้เรียกว่า working standard solution สำหรับแปลงใ้ใช้น้ำทะเลเทียม
  - 3) เติมสารละลายแอมโมเนียเข้มข้น 2 ml ลงใน working standard solution และแปลงใ้ที่จะนำมาผ่านคอลัมน์ แล้วเขย่าใ้เข้ากัน



4) นำ working standard solution และแบบลงในข้อ 3) ไปผ่านคอลัมน์ โดยปรับให้ สารละลายในคอลัมน์ไหลด้วยอัตรา 8-12 ml/นาที จากนั้นเติมสารละลายที่ได้ประมาณ 5-10 ml ปลอ่ยสารละลายในคอลัมน์ทิ้งจนเหลือระดับเดิม แล้วเติมสารละลายที่เหลือลงในคอลัมน์ ปลอ่ย สารละลายทิ้งประมาณ 25 ml เก็บสารละลายที่เป็ดออกในช่วงหลังให้ได้ปริมาตร 50 ml ส่วน สารละลายที่เหลือปลอ่ยทิ้งไป

5) เติมสารละลายซัลฟานิลาไมด์ 1 ml ทันทึ เขย่าให้เข้ากัน ตั้งทิ้งไว้ 2-8 นาที เพื่อให้เกิดปฏิกิริยาสมบูรณ จากนั้นเติมสารละลาย NED 1 ml เขย่าตัวอย่างทันทึ ตั้งทิ้งไว้ 10 นาที ถึง 1 ชั่วโมง จากนั้นนำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 543 nm

6) หากความสัมพันธ์ระหว่างค่าการดูดกลืนแสงที่วัดได้กับความเข้มข้นด้วยวิธี linear regression (ผู้วิเคราะห์อาจหาความสัมพันธ์จากเครื่องวัดการดูดกลืนแสงโดยตรงก็ได้)

## 2. การวิเคราะห์ตัวอย่าง

- 1) ตวงน้ำตัวอย่างซึ่งผ่านการกรองด้วยแผ่นกรอง GF/C ใส่พลาสติกรูปชมพู่ 100 ml
- 2) เติมสารละลายแอมโมเนียเข้มข้น 2 ml เขย่าให้เข้ากัน
- 3) เติมสารละลายในข้อ 2) ประมาณ 5-10 ml ลงในคอลัมน์ที่มีอัตราการไหล 8-12 นาที ต่อ 100 ml ปลอ่ยสารละลายในคอลัมน์ทิ้งจนเหลือระดับเดิม
- 4) เติมสารละลายในข้อ 2) ที่เหลือลงในคอลัมน์ ปลอ่ยสารละลายทิ้ง ไว้ประมาณ 25 ml แล้วเก็บสารละลายที่เป็ดออกในช่วงหลังให้ได้ปริมาตร 50 ml
- 5) เติมสารละลายซัลฟานิลาไมด์ 1 ml ทันทึ เขย่าให้เข้ากัน ตั้งทิ้งไว้ 2-8 นาที เพื่อให้เกิดปฏิกิริยาสมบูรณ
- 6) เติมสารละลาย NED 1 ml เขย่าตัวอย่างทันทึ ตั้งทิ้งไว้ 10 นาที ถึง 1 ชั่วโมง จากนั้นนำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 543 nm คำนวณหาความเข้มข้นของไนเตรท จากกราฟมาตรฐานที่เตรียมไว้
- 7) ความเข้มข้นของไนเตรท = ความเข้มข้นจากตัวอย่างที่ผ่านคอลัมน์-ค่าไนเตรท ของตัวอย่างนั้น

## 3. การหาประสิทธิภาพของคอลัมน์

- 1) เตรียมสารละลายมาตรฐานของไนเตรทและไนเตรทที่ความเข้มข้นเดียวกัน สำหรับคอลัมน์แต่ละคอลัมน์ (แบบลงค์ใช้จากแบบลงค์ของตัวอย่าง)
- 2) นำสารละลายของไนเตรทไปผ่านคอลัมน์โดยดำเนินการเช่นเดียวกับตัวอย่าง ทุกขั้นตอน สำหรับสารละลายมาตรฐานของไนเตรทเติม sulfanilamide และ NED โดยไม่ต้องผ่าน คอลัมน์

$$3) \text{ นำไปวัดค่าการดูดกลืนแสง คำนวณหาประสิทธิภาพของคอลัมน์ดังนี้}$$

$$\text{ประสิทธิภาพของคอลัมน์} = \frac{\text{Abs}(0.070 \text{ mg-N/L NO}_3^-) - \text{Abs}(\text{Blank mg-N/L NO}_3^-)}{\text{Abs}(0.070 \text{ mg-N/L NO}_2^-) - \text{Abs}(\text{Blank mg-N/L NO}_2^-)} \times 100$$

ประสิทธิภาพของคอลัมน์ควรอยู่ระหว่าง 90–110 % หากประสิทธิภาพของคอลัมน์มีค่าต่ำกว่า 90 % และมากกว่า 110 % ควรปฏิบัติดังนี้

