การเปรียบเทียบการเจริญ และองค์ประกอบทางเคมีของสาหร่ายไก (*Rhizoclonium* sp.) ในการเพาะเลี้ยงที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม

ธัญญาลักษณ์ มาลา

ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาเทคโนโลยีการประมงและทรัพยากรทางน้ำ
มหาวิทยาลัยแม่โจ้
พ.ศ. 2561

การเปรียบเทียบการเจริญ และองค์ประกอบทางเคมีของสาหร่ายไก
(*Rhizoclonium* sp.) ในการเพาะเลี้ยงที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม

ธัญญาลักษณ์ มาลา

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของความสมบูรณ์ของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาเทคโนโลยีการประมงและทรัพยากรทางน้ำ
บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยแม่โจ้
พ.ศ. 2561

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยแม่โจ้

การเปรียบเทียบการเจริญ และองค์ประกอบทางเคมีของสาหร่ายไก
(*Rhizoclonium* sp.) ในการเพาะเลี้ยงที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม

ธัญญาลักษณ์ มาลา

วิทยานิพนธ์นี้ได้รับการพิจารณาอนุมัติให้เป็นส่วนหนึ่งของความสมบูรณ์ของการศึกษา
ตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาเทคโนโลยีการประมงและทรัพยากรทางน้ำ

พิจารณาเห็นชอบโดย **อาจารย์ที่ปรึกษา**

อาจารย์ที่ปรึกษาหลัก ....
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.จงกล พรมยะ)
วันที่............ เดือน.................... พ.ศ. ....

อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม ....
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ดวงพร อมรเลิศพิศาล)
วันที่............ เดือน.................... พ.ศ. ....

อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม ....
(รองศาสตราจารย์ ดร.วิจิตรา แดงปรก)
วันที่............ เดือน.................... พ.ศ. ....

ประธานอาจารย์ประจำหลักสูตร ....
(อาจารย์ ดร.สุดาพร ตงศิริ)
วันที่............ เดือน.................... พ.ศ. ....

บัณฑิตวิทยาลัยรับรองแล้ว ....
(รองศาสตราจารย์ ดร.เกรียงศักดิ์ เม่งอำพัน)
คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย
วันที่............ เดือน.................... พ.ศ. ....

ชื่อเรื่อง	การเปรียบเทียบการเจริญ และองค์ประกอบทางเคมีของสาหร่ายไก (*Rhizoclonium* sp.) ในการเพาะเลี้ยงที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม
ชื่อผู้เขียน	นางสาวธัญญาลักษณ์ มาลา
ชื่อปริญญา	วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีการประมงและทรัพยากรทางน้ำ
อาจารย์ที่ปรึกษาหลัก	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.จงกล พรมยะ

บทคัดย่อ

การเปรียบเทียบการเจริญ และองค์ประกอบทางเคมีของสาหร่ายไก ในการเพาะเลี้ยงที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาการเจริญ มวลชีวภาพ องค์ประกอบทางเคมี คุณภาพน้ำ และการแปรรูปของสาหร่ายไกในสูตรอาหารที่ต่างกัน วางแผนการทดลองแบบ RCBD แบ่งเป็น 3 ชุดการทดลองๆ ละ 6 ซ้ำ คือ ชุดการทดลองที่ 1 (T_1) น้ำประปา (ชุดควบคุม) ชุดการทดลองที่ 2 (T_2) ใช้สารอาหาร N:P:K (16:16:16) 0.002 กรัมต่อลิตร และชุดการทดลองที่ 3 (T_3) ใช้สารอาหาร $NaHCO_3$ 2.13 กรัมต่อลิตร $NaNO_3$ 0.38 กรัมต่อลิตร และ K_2HPO_4 0.13 กรัมต่อลิตร โดยทำการเพาะเลี้ยงในบ่อซีเมนต์ระบบ raceway ponds เก็บข้อมูลทุกๆ 15 วัน เป็นระยะเวลา 180 วัน พบว่า T_2 มีการเจริญเติบโตโดยการวัดความยาวมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 7.68 นิ้วต่อเดือน และมวลชีวภาพโดยน้ำหนักสดมีค่าเท่ากับ 1,140 กรัมต่อตารางเมตร มากกว่า T_1 และ T_3 ตามลำดับ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) การวิเคราะห์คุณภาพน้ำ พบว่าอุณหภูมิอากาศอยู่ในช่วง 27.5-37.5 องศาเซลเซียส อุณหภูมิน้ำอยู่ในช่วง 22.0-28.5 องศาเซลเซียส ค่าความเป็นกรด-ด่างอยู่ในช่วง 8.40-9.55 ปริมาณออกซิเจนที่ละลายน้ำอยู่ในช่วง 5.8-9.9 มิลลิกรัมต่อลิตร แอมโมเนียอยู่ในช่วง 0.00-0.15 มิลลิกรัมต่อลิตร ไนไตรท์อยู่ในช่วง 6.37-10.32 มิลลิกรัมต่อลิตร ไนเตรทอยู่ในช่วง 8.90-191.55 มิลลิกรัมต่อลิตร และออร์โธฟอสเฟตอยู่ในช่วง 1.72-81.07 มิลลิกรัมต่อลิตร และองค์ประกอบทางเคมี พบว่า T_3 มีค่าโปรตีน 32.03 เปอร์เซ็นต์ ไขมัน 18.82 เปอร์เซ็นต์ เยื่อใย 28.42 เปอร์เซ็นต์ และความชื้น 7.61 เปอร์เซ็นต์ มากกว่าชุดการทดลองอื่นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) จากผลการทดลองสรุปได้ว่าชุดการทดลองที่ 3 มีองค์ประกอบทางเคมีมากกว่าชุดการทดลองอื่น จึงมีการพัฒนาเป็นผลิตภัณฑ์บะหมี่สาหร่ายไกอบแห้ง เมื่อทดสอบความพึงพอใจของผู้บริโภคจำนวน 100 คน พบว่าการยอมรับของคุณลักษณะต่างๆ ได้แก่ ลักษณะปรากฏ สี กลิ่น รสชาติ ความนุ่ม ความเหนียว และความชอบรวมของบะหมี่สาหร่ายไกอบแห้ง กับบะหมี่ที่ขายทั่วไปตามท้องตลาด ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$)

Title	Comparison of Growth and Proximate Analysis of Sarai Kai(*Rhizoclonium* sp.) Cultivation in Environmentally
Author	MissTanyaluk Mala
Degree	Master of Science in Fisheries Technology and Aquatic Resources
Advisor Committee Chairperson	Assistant Professor Dr.Jongkon Promya

ABSTRACT

Comparison of growth and proximate analysis of sarai kai (*Rhizoclonium* sp.) cultivation in environmentally friendly condition was investigated. The aim of this research was to determine growth, biomass, proximate analysis, water quality and study the processing of new products of *Rhizoclonium* sp. cultured in different formula. The RCBD experiments were divided into three treatments, with six replication each: T_1 Water Supply (Control), T_2 with N:P:K (16:16:16) 0.002 g/L and T_3 with $NaHCO_3$ 2.13 g/L, $NaNO_3$ 0.38 g/L and K_2HPO_4 0.13 g/L. The experiment was set up in raceway ponds. The data was collected every 15 days over a 180-day-culture period. The results showed that by measuring lengths of algae growth in T_2 equal to 7.68 inches/month and biomass of raw weight equal to 1140 g/m^2 was significantly higher than T_1 and T_3, respectively ($P<0.05$). Water quality analysis, air temperature 27.5-37.5°C, water temperature 22.0-28.5°C, pH 8.40-9.55, Dissolved Oxygen 5.8-9.9 m/l, NH_3 0.00-0.15 m/l, NO_2 6.37-10.32 m/l, NO_3 8.90-191.55 m/l and PO_4 1.72-81.07 m/l and proximate analysis, it was revealed that T_3 had protein 32.03%, fat 18.82%, fiber 28.42%, and moisture 7.61%, significantly higher than other treatments ($P<0.05$). As algae in T_3 had proximate analysis higher than the other treatments, product such as dry egg noodle with Kai were developed. According to the consumer sensory test of 100 people it was found that the acceptance of features such as appearance, color, odor, taste was significant difference, but softness, toughness and overall acceptability of dry egg noodle with Kai compared with noodles brand A was no

significant difference (P>0.05); the overall acceptability ranged between not bothered to like slightly (5.58-6.99).

มหาวิทยาลัยแม่โจ้ MAEJO UNIVERSITY แม่โจ้ ๒๔๗๗

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยครั้งนี้สำเร็จลงได้ด้วยความอนุเคราะห์และความร่วมมือจากหลายฝ่ายด้วยกัน ซึ่งทางผู้วิจัยขอขอบพระคุณบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยแม่โจ้ “ทุนศิษย์ก้นกุฏิ” ที่ให้การสนับสนุนทุนอุดหนุนการวิจัยในครั้งนี้

ขอขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.จงกล พรมยะ และผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ดวงพร อมรเลิศพิศาล คณะเทคโนโลยีการประมงและทรัพยากรทางน้ำ รองศาสตราจารย์ ดร.วิจิตรา แดงปรก คณะวิศวกรรมและอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยแม่โจ้ ที่ได้กรุณาให้คำแนะนำวิธีการดำเนินงานวิจัยและให้กำลังใจมาโดยตลอด รวมทั้งอนุเคราะห์สถานที่ในการทำงานวิจัยในครั้งนี้ และผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.จีรพร เพกเกาะ ภาควิชาชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ ที่ได้สละเวลามาเป็นประธานกรรมการสอบในครั้งนี้

สุดท้ายนี้ขอขอบพระคุณคณาจารย์ และเจ้าหน้าที่ คณะเทคโนโลยีการประมงและทรัพยากรทางน้ำมหาวิทยาลัยแม่โจ้ ที่ได้ให้การสนับสนุนอนุเคราะห์สถานที่ และอำนวยความสะดวกในการทำงานวิจัยตลอดระยะเวลา 1 ปี จนงานสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

ธัญญาลักษณ์ มาลา

กุมภาพันธ์ 2561

MAEJO UNIVERSITY

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อ .... ค

ABSTRACT .... จ

กิตติกรรมประกาศ .... ช

สารบัญ .... ซ

สารบัญตาราง 1

สารบัญภาพ .... ข

บทที่ 1 บทนำ 1

ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา 1

วัตถุประสงค์ของการวิจัย 2

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ 3

บทที่ 2 ทฤษฎีและการตรวจเอกสาร 4

สาหร่าย 4

กลุ่มของสาหร่ายและการจัดจำแนก 5

ปัจจัยที่มีผลต่อการเจริญของสาหร่าย 13

การศึกษาการเพาะเลี้ยงและคุณภาพน้ำ 18

องค์ประกอบทางเคมีของสาหร่ายไก 21

ผลิตภัณฑ์จากสาหร่ายไก 24

การใช้ประโยชน์จากสาหร่ายไก 26

งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 30

กรอบแนวคิดและสมมุติฐานงานวิจัย 36

บทที่ 3 วิธีการวิจัย 37

อุปกรณ์และเครื่องมือทดลอง 37

หน้า

1. การเพาะเลี้ยงสาหร่ายไก 37

2. การวิเคราะห์คุณภาพน้ำ 38

3. การวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี 39

4. การทำบะหมี่สาหร่ายไกอบแห้ง โดยวิธีของ ยุวดี (2560) 39

5. วิธีการทดสอบการยอมรับ และวิธีทดสอบความตั้งใจซื้อของผู้บริโภคต่อบะหมี่สาหร่ายไกอบแห้ง 40

6. ต้นทุนการผลิต 40

การวิเคราะห์ทางสถิติ 40

ขอบเขตของการทำวิจัย 40

ระยะเวลาการทำวิจัยและสถานที่ดำเนินงาน 41

บทที่ 4 ผลการวิจัยและวิจารณ์ 42

1. การจัดจำแนกทางสัณฐานวิทยาของสาหร่ายไก 42

2. การวิเคราะห์ผลผลิตสาหร่ายไกสด 43

3. การวิเคราะห์คุณภาพน้ำ 44

4. การวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี 49

5. ผลของบะหมี่สาหร่ายไกอบแห้งต่อการยอมรับของผู้บริโภค 54

6. ผลการทดสอบความตั้งใจซื้อบะหมี่สาหร่ายไกอบแห้งของผู้บริโภค 55

วิจารณ์ผลการวิจัย 60

บทที่ 5 สรุปและข้อเสนอแนะ 63

ข้อเสนอแนะ 64

บรรณานุกรม 65

ภาคผนวก ก วิธีวิเคราะห์คุณภาพน้ำ 67

1. ค่าความเป็นกรด – เบส (pH) 68

2. ปริมาณออกซิเจนละลายน้ำ (Dissolved Oxygen; DO) : วิเคราะห์โดย Winkler's method แบบ Azide modification 68

3. แอมโมเนีย ไนโตรเจน (Ammonia nitrogen; NH_3-N) วิเคราะห์โดย Phenate method 69

4. ไนไตรท์ ไนโตรเจน (Nitrite nitrogen; NO_2-N) วิเคราะห์โดย Reddish purple azo dye method 70

5. ไนเตรท ไนโตรเจน (Nitrate nitrogen; NO_3-N) วิเคราะห์โดย Hydrazine 71

6. ออร์โธฟอสเฟต ฟอสฟอรัส (Orthophosphate phosphorus; PO_4-P) วิเคราะห์โดย Stannous chloride 73

ภาคผนวก ข วิธีวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี 74

1. การวิเคราะห์โปรตีน 75

2. การวิเคราะห์ไขมัน 77

3. การวิเคราะห์เยื่อใย 78

4. การวิเคราะห์เถ้า 80

5. การวิเคราะห์ความชื้น 81

6. การหาเปอร์เซ็นต์คาร์โบไฮเดรต 82

ภาคผนวก ค แบบทดสอบความชอบ 83

ประวัติผู้วิจัย 89

สารบัญตาราง

ตารางที่ **หน้า**

1 องค์ประกอบทางเคมีของสาหร่ายไกในลำน้ำน่าน 21
2 รงควัตถุ 5 ชนิดของสาหร่ายไกในลำน้ำน่าน 22
3 องค์ประกอบทางเคมีของสาหร่ายไกที่เพาะเลี้ยงทั้ง 3 ชุดการทดลอง 54
4 คะแนนการยอมรับของผู้บริโภคต่อบะหมี่สาหร่ายไกอบแห้งและบะหมี่ยี่ห้อ A 55
5 ข้อมูลทั่วไปของผู้ตอบแบบสอบถาม (n=100) 56
6 ข้อมูลพฤติกรรมการบริโภคบะหมี่สาหร่ายไกอบแห้ง 57
7 คะแนนความสำคัญของปัจจัยต่างๆ ที่มีผลต่อการบริโภคบะหมี่สาหร่ายไกอบแห้ง 58
8 ข้อมูลเกี่ยวกับความต้องการของผู้บริโภคและการพัฒนาผลิตภัณฑ์ 58

สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
1	สาหร่ายไก	6
2	ชนิดของสาหร่ายไก	9
3	เส้นสาย Sporophyte ที่สร้าง zoospore	10
4	ลักษณะเส้นสาย Gametophyte ของ *Rhizoclonium* ที่เลี้ยงในห้องปฏิบัติการ	10
5	เซลล์สืบพันธุ์แบบ Akinete ของสาหร่ายไกสกุล *Rhizoclonium*	11
6	Aplanospore ที่สร้างในระยะ Sporophyte	12
7	วงจรชีวิตของ *Rhizoclonium* sp. จากลำน้ำน่าน	12
8	วงจรชีวิตของ *Cladophora* sp. ชนิดที่ใช้ในการเพาะเลี้ยง	13
9	บ่อเพาะเลี้ยงสาหร่ายไก	38
10	สาหร่ายไก (*Rhizoclonium*)	42
11	ความยาวเส้นสายของสาหร่ายไกทั้ง 3 ชุดการทดลอง ระยะเวลาเลี้ยง 180 วัน	43
12	มวลชีวภาพของสาหร่ายไกทั้ง 3 ชุดการทดลอง ระยะเวลาเลี้ยง 180 วัน	43
13	การวิเคราะห์ค่าอุณหภูมิอากาศของการเพาะเลี้ยงสาหร่ายไกทั้ง 3 ชุดการทดลอง ระยะเวลาเลี้ยง 180 วัน	45
14	การวิเคราะห์ค่าอุณหภูมิน้ำของการเพาะเลี้ยงสาหร่ายไกทั้ง 3 ชุดการทดลอง ระยะเวลาเลี้ยง 180 วัน	46
15	การวิเคราะห์ค่าความเป็นกรด-เบสของการเพาะเลี้ยงสาหร่ายไกทั้ง 3 ชุดการทดลอง ระยะเวลาเลี้ยง 180 วัน	46
16	การวิเคราะห์ปริมาณออกซิเจนที่ละลายน้ำของการเพาะเลี้ยงสาหร่ายไก ทั้ง 3 ชุดการทดลอง ระยะเวลาเลี้ยง 180 วัน	47
17	การวิเคราะห์ค่าแอมโมเนียของการเพาะเลี้ยงสาหร่ายไกทั้ง 3 ชุดการทดลอง ระยะเวลาเลี้ยง 180 วัน	47
18	การวิเคราะห์ค่าออร์โธฟอสเฟตของการเพาะเลี้ยงสาหร่ายไกทั้ง 3 ชุดการทดลอง ระยะเวลาเลี้ยง 180 วัน	48
19	การวิเคราะห์ค่าไนไตรท์ของการเพาะเลี้ยงสาหร่ายไกทั้ง 3 ชุดการทดลอง ระยะเวลาเลี้ยง 180 วัน	48
20	การวิเคราะห์ค่าไนเตรทของการเพาะเลี้ยงสาหร่ายไกทั้ง 3 ชุดการทดลอง ระยะเวลาเลี้ยง 180 วัน	49

21 การวิเคราะห์ปริมาณโปรตีนของสาหร่ายไกทั้ง 3 ชุดการทดลอง 51
22 การวิเคราะห์ปริมาณไขมันของสาหร่ายไกทั้ง 3 ชุดการทดลอง 51
23 การวิเคราะห์ปริมาณคาร์โบไฮเดรตของสาหร่ายไกทั้ง 3 ชุดการทดลอง 52
24 การวิเคราะห์ปริมาณเยื่อใยของสาหร่ายไกทั้ง 3 ชุดการทดลอง 52
25 การวิเคราะห์ปริมาณความชื้นของสาหร่ายไกทั้ง 3 ชุดการทดลอง 53
26 การวิเคราะห์ปริมาณเถ้าของสาหร่ายไกทั้ง 3 ชุดการทดลอง 53
27 ผลิตภัณฑ์บะหมี่สาหร่ายไกอบแห้ง 59

มหาวิทยาลัยแม่โจ้ MAEJO UNIVERSITY

บทที่ 1
บทนำ

ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

สาหร่ายน้ำจืดขนาดใหญ่ถือเป็นทรัพยากรธรรมชาติที่มีความสำคัญต่อประชากรบางท้องถิ่นที่มีการนำมาใช้ให้เกิดประโยชน์ นำมาทำเป็นอาหารมาเป็นเวลานาน โดยมีความเชื่อที่ได้ถ่ายทอดมาจากบรรพบุรุษว่า สาหร่ายบางชนิดมีคุณสมบัติช่วยรักษาสุขภาพ และทำให้อายุยืน เช่นประชากรในแถบภาคเหนือ และภาคตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศไทย นิยมนำสาหร่ายน้ำจืดบางชนิดมาใช้เป็นอาหาร เช่น สาหร่ายสกุล *Cladophora*, *Rhizoclonium*, *Spirogyra* และ *Nostochopsis* สาหร่ายบางชนิดเมื่อมองจากภายนอกแล้วจะมีลักษณะคล้ายคลึงกันทำให้มีการเรียกชื่อที่ต่างกันในแต่ละท้องถิ่นโดย *Spirogyra* เรียกว่า สาหร่ายเตา หรือเทาน้ำ *Cladophora* และ *Rhizoclonium* เรียกว่าสาหร่ายไก หรือไก ยุวดี และคณะ (2552) กล่าวว่า สาหร่ายไกเป็นสาหร่ายที่มีมากในลำน้ำน่าน บริเวณอำเภอท่าวังผา จังหวัดน่าน และลำน้ำโขง บริเวณอำเภอเชียงของ จังหวัดเชียงราย ในช่วงฤดูหนาวต่อกับฤดูร้อน ประชากร 2 ฝั่งลำน้ำนี้จะนำมาใช้ประโยชน์ในด้านการเป็นอาหารเช่นกัน

สาหร่ายไก *Cladophora* และ *Rhizoclonium* เป็นสาหร่ายสีเขียวน้ำจืดขนาดใหญ่ อยู่ใน Division Chlorophyta เป็นสาหร่ายประเภทยึดเกาะขนาดใหญ่ที่เจริญทั้งในน้ำจืดและน้ำเค็ม สาหร่ายไกจะเจริญในน้ำใส และกระแสน้ำไหลไม่แรงมาก จะเจริญโดยการยึดเกาะกับก้อนหินทั่วลำน้ำ และเป็นที่รู้จักกันอย่างกว้างขวางว่ามีโปรตีนสูง ยุวดี และคณะ (2552) กล่าวว่าสาหร่ายไกมีโปรตีนสูงถึง 20 เปอร์เซ็นต์ เส้นใยอยู่ในปริมาณที่พอเหมาะมากกว่าผักหรือผลไม้ทั่วไปมี 21 เปอร์เซ็นต์ คาร์โบไฮเดรต 31 เปอร์เซ็นต์ วิตามินบีโดยเฉพาะบี 2 ถึง 355 ไมโครกรัมต่อ 100 กรัม นอกจากนั้นก็มีกรดโฟลิค และกรดแพนโทธีนิก ซึ่งเป็นกลุ่มวิตามินที่สำคัญอยู่ในปริมาณที่เหมาะสมนับได้ว่าสาหร่ายไกมีองค์ประกอบทางเคมีโดยทั่วไปสูงกว่าผักและผลไม้ ซึ่งถือได้ว่าเป็นอาหารกลุ่มที่ให้โปรตีน เส้นใย และวิตามินค่อนข้างสูง และที่โดดเด่นคือ มีซิลีเนียม ซึ่งเป็นสารป้องกันการเกิดอนุมูลอิสระสูงมาก มีเบต้าแคโรทีนมากกว่าแครอทถึง 4 เท่า ช่วยลดคลอเลสเตอรอลได้จึงไม่ทำให้อ้วน นอกจากนี้ยังพบกลุ่มสารประกอบฟีโนลิกที่มีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระในสาหร่ายไกอีกด้วย อนุมูลอิสระยังมีบทบาทในการเกิดการอักเสบ และการทำลายเนื้อเยื่อ มีผลต่อความเสื่อมหรือการแก่ของเซลล์ทำให้เป็นต้นเหตุ การเกิดโรคต่างๆ มีรายงานวิจัยพบว่า สารสกัดน้ำของสาหร่ายไกมีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ เมื่อทดสอบในการทดลองฤทธิ์กำจัดอนุมูล DPPH ฤทธิ์กำจัดอนุมูล superoxide และฤทธิ์ต้านการเกิด lipid peroxidation

สาหร่ายไกที่เก็บจากธรรมชาติจะมีเฉพาะในฤดูหนาวต่อกับฤดูร้อน ในบริเวณที่ระดับน้ำค่อนข้างตื้นและน้ำค่อนข้างใส โดยที่จังหวัดน่านจะพบมากในช่วงเวลา 4–5 เดือน แต่ที่จังหวัดเชียงรายจะพบมากในช่วงเวลาประมาณ 3–4 เดือน ทวีศักดิ์ และศิริเพ็ญ (2553) กล่าวว่าปัจจุบันมีปัญหามลภาวะทางน้ำ ประกอบกับสภาพอากาศและฤดูกาลที่เปลี่ยนแปลงไปจากสภาวะโลกร้อน ทำให้สาหร่ายไกเจริญเติบโตได้เพียงไม่กี่เดือนเท่านั้น โดยเฉพาะสาหร่ายไกในแม่น้ำโขงซึ่งได้รับผลกระทบอย่างมากจากการสร้างเขื่อนในประเทศจีนและการระเบิดแก่งในแม่น้ำโขง ส่งผลกระทบให้น้ำมีตะกอนมาก และบางช่วงเกิดภาวะน้ำในแม่น้ำเหือดแห้งจากการปิดเขื่อนในประเทศจีน ทำให้สาหร่ายไกไม่สามารถเจริญเติบโตได้ ซึ่งปัจจุบันชาวบ้านในจังหวัดเชียงรายสามารถเก็บเกี่ยวสาหร่ายไกในแม่น้ำโขงได้เพียงไม่กี่วันเท่านั้น และสาหร่ายไกที่เก็บจากลำน้ำน่าน จังหวัดน่านอาจมีสารพิษปนเปื้อนจากสารเคมี ทำให้เมื่อนำมารับประทานอาจจะไม่ปลอดภัย โพสต์ทูเดย์ (2559) กล่าวว่ามีผลวิจัยของ รศ.ดร.พวงรัตน์ ขจิตวิชยานุกูล อาจารย์คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร ว่าจังหวัดน่านมีการใช้สารเคมีด้านการเกษตรมีปริมาณสูงถึงปีละ 2,400,000 กิโลกรัมต่อปี และจากการสำรวจแม่น้ำน่าน จังหวัดน่านโดยการสุ่มตรวจปลาในแม่น้ำ ซึ่งพบสารเคมี ไกรโฟเซต ซึ่งเป็นยาฆ่าหญ้าชนิดดูดซึม พบว่ามีปริมาณสูงกว่า 10,000 ไมโครกรัมต่อกิโลกรัม ซึ่งเป็นปริมาณความเข้มข้นที่เกินค่ามาตรฐานของสำนักงานมาตรฐานสินค้าเกษตรและอาหารแห่งชาติ และมาตรฐานสากลของ Codex ที่ต้องไม่เกิน 50 ไมโครกรัมต่อกิโลกรัม นอกจากนี้ยังพบสารเคมีที่ใช้ในการเกษตร 4 ชนิด ที่ปนเปื้อนในน้ำประปาหมู่บ้าน และโรงผลิตน้ำดื่มทั่วทั้งจังหวัดน่าน ที่อาจก่อให้เกิดอันตรายต่อสุขภาพได้

ดังนั้นผู้วิจัยจึงทำการเพาะเลี้ยงเพื่อแก้ไขปัญหาดังกล่าว และเพื่อให้สามารถผลิตสาหร่ายไกได้ตลอดทั้งปีและเพาะเลี้ยงในระบบปิดจึงสามารถควบคุมสารพิษปนเปื้อนในน้ำที่อาจปนอยู่ในสาหร่ายนั้นได้ เพื่อให้ได้สาหร่ายไกปลอดภัยต่อผู้บริโภค แล้วยังสามารถถ่ายทอดความรู้ให้กับเกษตรกร และผู้ที่สนใจนำไปเพาะเลี้ยงเพื่อประกอบอาชีพได้โดยที่ไม่ต้องรอเก็บสาหร่ายไกจากธรรมชาติเพียงอย่างเดียว และยังเป็นการเพิ่มมูลค่าทรัพยากรทางน้ำให้เกิดการพัฒนาที่ยั่งยืนต่อไป

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. ศึกษาการเจริญและมวลชีวภาพของสาหร่ายไกในสูตรอาหารที่ต่างกัน เพื่อผลิตสาหร่ายไกปลอดภัย
2. ศึกษาคุณภาพน้ำ และองค์ประกอบทางเคมีของสาหร่ายไกในการเพาะเลี้ยงที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม
3. ศึกษาการแปรรูปสาหร่ายไกที่ได้มาตรฐานและปลอดภัย

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. องค์ความรู้ที่ได้จากงานวิจัยสามารถเพิ่มมูลค่าให้กับสาหร่ายไกได้

2. ถ่ายทอดองค์ความรู้จากงานวิจัยสู่ชุมชนเพื่อเป็นแนวทางในการประกอบอาชีพให้แก่เกษตรกร และผู้ที่สนใจได้

3. ได้ผลผลิตและผลิตภัณฑ์สาหร่ายไกปลอดภัย

4. เป็นข้อมูลพื้นฐานในการวิจัยต่อไป

บทที่ 2
ทฤษฎีและการตรวจเอกสาร

สาหร่าย

สาหร่าย (algae) เป็นสิ่งมีชีวิตที่สามารถสร้างอาหารได้ด้วยตนเองจากกระบวนการสังเคราะห์แสงเช่นเดียวกับพืชทั่วไป มีขนาดเล็กตั้งแต่มองด้วยตาเปล่าไม่เห็นจนกระทั่งถึงขนาดใหญ่มีความยาวหลายเมตร เช่น สาหร่ายทะเลหลายชนิด สาหร่ายมีรูปร่างหลายแบบ อาจจะเป็นเซลล์เดี่ยวหลายเซลล์มารวมกลุ่มกันเรียกว่ากลุ่มเซลล์หรือโคโลนี เป็นเส้นสายทั้งแตกแขนง และไม่แตกแขนง เป็นทัลลัสที่คล้ายมีราก ลำต้น และใบคล้ายพืชชั้นสูง แต่ไม่มีระบบท่อลำเลียงดังเช่นพืชชั้นสูง ทุกเซลล์ทำหน้าที่สังเคราะห์แสงเพื่อการดำรงชีวิตเหมือนๆ กัน (ยุวดี, 2548)

มีความสับสนอยู่เสมอสำหรับคำว่า “สาหร่าย” ที่ใช้ในภาษาไทยเพราะในประเทศเรา มีพืชชั้นสูงที่เรียกว่าสาหร่ายหลายชนิด เช่น สาหร่ายหางกระรอก (*Hydrilla verticillata* (L.f.) Royle) สาหร่ายข้าวเหนียว *(Utricuria aurea* Lour.) สาหร่ายพุงชะโด (*Ceratophyllum demersum* L.) และสาหร่ายฉัตร (*Myriophyllum tetandrum* Roxd.) ซึ่งขึ้นอยู่ในแหล่งน้ำจืดทั่ว ๆ ไป สาหร่ายเหล่านี้ไม่ใช่สาหร่ายหรือ algae (ยุวดี, 2548) สาหร่ายในที่นี้หมายถึง สิ่งมีชีวิตชั้นต่ำ ตรงกับภาษาอังกฤษว่า algae และภาษากรีกว่า phykos เป็นสิ่งมีชีวิตที่มีขนาดเล็กมาก จนไม่สามารถมองเห็นได้ด้วยตาเปล่า (microscopic algae : microalgae) ต้องใช้กล้องจุลทรรศน์จนถึงขนาดใหญ่ที่มองเห็นด้วยตาเปล่า (macroscopic algae : macroalgae) ซึ่งดูเหมือนมีราก ลำต้น และใบ ซึ่งรวมเรียกว่าทัลลัส (thallus) ส่วนใหญ่จะมีคลอโรฟิลล์ช่วยในการสังเคราะห์แสง (ยุวดี, 2549) ถ้าดูความโยงใยในสายวิวัฒนาการของสิ่งมีชีวิตจะเห็นว่า สาหร่ายมีความก้ำกึ่งระหว่างแบคทีเรียกับพืช คือมีโครงสร้างของเซลล์และการดำรงชีวิตสูงกว่าแบคทีเรียแต่ต่ำกว่าพืช จึงจัดได้ว่าสาหร่ายมีวิวัฒนาการเชื่อมโยงระหว่างสิ่งมีชีวิตดังกล่าว โดยเฉพาะสาหร่ายสีเขียวซึ่งมีวิวัฒนาการร่วมกับพืชชั้นสูงบางชนิด (ยุวดี, 2548)

แหล่งที่พบสาหร่าย

สาหร่ายพบได้ทุกหนทุกแห่งที่มีความชื้น โดยเฉพาะในน้ำ ทั้งน้ำจืด น้ำกร่อย และน้ำเค็ม จึงพบได้ทั้งในคู คลอง หนอง บึง อ่างเก็บน้ำ ทะเลสาบ ลำธาร แม่น้ำ ทะเล และมหาสมุทร แม้กระทั่งในอ่างเลี้ยงปลา หรือในขวดใส่น้ำ ส่วนบนบก เราก็สามารถพบสาหร่ายได้ หรือในตัวสัตว์ แม้ในที่ร้อนจัด เช่น ในน้ำพุร้อน หรือบริเวณที่หนาวเย็น เช่นในหิมะก็สามารถพบสาหร่ายได้เช่นกัน (ยุวดี, 2548)

กลุ่มของสาหร่ายและการจัดจำแนก

สาหร่ายแบ่งออกเป็นหลายกลุ่ม นักสาหร่ายวิทยาแต่ละคนมีวิธีการแบ่งกลุ่มของสาหร่ายที่แตกต่างกันไป โดยอาศัยหลักเกณฑ์ดังนี้ (ยุวดี, 2548)

1. รงควัตถุที่อยู่ในเซลล์ สาหร่ายทุกชนิดมีรงควัตถุหลักคือ คลอโรฟิลล์เอ ส่วนรงควัตถุรองจะแตกต่างกันไป เช่น ไซยาโนแบคทีเรีย และแดง มีรงควัตถุพวกไฟโคไซยานิน และไฟโคเออริธรินเพิ่มขึ้นมา ในขณะที่สาหร่ายสีเขียวจะมีรงควัตถุพวกแคโรทีนอยด์ เป็นต้น รงควัตถุเหล่านี้ช่วยในการสังเคราะห์แสงของสาหร่าย

2. องค์ประกอบของผนังเซลล์ องค์ประกอบของผนังเซลล์ของสาหร่ายแต่ละชนิดจะแตกต่างกันไป บางชนิดจะเป็นพวกเซลลูโลส เช่น ในพืชบางชนิดอาจมีสารบางอย่างสะสม เช่น ซิลิกาในไดอะตอม อัลจินหรืออัลจิเนตในสาหร่ายสีน้ำตาล วุ้นในสาหร่ายสีแดง หรือแคลเซียมในสาหร่ายที่มีผนังเซลล์แข็ง เช่น ในสาหร่ายสีเขียวและแดงบางชนิด เป็นต้น

3. อาหารที่สะสมในเซลล์ สาหร่ายในแต่ละกลุ่มมีอาหารที่สะสมในเซลล์ซึ่งส่วนใหญ่เป็นคาร์โบไฮเดรตจากกระบวนการสังเคราะห์แสงที่ไม่เหมือนกัน เช่น พบแป้งพวกอะไมโลสและอะไมโลเพคตินในสาหร่ายสีเขียว ลามินารินในสาหร่ายสีน้ำตาลหรือน้ำมันในสาหร่ายยูกลีนอยด์ เป็นต้น

4. จำนวนและตำแหน่งของแฟลเจลลัม สาหร่ายหลายชนิดเคลื่อนที่ด้วยแฟลเจลลัม หรืออาจจะเรียกว่าหนวดหรือแส้ แต่บางชนิดก็ไม่มีแฟลเจลลัม จำนวนและตำแหน่งของแฟลเจลลัมในเซลล์ใช้ในการจัดจำแนกสาหร่ายได้

สาหร่ายไก (*Cladophora* sp.) เป็นสาหร่ายสีเขียวน้ำจืดขนาดใหญ่ อยู่ใน Division Chlorophyta ลักษณะเป็นเส้นสายแบบแตกแขนงทีละ 1 คู่ ทัลลัสแบ่งเป็น 2 ส่วนคือ ส่วนที่เป็นฐานจะมีไรซอยด์ (rhizoid) และแขนงสั้นๆ ยึดกับพื้นผิว และส่วนที่คล้ายลำต้น (caudal) ซึ่งจะแตกแขนงตั้งตรงขึ้นมาเป็นเส้นสายลักษณะสายเป็นลอน ผิวสัมผัสหยาบ รูปร่างเซลล์เป็นทรงกระบอกยาว ด้านยาวยาวกว่าด้านกว้างมาก ผนังเซลล์หนา ในเซลล์ที่มีอายุมากมีคลอโรพลาสต์เป็นแบบร่างแหอยู่ด้านข้างของเซลล์ มีไพรีนอยด์หลายอัน ใน 1 เซลล์มีมากกว่า 1 นิวเคลียส ผนังเซลล์ค่อนข้างหนา อาศัยโดยการเกาะติดกับก้อนหินหรือพื้นท้องน้ำที่มีลักษณะแข็ง มีน้ำไหลตลอดเวลา และ Dodds and Gudder (1992) กล่าวว่าสาหร่ายไกมีการสืบพันธุ์ทั้งแบบอาศัยเพศ (sexual reproduction) และไม่อาศัยเพศ (asexual reproduction) โดยมีวงจรชีวิตแบบสลับ (diplohaplontic)

Kingdom: Plantae

Division: Chlorophyta

Class: Ulvophyceae

Order: Cladophorales

Family: Cladophoraceae

Genus: *Cladophora* Kütz.

ภาพที่ 1 สาหร่ายไก

ที่มา: กลุ่มอนุรักษ์ความหลากหลายทางชีวภาพและสิ่งแวดล้อม (2554)

ศรีวรรณ และประเสริฐ (2544) กล่าวว่าสาหร่ายไกมีมากในลำน้ำโขง อำเภอเชียงของ จังหวัดเชียงราย และในลำน้ำน่าน อำเภอท่าวังผา จังหวัดน่าน ชาวบ้านมีความเชื่อว่าเมื่อรับประทานสาหร่ายไกจะทำให้มีสุขภาพแข็งแรง กระชุ่มกระชวย ชะลอความแก่ ช่วยทำให้ผมดกดำ อายุยืนยาว และยังมีการนำมาใช้เป็นยาบรรเทาโรคได้หลายชนิด เช่น โรคเกี่ยวกับระบบทางเดินอาหาร โรคผิวหนัง รักษาบาดแผล อาการร้อนใน และลดอาการปวดอักเสบได้อีกด้วย จากความเชื่อดังกล่าวนี้ทำให้มีชาวบ้านนิยมนำสาหร่ายไกมาประกอบอาหารโดยใช้สาหร่ายไกทั้งสดและแห้งทำเป็นอาหารแบบง่ายๆ เช่น ไกยี แกงไก เจียวไก ห่อหมกไก ยำไก น้ำพริกสาหร่ายไก บะหมี่สาหร่ายไก และแปรรูปเพื่อจำหน่าย เช่น สาหร่ายไกแผ่น ข้าวเกรียบสาหร่ายไก คุ้กกี้สาหร่ายไก จากการศึกษาศักยภาพของสาหร่ายไกในลำน้ำน่านในการนำมาเป็นอาหารและยา ยุวดี และคณะ (2548) พบว่าสาหร่ายไกมีองค์ประกอบทางเคมีที่ประกอบด้วยโปรตีน ไขมัน วิตามิน เกลือแร่ และกากใยอาหาร นอกจากนั้นในสาหร่ายไกยังมีซิลีเนียมซึ่งเป็นแร่ธาตุรอง (trace element) ที่มีความสามารถต้านการเกิดอนุมูลอิสระในปริมาณที่สูง

ชนิดของสาหร่ายไกที่พบในลำน้ำน่านและลำน้ำโขง (ยุวดี และคณะ, 2548)

1. *Cladophora glomerata* Kutzing

ลักษณะเส้นสายและแหล่งที่พบ : ลักษณะเส้นสายจะแตกแขนง เป็นพุ่มหนา มีโฮลด์ฟาสต์ขนาดใหญ่ยึดติดกับสิ่งยึดเกาะ สีของเซลล์จะเป็นสีเข้ม การเจริญจะเกาะติดกับสิ่งยึดเกาะ ที่มีลักษณะแข็ง เช่นก้อนหิน ชอบเจริญในแหล่งน้ำที่ไหลค่อนข้างเร็ว มีปริมาณออกซิเจนละลายน้ำสูง สามารถพบสาหร่ายชนิดนี้ได้ทั่วไปทั้งในน้ำใส และน้ำขุ่นเล็กน้อย คุณภาพน้ำดีจนถึงปานกลาง

ลักษณะทางสัณฐานวิทยา : เส้นสายแตกแขนง เป็นแบบ 2 ง่าม (dichotomous branching) เซลล์จะมีลักษณะทรงกระบอก มีความยาวมากกว่าความกว้าง คลอโรพลาสต์เป็นแบบร่างแหชัดเจน ผนังเซลล์ค่อนข้างหนา

2. *Cladophora* sp.

ลักษณะเส้นสายและแหล่งที่พบ : ลักษณะเป็นเส้นสายแตกแขนง เจริญเป็นพุ่มเล็กๆ เส้นสายไม่แตกแขนงมากนัก มีไรซอยด์ยึดติดกับพื้น สีของเซลล์จะมีสีเขียวออกเหลือง พุ่มไม่ค่อยชัดเจนเหมือน C. glomerata ลักษณะหงิกงอ เจริญอยู่ได้ทั้งสภาพน้ำไหลเร็วและน้ำนิ่ง ในน้ำใสและค่อนข้างขุ่น คุณภาพน้ำดีจนถึงปานกลาง

ลักษณะทางสัณฐานวิทยา : เส้นสายแตกแขนงไม่มาก ถ้ามีการแตกแขนงจะเป็นแบบ 2 ง่าม เช่นเดียวกับสปีชีส์แรก เซลล์จะมีความกว้างมากกว่าความยาว คลอโรพลาสต์ในเซลล์หนาแน่นพบเป็นแบบร่างแหและเป็นเกล็ดกระจายอยู่ทั่วไป ผนังเซลล์ค่อนข้างหนา

3. *Microspora floccosa* (Vaucher) Thuret

ลักษณะเส้นสายและแหล่งที่พบ : เป็นเส้นสายยาว ค่อนข้างใหญ่ ไม่แตกแขนง เมื่อจับดูจะมีลักษณะคล้ายวุ้นเส้น เกาะติดกับสิ่งยึดเกาะ ที่เป็นของแข็ง เช่น ก้อนหิน พื้นน้ำ กรวด รวมทั้งวัสดุต่างๆ เจริญเกาะติดกับพื้นท้องน้ำ โดยใช้โฮลด์ฟาสต์ พบในแหล่งน้ำที่ไหลค่อยข้างแรงและไม่ขุ่นมาก

ลักษณะทางสัณฐานวิทยา : เป็นสาหร่ายที่มีลักษณะเส้นสายไม่แตกแขนง เซลล์แต่ละเซลล์มีลักษณะเป็นรูปทรงกระบอก ผนังเซลล์แต่ละเซลล์มักจะหนามีลักษณะเป็นตัว H ผนังเซลล์หนาประมาณ 2 μm เชื่อมต่อกันตลอดทั้งทัลลัส คลอโรพลาสต์เต็มเซลล์ ไม่มีไพรีนอยด์

4. *Microspora pachyderma* (Will) Lagertheim

ลักษณะเส้นสายและแหล่งที่พบ : เจริญเป็นสายไม่ยาวมากนักและไม่แตกแขนง เมื่อจับดูจะมีลักษณะคล้ายเส้นผมสีเขียว เกาะติดกับสิ่งยึดเกาะที่เป็นของแข็ง เช่น ก้อนหิน พืชน้ำ รวมถึงวัสดุต่างๆ พบในแหล่งน้ำไหล ที่ไม่ขุ่นมากนัก เจริญเกาะติดกับพื้นท้องน้ำโดยใช้โฮลด์ฟาสต์

ลักษณะทางสัณฐานวิทยา : เป็นเส้นสายไม่แตกแขนง ผนังเซลล์ไม่หนา เซลล์กว้าง 5-10 μm เซลล์แต่ละเซลล์มีลักษณะเป็นรูปทรงกระบอก ผนังเซลล์มีลักษณะเป็นรูปตัว H เรียงต่อกันโดยเซลล์จะหนาบริเวณกลางเซลล์ และค่อยๆ เรียวลงในช่วงปลายเซลล์ ซึ่งจะมองเห็นเป็นรูปตัว H ต่อกันอย่างชัดเจน

5. *Microspora* sp. 1

ลักษณะเส้นสายและแหล่งที่พบ : เป็นเส้นสายละเอียด มีสีเขียวอ่อน ไม่แตกแขนง เส้นสายยาวมาก เมื่อจับดูจะลื่นคล้ายกับ *Spirogyra* sp.เกาะติดกับสิ่งยึดเกาะที่เป็นของแข็ง เช่น ก้อนหิน แต่ไม่พบในแหล่งน้ำที่มีความเร็วกระแสน้ำสูง เจริญเกาะติดกับพื้นท้องน้ำโดยใช้โฮลด์ฟาสต์

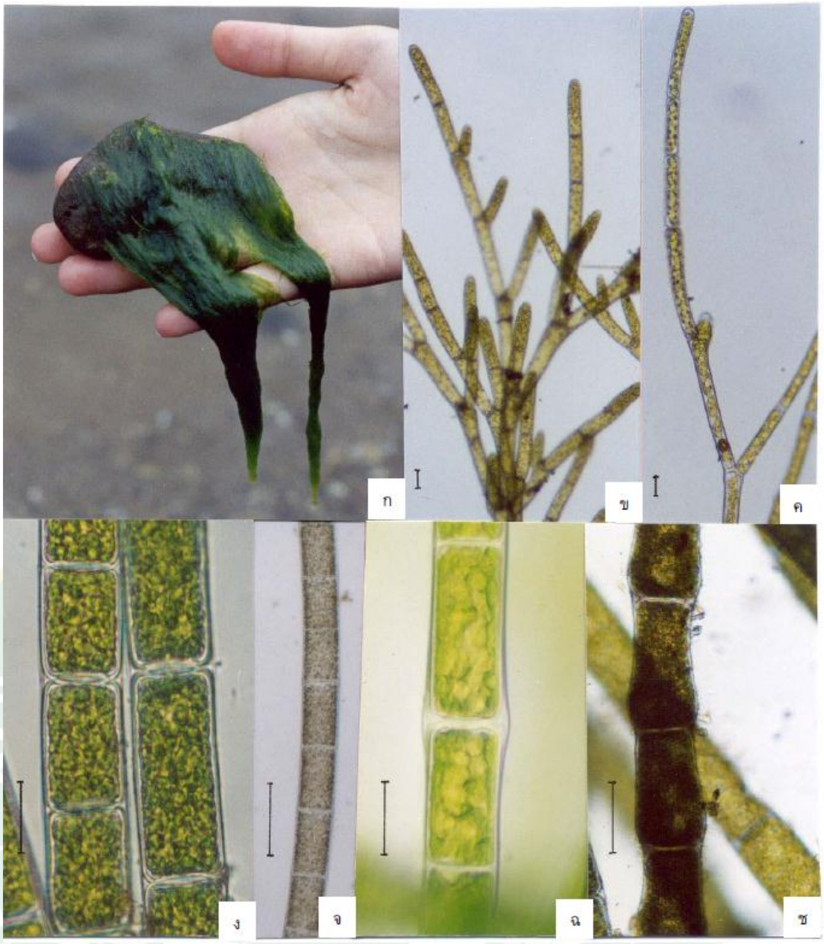
ลักษณะทางสัณฐานวิทยา : เป็นสาหร่ายที่มีลักษณะเป็นเส้นสายไม่แตกแขนง เซลล์แต่ละเซลล์เป็นรูปทรงกระบอก ผนังเซลล์ไม่หนา มีลักษณะต่อกัน คลอโรพลาสต์เป็นร่างแหอยู่ไม่เต็มเซลล์ พบไพรีนอยด์กระจายจำนวนน้อย

6. *Microspora* sp. 2

ลักษณะเส้นสายและแหล่งที่พบ : เป็นเส้นสายละเอียด มีสีเขียวอ่อน ไม่แตกแขนง จับดูจะไม่ลื่น เส้นสายอาจจะยาวหรือสั้น ลักษณะหงิกงอเล็กน้อย ไม่เหยียดตรง เกาะติดกับสิ่งยึดเกาะที่เป็นก้อนหินขนาดเล็ก พบในแหล่งน้ำที่ค่อนข้างนิ่งหรือไหลเอื่อย

ลักษณะทางสัณฐานวิทยา : เป็นสาหร่ายที่มีลักษณะเป็นเส้นสายไม่แตกแขนง ผนังเซลล์หนาไม่เท่ากัน ในแต่ละช่วงของเซลล์ ทำให้ลักษณะของทัลลัสคดงอไปมา คลอโรพลาสต์เป็นร่างแหอยู่ไม่เต็มเซลล์ พบไพรีนอยด์กระจายจำนวนน้อย

Mungmai et al. (2014) กล่าวว่าสาหร่ายไกมี 3 ชนิด คือ *Rhizoclonium* spp., *Cladophora* spp. และ *Aegagropila* spp.



ภาพที่ 2 ชนิดของสาหร่ายไก

หมายเหตุ ก) สาหร่ายไกในธรรมชาติ ข) *Cladophora glomerata* Kützing
ค) *Cladophora* sp. 1 ง) *Microspora floccosa* (Vaucher) Thuret
จ) *Microspora pachyderma* (Will) Lagertheim ฉ) *Microspora* sp. 1
ช) *Microspora* sp. 2

ที่มา : ยุวดี และคณะ (2548)

วงจรชีวิตของสาหร่ายไก

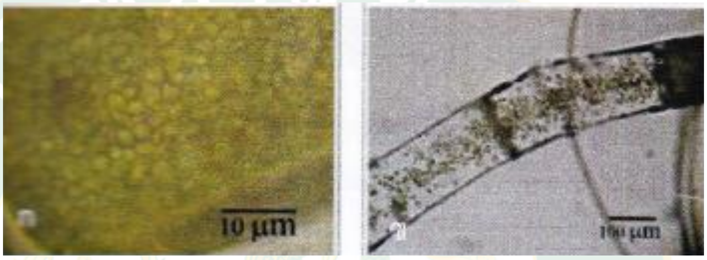
สาหร่ายไกที่พบในช่วงต้นฤดูหนาวไปจนถึงต้นฤดูร้อน จะมีเส้นสายที่ใหญ่และมองเห็นได้ด้วยตาเปล่าอย่างชัดเจน ซึ่งลักษณะเส้นสายของสาหร่ายไกสกุล *Rhizoclonium* จะประกอบด้วยเซลล์หนึ่งเซลล์ที่เรียงตัวตามความยาวของเซลล์ มีขนาดความกว้างของเส้นสายที่ 121±4.8-131±8.1 ไมโครเมตร และสามารถมีความยาวได้มากกว่า 10 เมตรในระดับความลึกและกระแสน้ำที่เหมาะสม โดยเส้นสายของสาหร่ายจะไม่แตกแขนง และเมื่อมองผ่านกล้องจุลทรรศน์จะเห็นรอยต่อระหว่างเซลล์เป็นรูปคล้ายอักษร H (ศิริเพ็ญ, 2555; Elisa and Caceres, 1993)

รูปแบบของเส้นสายที่พบ

สาหร่ายไกสกุล *Rhizoclonium* มีรูปแบบเส้นสายอยู่ 2 รูปแบบ คือ ระยะ Sporophyte และระยะ Gametophyte โดยทั้งสองรูปแบบมีลักษณะที่แตกต่างกัน ดังนี้

1. ระยะ Sporophyte

สาหร่ายไกสกุล *Rhizoclonium* ในระยะ sporophyte พบได้ทั่วไปในลำน้ำตามธรรมชาติ โดยเฉพาะในช่วงเวลาที่สภาพแวดล้อมเหมาะสม (แสงส่องถึงพื้นท้องน้ำอย่างเพียงพอ อุณหภูมิน้ำไม่สูงมากนัก pH เป็นกลางหรือด่างเล็กน้อย และสารอาหารเพียงพอ) ซึ่งเส้นสายของ sporophyte จะเห็นได้ชัดด้วยตาเปล่า โดยมีขนาดที่ใหญ่กว่า 100 ไมโครเมตร เส้นสาย sporophyte นี้จะทำหน้าที่สร้าง spore ที่เคลื่อนที่ได้ชนิดนี้เรียกว่า zoospore ซึ่ง zoospore นี้จะมีขนาดกว้าง 7.9±2.0 ไมโครเมตร และยาว 10.8±1.4 ไมโครเมตร มี flagella 2 เส้น



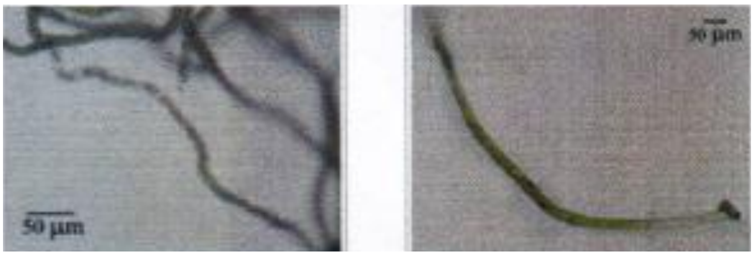
ภาพที่ 3 เส้นสาย Sporophyte ที่สร้าง zoospore

หมายเหตุ ก. ภายในเซลล์ที่สร้าง zoospore
ข. เส้นสายที่ zoospore พร้อมที่จะถูกปล่อยออกจากเซลล์

ที่มา : ศิริเพ็ญ (2555)

2. ระยะ Gametophyte

ลักษณะเส้นสายในระยะ gametophyte ของสาหร่ายไกสกุล *Rhizoclonium* นั้น จากการศึกษาในห้องปฏิบัติการพบว่าเส้นสาย gametophyte จะมีขนาดเล็ก โดยความกว้างของเส้นสายจะไม่เกิน 20 ไมโครเมตร เส้นสาย gametophyte เหล่านี้จะสร้างเซลล์สืบพันธุ์ชนิด heterogamete มีลักษณะกลมและรี โดย gamete ที่มีลักษณะกลมมีเส้นผ่านศูนย์กลาง 1.2 ± 0.2 ไมโครเมตร และgamete ที่มีลักษณะรีนั้นมีความกว้างและยาวเป็น 2.4 ± 0.3 และ 3.7 ± 0.5 ไมโครเมตร ตามลำดับ



ภาพที่ 4 ลักษณะเส้นสาย Gametophyte ของ *Rhizoclonium* ที่เลี้ยงในห้องปฏิบัติการ

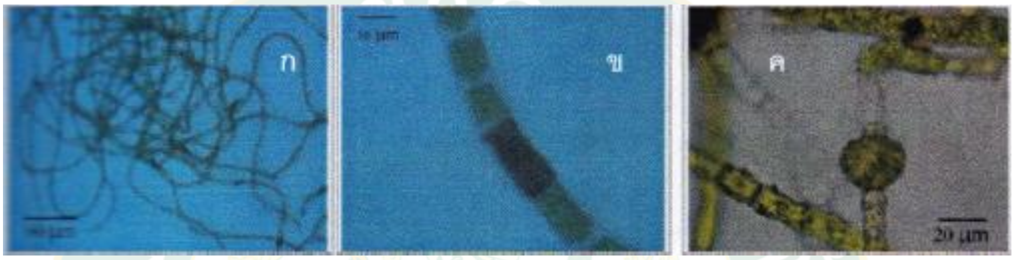
ที่มา : ศิริเพ็ญ (2555)

เซลล์สืบพันธุ์อื่นๆ ของสาหร่ายไก

สาหร่ายไกสกุล *Rhizoclonium* นั้นนอกเหนือจาก zoospore ที่สร้างโดย sporophyte และgamete ที่ถูกสร้างโดย gametophyte แล้ว ยังพบรูปแบบของเซลล์สืบพันธุ์อื่นๆ ที่สร้างขึ้นอีกด้วย ดังนี้ (ศิริเพ็ญ, 2555)

1. ระยะ Akinete

เป็นเซลล์สืบพันธุ์แบบไม่อาศัยเพศที่สร้างขึ้นในสภาวะที่ไม่เหมาะสม โดยการสะสมสารและออร์กาเนลต่างๆ ภายในเซลล์ในปริมาณที่มากกว่าปกติ พร้อมกับการสร้างผนังเซลล์ให้หนาขึ้นจนทำให้เซลล์นั้นพองตัวขึ้นจนมีขนาดกลมและใหญ่กว่าเซลล์อื่นๆ เพื่อสามารถที่จะทนอยู่ได้ในสภาวะที่ไม่เหมาะสม โดยปกติแล้วในเส้นสายหนึ่งๆ จะพบการสร้าง akinete ในจำนวนที่ไม่มากนัก



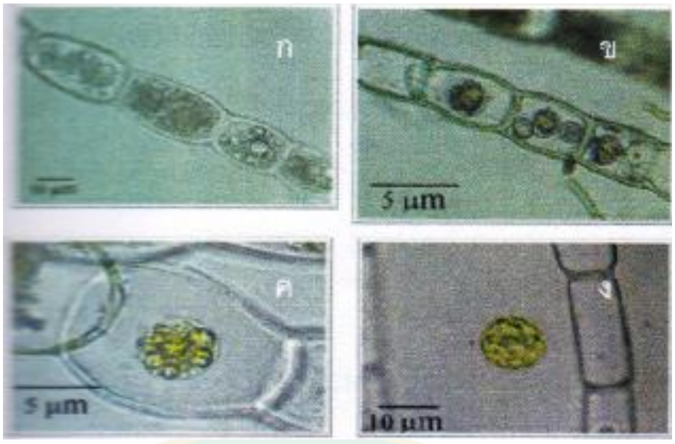
ภาพที่ 5 เซลล์สืบพันธุ์แบบ Akinete ของสาหร่ายไกสกุล *Rhizoclonium*

หมายเหตุ ก. และ ข. Filaments และเซลล์ที่กำลังจะสร้าง Akinete
ค. Akinete ที่สร้างเสร็จสมบูรณ์

ที่มา : ศิริเพ็ญ (2555)

2. ระยะ Aplanospore

เป็นเซลล์สืบพันธุ์แบบไม่อาศัยเพศ สร้างขึ้นในสภาวะที่ไม่เหมาะสมเช่นเดียวกันกับ Akinete แตกต่างกันตรงที่ Aplanospore ถูกสร้างภายในเซลล์ได้ทุกเซลล์จำนวน 1-5 ซึ่ง Aplanospore ที่ถูกสร้างขึ้นมาก็จะมีการสะสมสารต่างๆ ภายในเซลล์เช่นเดียวกันกับ Akinete แต่แทนที่จะใช้ผนังเซลล์เดิม Aplanospore จะมีการสร้างผนังเซลล์ใหม่ที่มีขนาดของผนังหนากว่า

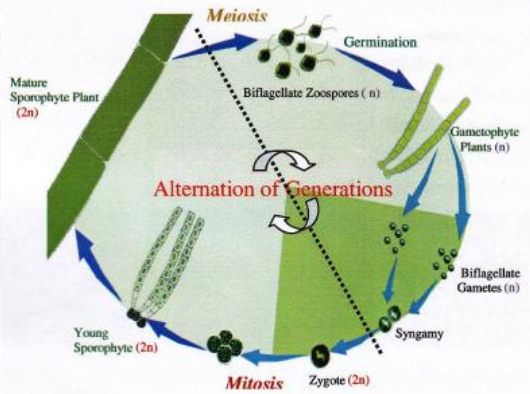


ภาพที่ 6 Aplanospore ที่สร้างในระยะ Sporophyte

หมายเหตุ ก. Filaments และเซลล์ที่กำลังสร้าง Aplanospore
ข. และ ค. เซลล์ที่สร้าง Aplanospore ที่สมบูรณ์แล้ว
ง. Aplanospore ที่ถูกปล่อยออกมาจากเซลล์

ที่มา : ศิริเพ็ญ (2555)

จากการศึกษาทางสัณฐานและการขยายพันธุ์ของสาหร่ายไก *Rhizoclonium* sp. ในเบื้องต้นนี้ สามารถเขียนเป็นแผนภูมิวงจรชีวิตพอสังเขปดังแสดงในภาพที่ 7

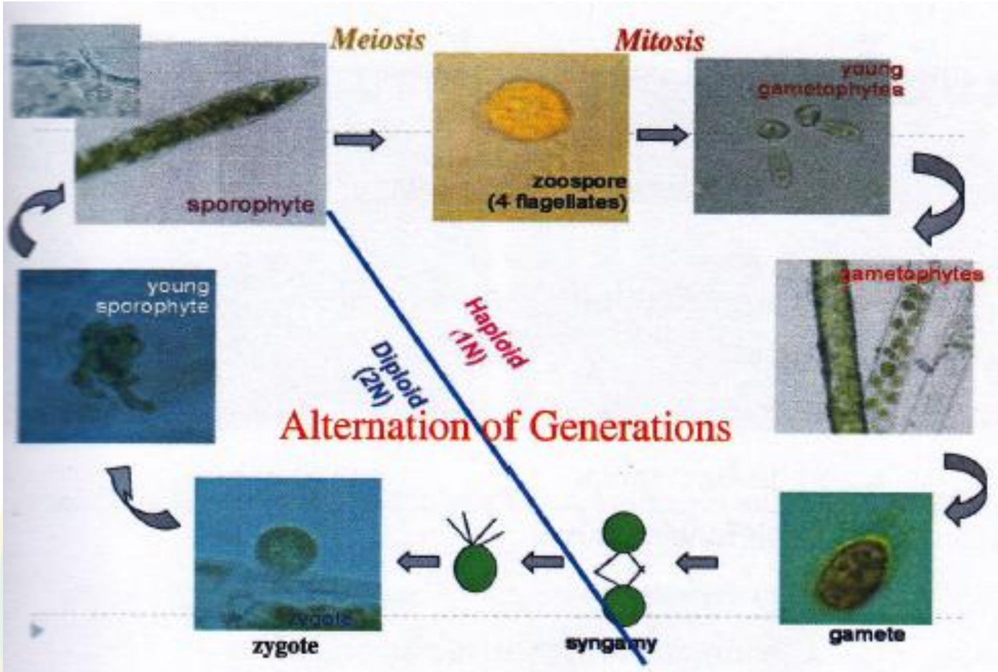


ภาพที่ 7 วงจรชีวิตของ *Rhizoclonium* sp. จากลำน้ำน่าน

ที่มา : ศิริเพ็ญ (2555)

ส่วนสาหร่ายสกุล *Cladophora* นั้นส่วนใหญ่มีวงจรชีวิตแบบสลับ (diplohaplontic life cycle) เป็นวงจรชีวิตที่ประกอบด้วย sporophyte หรือ diploid plant (2n) ซึ่งมีการสืบพันธุ์แบบไม่อาศัยเพศ และ gametophyte หรือ haploid plant (n) ซึ่งมีการสืบพันธุ์แบบอาศัยเพศ ทั้ง sporophyte และ gametophyte plant จะมีลักษณะภายนอกเหมือนกันบางชนิดจะพบเฉพาะการสืบพันธุ์แบบไม่อาศัยเพศเท่านั้น ในระยะที่เป็น Sporophyte โดยการผลิต Biflagellates หรือ Quadriflagellates zoospore จากเซลล์ปลายสุดของ Sporophyte ซึ่งทำหน้าที่เป็น Gametangia

หรือ Sporangia จากนั้น Sporangial cell ของ Sporophyte (diploid phase) จะปล่อย Zoospore (haploid) และเจริญเป็น Gametophyte (haploid) และสร้าง Gametes มีการผสมกันแบบ Isogamy ได้เป็น Zygote (diploid) ซึ่งเจริญเป็น Sporophyte (diploid) ต่อไป ดังแผนภูมิวงจรชีวิตในภาพที่ 8



ภาพที่ 8 วงจรชีวิตของ *Cladophora* sp. ชนิดที่ใช้ในการเพาะเลี้ยง

ที่มา : ศิริเพ็ญ (2555)

มี *Cladophora* บางชนิดเช่น *Cladophora glomerata* จะไม่มีเส้นสายที่เป็น haploid แต่จะพบเฉพาะ diploid เท่านั้น จึงมีการสืบพันธุ์โดยการสร้างเฉพาะ Diploid zoospore หรือ Haploid gamete มี *Cladophora* บางชนิดสร้าง Akinete เมื่อสภาวะแวดล้อมไม่เหมาะสม เช่น ช่วงวันสั้น อุณหภูมิต่ำเกินไป หรือการขาดแคลนสารอาหาร

ปัจจัยที่มีผลต่อการเจริญของสาหร่าย

สาหร่ายเป็นสิ่งมีชีวิตที่มีการปรับตัวให้มีการดำรงชีวิตที่ดีขึ้น แต่ละสปีชีส์มีวิวัฒนาการตอบสนองต่อสิ่งแวดล้อมที่เปลี่ยนแปลงไป โดยเฉพาะไซยาโนแบคทีเรีย (Cyanobacteria) จัดได้ว่าเป็นสิ่งมีชีวิตแรกที่ถือกำเนิดขึ้นบนโลกในช่วงระยะที่พื้นผิวโลกมีภูเขาไฟระเบิด จากนั้นมีวิวัฒนาการไปตามสภาพแวดล้อมที่เปลี่ยนแปลงไป ทำให้แต่ละสปีชีส์มีความแตกต่างกัน มีผลให้สาหร่ายมีความแตกต่างทางชีวภาพสูงมาก สาหร่ายน้ำจืดสามารถนำมาใช้ประโยชน์ได้อย่างมากมายทั้งในด้านการแพทย์ เครื่องสำอาง อาหารเสริม และการเกษตร เป็นต้น สาหร่ายมีความสำคัญทางนิเวศวิทยา

โดยสาหร่ายเป็นผู้ผลิตเบื้องต้นที่สำคัญในห่วงโซ่อาหาร มีบทบาทสำคัญในการแลกเปลี่ยนทางเคมีระหว่างบรรยากาศกับน้ำ สาหร่ายน้ำจืดจึงสามารถใช้เป็นดัชนีแสดงสภาพของน้ำดี และน้ำเสียได้ ทั้งนี้เพราะสาหร่ายบางสกุลที่เจริญเติบโต และสามารถทนทานได้ในแหล่งน้ำที่มีสภาพแวดล้อมที่ต่างกัน โดยความต้องการสารอาหารของสาหร่ายแต่ละชนิดมีความแตกต่างกัน จะเห็นได้ว่าด้วยปัจจัยต่างๆ เกี่ยวกับสาหร่ายที่กล่าวมาข้างต้นความหลากหลายทางชีวภาพของสาหร่ายขนาดใหญ่จึงสามารถบ่งชี้คุณภาพน้ำในแต่ละแหล่งน้ำได้เป็นอย่างดี สาหร่ายมีความสำคัญต่อระบบนิเวศแหล่งน้ำ โดยทำหน้าที่เป็นผู้ผลิตเบื้องต้นที่สำคัญในห่วงโซ่อาหาร และผลิตออกซิเจนสู่แหล่งน้ำในกระบวนการสังเคราะห์แสง นอกจากนี้ยังเป็นอาหารคน และอาหารสัตว์ สามารถใช้บำบัดน้ำเสีย และเป็นดัชนีชีวภาพบ่งชี้คุณภาพน้ำได้ในระบบนิเวศน้ำไหล สาหร่ายที่เจริญได้ส่วนใหญ่จะเป็นชนิดเกาะติดกับพื้นท้องน้ำ ได้แก่ สาหร่ายขนาดใหญ่ และไดอะตอมพื้นท้องน้ำ ซึ่งเป็นกลุ่มที่มีความหลากหลายทางชีวภาพสูง สาหร่ายแต่ละชนิดในกลุ่มดังกล่าวสามารถเจริญได้ในแหล่งน้ำที่มีสภาพแวดล้อมแตกต่างกันไป ดังนั้นจึงสามารถนำมาใช้เป็นสิ่งมีชีวิตที่ใช้ติดตามตรวจสอบคุณภาพน้ำได้

ระบบนิเวศน้ำไหลที่ประกอบไปด้วยแม่น้ำและลำธาร จะมีความใกล้ชิดและติดต่อโดยตรงกับพื้นที่รับน้ำ (catchment area) เมื่อมีการปนเปื้อนของสารต่างๆ จากสิ่งแวดล้อมลงสู่แหล่งน้ำก็จะส่งผลต่อแหล่งน้ำที่อยู่ในลำดับถัดไป สำหรับแหล่งอาหารที่เกิดขึ้นในแม่น้ำลำธารจะพบได้ 2 แบบคือ เกิดการพัดพามาจากสิ่งแวดล้อมภายนอก (allochthonous) เช่น เศษใบไม้ เศษหญ้า หรือเศษสิ่งของต่างๆ ที่เป็นสารอินทรีย์ และอีกแบบหนึ่งจะเกิดมาจากภายในระบบเอง (autochthonous) เช่น สาหร่ายที่เกาะอยู่บริเวณท้องน้ำ พืชน้ำ (aquatic plants) และมอส เป็นต้น ซึ่งสิ่งมีชีวิตเหล่านี้จะมีความสำคัญต่อสายใยอาหารที่เกิดขึ้นภายในระบบน้ำไหลเป็นอย่างมาก โดยทำหน้าที่เป็นผู้ผลิต (producer) สิ่งมีชีวิตที่เป็นแพลงก์ตอนที่แท้จริง (true plankton) จะพบได้น้อยในแหล่งน้ำไหล แต่จะพบมากในน้ำที่มีความลึกหรือในแหล่งน้ำนิ่ง ระบบนิเวศแบบน้ำไหลจะมีลักษณะทางด้านระบบนิเวศที่แตกต่างไปจากอ่างเก็บน้ำหรือทะเลสาบที่เป็นระบบนิเวศน้ำนิ่ง สาเหตุมาจากการเคลื่อนตัวของกระแสน้ำ ซึ่งจะทำให้เกิดแหล่งที่อยู่ของสาหร่ายที่แตกต่างกันไป นอกจากนี้ก็ยังมีปัจจัยที่มีผลต่อสาหร่ายที่อาศัยในแหล่งน้ำไหล ได้แก่ ปริมาณน้ำไหล ความเร็วกระแสน้ำ และแหล่งที่อยู่อาศัย สาหร่ายที่ขึ้นอยู่ได้ในสภาพที่น้ำไหลนี้จะมีการปรับตัวโดยมีโครงสร้างภายนอกของทัสลัสลู่ไปตามกระแสน้ำได้ มักจะมีโฮลด์ฟาสต์ (holdfast) ซึ่งเป็นโครงสร้างที่ยึดเกาะกับพื้นดิน หรือหิน เพื่อป้องกันการหลุดลอยไปกับกระแสน้ำ ในน้ำตกมักจะพบสาหร่ายสีเขียว เช่น *Ulothrix* ไซยาโนแบคทีเรีย เช่น *Rivularia* สาหร่ายสีแดงพวก *Batrachospermum* และ *Lemanea* เป็นต้น สาหร่ายที่อยู่ในน้ำไหลเอื่อยๆ ก็จะมีรูปร่างและชนิดแตกต่างกันไปจากพวกที่อยู่ในน้ำไหลแรง กล่าวว่าจากการศึกษาความหลากหลายของสาหร่ายน้ำจืดขนาดใหญ่ในลำน้ำน่านนั้นมีการศึกษาความหนาแน่นของสาหร่ายที่พบโดยการสังเกตด้วยตาเปล่า พบว่าความหนาแน่นของสาหร่ายน้ำจืดขนาดใหญ่ในลำน้ำน่านและลำน้ำสาขามีความแตกต่างกันมากในแต่ละฤดู โดยพบว่าฤดูฝน ชนิดและปริมาณของสาหร่ายไม่แตกต่างกันมากนัก และพบไม่มาก อาจจะเป็นเพราะในฤดูฝนน้ำไหลแรง และ

ขุ่นมากจากตะกอนดิน จึงทำให้สาหร่ายไม่สามารถเจริญเติบโตได้มากนัก ในขณะที่ในฤดูหนาวและฤดูร้อน น้ำในลำน้ำน่าน และลำน้ำสาขาค่อนข้างใส และกระแสน้ำไม่แรงนัก จึงพบสาหร่ายหลายชนิด (ยุวดี และคณะ, 2548; ยุวดี, 2549)

ศรีวรรณ และประเสริฐ (2544) กล่าวว่าลักษณะของพื้นท้องน้ำ (substrate) ก็เป็นปัจจัยหนึ่งที่สำคัญและมีผลต่อการกระจายของสาหร่ายโดยเฉพาะสาหร่ายขนาดใหญ่ จะเห็นได้จากลักษณะของพื้นท้องน้ำที่เป็นกรวดและก้อนหินขนาดเล็ก จะพบความหลากหลายของสาหร่ายขนาดใหญ่สูง เนื่องจากสาหร่ายขนาดใหญ่จะเจริญได้ดีบนพื้นท้องน้ำที่มีลักษณะเป็นกรวดและก้อนหินขนาดเล็ก สาหร่ายในกลุ่มที่เป็นพวกยึดเกาะมักจะเกาะอยู่บนวัสดุที่แข็ง เช่น ก้อนหิน ดิน ทราย หรือต้นไม้ แต่สาหร่ายส่วนใหญ่มักจะเกาะกับวัสดุที่เป็นของแข็งมากกว่าที่จะเกาะบนพืช การยึดเกาะของสาหร่ายบนพื้นท้องน้ำ เป็นกลไกที่ป้องกันการไหลไปพร้อมกับกระแสน้ำนอกจากนี้สารอาหารหลายชนิดก็ได้มาจากพื้นท้องน้ำ สาหร่ายขนาดใหญ่ *Cladophora* spp. จะเจริญเกาะติดบนพื้นท้องน้ำที่เป็นทรายหยาบ และพื้นท้องน้ำที่แข็งในระบบนิเวศแบบน้ำไหล ส่วนในระบบนิเวศแบบน้ำนิ่ง พบว่าสาหร่าย *Cladophora* spp. จะจับตัวกันเป็นก้อน เรียกว่า Lake ball ต่างกับสาหร่ายขนาดใหญ่ใน Division Cyanophyta ที่ส่วนมากจะพบบนก้อนหินหรือริมฝั่งน้ำที่มีความชุ่มชื้น ซึ่งสาหร่ายขนาดใหญ่จะพบเจริญเป็นเมือกอยู่บนพื้นท้องน้ำที่เป็นก้อนหินหรือดินริมฝั่งแม่น้ำและที่สำคัญจะต้องมีความชุ่มชื้นสูง อุณหภูมิก็เป็นปัจจัยหนึ่งที่มีผลต่อระบบนิเวศ สาหร่ายสีเขียวที่เจริญได้ดีในช่วงฤดูร้อน เช่น *Oedogonium* และ *Cladophora glomerata* หากอุณหภูมิต่ำกว่า 25°C จะจำกัดการเจริญของสาหร่ายดังกล่าว ความขุ่นของแหล่งน้ำก็เป็นปัจจัยหนึ่งที่มีผลต่อสาหร่าย ความขุ่นของน้ำจะเกิดจากอนุภาคสารแขวนลอยพวกอนินทรีย์และของแข็งที่เป็นสารอินทรีย์ เช่น ดินเหนียว ดินโคลน อนุภาคคาร์บอเนต แพลงก์ตอนและสิ่งมีชีวิตเล็กๆ ในน้ำ พวกอนุภาคของแข็งที่แขวนลอยเหล่านี้จะเป็นสาเหตุให้แสงที่ส่องลงในน้ำเกิดการกระจายออกจากน้ำ และจะดูดซึมแสงบางส่วนเอาไว้ ความขุ่นมากกว่า 300 ppm จัดเป็นปริมาณสูงพอที่จะไม่ให้แสงส่องผ่านน้ำในแหล่งน้ำไหลจะมีความขุ่นมากกว่าในแหล่งน้ำนิ่ง การที่น้ำมีความขุ่นมากจะทำให้แสงผ่านลงไปได้น้อยมีผลทำให้สาหร่ายเจริญเติบโตได้ไม่เต็มที่ เนื่องมาจากการสังเคราะห์แสงเกิดขึ้นได้ไม่เต็มที่

ศรีวรรณ และ ประเสริฐ (2544) กล่าวว่าค่าความเป็นด่างของแหล่งน้ำจะเป็นค่าที่เกี่ยวข้องกับปริมาณและชนิดของสารประกอบที่ละลายน้ำ คุณสมบัติของความเป็นด่างในน้ำเป็นผลของไบคาร์บอเนต คาร์บอเนต และไฮดรอกไซด์เป็นส่วนใหญ่เพราะว่าคาร์บอนไดออกไซด์มีอยู่เป็นจำนวนมากในรูปของก๊าซและรูปที่ละลายน้ำ ส่วนไบคาร์บอเนตและคาร์บอเนตเป็นอิออนที่พบมากในน้ำ และเป็นตัวที่ทำหน้าที่เป็นบัฟเฟอร์ในน้ำ น้ำในธรรมชาติจะพบพวกไบคาร์บอเนตและคาร์บอเนตเป็นส่วนใหญ่ สำหรับไฮดรอกไซด์พบได้น้อยมาก ค่าความเป็นด่างที่ประกอบด้วยทั้ง 3 รูป ซึ่งเรียกว่าความเป็นด่างรวม (total alkalinity) ซึ่งในน้ำตามธรรมชาติจะพบอยู่ระหว่าง 10-200 มิลลิกรัมต่อลิตร ค่าความเป็นด่างของน้ำในบางครั้งจะมีความสัมพันธ์กับค่าความเป็นกรด-เบส และค่าความกระด้างของน้ำ โดยสาหร่ายหลายสกุล เช่น *Lemanea, Batrachospernum* และ

Stigeocionium สามารถอาศัยอยู่ได้ทั้งในน้ำอ่อน น้ำที่เป็นกรดหรือน้ำที่เป็นด่าง แต่สำหรับสาหร่ายบางชนิด เช่น *Phormidium* และ *Cladophora* จะพบอาศัยเฉพาะน้ำที่เป็นด่าง ซึ่งสาหร่าย *Cladophora* มักพบในน้ำที่มีค่าความเป็นกรด-เบส ที่ 7.5-9.5 สำหรับสาหร่ายในกลุ่ม Desmids และสาหร่ายบางชนิด เช่น *Oedogonium* และ *Phaeosphaera perforate* จะพบเฉพาะในน้ำอ่อนเท่านั้น

ในระบบนิเวศแบบน้ำไหล การเคลื่อนตัวของน้ำจะก่อให้เกิดการละลายของอนุภาคต่างๆ ลงสู่แหล่งน้ำ สสารดังกล่าวส่วนใหญ่จะเป็นสารที่สนับสนุนการเจริญของสาหร่าย โดยสาหร่ายมีความต้องการสารอาหารเพื่อการเจริญเติบโตหลายชนิด ธาตุที่ต้องการมาก ได้แก่ C, H, O, N, P, K, S, Mg, Ca, Na และ Cl สำหรับธาตุ Fe, Mn, Cu, Zn, B, Si, Mo, V และ Co สาหร่ายต้องการใช้ในปริมาณที่น้อย การเปลี่ยนแปลงของปริมาณสารอาหารในด้านที่เพิ่มขึ้นหรือลดลงจะทำให้รูปร่างของสาหร่ายเปลี่ยนแปลงไปด้วย เช่น สาหร่าย *Cladophora* จะมีรูปร่างที่เปลี่ยนแปลงไปเมื่อปริมาณของอาหารเพิ่มขึ้นหรือลดลง สาหร่าย *Cladophora* จะไม่ทนต่อแหล่งน้ำที่มีเกลือของเหล็ก แต่ต้องการเกลือของสารอาหาร เช่น โปแตสเซียม ไนเตรท และฟอสฟอรัส โดยในแหล่งน้ำที่มีสารอาหารน้อยฟอสฟอรัสจะเป็นปัจจัยจำกัดการเจริญเติบโตของพืชน้ำและสาหร่าย ส่วนไนเตรทจะเป็นปัจจัยจำกัดการเจริญก็ต่อเมื่ออัตราส่วนของ N : P ต่ำกว่า 16 : 1 สำหรับซิลิกาจะเป็นปัจจัยจำกัดของสาหร่ายในกลุ่มไดอะตอม เพราะฟรัสตูลของไดอะตอมจะมีสารประกอบหลักเป็นซิลิกา การที่จะทราบว่าสาหร่ายใช้ธาตุอาหารชนิดใดในการสังเคราะห์ และใช้ในกระบวนการต่างๆ ในการดำรงชีวิต อาจจะใช้หลายๆ วิธีร่วมกัน เช่น วิเคราะห์หาปริมาณธาตุต่างๆ ในแหล่งน้ำที่สาหร่ายเติบโต หรือนำสาหร่ายชนิดนั้นมาวิเคราะห์ดูส่วนประกอบทางเคมี ซึ่งทั้งสองวิธีนี้อาจจะมีผิดพลาดอยู่บ้าง เพราะสาหร่ายบางชนิดสามารถที่จะทนอยู่ในสิ่งแวดล้อมที่ไม่เหมาะสมได้เป็นระยะเวลานานมาก และสาหร่ายบางชนิดสามารถสะสมธาตุอาหารบางอย่างไว้ในเซลล์เกินความจำเป็น ดังนั้นอาจจะต้องใช้วิธีที่ 3 เข้าร่วมด้วยในการหาธาตุอาหารที่สาหร่ายต้องการ วิธีที่ 3 นี้ คือ การนำสาหร่ายมาเพาะเลี้ยงแล้วใส่ธาตุอาหารชนิดต่างๆ ลงไปในปริมาณที่แตกต่างกัน แล้วดูผลว่าสาหร่ายจะเจริญได้ดีในธาตุอาหารประเภทใด ปริมาณธาตุอาหารเท่าใด ข้อมูลที่ได้ก็พอจะสรุปได้ว่า สาหร่ายต้องการธาตุอาหารประเภทใด ปริมาณมากน้อยเพียงใด คาร์บอนที่แพลงก์ตอนพืชนำไปใช้แบ่งออกได้ 2 ประเภท คือ อนินทรีย์คาร์บอนและอินทรีย์คาร์บอน แพลงก์ตอนพืชใช้อนินทรีย์คาร์บอนในรูปของคาร์บอนไดออกไซด์ที่ละลายในน้ำ หรือในรูปของคาร์บอเนต (CO_3^{2-}) และไบคาร์บอเนต (HCO_3^-) ในการสังเคราะห์แสง และใช้อินทรีย์คาร์บอนในรูปของสารประกอบอินทรีย์เพื่อการเจริญเติบโต เช่น ซูโครส กลูโคส ฟรุคโตส กาแลคโตสในสภาพไร้อากาศ (anaerobic condition) หรือในสภาพที่ไม่มีแสงสว่าง การที่คาร์บอนจะอยู่ในรูปใดนั้นขึ้นอยู่กับค่าความเป็นกรด-เบส เช่น คาร์บอนจะอยู่ในรูปเกลือไบคาร์บอเนตเมื่อค่าความเป็นกรด-เบส มีค่าระหว่าง 7-9 อยู่ในรูปเกลือคาร์บอเนตเมื่อค่าความเป็นกรด-เบส สูงกว่า 9.5 ขึ้นไป และคาร์บอนจะอยู่ในรูปของแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์เมื่อค่าความเป็นกรด-เบส ของน้ำมีค่าประมาณ 5 ไนโตรเจนเป็นปัจจัยที่สำคัญต่อระบบนิเวศของแหล่งน้ำ

เพราะเป็นส่วนประกอบที่สำคัญของอินทรีย์สารที่จำเป็นต่อการดำรงชีวิตของพืชและสัตว์ สาหร่ายในกลุ่มที่เป็นแพลงก์ตอนพืชส่วนมากสามารถใช้ประโยชน์จากไนไตรท์ ไนเตรท และเกลือแอมโมเนียเป็นแหล่งไนโตรเจน ฟอสฟอรัสเป็นธาตุที่สำคัญและจำเป็นอย่างมากในกระบวนการต่างๆ ในสิ่งมีชีวิต ธาตุนี้มีอยู่ปริมาณน้อยมากในธรรมชาติ จึงจัดเป็นธาตุที่มีอยู่จำกัดต่ออัตราผลผลิตทางชีวภาพ แหล่งน้ำธรรมชาติมีฟอสเฟตที่สามารถละลายน้ำได้ในความเข้มข้นสูงจะก่อให้เกิดมลพิษขึ้นได้ โดยสาหร่ายในแหล่งน้ำนั้นจะเจริญขึ้นอย่างรวดเร็ว เกิดสภาพยูโทรฟิเคชันขึ้น ทำให้แหล่งน้ำขาดออกซิเจน ทำให้เกิดอันตรายต่อสัตว์น้ำได้ ฟอสฟอรัสที่ละลายในน้ำมีอยู่น้อย ยกเว้นในแหล่งน้ำที่มีการปนเปื้อน ฟอสฟอรัสที่อยู่ในแหล่งน้ำมักจะอยู่ในรูปต่างๆ เช่น ออร์โธฟอสเฟต อินทรีย์ฟอสเฟต ซึ่งฟอสเฟตเหล่านี้อาจอยู่ในรูปที่ละลายน้ำหรือในรูปซากของสารอินทรีย์ สาเหตุการปนเปื้อนของฟอสเฟตมาได้จากหลายทาง เช่น ผงซักฟอก หรือปุ๋ยจากการทำเกษตรกรรม ในแหล่งน้ำธรรมชาติมีปริมาณฟอสฟอรัสสูงกว่า 0.01 มิลลิกรัมต่อลิตร จัดว่าแหล่งน้ำนั้นมีอาหารธรรมชาติมากเกินไป ถ้าแหล่งน้ำนั้นมีปริมาณฟอสเฟตสูงกว่า 0.6 มิลลิกรัมต่อลิตร แหล่งน้ำนั้นจะเป็นแหล่งน้ำที่มีมลภาวะ ปริมาณฟอสฟอรัสในแหล่งน้ำไม่ได้เป็นสารมลพิษทำอันตรายต่อสัตว์น้ำเพียงอย่างเดียว แต่เป็นตัวการทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของแหล่งน้ำ เนื่องมาจากการเจริญเติบโตอย่างมากมายของสาหร่าย ในการควบคุมและป้องกันปัญหาการเสื่อมโทรมของแหล่งน้ำมีค่ามาตรฐานกำหนดไว้ว่า ปริมาณฟอสฟอรัสไม่ควรเกิน 0.03 มิลลิกรัมต่อลิตร ฟอสฟอรัสเป็นธาตุอาหารที่จำเป็นต่อการเจริญเติบโตของแพลงก์ตอนพืชเพราะมีส่วนเกี่ยวข้องกับกระบวนการต่างๆ ของเซลล์ โดยเฉพาะกระบวนการถ่ายเทพลังงานและกระบวนการสร้างกรดนิวคลีอิค (nucleic acid) ฟอสฟอรัสที่แพลงก์ตอนและแบคทีเรียสามารถนำไปใช้ได้โดยตรง ได้แก่ ออร์โธฟอสฟอรัส (orthophosphorus) แพลงก์ตอนพืชจะใช้ออร์โธฟอสฟอรัสในการสร้างพลังงานในกระบวนการฟอสโฟรีเลชั่น (phosphorylation), ออกซิเดทีฟ ฟอสโฟรีเลชั่น (oxidative phosphorylation) และโฟโต้ฟอสโฟรีเลชั่น (photophosphorylation) ดังสมการ

$$\text{ADP+ orthophosphate} \xrightarrow{\text{Energy}} \text{ATP}$$

ฟอสฟอรัสจะเป็นปัจจัยจำกัดสำหรับแพลงก์ตอนพืชกลุ่มสีเขียวแกมน้ำเงินที่สามารถตรึงไนโตรเจนจากบรรยากาศได้เอง โดยเฉพาะแพลงก์ตอนพืชในกลุ่มที่สร้างพิษ ได้แก่ *Oscillatoria, Microcystis* พบว่าแพลงก์ตอนพืชกลุ่มดังกล่าวมีการเจริญเติบโตแปรผันตรงกับปริมาณฟอสฟอรัสในน้ำ นอกจากนี้ปริมาณฟอสฟอรัสรวมในน้ำมากกว่า 0.5 มิลลิกรัมต่อลิตร จะส่งผลให้เกิดการสะพรั่งของแพลงก์ตอนพืชภายในบ่อและทำให้เกิดสีน้ำล้มตามมา ความต้องการเหล็กของแพลงก์ตอนพืชจะเพิ่มขึ้นตามความเข้มของแสง และแตกต่างกันไปตามแหล่งไนโตรเจนที่แพลงก์ตอนพืชดึงมาใช้ในการเจริญเติบโต โดยเฉพาะเซลล์ที่ใช้ไนเตรทจะมีความต้องการเหล็กสูงกว่าเซลล์ที่ใช้แอมโมเนียม โดยเหล็กจะเป็นองค์ประกอบของเอนไซม์เพื่อเปลี่ยนไนเตรทไปเป็นแอมโมเนียม การเปลี่ยนแปลงปริมาณของเหล็กจะมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบของประชาคมแพลงก์ตอนพืชในแหล่งน้ำจืด โดยปริมาณเหล็กจะเป็นตัวควบคุมการเพิ่มจำนวนของแพลงก์ตอนพืชในแหล่งน้ำจืดที่มีปริมาณ

ฟอสฟอรัสสูง ความต้องการเหล็กของแพลงก์ตอนพืชบริเวณชายฝั่งทะเล และทะเลลึกจะมีความแตกต่างกันในแต่ละชนิด ซึ่งมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบประชาคม และโครงสร้างของแพลงก์ตอนพืชในพื้นที่ แมงกานีสเป็นองค์ประกอบที่สำคัญต่อการแตกตัวของน้ำในกระบวนการสังเคราะห์แสง และมีผลต่อการเจริญเติบโตของแพลงก์ตอนทุกชนิด แมงกานีสจะถูกใช้มากเพื่อเจริญเติบโตในสภาพที่มีแสงน้อย สังกะสีเป็นธาตุที่แพลงก์ตอนพืชต้องการสำหรับกระบวนการเมตาบอลิซึม สังกะสีจะถูกใช้ในกระบวนการตรึงและส่งผ่านคาร์บอนไดออกไซด์โดยเอนไซม์คาร์บอนิค ความต้องการของเอนไซม์และแพลงก์ตอนต่อสังกะสีจะมีมากเมื่ออยู่ในสภาวะที่มีปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ลดลง หรืออยู่ในสภาวะที่จำกัด ส่วนใหญ่สังกะสีจะทำงานร่วมกับโคบอลต์ และแคดเมียม ทองแดงเป็นธาตุอาหารที่ถูกใช้เป็นองค์ประกอบในกระบวนการไซโตโครม ออกซิเดส และเป็นองค์ประกอบของโปรตีนในการส่งผ่านอิเล็กตรอนในกระบวนการหายใจ โมลิบดินัม และนิกเกิลจะมีบทบาทเกี่ยวข้องกับกระบวนการดูดซึมไนโตรเจนเข้าสู่เซลล์ โมลิบดินัมจะทำงานร่วมกับเหล็กในเอนไซม์ไนเตรท รีดักเตส และไนโตรจีเนสในกระบวนการเปลี่ยนไนเตรท และการตรึงไนโตรเจน นิกเกิลจะเป็นองค์ประกอบของเอนไซม์ยูรีเอส ซึ่งพบในแพลงก์ตอนพืชที่ใช้ยูเรียเป็นแหล่งไนโตรเจนในการเจริญเติบโต โคบอลต์เป็นส่วนประกอบสำคัญของวิตามินบี 12 ซึ่งสำคัญต่อการเจริญเติบโตของแพลงก์ตอนหลายชนิด ซัลเฟอร์เป็นธาตุอาหารที่จำเป็นต่อแพลงก์ตอนเนื่องจากเป็นองค์ประกอบของกรดอะมิโน โดยแพลงก์ตอนพืชจะใช้ในรูปของสารอนินทรีย์ ได้แก่ ซัลเฟต (SO_4^{2-}) และซัลไฟด์ (HS^-) นอกจากนี้ซัลเฟอร์ยังเป็นส่วนประกอบของวิตามินบี 1 ไบโอตินและโคเอนไซม์ เออีกด้วย ซิลิเนียมเป็นธาตุอาหารจำเป็นต่อการเจริญเติบโตของแพลงก์ตอนพืชทั้งในน้ำจืด และน้ำเค็ม โดยเฉพาะแพลงก์ตอนทะเลที่ต้องการซิลิเนียมเป็นองค์ประกอบของเซลล์ และมีบทบาทต่อกระบวนการเมตาบอลิซึมของเซลล์แพลงก์ตอน โซเดียมเป็นธาตุอาหารที่กลุ่มไซยาโนแบคทีเรีย (Cyanobacteria) เช่น *Anabaena, Microcystis* และ *Nostoc* ต้องการในการเจริญเติบโต (Oh et al., 2000; Sunda et al., 2005; จริยาวดี, 2557; ยุวดี, 2549; ศรีวรรณ และประเสริฐ, 2544)

การศึกษาการเพาะเลี้ยงและคุณภาพน้ำ

ปัจจัยต่างๆ ในแหล่งน้ำ เช่น สารอาหาร ความเข้มแสง พื้นที่ในการยึดเกาะ ค่าความเป็นกรด-เบส ความเค็ม ปริมาณโลหะหนัก จะมีผลโดยตรงต่อชุมชนและลักษณะของสาหร่ายยึดเกาะ สารอาหารและแสงเป็นปัจจัยจำกัดเบื้องต้น (primary limiting factor) ที่จำเป็นต่อสาหร่ายยึดเกาะโดยเฉพาะไนเตรทไนโตรเจน แอมโมเนียไนโตรเจน และออร์โธฟอสเฟตฟอสฟอรัสที่เป็นปัจจัยควบคุมผลผลิตเบื้องต้นของแหล่งน้ำ ส่วนพื้นที่ในการยึดเกาะเป็นปัจจัยรอง (secondary limiting factor) ของสาหร่ายยึดเกาะหลายชนิด โดยเฉพาะสาหร่ายขนาดใหญ่ซึ่งมีความหลากหลายของชนิดสูงในแหล่งน้ำที่พื้นท้องน้ำเป็นกรวดและก้อนหินขนาดเล็ก การที่สาหร่ายมีช่วงอายุสั้นและตอบสนองต่อการเปลี่ยนแปลงสภาพแวดล้อมอย่างรวดเร็ว จึงทำให้สามารถใช้เป็นดัชนีบ่งชี้คุณภาพของแหล่งน้ำได้ (ศิริเพ็ญ และคณะ, 2549)

ศรีวรรณ และประเสริฐ (2544) กล่าวว่าจากการศึกษาระบบนิเวศของสาหร่ายไกบริเวณจุดเก็บตัวอย่างทั้ง 5 จุดในแม่น้ำโขงบริเวณอำเภอเชียงของ และอำเภอเวียงแก่น จังหวัดเชียงราย โดยเก็บตัวอย่างทั้งหมด 4 ครั้ง พบว่าประกอบด้วยสาหร่าย 2 ชนิด คือ *Cladophora glomerata* Kutzing และ *Rhizoclonium hieroglyphicum (C. Agardh) Kutzing* โดยพบ *R. hieroglyphicum* มากกว่า *C. glomerata* ในเกือบทุกจุดสำรวจ โดยส่วนใหญ่จะพบ *C. glomerata* ที่บริเวณน้ำตื้นริมตลิ่ง และพบ *R. hieroglyphicum* ในบริเวณที่น้ำลึก แต่ในบางครั้งก็จะพบสาหร่ายทั้งสองชนิดขึ้นปะปนกัน พบว่าปัจจัยทางด้านกายภาพและเคมี ดังนี้อุณหภูมิน้ำตลอดระยะเวลาที่ทำการศึกษาอุณหภูมิน้ำอยู่ในช่วง 21.1-28.3 องศาเซลเซียส ความขุ่นของน้ำพบว่าน้ำในแม่น้ำโขงจะขุ่นตลอดเวลา โดยความขุ่นของน้ำในแม่น้ำโขงจะลดลงในช่วงเดือนกุมภาพันธ์ถึงเมษายน ค่าความขุ่นของน้ำที่วัดได้จะอยู่ในช่วง 14-134 NTU ความเร็วของกระแสน้ำอยู่ในช่วง 0.22-0.96 เมตรต่อวินาที ส่วนปัจจัยทางด้านเคมีพบว่ามีความเป็นกรด-เบสอยู่ในช่วง 7.53-8.40 ค่าการนำไฟฟ้าอยู่ในช่วง 283-549 $\mu S.cm^{-1}$ ปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายอยู่ในน้ำมีค่าต่ำสุดที่วัดได้มีค่าเท่ากับ 140 มิลลิกรัมต่อลิตร สูงสุดเท่ากับ 275 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาณออกซิเจนที่ละลายน้ำมีค่าอยู่ในช่วง 7.2-9.2 มิลลิกรัมต่อลิตร ค่าความเป็นด่างมีค่าอยู่ในช่วง 60-92 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาณแอมโมเนียไนโตรเจนมีค่าอยู่ในช่วง 0.08-1.05 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาณของไนเตรทไนโตรเจนมีค่าอยู่ในช่วง 0.2-1.6 มิลลิกรัมต่อลิตร และปริมาณ Soluble reactive phosphorus มีค่าอยู่ในช่วง 0.07-0.67 มิลลิกรัมต่อลิตร จากการศึกษาระบบนิเวศของสาหร่ายไก อาจกล่าวได้ว่าปัจจัยทางด้านกายภาพเป็นปัจจัยหลักที่มีผลต่อการเจริญเติบโตของสาหร่ายไกในแม่น้ำโขง เนื่องจากมีการเปลี่ยนแปลงอย่างรวดเร็ว โดยปัจจัยทางด้านกายภาพที่มีผลต่อการเจริญเติบโตของสาหร่ายไกได้แก่ อุณหภูมิน้ำ ความเร็วของกระแสน้ำ และความขุ่น ส่วนปัจจัยทางด้านเคมี เช่น ปริมาณสารอาหาร ปริมาณออกซิเจนที่ละลายน้ำ หรือค่าความเป็นด่าง เป็นปัจจัยรองที่มีผลต่อการเจริญเติบโตของสาหร่ายไก เพราะในแม่น้ำโขงมีสารอาหารเพียงพอต่อการเจริญและสภาพทางด้านเคมีเหมาะสมต่อการเจริญของสาหร่ายไกทั้งสองชนิด

ศิริเพ็ญ และคณะ (2549) กล่าวว่าการเพาะเลี้ยงสาหร่ายสกุล *Cladophora* (ไก) โดยใช้น้ำทิ้งจากโรงอาหารที่มีอัตราส่วนของไนโตรเจน ต่อ ฟอสฟอรัส (N : P) เท่ากับ 4 : 1 แบ่งการทดลองเป็น 2 ส่วน ในส่วนที่ 1 เป็นการเพาะเลี้ยงสาหร่ายไกในโถแก้วกลม ซึ่งอาหารเพาะเลี้ยงได้จากน้ำทิ้งโรงอาหารความเข้มข้น 10, 20, 30, 40, 50, 60, 70, 80, 90 และ 100% เป็นระยะเวลา 4 สัปดาห์ เพื่อศึกษาคุณภาพน้ำและการเจริญเติบโตของสาหร่ายไก พบว่าคุณภาพน้ำมีปริมาณของแข็งที่แขวนลอยในน้ำ 1.67-6.67 มิลลิกรัมต่อลิตร pH 7.07-10.63 ความกระด้าง 48.99-121.04 มิลลิกรัมต่อลิตร ความเป็นด่าง 30.00-162.00 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาณออกซิเจนที่ละลายน้ำ

4.25-7.29 มิลลิกรัมต่อลิตร บีโอดี 0.06-6.53 มิลลิกรัมต่อลิตร แอมโมเนียไนโตรเจน ตรวจไม่พบ (ND)-0.476 มิลลิกรัมต่อลิตร ไนเตรทไนโตรเจน ND-0.613 มิลลิกรัมต่อลิตร เคดาห์ลไนโตรเจน

0.001-3.200 มิลลิกรัมต่อลิตร ออร์โธฟอสเฟตฟอสฟอรัส ND-0.720 มิลลิกรัมต่อลิตร ฟอสฟอรัสรวม ND-1.822 มิลลิกรัมต่อลิตร โดยสาหร่ายไกที่เพาะเลี้ยงในน้ำทิ้งจากโรงอาหาร 100% มีการเจริญเติบโตดีที่สุด รองลงมาคือ ที่ระดับความเข้มข้น 80, 70 และ 60% ตามลำดับ ในความเข้มข้นที่แตกต่างกัน ผลจากการเลี้ยงสาหร่ายไกพบว่า มีค่า BOD, PO_4^-, P, TP และTKN ลดลงจากสัปดาห์แรก ในส่วนที่ 2 เป็นการเพาะเลี้ยงสาหร่ายไกในตู้กระจกขนาด 0.5×1.5×0.5 เมตรที่มีน้ำไหลเวียนตลอดเวลา มีทั้งหมด 3 รูปแบบ คือ รูปแบบที่ 1 เป็นการเพาะเลี้ยงสาหร่ายไกโดยใช้น้ำทิ้งจากโรงอาหารที่ระดับความเข้มข้น 60, 80 และ100% รูปแบบที่ 2 เป็นการเพาะเลี้ยงสาหร่ายไกโดยใช้น้ำทิ้งจากโรงอาหาร 3 ความเข้มข้น และมีการเติมแอมโมเนียคลอไรด์ทุกสัปดาห์ รูปแบบที่ 3 เป็นการเพาะเลี้ยงสาหร่ายไกโดยใช้น้ำทิ้งจากโรงอาหาร 3 ความเข้นข้น และมีการเติมน้ำทิ้งจากโรงอาหารทุกสัปดาห์ ผลการเพาะเลี้ยงทั้ง 3 รูปแบบพบว่าปัจจัยทางเคมี คือ NH_3-N, TKN, PO_4-P, BOD และTP จะมีค่าลดลงจากสัปดาห์แรก

ศิริเพ็ญ และคณะ (2553) กล่าวว่าการเพาะเลี้ยงสาหร่ายสีเขียว สกุล *Cladophora* (ไก) เพื่อเป็นอาหารปลาบึก (ระยะ 2) ได้ดำเนินการเพาะเลี้ยงสาหร่ายไกเป็นจำนวนมากในบ่อซีเมนต์โดยใช้น้ำทิ้งจากโรงอาหาร พบว่าปัจจัยทางกายภาพ-เคมี ระหว่างการเพาะเลี้ยงคือ อุณหภูมิน้ำมีค่าอยู่ในช่วง 26-32 องศาเซลเซียส ความเข้มแสงมีค่าอยู่ในช่วง 6,500-43,200 ลักซ์ ความเร็วกระแสน้ำมีค่า 0.20 เมตรต่อวินาที ค่าความเป็นกรด-เบส เมื่อเริ่มต้นเพาะเลี้ยงมีค่า 7 แต่ค่าความเป็นกรด-เบสจะเพิ่มขึ้นระหว่างการเพาะเลี้ยงเป็น 7.36-9.73 ความกระด้างและความเป็นด่างมีค่า 21.13-68.21 และ62.33-110.00 มิลลิกรัมต่อลิตร $CaCO_3$ ปริมาณของแข็งที่แขวนลอยในน้ำ ปริมาณออกซิเจนที่ละลายน้ำ บีโอดี และซีโอดี 2.00-34.67, 3.37-13.87, 0.43-11.57 และ 1.10-29.59 มิลลิกรัมต่อลิตรตามลำดับ ส่วนปริมาณสารอาหารไนโตรเจนและฟอสฟอรัสระหว่างการเพาะเลี้ยงมีช่วงความเข้มข้นค่อนข้างกว้างคือ ปริมาณแอมโมเนียไนโตรเจน ไนเตรทไนโตรเจน และออร์โธฟอสฟอรัส มีค่า <0.001-1.069, <0.001-1.580 และ <0.001-14.780 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ และสาหร่ายไกมีอัตราการเจริญเติบโตสูงสุดหลังการเพาะเลี้ยง 1 ถึง 2 สัปดาห์ คือ 1,247 กรัมต่อตารางเมตรต่อสัปดาห์ หลังจากนั้นอัตราการเจริญเติบโตจะลดลง เนื่องจากสาหร่ายเจริญเติบโตเต็มที่จนแน่นบ่อ ทำให้มีการบังแสงแดดกันเอง จนสาหร่ายไกบางส่วนตาย มวลชีวภาพของสาหร่ายไกหลังจากเพาะเลี้ยงระยะเวลา 6-8 สัปดาห์ ได้สาหร่ายไก 3,187 กรัมต่อตารางเมตร (น้ำหนักเปียก) ในการเพาะเลี้ยงสาหร่ายไกพบว่าควรเก็บเกี่ยวมวลชีวภาพของสาหร่ายไกออกบางส่วนทุก 1-2 สัปดาห์ หรือเมื่อสาหร่ายไกมีการเจริญเติบโตจนเกือบเต็มพื้นที่บ่อ

องค์ประกอบทางเคมีของสาหร่ายไก

ตารางที่ 1 องค์ประกอบทางเคมีของสาหร่ายไกในลำน้ำน่าน

พารามิเตอร์ที่ศึกษา	สาหร่ายไก
สารอาหารพื้นฐาน (กรัม/100 กรัม น้ำหนักแห้ง)	
ไขมัน	3.12
โปรตีน (N×6.25)	19.3
กาก (ใยอาหาร)	21.6
เถ้า	19.6
คาร์โบไฮเดรต (โดยการคำนวณ)	30.4
วิตามิน (มิลลิกรัม/100 กรัม น้ำหนักแห้ง)	
วิตามินเอ	ไม่พบ
วิตามินซี	6.78
วิตามินบี$_1$	0.16
วิตามินบี$_2$	0.54
กรดโฟลิก	0.14
กรดแพนโทธีนิก	0.26
ไนอะซิน	4.20
เกลือแร่ (มิลลิกรัม/100 กรัม น้ำหนักแห้ง)	
แคลเซียม	943.9
โซเดียม	716.9
โพแทสเซียม (กรัม/100 กรัม น้ำหนักแห้ง)	4.62
คลอไรด์ (กรัม/100 กรัม น้ำหนักแห้ง)	1.55
แมกนีเซียม	170.5
แมงกานีส	5.36
เหล็ก	162.0
ทองแดง (ไมโครกรัม/100 กรัม น้ำหนักแห้ง)	0.31
สังกะสี	0.65
ซิลีเนียม (ไมโครกรัม/100 กรัม น้ำหนักแห้ง)	460.4

ที่มา : ยุวดี และคณะ (2548)

ตารางที่ 2 รงควัตถุ 5 ชนิดของสาหร่ายไกในลำน้ำน่าน

รงควัตถุที่ศึกษา	ปริมาณรงควัตถุ(มิลลิกรัม.กรัม$^{-1}$น้ำหนักเซลล์แห้ง)
คลอโรฟิลล์เอ	3.75
คลอโรฟิลล์บี	18.45
แคโรทีนอยด์	1.84
ไฟโคไซยานิน	ไม่มี
อัลโลไฟโคไซยานิน	ไม่มี
ไฟโคเออริทริน	ไม่มี

ที่มา : ยุวดี และคณะ (2548)

Yoshii et al. (2004) ได้วิเคราะห์อนุพันธ์ของแคโรทีนอยด์ใน *Cladophora* 8 ชนิด ได้แก่ *Cladophora albida, C. coelothrix, C. glomerata, C. japonica, C. ohkuboana, C. pellucida, C. sericea* และ *C. vagabunda* พบว่ามีเบต้า-แคโรทีน 22, 14, 13, 12, 12, 11, 14 และ 16 ไมโครกรัมต่อกรัม (น้ำหนักแห้ง) และมีลูทีน 22, 4, 36, 2, 7, 3, 37 และ 29 ไมโครกรัมต่อกรัม (น้ำหนักแห้ง) ตามลำดับ

1. สารต้านอนุมูลอิสระ

อนุมูลอิสระ คืออะตอมหรือโมเลกุล ที่มีอิเล็กตรอนไม่เป็นคู่ (unpaired electron) อย่างน้อย 1 ตัวโคจรรอบวงนอกสุด อนุมูลอิสระเกิดขึ้นได้เมื่อพันธะระหว่างอะตอมแตกออก ทำให้อนุมูลอิสระไม่เสถียรและไวต่อการเกิดปฏิกิริยาอย่างรวดเร็ว จึงทำปฏิกิริยากับโมเลกุลที่อยู่รอบๆ โดยดึงหรือให้อิเล็กตรอนโมเลกุลข้างเคียงเพื่อให้ตัวมันเสถียร โมเลกุลข้างเคียงที่สูญเสียหรือรับอิเล็กตรอนจะกลายเป็นอนุมูลอิสระตัวใหม่ที่ไม่เสถียรและเข้าทำปฏิกิริยากับโมเลกุลอื่นต่อไปเป็นปฏิกิริยาลูกโซ่ (chain reaction)

อนุมูลอิสระเกิดได้ทั้งภายในและภายนอกร่างกาย ถ้าอนุมูลอิสระมีมากทำให้เกิดสภาวะเสื่อมระดับเซลล์เสียหายได้หลายรูปแบบ เช่น การเสื่อมสภาพของเนื้อเยื่อ ตลอดจนอาจทำลายโครงสร้างทางเคมีของ DNA หรือ โครโมโซม อนุมูลอิสระสร้างความเสียหายต่อชีวโมเลกุลมากโดยเฉพาะการออกซิไดซ์ไขมันซึ่งเป็นส่วนประกอบหลักของเยื่อหุ้มเซลล์ ทำให้เยื่อหุ้มเซลล์เสียสภาพได้ สิ่งมีชีวิตจะมีระบบป้องกันการทำลายเซลล์และเนื้อเยื่อจากอนุมูลอิสระอยู่ปริมาณหนึ่ง ซึ่งสารต้านอนุมูลอิสระตามธรรมชาติในร่ากายมีหลายชนิดได้แก่เอนไซม์ Superoxde dismutase (SOD) พบในเม็ดเลือดแดง เอนไซด์ Catalase (CAT) พบในไซโตซอลของเซลล์ และสารต้านอนุมูลอิสระอื่นๆ แต่สารต้านอนุมูลอิสระเหล่านี้มีปริมาณจำกัด เมื่อร่างกายมีอนุมูลอิสระมากขึ้น จะเกิดการขาดความสมดุลระหว่างสารต้านอนุมูลอิสระและอนุมูลอิสระในร่างกาย ดังนั้นจึงควรหาแหล่งอาหารหรือสิ่งที่ช่วยเพิ่มให้ร่างกายมีสารต้านอนุมูลอิสระสูงขึ้น เช่น วิตามิน ได้แก่ วิตามินซี วิตามินอี และเบต้าแคโรทีน เกลือแร่ ได้แก่ ทองแดง สังกะสี ซึ่งเป็นส่วนประกอบของเอนไซม์ SOD และซิลิเนียม

เป็นส่วนประกอบของเอนไซม์ Glutathioneperoxidase (GSH) สารต้านอนุมูลอิสระอื่นๆ ได้แก่ โคเอนไซม์ เอนไซม์ คิวเทน สารสกัดจากเมล็ดองุ่น สารสกัดจากเปลือกสน และสารประกอบฟีนอลิก (phenolic compound) ซึ่งเป็นสารประกอบที่หาได้จากการเมทาบอไลท์ในพืชทั่วไปประกอบด้วยสารประกอบที่สำคัญได้แก่ โปรแอนโทไซยานิดินส์ (proanthocyanidins) อนุพันธ์ของกรดแกลลิก (gallic acids) และอนุพันธ์ของกรดเฮกซะไฮดรอกซีไดฟีนิกส์(hexahydroxydiphenic acid) โดยสารประกอบฟีนอลิกที่สำคัญคือ ฟลาโวนอยด์ ประกอบด้วย Catechin, proanthocyanins, anthocyanidins, flavone, flavonols, และ glycosides (ดวงพร และคณะ, 2556)

2. สารต้านอนุมูลออกซิเดชั่น

สารต้านออกซิเดชัน ได้แก่ สารประกอบฟีโนลิก (phenolic compounds) สารประกอบฟีโนลิกเป็นสารที่พบได้ในพืชทั่วไป มีสูตรโครงสร้างทางเคมีเป็นวงแหวนที่มีหมู่ไฮดรอกซิลอย่างน้อยหนึ่งหมู่หรือมากกว่านั้น สามารถละลายน้ำได้ ที่พบในพืชมักจะรวมอยู่ในโมเลกุลของน้ำตาลในรูปของสารประกอบไกลโคไซด์ (glycosides) และพบได้ในส่วนของช่องว่างภายในเซลล์ (cell vacuole) สารประกอบฟีโนลิกที่พบในธรรมชาติมีมากมายหลายชนิด มีลักษณะสูตรโครงสร้างทางเคมีที่แตกต่างกัน ซึ่งส่วนใหญ่ที่สุดที่พบจะเป็นสารประกอบพวกฟลาโวนอยด์ (flavonoids) นอกจากนั้นยังมีสารประกอบต่างๆ เช่น simple monocyclic phenol, phenyl propanoid, phenolic quinine และpolyphenolic ซึ่งได้แก่พวก lignin, tannin เป็นต้น รวมทั้งยังพบว่ามีสารประกอบที่มีกลุ่มฟีนอล(phenolic unit) รวมอยู่ในโมเลกุลของโปรตีนอัลคาลอยด์ (alkaloid) และเทอร์พีนอยด์ (terpenoid) เป็นต้น สารประกอบฟีโนลิกหลายชนิดมีสมบัติเป็นสารต้านออกซิเดชัน เช่น ฟลาโวนอยด์ กรดฟีโนลิก และแทนนิน เป็นต้น สารประกอบฟีโนลิกทำหน้าที่เป็นตัวขับไล่อนุมูลอิสระที่สำคัญคือ อนุมูล peroxy โดยมีกลไก 2 แบบคือ เมื่ออยู่ในสภาวะที่มีความเข้มข้นต่ำเมื่อเทียบกับสารออกซิไดซ์ สารประกอบฟีโนลิกจะป้องกันการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน นอกจากนี้อนุมูลอิสระที่เกิดขึ้นในปฏิกิริยาจะถูกทำให้เป็นสารที่มีความเสถียร ดังนั้นจึงสามารถป้องกันการเกิดขั้นตอนพลอพาเกชันได้ นอกจากนี้สารประกอบฟีโนลิกบางชนิดยังทำหน้าที่เป็นสารคีเลต ดักจับไอออนของโลหะเข้าไว้ในโมเลกุล เช่น เคอร์ซิทิน (quercetin) (ดวงพร และคณะ, 2556)

3. สารประกอบฟีโนลิกยังทำหน้าที่ทั้งเป็นสารให้อิเล็กตรอน หรือเป็นตัวให้ไฮโดรเจน และกำจัดออกซิเจนที่อยู่ในรูปแอคทีฟ ด้วยหน้าที่ต่างๆ ดังกล่าวจึงทำให้สารประกอบฟีโนลิกเป็นสารต้านออกซิเดชันที่สำคัญชนิดหนึ่งในพืชทั่วไป

ซิลิเนียม เป็นแร่ธาตุที่มีความสำคัญกับหน้าที่ของเอนไซม์ของระบบ glutathione perioxidase ระบบนี้เป็นระบบต้านอนุมูลอิสระที่สำคัญที่สุดภายในเซลล์ ซิลิเนียมดูดซึมได้ดีที่ลำไส้เล็ก ร่างกายจะเก็บซิลิเนียมไว้ในตับและไตมากเป็น 4-5 เท่าของซิลิเนียมที่อยู่ในกล้ามเนื้อ และเนื้อเยื่ออื่น

ซิลิเนียม เป็นสารต้านออกซิเดชันทางอ้อม เนื่องจากเป็นส่วนประกอบของเอนไซม์ที่ทำหน้าที่เป็นสารต้านออกซิเดชัน มีการศึกษาวิจัยที่แสดงว่าการใช้ซิลิเนียม และวิตามินอีร่วมกันช่วยเพิ่ม

ประสิทธิภาพของการป้องกันการเกิดโรคมะเร็งบางชนิด ที่กล่าวมานี้เป็นตัวอย่างของสารต้านออกซิเดชัน ซึ่งพบได้ในธรรมชาติ เนื่องจากสารต้านออกซิเดชัน มีหน้าที่หลายอย่าง เช่น ทำหน้าที่เป็นสารรีดิวซ์ (reducing agent) เป็นตัวขับไล่อนุมูลอิสระจับกับไอออนโลหะที่เร่งให้เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน ด้วยหน้าที่ต่างๆ เหล่านี้จึงทำให้มีผลต่อการชะลอหรือยับยั้งการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันหรือสามารถหยุดปฏิกิริยาลูกโซ่ และทำให้เป็นสารที่มีความเสถียร หรือเป็นสารที่ไม่ทำปฏิกิริยาออกซิเดชันอีกต่อไป หรือเป็นสารที่ไม่ใช่อนุมูลอิสระ (non-radical product) (ดวงพร และคณะ, 2556)

วิตามินซี เป็นวิตามินที่ละลายได้ในน้ำ จะสลายตัวเมื่อถูกความร้อนหรือหากทิ้งไว้ในอากาศที่มีความชื้นนานๆ วิตามินซีมีคุณสมบัติเป็นสารต้านออกซิเดชัน โดยจะเข้าทำปฏิกิริยากับไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ อนุมูล Hydroxyl และอนุมูล Peroxyl

วิตามินอี เป็นวิตามินที่ละลายได้ในไขมันเป็นสารต้านออกซิเดชันที่สำคัญ โดยวิตามินอีทำงานร่วมกับสารต้านออกซิเดชันตัวอื่นๆ เช่นวิตามินซีและซิลิเนียม เป็นต้น วิตามินอีแบ่งเป็น 2 กลุ่มใหญ่คือ โทโคฟีรอล และโทโคไทอินอล แต่ละกลุ่มยังแยกเป็นวิตามินย่อยๆ อีก 4 ชนิด ได้แก่ อัลฟ่า เบต้า แกมม่า และเดลต้า ส่วน trolox เป็นอนุพันธุ์ของวิตามินอีที่ละลายน้ำได้

ผลิตภัณฑ์จากสาหร่ายไก

จากความมากมายของสาหร่ายไกที่มีในลำน้ำโขงและลำน้ำน่าน จึงทำให้เกิดภูมิปัญญาชาวบ้าน โดยนำสาหร่ายเหล่านี้ไปแปรรูปเป็นอาหารมาอย่างช้านาน อาหารดั้งเดิมที่ชาวบ้านทั้ง 2 ฝั่งแม่น้ำ ทำมาจากสาหร่ายชนิดนี้ คือ ไกยี และห่อนึ่งไก ซึ่งมีหน้าตาคล้ายๆ กันทั้ง 2 ชุมชน ไกยีนั้นทำได้โดยนำสาหร่ายไกมาตากให้แห้งแล้วนำมาผิงไฟให้กรอบ จากนั้นก็ใช้มือบดขยี้ หรือที่ชาวบ้านเรียกว่า ยี ให้สาหร่ายแตกออกเป็นแผ่นเล็กๆ หรืออาจจะให้เล็กจนเกือบป่นเลย หลังจากนั้นนำมาปรุงรสด้วย เกลือ และงาขาวคั่ว จะได้ไกยี ที่มีรสชาติดี หอมทั้งกลิ่นธรรมชาติของสาหร่าย งาคั่ว และมีรสเค็ม ส่วนห่อนึ่งไกนั้นทำคล้ายกับห่อหมก เพียงแต่เปลี่ยนจากปลามาเป็นสาหร่ายไกสด คลุกกับน้ำพริกแล้วนำไปนึ่ง ต่อมาก็มีการประยุกต์โดยการแปรรูปสาหร่ายไกให้เป็นสาหร่ายไกแผ่นกรอบ โดยนำสาหร่ายไกที่ตากแห้งปรุงรสด้วยเกลือ กระเทียม มาทอดให้กรอบ สามารถจำหน่ายได้ ข้าวเกรียบไกก็เป็นสินค้าอีกประเภทหนึ่ง ซึ่งปรุงง่ายและขายง่าย นอกจากนี้ยังมีบะหมี่สาหร่ายไก ข้าวตังหน้าสาหร่ายไก กะหรี่ปั๊บไส้สาหร่ายไก คุกกี้สาหร่ายไก กรอบเค็มสาหร่ายไก กล้วยตากผสมสาหร่ายไก หรือแม้กระทั่งน้ำพริกสาหร่ายไก ซึ่งผลิตภัณฑ์ทุกอย่างก็สามารถจำหน่ายได้ แต่เป็นการจำหน่ายภายในชุมชน ตัวเมือง หรือภายในจังหวัดที่ตนเองอยู่ บางครั้งอาจมีการจำหน่ายไปยังจังหวัดอื่นๆ แต่ก็ไม่บ่อยนัก และมักจะเป็นช่วงสั้นๆ ทั้งนี้เนื่องจากผลิตภัณฑ์ที่ออกมายังต้องมีการปรับปรุงบ้างในเรื่องคุณภาพ ที่ไม่สามารถเก็บไว้ได้นาน มักจะหายกรอบหรือมักจะมีกลิ่นหืน รวมทั้งผลิตภัณฑ์ยังไม่มีความหลากหลายเฉพาะกลุ่ม ซึ่งต้องพัฒนาผลิตภัณฑ์ให้มีความหลากหลายในกลุ่มอื่นๆ ให้มากขึ้น และเพื่อจำหน่ายได้กว้างขวางกว่าปัจจุบัน (ภูมิปัญญาไทย, 2556)

ยุวดี (2548) ได้ศึกษาการแปรรูปอาหารชนิดต่างๆ จากสาหร่ายน้ำจืดขนาดใหญ่ เพื่อให้มีความหลากหลายมากขึ้น รวมทั้งการทดสอบในกลุ่มผู้บริโภค การปรับปรุง และพัฒนาอาหารจากสาหร่ายน้ำจืดขนาดใหญ่โดยอิงภูมิปัญญาชาวบ้านซึ่งมีมาก่อน เพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์ซึ่งเป็นความต้องการของท้องตลาดมากขึ้น มีหน่วยงานเข้ามาร่วมวิจัย 4 หน่วยงาน ได้ผลิตภัณฑ์ 24 ประเภท ดังนี้ สาหร่ายไกแผ่นกรอบปรุงรส ข้าวเหนียวอบกรอบผสมสาหร่ายไก ขนมปังข้าวเหนียวสาหร่ายไกอบกรอบโดยใช้เทคโนโลยีไมโครเวฟ บะหมี่สาหร่ายไกสด บะหมี่สาหร่ายไกแห้ง สาหร่ายไกแผ่น ขนมปังสาหร่ายไก กรอบเค็มสาหร่ายไก เค้กเนยสาหร่ายไก ข้าวเกรียบสาหร่ายไก คุ้กกี้สาหร่ายไก ทองม้วนสาหร่ายไก น้ำพริกตาแดงสาหร่ายไก น้ำพริกเผาสาหร่ายไก น้ำพริกแคบหมูสาหร่ายไก น้ำพริกหมูสาหร่ายไก น้ำพริกนรกสาหร่ายไก พิมพ์กรอบสาหร่ายไก ข้าวแต๋นหน้าสาหร่ายไก ข้าวเม่าหมี่ผสมสาหร่ายไก โจ๊กสาหร่ายไก แครกเกอร์หน้าไกยี ทอดมันข้าวโพดผสมไกยี และไกแผ่นชุปแป้งทอด จากการประเมินผู้บริโภคถึงความชอบหรือไม่ชอบในผลิตภัณฑ์เหล่านี้ พบว่าผู้บริโภคไม่ต้องการให้ใส่สาหร่ายไกลงไปมาก เนื่องจากจะทำให้เกิดรสขม และกลิ่นของสาหร่ายไกมากเกินไปซึ่งเป็นความแตกต่างอย่างชัดเจนกับชุมชนผู้บริโภคสาหร่ายไกเป็นอาหารตามปกติ ซึ่งนิยมบริโภคสาหร่ายไกบริสุทธิ์โดยมีการปรุงแต่งไม่มากนัก ดังนั้นการแปรรูปอาหารเพื่อไปจำหน่ายในท้องถิ่นอื่นๆ จึงต้องคำนึงถึงความคุ้นเคยในรสชาติ และกลิ่นของสาหร่ายไกด้วย ผลิตภัณฑ์ที่แปรรูปเหล่านี้พบว่า บะหมี่สาหร่ายไกทั้งสดและแห้ง มีทิศทางของการแปรรูป และการจำหน่ายในระดับอุตสาหกรรมมีความเป็นไปได้สูง

ชรินรัตน์ (2552) ได้ศึกษาการพัฒนาผลิตภัณฑ์เยลลี่จากสาหร่ายไก ผลิตภัณฑ์เยลลี่เป็นผลิตภัณฑ์หนึ่งที่กำลังได้รับความนิยม อย่างไรก็ตามเยลลี่ที่ขายตามท้องตลาดส่วนใหญ่เป็นผลิตภัณฑ์ที่ทำมาจากสารแต่งกลิ่นรสสังเคราะห์ผลไม้ต่างๆ ผสมกับสารให้ความหวาน และสารทำให้เกิดเจลเมื่อพิจารณาถึงองค์ประกอบทางเคมีแล้ว พบว่าสารอาหารหลักของเยลลี่ คือคาร์โบไฮเดรตทำให้เยลลี่มีคุณค่าด้านพลังงานเท่านั้น ทั้งนี้ตามแหล่งแม่น้ำน่าน พบว่ามีสาหร่ายไกเป็นสาหร่ายสีเขียวน้ำจืด มีโปรตีนถึงร้อยละ 19.44 มีไขมัน วิตามิน และแร่ธาตุ ต่างๆ ใกล้เคียง กับผักสีเขียวทั่วๆ ไป โดยเฉพาะอย่างยิ่งมีธาตุซิลีเนียมสูงกว่าในผักสีเขียว ซึ่งเป็นสารป้องกันอนุมูลอิสระที่สำคัญอีกชนิดหนึ่ง ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงมีความสนใจที่จะศึกษากระบวนการแปรรูปสาหร่ายไก โดยพัฒนาเป็นผลิตภัณฑ์ของหวานประเภทเยลลี่ โดยใช้น้ำสกัดสาหร่ายไกที่มีความเข้มข้นร้อยละ 5 10 15 และ 20 ตามลำดับ ซึ่งในแต่ละความเข้มข้น ได้ทำการแปรผันปริมาณเพกตินที่ระดับร้อยละ 0.5 1.0 และ 1.5 โดยทำการวิเคราะห์หาปริมาณสารประกอบฟีนอลิก ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ ปริมาณสารซิลีเนียม เมื่อนำน้ำสกัดจากสาหร่ายไกทุกความเข้มข้นไปแปรรูปเป็นเยลลี่ พบว่าเยลลี่จากสาหร่ายไกมีปริมาณสารฟีนอลิก 78.43-155.44 มิลลิกรัมต่อลิตร ความสามารถในการยับยั้งอนุมูลอิสระร้อยละ 13.25-28.28 ปริมาณซิลีเนียม 0.016-0.029 มิลลิกรัมต่อลิตร เมื่อเปรียบเทียบความพึงพอใจในสี กลิ่น และรสชาติ ระหว่างเยลลี่สาหร่ายไกกับเยลลี่น้ำธรรมดา พบว่า ส่วนใหญ่มีความพึงพอใจอยู่ในระดับปานกลาง ซึ่งในงานวิจัยนี้ชี้ให้เห็นว่าสาหร่ายไกสามารถนำมาแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์เยลลี่ได้

สมจิต และคณะ (2548) ได้ศึกษาการพัฒนาผลิตภัณฑ์ข้าวเม่าหมี่ : ข้าวเม่าหมี่สาหร่ายไก กล่าวว่าจากการทดลองหาสูตรข้าวเม่าหมี่ที่ผสมสาหร่ายไกแผ่นทอดต่างกัน 4 ระดับ คือ 0(A_0), 6(A_6), (9A_9), และ12 %(A_{12}) ของน้ำหนักส่วนผสมที่เป็นของแข็งทั้งหมด พบว่า สูตรที่เหมาะสมที่สุด คือ สูตรข้าวเม่าหมี่ใส่สาหร่ายไกแผ่นทอด 9 เปอร์เซ็นต์ เนื่องจากเป็นสูตรที่ได้รับการยอมรับในด้านลักษณะปรากฏโดยรวม สี กลิ่น รสชาติ ลักษณะสัมผัส และความชอบโดยรวมจากผู้ทดสอบชิมแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญกับสูตรข้าวเม่าหมี่สาหร่ายไกแผ่น 0, 6, และ12 เปอร์เซ็นต์ แต่ลักษณะการปรากฏโดยรวมจะมองดูดีกว่า เพราะมีสาหร่ายไกแผ่นทอดในข้าวเม่าหมี่ไม่มากไม่น้อยจนเกินไป นอกจากนี้ยังให้คุณค่าทางอาหารสูงกว่าข้าวเม่าหมี่สูตรใส่สาหร่ายไกแผ่นทอด 0 และ 6 เปอร์เซ็นต์ อีกด้วย โดยคุณค่าทางอาหารที่วิเคราะห์ได้ประกอบด้วย โปรตีน 21.98 เปอร์เซ็นต์ ไขมัน 42.29 เปอร์เซ็นต์ เถ้า 3.4 เปอร์เซ็นต์ เส้นใยอาหาร 3.17 เปอร์เซ็นต์ คาร์โบไฮเดรต 29.15 เปอร์เซ็นต์ และความชื้น 3.08 เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนักแห้งผลการวิจัยนี้แสดงให้เห็นว่า การนำสาหร่ายไกไปใส่ในผลิตภัณฑ์อาหาร จะส่งผลให้ผลิตภัณฑ์อาหารนั้นมีองค์ประกอบทางเคมีเพิ่มขึ้น

จากการพัฒนาผลิตภัณฑ์จากสาหร่ายไกที่มีมาก่อนหน้านี้ พบว่าบะหมี่สาหร่ายไกสดและแห้งมีทิศทางของการแปรรูป และการจำหน่ายในระดับอุตสาหกรรมที่มีความเป็นไปได้สูง ดังนั้นผู้วิจัยจึงจะพัฒนาต่อยอดผลิตภัณฑ์บะหมี่สาหร่ายไก ให้มีมูลค่าเพิ่มมากขึ้น โดยให้มีความแตกต่างจากบะหมี่ที่จำหน่ายตามท้องตลาดซึ่งมีส่วนผสมแต่แป้งเพียงอย่างเดียว เมื่อรับประทานไปแล้วอาจให้แต่พลังงานเพียงอย่างเดียว แต่บะหมี่สาหร่ายไกเมื่อรับประทานแล้วอาจจะมีโปรตีนจากสาหร่ายไกด้วย อาจจะเป็นทางเลือกสำหรับกลุ่มคนรักสุขภาพ และกลุ่มคนที่แพ้ไข่ได้ ทั้งนี้เพื่อเป็นการต่อยอดงานวิจัยและสามารถถ่ายทอดองค์ความรู้ให้กับเกษตรกรและผู้ที่สนใจนำไปประกอบอาชีพได้ เพื่อเป็นการเพิ่มมูลค่าสาหร่ายไกที่เพาะเลี้ยงหรือที่เก็บจากธรรมชาติ และเป็นการสร้างแรงจูงใจให้ชาวบ้านช่วยกันดูแลแหล่งน้ำให้มีคุณภาพดี เพื่อจะได้สาหร่ายไกปลอดภัยมาบริโภค และเป็นการรักษาสิ่งแวดล้อมอีกทางหนึ่งด้วย

การใช้ประโยชน์จากสาหร่ายไก

การใช้ประโยชน์ผลผลิตสาหร่ายเชิงพาณิชย์ในประเทศไทยได้รับความสนใจมาเป็นเวลานาน แต่ที่ผ่านมายังไม่สามารถบรรลุวัตถุประสงค์สูงสุด เนื่องจากยังมีการศึกษาวิจัยน้อยมาก ทั้งที่สาหร่ายหลายชนิดมีศักยภาพเชิงพาณิชย์ในหลายด้าน เช่น เป็นอาหาร ยา สารสีหรือรงควัตถุ ปุ๋ยอินทรีย์ แหล่งกักเก็บคาร์บอนช่วยลดปัญหาภาวะโลกร้อน ดังนั้นการศึกษาวิจัยด้านสาหร่ายจึงมีความจำเป็นในยุคปัจจุบันนิยมนำสาหร่ายมาใช้ในเชิงพาณิชย์ดังนี้ (ศิริเพ็ญ, 2555)

สาหร่ายน้ำจืดขนาดใหญ่หลายชนิดที่นิยมนำมาบริโภคแต่ดั้งเดิมนั้น ได้แก่ สาหร่ายไก (*Cladophora* และ *Rhizoclonium*) ลอน (*Nostochopsis*) และเตา (*Spirogyra*) เป็นต้น ส่วนสาหร่ายทะเล ได้แก่ จี๋ไฉ่ (*Porphyra*) ส่วนสาหร่ายขนาดเล็กปัจจุบันนิยมใช้เป็นอาหารเสริม ได้แก่ สไปรูลิน่า (*Spirulina*) และคลอเรลลา (*Chlorella*) เป็นต้น สาหร่ายบางชนิดสามารถนำไปใช้

เป็นอาหารเสริมของสัตว์เพื่อเพิ่มคุณภาพเนื้อ หรือเพิ่มสีสันให้กับปลาสวยงามให้สีสดยิ่งขึ้น ทำให้จำหน่ายได้ราคาสูง สาหร่ายแต่ละชนิดมีคุณค่าทางอาหารแตกต่างกัน ดังนั้นการเลือกสาหร่ายมาใช้ประโยชน์จึงขึ้นกับสารที่สาหร่ายชนิดนั้นผลิตขึ้นมา ซึ่งแตกต่างกัน ปัจจุบันมีการผสมสาหร่ายในอาหารสัตว์ เพื่อใช้ประโยชน์จากสารสีของสาหร่ายโดยเฉพาะการเลี้ยงสัตว์น้ำ สำหรับปลาสวยงามเมื่อกินอาหารผสมสาหร่ายทำให้ปลามีสีสวยสดขึ้นจำหน่ายได้ราคาสูง ได้แก่ ปลาทอง ปลาคาร์พ และปลาหมอสี เป็นต้น สำหรับปลากินเนื้อที่บริโภคอาหารผสมสาหร่ายทำให้เนื้อมีสีเข้มขึ้น เช่น ปลาดุกอุย และปลาดุกรัสเซียที่เนื้อมีสีเหลืองเพิ่มขึ้น ส่วนปลานิลมีเนื้อสีแดงเพิ่มขึ้น สำหรับกุ้งทะเลจำเป็นต้องเพิ่มสารสีหรือสาหร่ายในอาหารเพื่อให้เปลือก และเนื้อกุ้งมีสีแดงเมื่อปรุงอาหาร เนื่องจากหากเลี้ยงด้วยอาหารที่ไม่มีสารสีจะทำให้เปลือกกุ้งมีสีฟ้า และเมื่อนำมาปรุงอาหารกุ้งจะมีสีซีด ไม่เป็นที่ต้องการของตลาด

สาหร่ายแต่ละกลุ่มมีสารสี หรือรงควัตถุที่แตกต่างกัน การสร้างสารสีและปริมาณสารสีที่สาหร่ายสร้างขึ้นมีค่าแตกต่างกันตามชนิดสาหร่าย ปริมาณสารอาหาร และสภาพแวดล้อมที่สาหร่ายเจริญ รงควัตถุที่น่าสนใจมาก คือ แคโรทีนอยด์ เป็นรงควัตถุที่ละลายในไขมันพบได้ในสาหร่ายและสิ่งมีชีวิตอื่น ๆ ปัจจุบันพบสารกลุ่มแคโรทีนอยด์มากกว่า 500 ชนิด แบ่งออกเป็นสองกลุ่มคือ

1. แคโรทีนอยด์ มี 3 ชนิดคือ อัลฟา ($\propto$) เบต้า (β) และแกมมา (γ) แคโรทีน พบในสาหร่ายทุกชนิด เบต้าแคโรทีนเป็นสารตั้งต้นของวิตามินเอ เบต้าแคโรทีน 1 โมเลกุล เปลี่ยนเป็นวิตามินเอ 2 โมเลกุล การบริโภคเบต้าแคโรทีนปริมาณมากไม่เป็นพิษ (ซึ่งต่างจากวิตามินเอที่ทำให้เกิดพิษได้) มนุษย์และสัตว์เมื่อบริโภคอาหารที่มีเบต้าแคโรทีนร่างกายจะเปลี่ยนเป็นวิตามินเอ และสารสีชนิดอื่นสะสมในส่วนต่างๆ ของร่างกาย

2. แซนโธฟิลล์ เป็นสารอนุพันธ์ที่มีออกซิเจนของแคโรทีน มีหลายชนิดได้แก่ ลูทีน (lutein) เซียแซนทีน (zeaxanthin) และเอสต้าแซนทีน (astaxanthin)

3. ไฟโคบิลิน มีสารสี 3 ชนิด ได้แก่ ไฟโคไซยานิน (phycocyyanin) อัลโลไฟโคไซยานิน (allophycocyanin) และไฟโคอิริธิน (phycoerythin) พบได้ในไซยาโนแบคทีเรีย และสาหร่ายสีแดง ไฟโคบิลินเป็นสารที่ละลายน้ำ สามารถสกัดได้โดยบดขยี้ให้เซลล์สาหร่ายแตกออกเพื่อให้ไฟโคบิลินละลายออกมากับน้ำ ไฟโคไซยานินนำมาใช้เป็นสีผสมอาหารในอุตสาหกรรมอาหารและเครื่องดื่ม และพบว่าสามารถสร้างภูมิคุ้มกันให้กับร่างกาย

นอกจากนี้ยังสามารถสกัดสารประกอบอื่นๆ จากสาหร่าย เช่น วุ้น (agar) จากสาหร่ายสีแดง เช่น สาหร่ายผมนาง (gracilaria) ประเทศไทยเคยมีโรงงานสกัดวุ้นจากสาหร่ายผมนาง แต่ต้องปิดโรงงานไปเนื่องจากปริมาณสาหร่ายในธรรมชาติไม่เพียงพอในการผลิต แต่ปัจจุบันได้มีผู้ประกอบการเพาะเลี้ยงสาหร่ายผมนางในประเทศไทยระดับอุตสาหกรรมแล้ว สกัดคาราจิแนน (caragenan) ได้จากสาหร่ายสีแดง เช่น *Chondrus* และ *Gigartina* นิยมใช้ในอุตสาหกรรมอาหารเพื่อให้เกิดวุ้นหรือเจลในอาหาร ทำให้อาหารข้นหนืด สกัดอัลจิเนต (alginate) ได้จากสาหร่ายสีน้ำตาล เช่น *Laminaria* และ *Macrocystis* ใช้ทำให้อาหารหนืดคงตัว

ส่วนการใช้ประโยชน์จากสาหร่ายไกโดยชาวบ้านนั้นมีมาช้านานแล้ว จนเกิดเป็นภูมิปัญญาที่สืบทอดต่อมาจนถึงปัจจุบัน สาหร่ายไกสามารถนำมาใช้ประโยชน์ในด้านต่างๆ ดังนี้

1. การใช้สาหร่ายไกเป็นอาหารมนุษย์: การบริโภคภายในครัวเรือน และแปรรูปเพื่อจำหน่าย
2. การใช้สาหร่ายไกเป็นอาหารสัตว์
3. การใช้สาหร่ายไกเพื่อประโยชน์ทางยา และเวชภัณฑ์
4. การช่วยอนุรักษ์ระบบนิเวศของสาหร่ายไก

1. การใช้สาหร่ายไกเป็นอาหารมนุษย์

ชาวบ้านมีการบริโภคสาหร่ายไกทั้งในรูปแบบสาหร่ายสดและแห้ง โดยชาวบ้านจะเก็บเกี่ยวสาหร่ายไกจากธรรมชาติ นำมาประกอบอาหารหลากหลายรูปแบบ นอกจากจะบริโภคภายในครัวเรือนแล้ว ปัจจุบันยังมีการนำสาหร่ายไกมาวางขายในตลาดและแปรรูปออกจำหน่ายอีกด้วย ซึ่งในแต่ละวันจะมีการใช้สาหร่ายสดจากลำน้ำน่านถึง 200-400 กิโลกรัม โดยราคากิโลกรัมละ 30-40 บาท สามารถนำไปผลิตไกยี และไกน้ำเกลือได้อย่างละ 80-100 โหลต่อวัน ราคาจำหน่ายโหลละ 100 บาท ผลิตภัณฑ์จากสาหร่ายไกที่แพร่หลาย ได้แก่ ไกยี ไกแผ่น ห่อหมกไก ไกน้ำเกลือ น้ำพริกข่าไก และข้าวเกรียบไก เป็นต้น

ในประเทศไทยชาวบ้านจะเก็บสาหร่ายไก จากแม่น้ำนำมาประกอบอาหาร โดยอาหารที่ปรุงจากสาหร่ายไกสดที่นิยมรับประทาน คือ ยำไก หรือถ้าไม่รับประทานแบบสาหร่ายไกสด ชาวบ้านจะนำสาหร่ายไกตากให้แห้งและเก็บไว้เพื่อนำมาประกอบอาหารภายหลัง

เนื่องจากอาหารจากสาหร่ายไกมีรสชาติอร่อยเป็นที่ถูกใจของนักท่องเที่ยวที่ได้ลิ้มลอง ชื่อของสาหร่ายไกจึงเป็นที่รู้จักกันในวงกว้าง และเป็นที่ต้องการของตลาดมากขึ้น ปัจจุบันจึงมีการนำสาหร่ายไกมาแปรรูปเป็นสินค้าหนึ่งตำบลหนึ่งผลิตภัณฑ์ออกจำหน่ายหลากหลายรูปแบบ เช่น ไกยี ไกแผ่น ห่อหมกไก ไกน้ำเกลือ สาหร่ายไกแผ่นทรงเครื่อง ข้าวตังสาหร่ายไก ข้าวเกรียบสาหร่ายไก กล้วยอบม้วน น้ำพริกข่าไก เป็นต้น ซึ่งการแปรรูปสาหร่ายไกพบได้ในหมู่บ้านที่เป็นแหล่งที่พบสาหร่ายไกมาก เช่น กลุ่มสตรีบ้านหนองบัว จ.น่าน และกลุ่มแม่บ้านเกษตรกรบ้านหาดไคร้ จ.เชียงราย ซึ่งได้รับการสนับสนุนจากภาครัฐ และมหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงราย ในการพัฒนาสาหร่ายไกแปรรูปและบรรจุภัณฑ์ให้สวยงามเป็นที่ต้องการของตลาด

ขั้นตอนการผลิตอาหารจากสาหร่ายไกโดยเริ่มจากการเก็บไก หรือชาวเหนือเรียกว่า “จกไก” มาล้างทำความสะอาดด้วยเครื่องซักผ้า ตากแห้งในที่ร่ม เก็บไว้ใช้แปรรูปได้ต่อไป

นอกจากการบริโภคสาหร่ายไกที่พบในประเทศไทยแล้ว ยังพบการบริโภคสาหรร่ายไกในประเทศเพื่อนบ้านของเรา โดยเฉพาะในเมืองหลวงพระบาง ประเทศสาธารณรัฐประชาธิปไตยประชาชนลาว หรือ สปปช.ลาว ที่มีการบริโภคสาหร่ายไกอย่างแพร่หลาย จนสามารถพบสาหร่ายไกวางขายในตลาด เช่นเดียวกับพืชผักทั่วไป และเป็นสินค้าของฝากของนักท่องเที่ยว ยิ่งไปกว่านั้นสาหร่ายไกยังเป็นอาหารระดับภัตตาคารที่ผู้ไปเยือนหลวงพระบางต้องลิ้มลองอีกด้วย

2. การใช้สาหร่ายไกเป็นอาหารสัตว์

นอกจากคนจะบริโภคสาหร่ายไกกันมาช้านานแล้ว ในธรรมชาติสาหร่ายไกยังเป็นอาหารของสัตว์น้ำหลายชนิดโดยเฉพาะปลาบึก ซึ่งชาวบ้านแถบแม่น้ำโขงพบว่าปลาบึกมีการบริโภคสาหร่ายไกเป็นอาหาร ปัจจุบันจึงมีการนำสาหร่ายไกมาเป็นอาหารปลาบึก และอาหารสัตว์หลายชนิด เนื่องจากสาหร่ายไกมีองค์ประกอบทางเคมีสูงและมีรงควัตถุที่มีประโยชน์ เช่น ช่วยเพิ่มภูมิคุ้มกัน เพิ่มสีสันให้สัตว์น้ำ ทำให้สัตว์เจริญเติบโตดี การนำสาหร่ายไกมาใช้กับสัตว์ ได้แก่

การนำสาหร่ายไกมาใช้เป็นอาหารสัตว์โดยตรง พบในกลุ่มชาวบ้านที่อยู่แถบแม่น้ำโขงบริเวณที่มีสาหร่ายไกขึ้นมาก โดยชาวบ้านทั้งชาวไทย และลาวแถบลุ่มน้ำดังกล่าวจะเก็บสาหร่ายไกจากแม่น้ำมาเป็นอาหารสุกร ซึ่งช่วยลดค่าอาหารลงได้มาก อีกทั้งสุกรยังมีการเจริญเติบโตดีอีกด้วย

การนำสาหร่ายไกผสมอาหารสัตว์โดยเฉพาะอาหารสัตว์น้ำ เนื่องจากสาหร่ายไกมีแคโรทีนอยด์ในกลุ่มแซนโธฟิลล์สูง ซึ่งรงควัตถุกลุ่มนี้ช่วยเพิ่มภูมิคุ้มกัน และเพิ่มสีสันให้แก่สัตว์น้ำโดยเฉพาะการช่วยเพิ่มสีเหลืองให้แก่เนื้อปลาจำพวกปลาหนัง เช่น ปลาดุก และปลาบึก และ Dewi et al. (2014) กล่าวว่าจากการศึกษาการตอบสนองของสาหร่ายไกหมักที่เป็นส่วนผสมในอาหารต่อการเจริญเติบโต และประสิทธิภาพการใช้อาหารของปลานิล (*Oreochromis* sp.) พบว่าปลานิลที่เลี้ยงด้วยสาหร่ายไกหมัก 10 เปอร์เซ็นต์ มีอัตราการเจริญเติบโต ประสิทธิภาพการใช้อาหาร การย่อยโปรตีน และดัชนีกรดอะมิโนที่จำเป็นแก่ร่างกายสูงที่สุด

นอกจากจะใช้กับปลาแล้ว สาหร่ายไกยังสามารถนำมาใช้กับสัตว์เศรษฐกิจอย่างอื่น เช่น นำมาผสมอาหารกุ้งเพื่อเพิ่มสีสันให้กุ้งน่ารับประทานและเป็นที่ต้องการของตลาด หรือนำมาผสมอาหารไก่ให้มีหนังสีเหลืองน่ารับประทาน และรวมถึงการช่วยคุณค่าและสีของไข่แดง

จะเห็นได้ว่าสาหร่ายไกสามารถนำมาใช้ประโยชน์ด้านการเลี้ยงสัตว์ได้อย่างกว้างขวาง ดังนั้นการเพาะเลี้ยงสาหร่ายไกในครัวเรือนร่วมกับการเลี้ยงสัตว์จึงเป็นแนวทางหนึ่งที่สามารถช่วยลดต้นทุนการผลิต และเป็นการตอบสนองทฤษฎีเศรษฐกิจพอเพียงได้

3. การใช้สาหร่ายไกเพื่อประโยชน์ทางยาและเวชภัณฑ์

จากเหตุที่ชาวบ้านมีการบริโภคสาหร่ายไกกันมาช้านาน จึงทำให้เกิดภูมิปัญญาชาวบ้านที่พบว่าสาหร่ายไกนั้นมีคุณค่าทางยาอย่างหลากหลาย เช่น สามารถใช้รักษาแผลสด ใช้บรรเทาอาการปวดอักเสบจากแมลงกัดต่อย นอกจากนี้ชาวบ้านยังเชื่อว่าการบริโภคสาหร่ายไกจะทำให้ร่างกายแข็งแรง กระชุ่มกระชวย ชะลอความแก่ ทำให้ฟันแข็งแรง ช่วยทำให้ผมดกดำ จึงมีความเป็นไปได้ที่จะใช้สารสกัดจากสาหร่ายไกมาผสมในแชมพูสระผมเช่นเดียวกับการใช้สารสกัดจากสาหร่ายทะเลที่มีการนำมาใช้ในปัจจุบัน

4. การช่วยอนุรักษ์ระบบนิเวศของสาหร่ายไก

การเพาะเลี้ยงสาหร่ายไกแบบมวลโดยใช้น้ำทิ้งจากโรงอาหารและบ่อปลา สาหร่ายไกสามารถเจริญเติบโตได้ดี โดยใช้สารอนินทรีย์ ไนโตรเจนและฟอสฟอรัสที่มีอยู่ในน้ำทิ้งของโรงอาหาร น้ำจากบ่อเลี้ยงปลาได้ดีจึงสามารถช่วยปรับปรุงคุณภาพน้ำได้ระดับหนึ่ง มีส่วนช่วยอนุรักษ์แหล่งน้ำได้ดี

การปรับปรุงคุณภาพน้ำ น้ำเสียจากชุมชนและเกษตรกรรมที่ไม่มีโลหะหนักหรือยาฆ่าแมลงสามารถปรับปรุงคุณภาพน้ำได้โดยใช้การบำบัดทางชีวภาพได้ โดยขั้นแรกแบคทีเรียย่อยสลายสารอินทรีย์ให้เป็นสารประกอบอนินทรีย์ ในกระบวนการนี้ต้องเติมอากาศแต่ในเวลากลางวันสาหร่ายสามารถผลิตออกซิเจนและแบคทีเรียสามารถนำไปใช้ในการย่อยสลายสารอินทรีย์ได้ สาหร่ายจะดูดซับสารอนินทรีย์ในน้ำทำให้แอมโมเนีย (NH_3) และออร์โธฟอสเฟต (PO_4-P) ลดลง เป็นการลดสารอาหารในน้ำลง

สาหร่ายช่วยสร้างสมดุลของระบบนิเวศในบ่อเลี้ยงสัตว์น้ำ ที่ผ่านมาการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำของประเทศไทยมีการเลี้ยงอย่างหนาแน่นเพื่อเพิ่มผลผลิตต่อหน่วยพื้นที่ โดยใช้อาหารเม็ดสำเร็จรูปที่มีราคาแพง การเลี้ยงสัตว์น้ำอย่างหนาแน่นก่อให้เกิดปัญหาน้ำเสีย สัตว์น้ำอ่อนแอ ติดโรคง่าย จำเป็นต้องใช้สารเคมีจำนวนมากเพื่อปรับปรุงคุณภาพน้ำ และยาปฏิชีวนะเพื่อป้องกันรักษาโรค ส่งผลให้ต้นทุนการเลี้ยงเพิ่มสูงขึ้น ดังนั้นปัจจุบันจึงมีเกษตรกรเริ่มเลี้ยงสัตว์น้ำแบบอิงธรรมชาติ ตัวอย่างที่เห็นได้ชัดคือการเลี้ยงกุ้งกุลาดำร่วมกับสาหร่ายไส้ไก่ (*Enteromorpha intestinalis*) โดยสาหร่ายจะดูดซับสารอาหารจากน้ำและเลนก้นบ่อเพื่อการเติบโต ส่งผลให้คุณภาพน้ำและดินเลนก้นบ่อดีขึ้น ภายในบ่อเลี้ยงกุ้งมีอาหารตามธรรมชาติของลูกกุ้งเกิดขึ้นได้แก่ แพลงก์ตอนพืช (สาหร่ายขนาดเล็ก) แพลงก์ตอนสัตว์ และสัตว์หน้าดินขนาดเล็ก ทำให้ประหยัดต้นทุนอาหารสำหรับลูกกุ้งกุลาดำ เมื่อกุ้งมีขนาดใหญ่ขึ้นจึงให้อาหารเม็ดสำเร็จรูปแต่ในปริมาณน้อย เพื่อให้กุ้งหาอาหารธรรมชาติภายในบ่อ การเลี้ยงกุ้งวิธีนี้ต้องใช้ระยะเวลาเลี้ยงนานขึ้นจึงได้กุ้งขนาดที่ต้องการ แต่มีต้นทุนการผลิตต่ำ

สาหร่ายช่วยกักเก็บคาร์บอนไดออกไซด์ การที่ปัญหาโลกร้อนเริ่มส่งผลต่อมนุษย์ ดังนั้นจึงมีการศึกษาวิธีการแก้ปัญหาโลกร้อน แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์เป็นส่วนหนึ่งของปัญหาที่ก่อให้เกิดภาวะโลกร้อน จากปรากฏการณ์เรือนกระจก เนื่องจากคาร์บอนไดออกไซด์จะกักเก็บความร้อนไว้ ดังนั้นการลดปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์จึงเป็นทางออกหนึ่ง

งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ปริญญา (2559) ศึกษาความหลากหลายของสาหร่ายขนาดใหญ่คุณภาพน้ำบางประการในอ่างเก็บน้ำห้วยถ้ำแข้ อำเภอตระการพืชผล จังหวัดอุบลราชธานี พบสาหร่ายขนาดใหญ่ทั้งหมด 2 ดิวิชัน 20 ชนิด จำนวนของสาหร่ายขนาดใหญ่ที่ศึกษาพบว่า ดิวิชัน Chlorophyta มีจำนวนมากที่สุด รองลงมาคือ ดิวิชัน Cyanophyta ซึ่งพบสาหร่ายขนาดใหญ่ชนิดเด่นคือ *Spirogyra* sp. 1 รองลงมาคือ *Spirogyra* sp. 2, *Oedogonium* sp., *Rhizoclonium* sp. และ *Spondylosium* sp.

ตามลำดับ พบสาหร่ายขนาดใหญ่มากที่สุดในเดือนสิงหาคม ซึ่งมีแนวโน้มบ่งชี้ได้ว่าแหล่งน้ำมีปริมาณสารอาหารน้อยถึงปานกลาง (oligo-mesotrophic status) ซึ่งจะพบสาหร่ายขนาดใหญ่มากที่สุดในเดือนสิงหาคม ทั้งนี้เพราะในช่วงเดือนสิงหาคมมีสารอาหารที่ถูกชะล้างมาจากฝนที่ตกลงมาอย่างต่อเนื่อง สาหร่ายขนาดใหญ่ *Spirogyra* sp. 2, *Oedogonium* sp. 1, *Rhizoclonium* sp. และ *Spondylosium* sp. มีแนวโน้มบ่งบอกคุณภาพน้ำปานกลางถึงดี ผลการศึกษาคุณภาพน้ำมีค่าเฉลี่ยดังนี้ อุณหภูมิอากาศ 29.3 องศาเซลเซียส อุณหภูมิน้ำ 28.0 องศาเซลเซียส ค่าความเป็นกรด-เบส 6.57 ค่าความเป็นด่าง 25.58 มิลลิกรัมต่อลิตร ค่า DO 7.95 มิลลิกรัมต่อลิตร ค่า BOD_5 3.02 มิลลิกรัมต่อลิตร ค่าความลึกที่แสงส่องถึง 109.25 เซนติเมตร ค่าการนำไฟฟ้า 47.94 µs/cm คลอโรฟิลล์ เอ 5.4 ไมโครกรัมต่อลิตร ออร์โธฟอสเฟต 0.024 มิลลิกรัมต่อลิตร ไนเตรท 0.039 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาณโคลิฟอร์มแบคทีเรียทั้งหมด 300 MPN/100 ml และฟีคัลโคลิฟอร์มแบคทีเรีย 208 MPN/100ml จัดได้ว่าอ่างเก็บน้ำห้วยถ้ำแช้มีสารอาหารน้อยถึงปานกลาง และเป็นแหล่งน้ำผิวดินประเภทที่ 2 ถึง 3 ผลการวิเคราะห์หาความสัมพันธ์โดยใช้ PCA พบว่า *Spirogyra* sp. 2 มีความสัมพันธ์เชิงบวกกับ คลอโรฟิลล์ เอ

Khuantrairong and Traichaiyaporn (2012); ศิริเพ็ญ และคณะ (2553) ศึกษาการเพิ่มปริมาณ carotenoid และ chlorophyll ในสาหร่ายน้ำจืดกินได้ (Kai: *Cladophora* sp.) โดยเสริมฟอสเฟตและการตรวจสอบการผลิตชีวมวล การเพาะเลี้ยงสาหร่ายมีการควบคุมที่อุณหภูมิห้องและความเข้มแสงโดยนำน้ำทิ้งจากโรงอาหารมาเจือจางแล้วเพิ่มด้วย dipotassium hydrogen phosphate ที่ 5-20 มิลลิกรัมต่อลิตร โดยสังเกตการเพิ่มขึ้นทั้งหมดของ carotenoid มีค่า 893.92-1,728.95 ไมโครกรัมต่อกรัม (น้ำหนักแห้ง) และchlorophyll อย่างไรก็ตามปริมาณ carotenoid และchlorophyll ไม่มีผลต่อการผลิตชีวมวล โดยควบคุมให้มีปริมาณสารอาหารที่พอเหมาะโดยมีการเติมน้ำทิ้งเพื่อเพิ่มสารอาหารทุกๆ สัปดาห์ สาหร่ายไกจะผลิตแคโรทีนอยด์ได้มากขึ้นการศึกษาครั้งนี้แสดงให้เห็นว่าการเพิ่ม phosphate ในการเพาะเลี้ยง *Cladophora* sp. (Kai) ช่วยเพิ่มปริมาณ carotenoids และ chlorophylls แต่ไม่มีผลต่อการผลิตชีวมวล นอกจากนี้การเพาะเลี้ยงสาหร่ายไกในน้ำทิ้งจากโรงอาหารซึ่งจะช่วยแก้ไขคุณภาพน้ำได้โดยการลดค่า BOD และระดับสารอาหารลงได้ โดยสาหร่ายไกที่เพาะเลี้ยงมีองค์ประกอบทางเคมี มีค่าโปรตีน 10.05-17.58 เปอร์เซ็นต์ ไขมัน 1.84-6.02 เปอร์เซ็นต์ คาร์โบไฮเดรต 30.07-49.96 เปอร์เซ็นต์ เถ้า 14.39-30.22 เปอร์เซ็นต์ เยื่อใย 20.15-27.90 เปอร์เซ็นต์ และความชื้น 9.45-15.32 เปอร์เซ็นต์ Akkoz et al. (2011) ศึกษาปริมาณ crude ash, protein, oil, mineral, total phenolic และคุณสมบัติต้านอนุมูลอิสระของสาหร่ายทะเล *Enteromorpha intestinalis* (L.) Kutz. และ *Cladophora glomerata* (L.) Kutz. พบว่าปริมาณ crude ash, crude oil และ protein จาก *E. intestinalis* และ *C. glomerata* มีปริมาณ 1.92 เปอร์เซ็นต์ และ 2.44 เปอร์เซ็นต์ม, 1.63 เปอร์เซ็นต์ และ 2.48 เปอร์เซ็นต์, 15.02 เปอร์เซ็นต์ และ 14.13 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ปริมาณ phenolic ของสารละลายน้ำจะต่ำกว่าสารละลาย methanolic ส่วนสารต้านอนุมูลอิสระ (2,2-diphenyl-1-

picryl(hydrazyl) ก็ยังเป็นสารละลาย methanolic ที่สูงกว่าสารละลายน้ำ ปริมาณ phenolic และสารต้านอนุมูลอิสระของสารสกัดน้ำ และ methanolic ของ *C. glomerata* สูงกว่า *E.intestinalis* และสาหร่ายทั้งสองชนิดยังอุดมไปด้วยแร่ธาตุ ในขณะที่จะใช้สาหร่ายเหล่านี้เป็นอาหารคนหรืออาหารสัตว์จะต้องคำนึงถึงปริมาณโลหะหนักด้วย

ดวงพร และคณะ (2558) ศึกษาการประเมินความสามารถของสาหร่ายไก (*Cladophora* sp.) ซึ่งเป็นสาหร่ายน้ำจืดในการต้านอนุมูลอิสระ นอกจากนี้ยังทำการตรวจหาสารสำคัญในการออกฤทธิ์ โดยเปรียบเทียบระหว่างสาหร่ายไกที่เก็บจากแม่น้ำน่าน และจากการเพาะเลี้ยง ซึ่งพบว่าความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ และปริมาณสารประกอบฟีนอลิกจากทั้ง 2 แหล่งไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ส่วนสารสำคัญที่ตรวจพบเป็นสารกลุ่มฟีนอลิกหลายชนิดด้วยกัน ได้แก่ ไอโซเคอร์ซิติน แคทิซิน กรดแทนนิก ไฮโดรควินิน เคอร์ซิติน รูติน กรดแกลลิก และแคมเฟอรอล ดวงพร และคณะ (2556) กล่าวว่าผลการตรวจหากลุ่มสารประกอบฟีโนลิกในสาหร่ายไกเปรียบเทียบกัน 2 ฤดูกาลจากธรรมชาติและจากบ่อเลี้ยง พบว่า สาหร่ายไกจากบ่อเลี้ยงมีปริมาณสารประกอบฟีโนลิกสูงกว่าสาหร่ายไกจากธรรมชาติ (16.33 และ 15.95 GAE ตามลำดับ) สาหร่ายไกขนาด 1 กรัม มีค่าเทียบกับสาร gallic acid ในขนาดที่แสดงหน่วยเป็นมิลลิกรัม (GAE = Gallic Acid Equivalents) ซึ่งค่า GAE ที่มีค่ามาก หมายถึง สารทดสอบมีปริมาณสารประกอบฟีโนลิกมาก อย่างไรก็ตามสาหร่ายที่เก็บจากทั้ง 2 แหล่งพบว่า ปริมาณสารประกอบฟีโนลิกไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$) ยุวดี และคณะ (2548) ได้ศึกษาสารต้านอนุมูลอิสระในสาหร่ายไก โดยคิดในหน่วย TEAC [Trolox Equivalent Antioxidant Activity หรือปริมาณของ trolox (µmole)] ที่มีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระเท่ากับสารสกัด 1 มิลลิกรัม หรือ ต่อน้ำหนักแห้งของสารสกัด หรือตัวอย่าง TEAC ของสาหร่ายไก เท่ากับ 49.04 ไมโครโมลของ trolox/1 มิลลิกรัมของน้ำหนักแห้งของสาหร่ายไก จึงนับได้ว่าสาหร่ายไกมีความสามารถในการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระสูงกว่าผัก และผลไม้ทั่วๆ ไป ไม่ว่าจะเป็นผักโขม มะเขือ ผักกาดขาว บรอคคอลี หรือแม้แต่แครอท ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของยุวดี และคณะ (2552) กล่าวว่าฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ ฤทธิ์กำจัดอนุมูล DPPH ความสามารถในการยับยั้งอนุมูล DPPH ของส่วนสกัดน้ำของสาหร่ายไก *Cladophora* ที่ช่วงความเข้มข้น 0.10 - 20.00 มิลลิกรัมต่อลิตร ให้ เปอร์เซ็นต์ Inhibition ระหว่าง 1 - 71 เปอร์เซ็นต์ และคำนวณความสามารถในการยับยั้งอนุมูล DPPH ได้ 50เปอร์เซ็นต์ (IC_{50}) จากสมการ regression line มีค่าเท่ากับ 10.97 มิลลิกรัมต่อลิตร และความสามารถในการยับยั้งอนุมูล DPPH ของส่วนสกัดน้ำของสาหร่ายไก *Rhizoclonium* sp. ที่ช่วงความเข้มข้น 0.10 - 20.00 มิลลิกรัมต่อลิตร ให้ เปอร์เซ็นต์ Inhibition ระหว่าง 7 - 65 เปอร์เซ็นต์ และคำนวณความสามารถในการยับยั้งอนุมูล DPPH ได้ 50 เปอร์เซ็นต์ (IC_{50}) จากสมการ regression line มีค่าเท่ากับ 12.49 มิลลิกรัมต่อลิตร Laungsuwon and Chulalaksananukul (2013) ได้ศึกษาสารต้านอนุมูลอิสระและสารต้านมะเร็งของสาหร่ายน้ำจืด *Cladophora glomerata* และ *Rhizoclonium* sp. จากแม่น้ำน่านในภาคเหนือของประเทศไทยกล่าวว่าสารสกัดจากสารละลายอินทรีย์และน้ำร้อนจาก

สาหร่ายน้ำจืด *Cladophora glomerata* และ *Rhizoclonium* sp. ที่เก็บเกี่ยวจากแม่น้ำน่านมีสารต้านอนุมูลอิสระและฤทธิ์ต้านมะเร็งโดยใช้ DPPH free radical assay และการยับยั้งการแพร่กระจายของเซลล์มะเร็ง (KB) ช่องปากของมนุษย์ตามลำดับ พบว่าสารสกัด ethyl acetate ของ *C. glomerata* มีปริมาณฟีนอลสูงที่สุด (18.1 ± 2.3 mg GAE/g) สารต้านอนุมูลอิสระ (49.8 ± 2.7เปอร์เซ็นต์ DPPH scavenging at 100 μg / ml) และการยับยั้งการเติบโตในหลอดทดลอง (IC_{50} = 1420.0) ± 66 μg / g) ของเซลล์ KB ผลการศึกษานี้แสดงให้เห็นว่า *C. glomerata* อาจจะเป็นแหล่งของสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพที่มีคุณค่า ชุติมา และคณะ (2556) ได้ศึกษาผลการออกฤทธิ์ของสารสกัดสาหร่ายไก (*Cladophora glomerata*) ต่อการทำงานของโปรตีนขนส่งสารอินทรีย์ประจุลบและบวกในท่อไตในหนูที่ถูกเหนี่ยวนำด้วยอาหารไขมันสูงให้มีภาวะเบาหวานชนิดที่ 2 กล่าวว่าสารสกัดสาหร่ายไกมีฤทธิ์เป็นสารต้านภาวะเบาหวานและมีฤทธิ์เป็นสารต้านอนุมูลอิสระโดยสามารถลดภาวะน้ำตาลและไขมันในเลือดสูง ภาวะดื้อต่ออินซูลิน และภาวะเครียดออกซิเดชั่นที่เกิดในหนูขาวที่ถูกเหนี่ยวนำให้มีภาวะเบาหวานชนิดที่ 2 ได้ และยังมีฤทธิ์ปกป้องไตโดยสามารถช่วยฟื้นฟูการขนส่งสารอินทรีย์ประจุลบและบวกในไตได้ โดยผลการออกฤทธิ์ของสารสกัดสาหร่ายไกเกี่ยวข้องกับการสร้างยีนที่เกี่ยวข้องกับสารอนุมูลอิสระกลูตาไธโอนเพอร์รอกซิเดส ลดการทำงานของโปรตีนที่เป็นตัวบ่งชี้ทางชีวภาพในภาวะเครียดออกซิเดชั่น เช่น เอ็นเอฟแคปปาบี 65 และโปรตีนไคเนสซีแอลฟา และเพิ่มการทำงานของโปรตีนไคเนสซีเซต้า ซึ่งเป็นโปรตีนที่ควบคุมการทำงานของโปรตีนขนส่งสารอินทรีย์ประจุลบชนิดที่ 1 และ 3 ดังนั้นการศึกษานี้จึงแสดงให้เห็นถึงประโยชน์ของสารสกัดสาหร่ายไกในการพัฒนาให้เป็นอีกทางเลือกหนึ่งในการรักษาโรคเบาหวานชนิดที่ 2 และป้องกันภาวะแทรกซ้อนทางไตที่เกิดจากโรคเบาหวานได้

ยุวดี และคณะ (2548) ได้ศึกษาสารปฏิชีวนะในสาหร่ายไก โดยทดสอบกับแบคทีเรีย 5 ชนิด ได้แก่ *Bacillus subtilis* เป็นแบคทีเรียที่ไม่ก่อโรค พบได้ทั่วไป *Escherichai coli* เป็นแบคทีเรียก่อโรคเกิดโรคท้องร่วง *Klebsiella pneumonia* เป็นแบคทีเรียก่อโรคก่อให้เกิดโรคปอดบวม *Micrococus luteus* เป็นแบคทีเรียไม่ก่อโรค และ*Proteus vulgaris* เป็นแบคทีเรียไม่ก่อโรค และยีสต์ก่อโรค 1 ชนิด ได้แก่ *Candida albicans* ผลการทดลองพบว่า สารสกัดที่ได้จากสาหร่ายไกไม่มีฤทธิ์ยับยั้งการเจริญของเชื้อทั้ง 6 ชนิดได้ จึงสรุปได้ว่าสาหร่ายไกไม่ได้สร้างสารปฏิชีวนะเพื่อต่อต้านกับจุลินทรีย์ ทั้งที่ก่อโรคและไม่ก่อโรค ซึ่งก็คล้ายกับสาหร่ายส่วนใหญ่ที่ไม่สร้างสารปฏิชีวนะ อาจจะเนื่องมาจากสาหร่ายดังกล่าวสามารถดำรงชีวิตอยู่ได้ด้วยตัวเอง ไม่ต้องแก่งแย่งกับสิ่งมีชีวิตอื่นๆ จึงไม่สร้างสารที่มีฤทธิ์ทำลายสิ่งมีชีวิตอื่น ซึ่งโดยความเป็นจริงช่วงที่สาหร่ายไกเจริญอยู่ในท้องน้ำก็มีการเจริญในลักษณะที่เป็นชนิดเด่นอย่างชัดเจน Laungsuwon and Chulalaksananukul (2014) ได้ศึกษาองค์ประกอบทางเคมี และฤทธิ์ต้านเชื้อแบคทีเรียของสารสกัดจากสาหร่ายสีเขียวน้ำจืด *Cladophora glomerata* Kutzing และ *Rhizoclonium* sp. (C.Agardh) Kutzing พบว่าการใช้สารสกัด Hexane และ Ethyl acetate ของสาหร่ายแสดงให้เห็นว่าสามารถยับยั้งการทำงานของ *Bacillus cereus* และ *Vibrio parahaemolyticus* ได้ สารสกัดถูกแยกออกไปอีกโดยใช้ Column

chromatography และลักษณะทางเคมีโดย GC-MS เพื่อที่จะระบุสารประกอบเบื้องต้นสำหรับการยับยั้งการทำงานดังกล่าว องค์ประกอบหลัก คือกรดไขมันและสารประกอบอินทรีย์อื่นๆ ซึ่งยังไม่ได้รับการรายงานในสาหร่ายเหล่านี้ ผลการศึกษานี้แสดงให้เห็นว่าสารสกัดจาก *C. glomerata* และ *Rhizoclonium* sp. สามารถมีฤทธิ์ต้านจุลชีพและอาจจะเป็นแหล่งวัตถุดิบที่มีสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพที่มีคุณค่าสำหรับการพัฒนาเป็นผลิตภัณฑ์สุขภาพต่อไป ยุวดี และคณะ (2548) ได้ศึกษาความเป็นพิษของสาหร่ายไก ผลการทดลองพบว่าการให้สารสกัดสาหร่ายไกปริมาณ 1.0 กรัมต่อกิโลกรัม และ0.5 กรัมต่อกิโลกรัม ต่อเนื่องกันทุกวัน เป็นเวลา 60 วัน ไม่ก่อให้เกิดความเป็นพิษใดๆ ในหนูขาวทั้งสองเพศ ถึงแม้ว่าปริมาณของเม็ดเลือดแดงอัดแน่นของหนูเพศผู้ที่ได้รับสารสกัดสาหร่ายไกปริมาณ 1.0 กรัมต่อกิโลกรัม มีค่าต่ำกว่ากลุ่มควบคุมที่ระดับนัยสำคัญทางสถิติเท่ากับ ($P<0.05$) แต่ค่านี้ก็อยู่ในช่วงของค่ามาตรฐาน ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ ยุวดี และคณะ (2552) ได้ศึกษาการทดสอบความเป็นพิษแบบเฉียบพลัน พบว่าส่วนสกัดน้ำสาหร่ายไก *Cladophora* (Aq. *C*) เมื่อให้ในขนาด 5000 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม โดยป้อนทางปาก ไม่พบอาการผิดปกติของหนูภายใน 24 ชั่วโมง และตลอด 14 วัน หลังการให้สารทดสอบ นอกจากนี้ยังตรวจไม่พบอาการผิดปกติของพยาธิสภาพของอวัยวะต่างๆ ภายในร่างกายหนูขาวอีกด้วย

จากผลการทดลองดังกล่าว แสดงให้เห็นอย่างชัดเจนว่า การบริโภคสาหร่ายไกจะไม่มีพิษภัยแต่อย่างใด ถึงแม้จะบริโภคเป็นปริมาณมากในแต่ละวัน หรือบริโภคติดต่อกันทุกวัน เพื่อให้เกิดความมั่นใจในการบริโภคสาหร่ายไก

ยุวดี และคณะ (2548) ได้ศึกษาการทดสอบฤทธิ์ทางยาของสาหร่ายไก การทดสอบฤทธิ์ต้านการเกิดแผลในกระเพาะอาหาร ผลการทดลองพบว่า สาหร่ายไกมีฤทธิ์ต้านการเกิดแผลกระเพาะอาหารของหนูขาวที่ถูกกระตุ้นให้เกิดแผลโดยความเครียดจากการขังกรงและแช่น้ำ สาหร่ายไกขนาด 100 และ 500 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม มีผลยับยั้งการเกิดแผล 27.4 และ 58.5 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ส่วน Cimetidine (เป็นยากลุ่ม H_2-antagonist ใช้รักษาโรคแผลในกระเพาะอาหารและลำไส้ โดยไปมีผลต่อการยับยั้งการหลั่งกรดและน้ำย่อยในกระเพาะอาหาร) ซึ่งใช้เป็นยามาตรฐานมีผลยับยั้งการเกิดแผล 72.4 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ ยุวดี และคณะ (2552) กล่าวว่าฤทธิ์ปกป้องแผลกระเพาะอาหารส่วนสกัดน้ำของสาหร่ายไก *Cladophora* ในขนาด 250 มก. ต่อน้ำหนักหนู 1 กก. (มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม) สามารถยับยั้งการเกิดแผลในกระเพาะอาหารที่เหนี่ยวนำให้เกิดแผลโดยความเครียดจากการขังกรงและแช่น้ำ สารผสม HCl/ethanol และยา indomethacin ในหนูขาวอย่างมีนัยสำคัญได้เช่นเดียวกับยา cimetidine ในขนาด 100 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม และส่วนสกัดน้ำของสาหร่ายไก *Cladophora* ในขนาด 125 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม สามารถยับยั้งการเกิดแผลในกระเพาะอาหารที่เหนี่ยวนำให้เกิดแผลโดยยา Indomethacin เท่านั้น

การทดสอบฤทธิ์ยับยั้งการหดเกร็งของกล้ามเนื้อเรียบ ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่า สาหร่ายไกมีฤทธิ์ต้านการหดเกร็งของกล้ามเนื้อเรียบ เมื่อทดสอบกับลำไส้ของหนูตะเภาที่แยกออกจากตัว ซึ่งการหดเกร็งกระตุ้นโดย Ach ในขนาดสูงขึ้นเพื่อกระตุ้นให้เกิดการหดตัวของลำไส้เล็ก โดยพิจารณา

จากค่า Ec50 (ขนาดความเข้มข้นของ Ach ที่กระตุ้นการหดตัวของลำไส้เล็กได้ 50เปอร์เซ็นต์) จากผลการทดลองค่า Ec50 และ Ach เพิ่มขึ้นเป็น 2.69 และ 5.22 ไมโครโมลาร์ ตามลำดับ

การทดสอบฤทธิ์ขยายหลอดลม ผลการทดลองพบว่า สาหร่ายไกสามารถต้านทานการหดตัวของหลอดลมหนูตะเภาที่แยกออกจากตัว ซึ่งการหดตัวกระตุ้นโดยสาร Histamine สาหร่ายไกขนาดความเข้มข้น 1.25, 2.50, 5.0 และ 10 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม สามารถต้านการหดตัวของหลอดลมได้ 5.42, 14.99, 50.86 และ 100 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ

การทดสอบฤทธิ์ระงับปวด ผลการทดลองพบว่าสาหร่ายไกมีฤทธิ์ระงับปวด โดยที่สามารถลดจำนวนครั้งของการบิดตัวของหนูถีบจักร จากการฉีด Acetic acid ได้ สาหร่ายไกขนาด 100 และ 500 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม สามารถยับยั้งความเจ็บปวดได้ 34.7 และ 84.5 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ส่วน Aspirin (เป็นยาระงับปวดลดไข้ ชนิด non-narcotic) ซึ่งใช้เป็นตัวยามาตรฐานยับยั้งได้ 72.6 เปอร์เซ็นต์

การทดสอบฤทธิ์ต้านการอักเสบ ผลการทดลองพบว่าสาหร่ายไกมีฤทธิ์ต้านการอักเสบ โดยสามารถยับยั้งการบวมของหูหนูขาวซึ่งกระตุ้นโดยสาร Ethyl phenylpropiolate ผลของสาหร่ายไกในขนาด 3 มก./หู ใกล้เคียงกับยามาตรฐาน Phenylbutazone (เป็นยากลุ่ม NSAID ใช้รักษาการปวด บวม และอักเสบ) ในขนาด 1 มก./หู ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ ยุวดี และคณะ (2552) กล่าวว่าฤทธิ์ต้านการอักเสบ ฤทธิ์ยับยั้งการเพิ่มขึ้นของ vascular permeability ส่วนสกัดน้ำของสาหร่ายไก *Cladophora* เมื่อให้แบบเฉพาะที่ในขนาด 2.5 มก/หู สามารถยับยั้งการบวมของหูหนูที่ถูกกระตุ้นโดยสาร EPP ได้อย่างมีนัยสำคัญ เมื่อเวลา 1 และ 2 ชม. ส่วน Phenylbutazone (PBZ) ซึ่งเป็นสารมาตรฐาน สามารถยับยั้งการบวมของหูหนูได้ที่เวลา 30 นาทีจนถึง 2 ชม.

การทดสอบผลต่อความดันโลหิต ผลการทดลองพบว่าสาหร่ายไกมีฤทธิ์ลดความดันโลหิต เมื่อทดสอบในหนูขาวที่สลบด้วยยา Pentobarbital พบว่าสาหร่ายไกขนาด 25, 50, และ 100 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม สามารถลดความดันโลหิตได้ 26.15, 45.00, และ63.78เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ

กรอบแนวคิดและสมมุติฐานงานวิจัย

การเพาะเลี้ยงสาหร่ายไกเพื่อเพิ่มมูลค่า

↓

1. เพื่อศึกษาการเจริญของสาหร่ายไกในสูตรอาหารที่ต่างกัน
2. เพื่อศึกษาองค์ประกอบทางเคมีและคุณภาพน้ำของสาหร่ายไก

↓

การพัฒนาผลิตภัณฑ์สาหร่ายไกเพื่อเพิ่มมูลค่า

↓

ได้สาหร่ายไกที่มีคุณภาพ
เพื่อเป็นอาหารปลอดภัย

บทที่ 3
วิธีการวิจัย

อุปกรณ์และเครื่องมือทดลอง

1. การเพาะเลี้ยงสาหร่ายไก

อุปกรณ์และเครื่องมือ

1. หัวเชื้อสาหร่ายไก
2. บ่อซีเมนต์กว้าง 1.5 เมตร ยาว 3.4 เมตร สูง 0.6 เมตร
3. ปั๊มน้ำ
4. ตะแกรงพลาสติกดำ
5. เครื่องชั่งไฟฟ้า
6. กะละมัง
7. ไม้บรรทัด

สารเคมี

1. N:P:K (16:16:16) 0.002 กรัมต่อลิตร
2. $NaHCO_3$ 2.13 กรัมต่อลิตร
3. $NaNO_3$ 0.38 กรัมต่อลิตร
4. K_2HPO_4 0.13 กรัมต่อลิตร

วิธีการทดลอง

1. เตรียมบ่อซีเมนต์ขนาด 1.5 × 3.4 × 0.6 เมตร ติดตั้งปั๊มน้ำเพื่อให้มีกระแสน้ำไหลเวียนอย่างต่อเนื่อง
2. เตรียมน้ำประปาลงในบ่อที่เตรียมไว้โดยมีความลึก 20 เซนติเมตร
3. ละลายสารอาหารสูตรต่างๆ ตามชุดการทดลองดังนี้

ชุดการทดลองที่ 1 (T_1) ใช้น้ำประปา (ชุดควบคุม)

ชุดการทดลองที่ 2 (T_2) ใช้สารอาหาร N:P:K 0.002 กรัมต่อลิตร (เป็นงานวิจัยเบื้องต้นของจงกล พรมยะ)

ชุดการทดลองที่ 3 (T_3) ใช้สารอาหาร $NaHCO_3$ 2.13 กรัมต่อลิตร $NaNO_3$ 0.38 กรัมต่อลิตร และ K_2HPO_4 0.13 กรัมต่อลิตร (ดัดแปลงมาจาก ยุวดี และคณะ (2548))

ลงในน้ำประปาที่เตรียมไว้ หลังจากนั้นเปิดปั๊มน้ำเพื่อให้สารอาหารละลายเป็นเนื้อเดียวกัน

4. เก็บหัวเชื้อสาหร่ายไกจากคณะเทคโนโลยีการประมงและทรัพยากรทางน้ำ มหาวิทยาลัยแม่โจ้ จังหวัดเชียงใหม่ ใส่ในภาชนะ

5. ล้างทำความสะอาดหัวเชื้อสาหร่ายไก แล้วใช้กรรไกรตัดสาหร่ายไกให้มีความยาวประมาณ 1 นิ้ว

6. นำสาหร่ายไกที่ตัดแล้วมาใส่ในตะแกรงพลาสติก และลงเลี้ยงในบ่อซีเมนต์

ภาพที่ 9 บ่อเพาะเลี้ยงสาหร่ายไก

7. ทำการวัดการเจริญเติบโตทุกๆ 15 วัน เป็นเวลา 6 เดือน โดยวัดจากความยาวเส้นสายของสาหร่ายไก

8. การเก็บสาหร่ายไก จะเก็บมาล้างให้สะอาดด้วยน้ำประปา จำนวน 4-5 ครั้ง หรือ จนกว่าจะสะอาด แล้วผึ่งจนกว่าจะไม่มีน้ำหยด หลังจากนั้นนำไปอบในตู้อบที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง หรือจนกว่าสาหร่ายไกจะแห้ง

9. หลังจากนั้นจะนำสาหร่ายไกอบแห้งไปวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี และแปรรูปต่อไป

2. การวิเคราะห์คุณภาพน้ำ

วิเคราะห์ปัจจัยแวดล้อมและคุณภาพน้ำทางกายภาพและเคมี ทุกๆ 15 วัน ดังนี้

- ความเร็วของกระแสน้ำ วัดโดย Velocity meter
- อุณหภูมิ วัดโดย เทอร์โมมิเตอร์
- ค่าความเป็นกรด-เบส วัดโดย pH meter

- ปริมาณออกซิเจนละลายน้ำ วิเคราะห์โดย Winkler's method แบบ Azide modification

- แอมโมเนียไนโตรเจน วิเคราะห์โดย Phenate method

- ไนไตรท์ไนโตรเจน วิเคราะห์โดย Reddish purple azo dye method

- ไนเตรทไนโตรเจน วิเคราะห์โดย Hydrazine

- ออร์โธฟอสเฟตฟอสฟอรัส วิเคราะห์โดย Stannous chloride

3. การวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี

วิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี ได้แก่ โปรตีน ไขมัน คาร์โบไฮเดรต เยื่อใย ความชื้น และเถ้า โดยวิธีของ AOAC (2000)

4. การทำบะหมี่สาหร่ายไกอบแห้ง โดยวิธีของ ยุวดี (2560)

4.1 วัสดุและอุปกรณ์

1. กะละมัง
2. ที่ร่อนแป้ง
3. เครื่องชั่งน้ำหนัก
4. เครื่องรีดแป้ง

4.2 ส่วนผสม

1. สาหร่ายไกแห้งป่นละเอียด	3 กรัม
2. แป้งข้าวเจ้า	10 กรัม
3. แป้งสาลีเอนกประสงค์	80 กรัม
4. น้ำ	50 กรัม

4.3 วิธีการปรุงบะหมี่สาหร่ายไกอบแห้ง

1. ร่อนส่วนผสมที่เป็นแป้งทั้งหมดเข้าด้วยกัน นำมาผสมกับสาหร่ายไกป่น

2. นำแป้งและสาหร่ายไกในข้อ 1. ใส่ลงในชามผสม เติมน้ำแล้วผสมให้เข้ากัน นวดด้วยมือ จนส่วนผสมจับกันเป็นก้อนและไม่ติดมือ

3. แบ่งแป้งเป็นก้อนๆ ละ 36-38 กรัม รีดเป็นแผ่นด้วยเครื่องรีด (จากเบอร์ 6, 4, 2 และ 1) โรยด้วยแป้งมันก่อนนำไปตัดเป็นเส้น

4. นำไปอบแห้งที่อุณหภูมิ 60°C เป็นเวลาประมาณ 6 ชั่วโมง หรือจนกว่าบะหมี่จะแห้ง

5. ในการบริโภคจะนำบะหมี่สาหร่ายไกอบแห้งมาแช่น้ำให้คืนตัวเป็นเวลา 1 ชั่วโมง ก่อนนำไปลวกในน้ำเดือดเป็นเวลา 2 นาที แล้วทำให้เย็นทันทีโดยมาแช่ในน้ำเปล่าที่อุณหภูมิห้อง คลุกด้วยน้ำมันกระเทียมเจียวเล็กน้อย ก่อนนำไปปรุงรสตามชอบ

5. วิธีการทดสอบการยอมรับ และวิธีทดสอบความตั้งใจซื้อของผู้บริโภคต่อบะหมี่สาหร่ายไกอบแห้ง

การทดสอบการยอมรับทางประสาทสัมผัส ใช้ผู้ทดสอบจำนวน 100 คน ทำการทดสอบการยอมรับทางประสาทสัมผัสทางด้านลักษณะปรากฏ สี กลิ่น รสชาติ ความนุ่ม ความเหนียว และความชอบรวม ด้วยวิธี 9-point hedonic scale โดยทำการทดสอบระหว่างบะหมี่สาหร่ายไกอบแห้งกับบะหมี่ที่จำหน่ายในท้องตลาด (บะหมี่ยี่ห้อ A) ที่ซื้อมาจากกาดป่าเหมือด โดยนำบะหมี่ทั้งสองชนิดมาลวกในน้ำเดือดเพื่อทำการทดสอบการยอมรับ และทำการทดสอบความตั้งใจซื้อ โดยใช้แบบสอบถาม (รายละเอียดของแบบสอบถามดังภาคผนวก ค) เพื่อสอบถามถึงปัจจัยที่มีผลต่อการตัดสินใจซื้อผลิตภัณฑ์บะหมี่สาหร่ายไกอบแห้ง แบบสอบถามที่ใช้ประกอบด้วย 2 ส่วน ส่วนแรก เป็นการสอบถามข้อมูลทั่วไปและความคิดเห็นของผู้บริโภคที่มีต่อการตัดสินใจซื้อผลิตภัณฑ์บะหมี่สาหร่ายไกของผู้บริโภค ส่วนที่ 2 จะเป็นปัจจัยสำคัญที่มีผลต่อการตัดสินใจซื้อผลิตภัณฑ์บะหมี่สาหร่ายไกของผู้บริโภค เมื่อพิจารณาแล้วก็ให้คะแนนตามระดับความสำคัญ 1-9 โดยที่ 1 สำคัญน้อยที่สุด 5 สำคัญปานกลาง และ9 สำคัญมากที่สุด และกำหนดปัจจัยสำหรับพิจารณาทั้งหมด 11 ปัจจัย ได้แก่ สี กลิ่น รสชาติ ราคา บรรจุภัณฑ์ ตรายี่ห้อ องค์ประกอบทางเคมี/ประโยชน์ต่อสุขภาพ อายุการเก็บรักษา ส่วนประกอบ กรรมวิธีการผลิต และความปลอดภัยในการบริโภค

6. ต้นทุนการผลิต

$$\text{ต้นทุนการผลิตสาหร่ายไก} = \frac{\text{ค่าสารอาหาร + ค่าไฟฟ้า}}{\text{ระยะเวลาการเพาะเลี้ยง}}$$

การวิเคราะห์ทางสถิติ

นำข้อมูลการเจริญ คุณภาพน้ำ และองค์ประกอบทางเคมี มาวิเคราะห์ทางสถิติโดยวิเคราะห์หาค่าความแปรปรวน (ANOVA) เพื่อศึกษาความแตกต่างระหว่าง Treatment โดยวิธี Duncan’s Test ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % ($P \leq 0.05$)

ขอบเขตของการทำวิจัย

ศึกษาการเพาะเลี้ยงสาหร่ายไกในสูตรอาหารที่ต่างกัน โดยวัดคุณภาพน้ำ และองค์ประกอบทางเคมี ในสาหร่ายไกเพื่อนำไปเพิ่มมูลค่าต่อไป

ระยะเวลาการทำวิจัยและสถานที่ดำเนินงาน

ทำการทดลองระหว่างเดือนธันวาคม 2559 ถึงเดือนสิงหาคม 2560 ณ คณะเทคโนโลยีการประมงและทรัพยากรทางน้ำ และคณะวิศวกรรมและอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยแม่โจ้ จังหวัดเชียงใหม่

บทที่ 4
ผลการวิจัยและวิจารณ์

1. การจัดจำแนกทางสัณฐานวิทยาของสาหร่ายไก

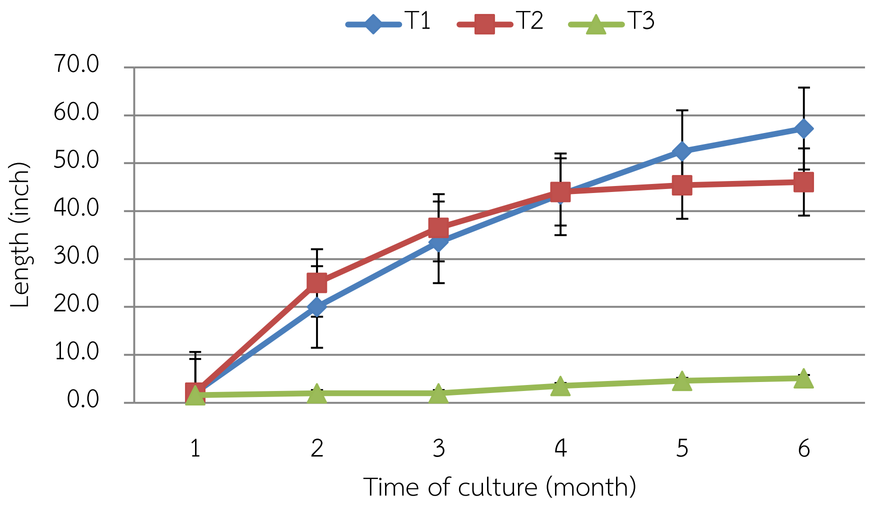
ลักษณะสำคัญของสาหร่ายไก (*Rhizoclonium*) ทัลลัสไม่แตกแขนง หรือพบการแตกแขนงได้ 2 ถึง 3 เซลล์บริเวณไรซอยด์ ตัวเซลล์อาจมีความยาวใกล้เคียงกับความกว้าง หรืออาจมีความยาวมากกว่าความกว้างหลายเท่าตัว และในหนึ่งเซลล์ประกอบด้วยหลายนิวเคลียส เส้นสายมีลักษณะเรียวซึ่งอาจยึดเกาะกับสับสเตรทด้วยเซลล์ฐานหรือโฮลด์ฟาสต์ คลอโรพลาสต์เป็นร่างแหเต็มเซลล์หรืออยู่ด้านข้างเซลล์ และพบไพรีนอยด์ในน้ำจืดสาหร่ายชนิดนี้มักจะสืบพันธุ์ด้วยการหักของเส้นสายแล้วงอกส่วนที่หักขึ้นมาใหม่ ในขณะที่ชนิดที่เจริญในน้ำกร่อยหรือน้ำเค็มจะมีการสืบพันธุ์โดยการสร้างซูโอสปอร์และการสร้างแกมมีท ในประเทศไทยมีชื่อสามัญว่า “สาหร่ายไก” (ยุวดี, 2548) อยู่ใน

Division: Chlorophyta
Class: Chlorophyceae
Order: Cladophorales
Family: Cladophoraceae
Genus: *Rhizoclonium* (C.Agardh) Kützing

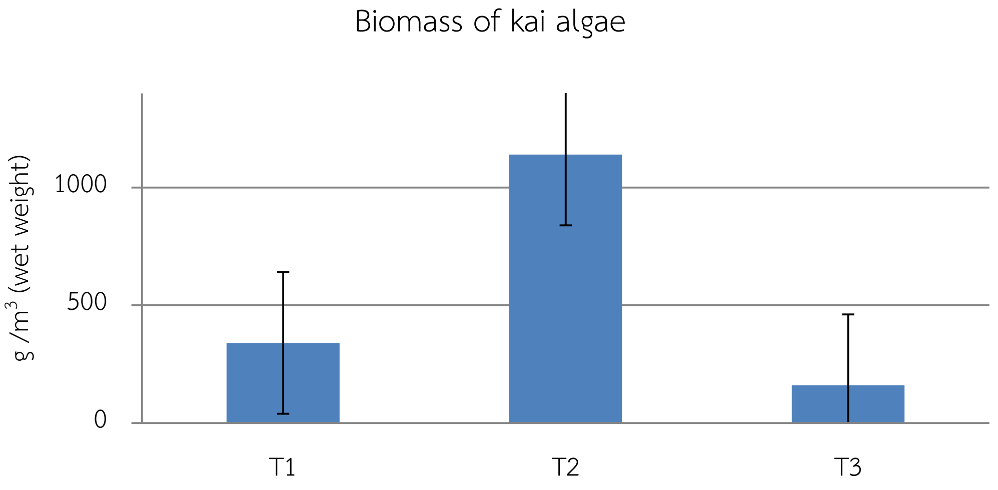
ภาพที่ 10 สาหร่ายไก (*Rhizoclonium*)

2. การวิเคราะห์ผลผลิตสาหร่ายไกสด

สาหร่ายไกทั้ง 3 ชุดการทดลอง มีความยาวเริ่มต้นเท่ากับ 1 นิ้ว จากการทดลองพบว่า ชุดการทดลองที่ 1 มีความยาว 9.55 นิ้วต่อเดือน ชุดการทดลองที่ 2 มีความยาว 7.68 นิ้วต่อเดือน และชุดการทดลองที่ 3 มีความยาว 0.87 นิ้วต่อเดือน จะเห็นได้ว่าความยาวจะเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาการเลี้ยง และเริ่มมีความแตกต่างกันชัดเจนตั้งแต่เดือนที่ 2 จนถึงเดือนที่ 6 ดังภาพที่ 11 และมวลชีวภาพของสาหร่ายไกทั้ง 3 ชุดการทดลองพบว่า ชุดการทดลองที่ 1 มีค่า 340 กรัมต่อตารางเมตร ชุดการทดลองที่ 2 มีค่า 1,140 กรัมต่อตารางเมตร และชุดการทดลองที่ 3 มีค่า 160 กรัมต่อตารางเมตร เมื่อนำไปเปรียบเทียบทางสถิติพบว่า ชุดการทดลองที่ 2 มีค่ามากกว่าชุดการทดลองที่ 1 และ 3 ตามลำดับ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) ดังภาพที่ 12



ภาพที่ 11 ความยาวเส้นสายของสาหร่ายไกทั้ง 3 ชุดการทดลอง ระยะเวลาเลี้ยง 180 วัน



ภาพที่ 12 มวลชีวภาพของสาหร่ายไกทั้ง 3 ชุดการทดลอง ระยะเวลาเลี้ยง 180 วัน

3. การวิเคราะห์คุณภาพน้ำ

จากการวิเคราะห์อุณหภูมิอากาศของสาหร่ายไกทั้ง 3 ชุดการทดลอง พบว่าชุดการทดลองที่ 1 (T_1) มีค่าอยู่ในช่วง 27.5-37.5 องศาเซลเซียส ชุดการทดลองที่ 2 (T_2) มีค่าอยู่ในช่วง 27.5-37.5 องศาเซลเซียส และชุดการทดลองที่ 3 (T_3) มีค่าอยู่ในช่วง 27.5-37.5 องศาเซลเซียส เมื่อนำค่าเฉลี่ยอุณหภูมิอากาศมาวิเคราะห์ผลทางสถิติพบว่าทั้ง 3 ชุดการทดลองไม่มีความแตกต่างทางสถิติ ($P>0.05$) ดังภาพที่ 13

จากการวิเคราะห์อุณหภูมิน้ำของสาหร่ายไกทั้ง 3 ชุดการทดลอง พบว่าชุดการทดลองที่ 1 (T_1) มีค่าอยู่ในช่วง 22.0-28.5 องศาเซลเซียส ชุดการทดลองที่ 2 (T_2) มีค่าอยู่ในช่วง 22.0-28.5 องศาเซลเซียส และชุดการทดลองที่ 3 (T_3) มีค่าอยู่ในช่วง 22.0-28.5 องศาเซลเซียส เมื่อนำค่าเฉลี่ยอุณหภูมิน้ำมาวิเคราะห์ผลทางสถิติพบว่าทั้ง 3 ชุดการทดลองไม่มีความแตกต่างทางสถิติ ($P>0.05$) ดังภาพที่ 14

จากการวิเคราะห์ค่าความเป็นกรด–เบส ของสาหร่ายไกทั้ง 3 ชุดการทดลอง พบว่าชุดการทดลองที่ 1 (T_1) มีค่าอยู่ในช่วง 8.43–8.86 ชุดการทดลองที่ 2 (T_2) มีค่าอยู่ในช่วง 8.40–8.96 และชุดการทดลองที่ 3 (T_3) มีค่าอยู่ในช่วง 9.16–9.55 เมื่อนำค่าเฉลี่ยความเป็นกรด–ด่าง มาวิเคราะห์ผลทางสถิติพบว่าทั้ง 3 ชุดการทดลองไม่มีความแตกต่างทางสถิติ ($P>0.05$) ดังภาพที่ 15

จากการวิเคราะห์ปริมาณออกซิเจนที่ละลายน้ำของสาหร่ายไกทั้ง 3 ชุดการทดลอง พบว่าชุดการทดลองที่ 1 (T_1) มีค่าอยู่ในช่วง 6.7–9.9 มิลลิกรัมต่อลิตร ชุดการทดลองที่ 2 (T_2) มีค่าอยู่ในช่วง 6.3–8.9 มิลลิกรัมต่อลิตร และชุดการทดลองที่ 3 (T_3) มีค่าอยู่ในช่วง 5.8–8.3 มิลลิกรัมต่อลิตร เมื่อนำค่าเฉลี่ยปริมาณออกซิเจนที่ละลายน้ำมาวิเคราะห์ผลทางสถิติพบว่าทั้ง 3 ชุดการทดลองไม่มีความแตกต่างทางสถิติ ($P>0.05$) ดังภาพที่ 16

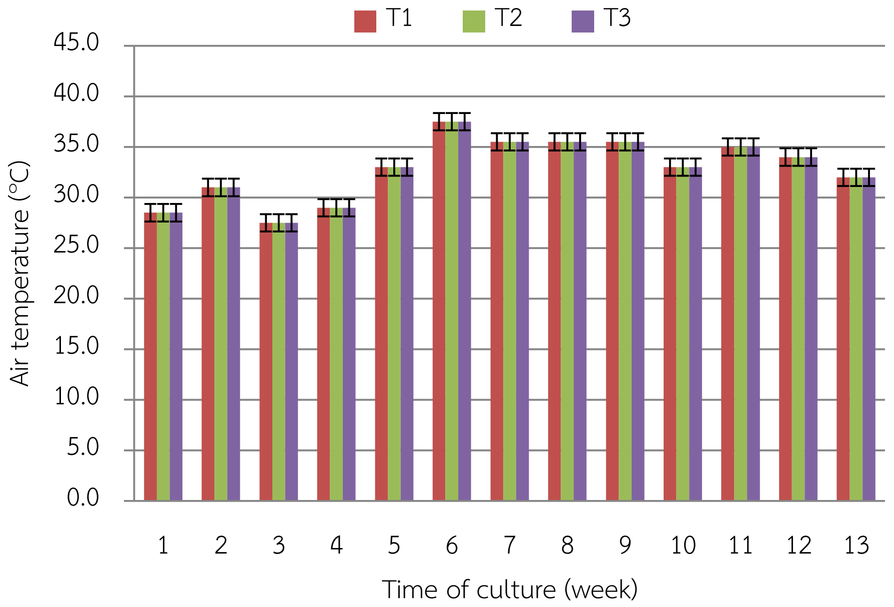
จากการวิเคราะห์ค่าแอมโมเนียของสาหร่ายไกทั้ง 3 ชุดการทดลอง พบว่าชุดการทดลองที่ 1 (T_1) มีค่าอยู่ในช่วง 0.01–0.15 มิลลิกรัมต่อลิตร ชุดการทดลองที่ 2 (T_2) มีค่าอยู่ในช่วง 0.00–0.15 มิลลิกรัมต่อลิตร และชุดการทดลองที่ 3 (T_3) มีค่าอยู่ในช่วง 0.02–0.11 มิลลิกรัมต่อลิตร เมื่อนำค่าเฉลี่ยแอมโมเนียมาวิเคราะห์ผลทางสถิติพบว่าทั้ง 3 ชุดการทดลองมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) ดังภาพที่ 17

จากการวิเคราะห์ค่าออร์โธฟอสเฟตของสาหร่ายไกทั้ง 3 ชุดการทดลอง พบว่าชุดการทดลองที่ 1 (T_1) มีค่าอยู่ในช่วง 3.06–6.19 มิลลิกรัมต่อลิตร ชุดการทดลองที่ 2 (T_2) มีค่าอยู่ในช่วง 1.75–5.05 มิลลิกรัมต่อลิตร และชุดการทดลองที่ 3 (T_3) มีค่าอยู่ในช่วง 26.90–81.07 มิลลิกรัมต่อลิตร เมื่อนำค่าเฉลี่ยออร์โธฟอสเฟตมาวิเคราะห์ผลทางสถิติพบว่าทั้ง 3 ชุดการทดลองมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) ดังภาพที่ 18

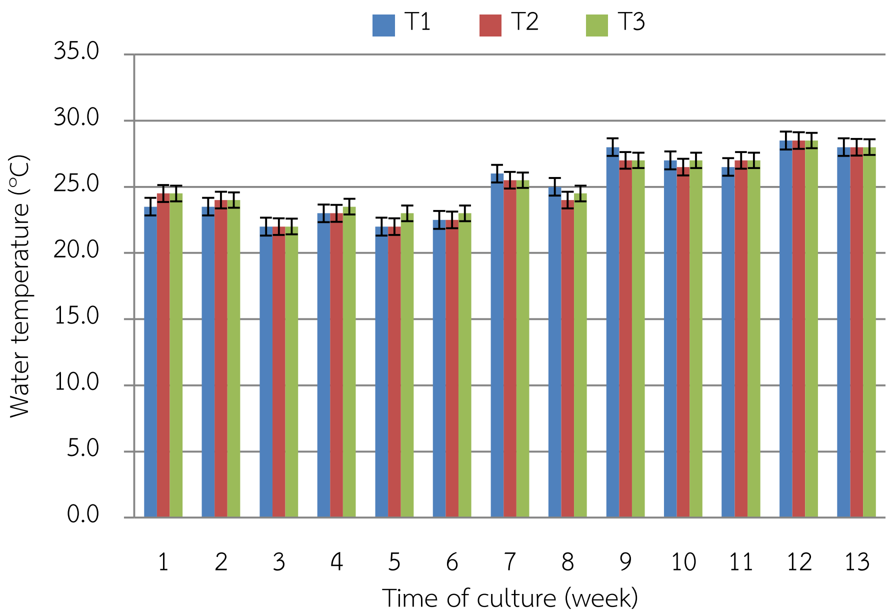
จากการวิเคราะห์ค่าไนไตรท์ของสาหร่ายไกทั้ง 3 ชุดการทดลอง พบว่าชุดการทดลองที่ 1 (T_1) มีค่าอยู่ในช่วง 6.37–8.89 มิลลิกรัมต่อลิตร ชุดการทดลองที่ 2 (T_2) มีค่าอยู่ในช่วง 6.37–7.78 มิลลิกรัมต่อลิตร และชุดการทดลองที่ 3 (T_3) มีค่าอยู่ในช่วง 6.47–10.32 มิลลิกรัมต่อลิตร

เมื่อนำค่าเฉลี่ยไนไตรท์มาวิเคราะห์ผลทางสถิติพบว่าทั้ง 3 ชุดการทดลองมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P<0.05) ดังภาพที่ 19

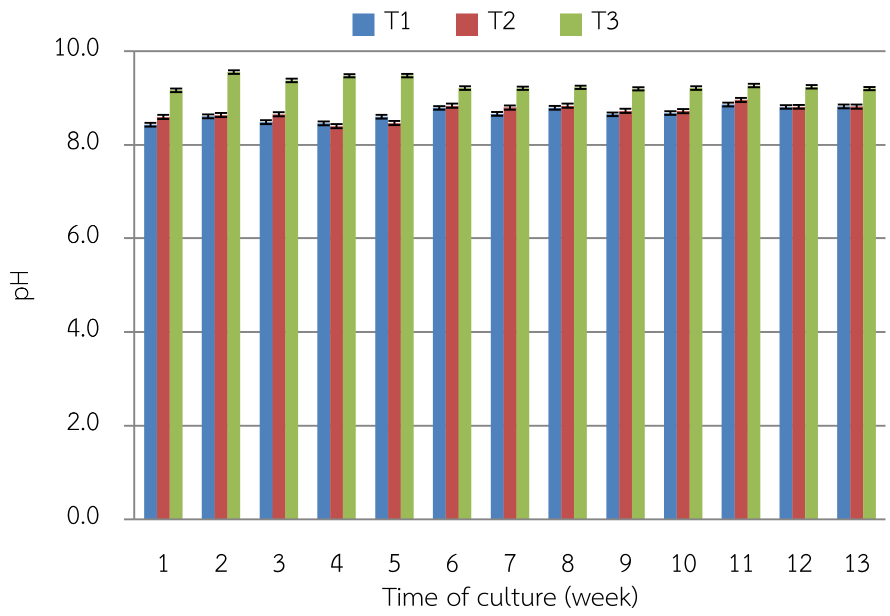
จากการวิเคราะห์ค่าไนเตรทของสาหร่ายไกทั้ง 3 ชุดการทดลอง พบว่าชุดการทดลองที่ 1 (T_1) มีค่าอยู่ในช่วง 9.20–31.25 มิลลิกรัมต่อลิตร ชุดการทดลองที่ 2 (T_2) มีค่าอยู่ในช่วง 9.63–26.22 มิลลิกรัมต่อลิตร และชุดการทดลองที่ 3 (T_3) มีค่าอยู่ในช่วง 8.90–191.55 มิลลิกรัมต่อลิตร เมื่อนำค่าเฉลี่ยไนเตรทมาวิเคราะห์ผลทางสถิติพบว่าทั้ง 3 ชุดการทดลองมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P<0.05) ดังภาพที่ 20



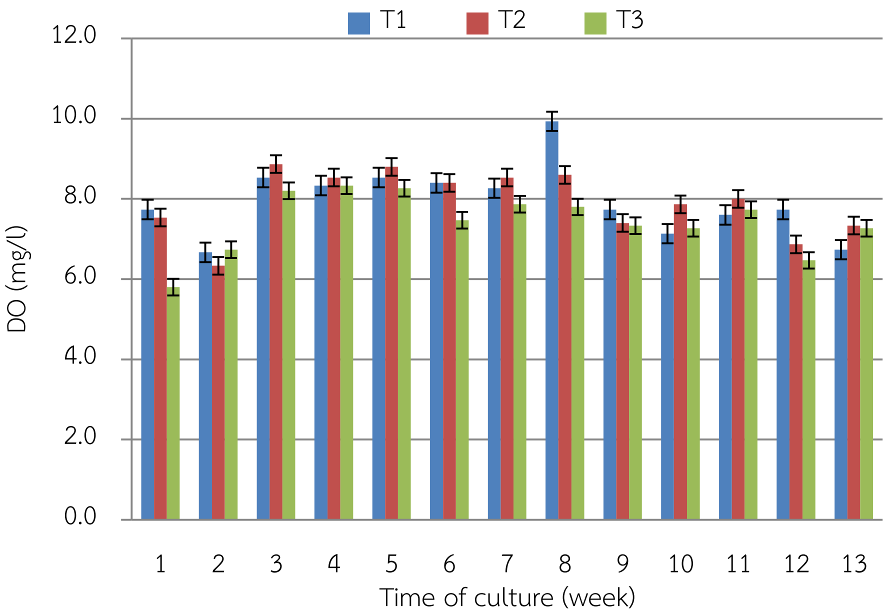
ภาพที่ 13 การวิเคราะห์ค่าอุณหภูมิอากาศของการเพาะเลี้ยงสาหร่ายไกทั้ง 3 ชุดการทดลอง ระยะเวลาเลี้ยง 180 วัน



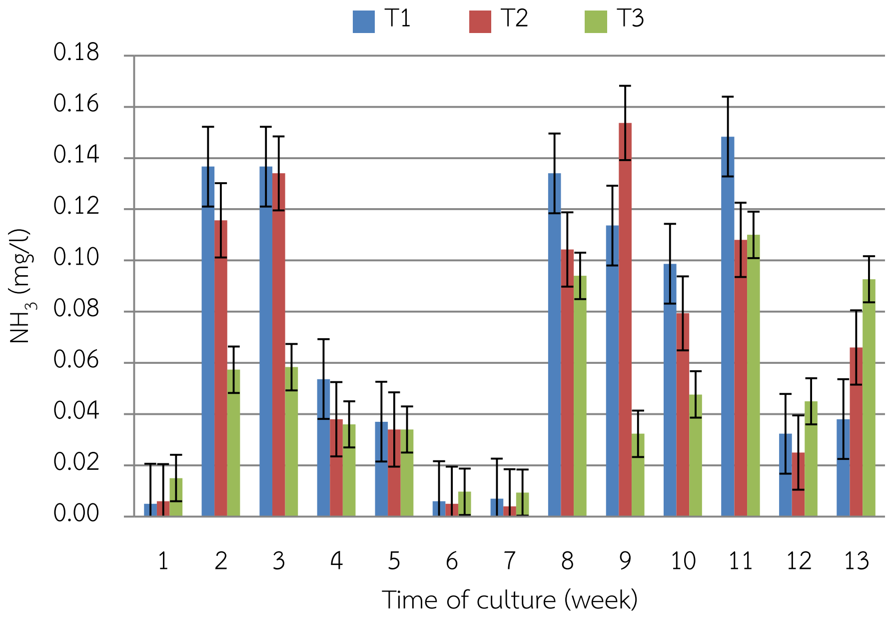
ภาพที่ 14 การวิเคราะห์ค่าอุณหภูมิน้ำของการเพาะเลี้ยงสาหร่ายไกทั้ง 3 ชุดการทดลอง ระยะเวลาเลี้ยง 180 วัน



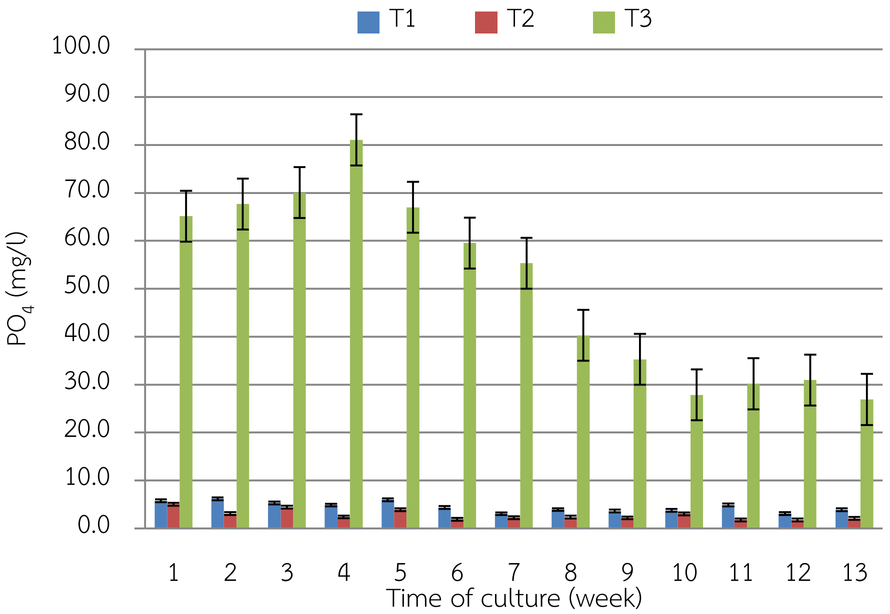
ภาพที่ 15 การวิเคราะห์ค่าความเป็นกรด-เบสของการเพาะเลี้ยงสาหร่ายไกทั้ง 3 ชุดการทดลอง ระยะเวลาเลี้ยง 180 วัน



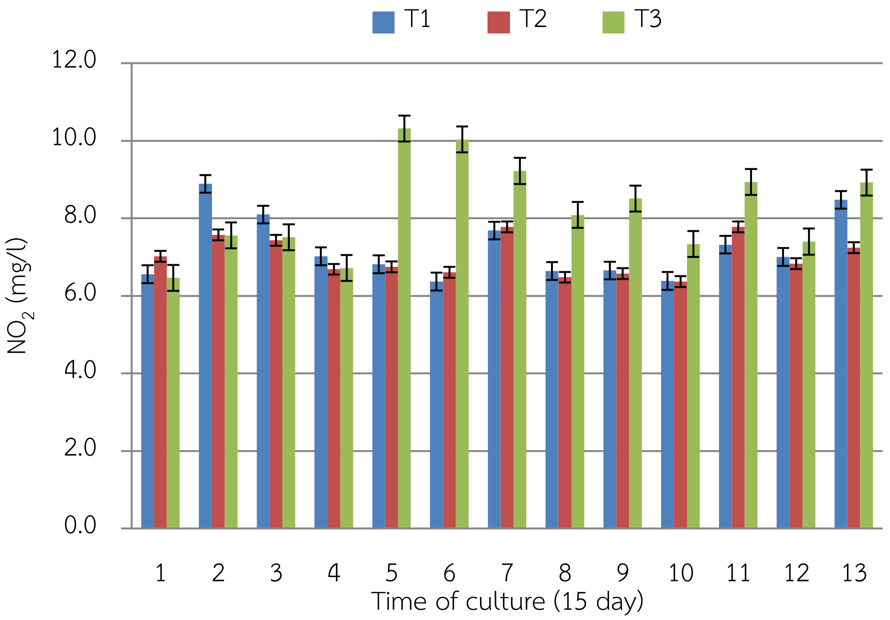
ภาพที่ 16 การวิเคราะห์ปริมาณออกซิเจนที่ละลายน้ำของการเพาะเลี้ยงสาหร่ายไกทั้ง 3 ชุดการทดลอง ระยะเวลาเลี้ยง 180 วัน



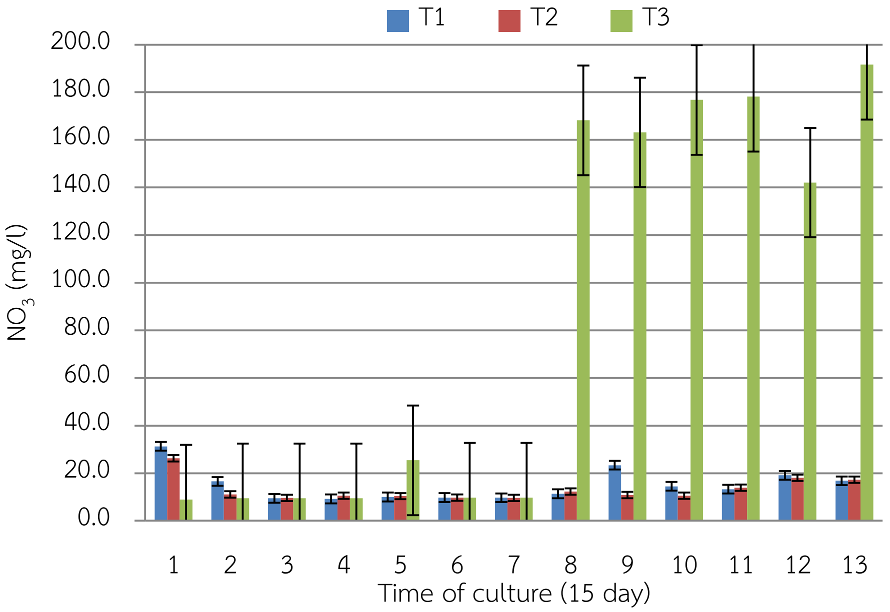
ภาพที่ 17 การวิเคราะห์ค่าแอมโมเนียของการเพาะเลี้ยงสาหร่