- 1) กระตุ้นด้วยสารละลาย  $\text{KNO}_3$  1.4 mg-N/L จำนวน 100 ml โดยปล่อยให้ไหลผ่านคอลัมน์ด้วยอัตราการไหลเช่นเดียวกับตัวอย่าง
- 2) ล้างด้วยสารละลายแอมโมเนียมคลอไรด์เจือจาง 100 ml 3 ครั้ง
- 3) ผ่านตัวอย่างตามปกติ
- 4) หากประสิทธิภาพของคอลัมน์ยังต่ำกว่า 90 % ควรเตรียมคอลัมน์ใหม่
- 5) ฟองแคดเมียมที่ใช้ไปนานๆ อาจแตกละเอียดทำให้สารละลายไหลช้า ควรกรองฟองแคดเมียมด้วยตะแกรงร่อนที่มี mesh size 0.5-1 ml เพื่อแยกฟองที่ละเอียดออกไป

#### 4. การวิเคราะห์หาออร์โธฟอสเฟต ( $\text{PO}_4^{3-}$ ) (Strickland and Parsons, 1972)

##### สารเคมีและวิธีเตรียม

1. สารละลายแอมโมเนียมโมลิบเดต: ละลายแอมโมเนียมโมลิบเดต ( $(\text{NH}_4)_6\text{Mo}_7\text{O}_{24} \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ ) 15 g ในน้ำกลั่น แล้วปรับปริมาตรให้ได้ 500 ml เก็บสารละลายนี้ไว้ในขวดพลาสติก และไม่ให้ออกแสง สารละลายนี้เสถียรตลอดไป
2. สารละลายกรดซัลฟูริก : เติมกรดซัลฟูริกเข้มข้น ( $\text{H}_2\text{SO}_4$ ) 140 ml ลงในน้ำกลั่น 900 ml (ค่อยๆ เท) ตั้งทิ้งไว้ให้เย็นแล้วเก็บไว้ในขวดแก้ว
3. สารละลายกรดแอสคอร์บิก : ละลายกรดแอสคอร์บิก 27 g ในน้ำกลั่น 500 ml เก็บสารละลายไว้ในขวดพลาสติก นำไปแช่แข็ง สารละลายนี้เสถียรเป็นเวลาหลายเดือน หากเก็บไว้ที่อุณหภูมิห้องจะมีอายุใช้งานเพียง 1 สัปดาห์
4. สารละลายโปแตสเซียมแอนติโมนิอาร์เทรต : ละลายโปแตสเซียมแอนติโมนิอาร์เทรต ( $(\text{K}(\text{SbO})\text{C}_4\text{H}_4\text{O}_6 \cdot 0.5\text{H}_2\text{O})$ ) 0.34 g ในน้ำกลั่น 250 ml เก็บรักษาสารละลายไว้ในขวดแก้วหรือขวดพลาสติก สารละลายนี้เสถียรเป็นเวลาหลายเดือน
5. น้ำยาเคมีผสม (mixed reagent): ผสมสารละลายต่อไปนี้เข้าด้วยกัน สารละลายแอมโมเนียมโมลิบเดต, สารละลายกรดซัลฟูริก, สารละลายกรดแอสคอร์บิก และสารละลายโปแตสเซียมแอนติโมนิอาร์เทรต ในอัตราส่วน 2 : 5.5 : 2 : 1 น้ำยาเคมีผสมควรใช้ภายในเวลา 6 ชั่วโมง

6. สารละลายมาตรฐานฟอสเฟต : ละลายโปแตสเซียมไดไฮโดรเจนฟอสเฟต ( $\text{KH}_2\text{PO}_4$ ) ที่อบแห้ง  $105^\circ\text{C}$  นาน 1-24 ชั่วโมง จำนวน 0.2197 g ในน้ำกลั่น แล้วปรับปริมาตรให้ได้ 1 L สารละลายนี้มีความเข้มข้น 50 mg-P/L

### ขั้นตอนการวิเคราะห์

#### 1. การเตรียมกราฟมาตรฐาน

1) คุกสารละลายมาตรฐานฟอสเฟตมา 10 ml แล้วปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นให้ได้ 100 ml สารละลายนี้มีความเข้มข้น 5.0 mg-P/L สารละลายนี้เรียกว่า intermediate standard solution

2) คุก intermediate standard solution 1, 2, 3, 4 และ 5 ml ปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นให้ได้ 50 ml สารละลายจะมีความเข้มข้น 0.1, 0.2, 0.3, 0.4 และ 0.5 mg-P/L ตามลำดับ สำหรับ blank ใช้ น้ำกลั่น

3) เติมน้ำยาเคมีผสมจำนวน 5 ml เขย่าให้เข้ากัน ตั้งทิ้งไว้ 5 นาที ถึง 2-3 ชั่วโมง

4) นำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 885 nm จดบันทึกค่าการดูดกลืนแสงที่ได้

5) หาความสัมพันธ์ระหว่างค่าการดูดกลืนแสงที่วัดได้กับความเข้มข้นด้วยวิธี linear regression

#### 2. การวิเคราะห์ตัวอย่าง

1) ใช้กระบอกตวงตวงน้ำตัวอย่าง ซึ่งผ่านการกรองด้วยแผ่นกรอง GF/C จำนวน 100 ml ใส่พลาสติกรูปชมพู่ สำหรับแบลงค์ใช้น้ำกลั่น

2) เติมน้ำยาเคมีผสมจำนวน 10 ml เขย่าให้เข้ากัน ตั้งทิ้งไว้ 5 นาที ถึง 2-3 ชั่วโมง

3) นำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 885 nm จดบันทึกค่าที่วัดได้

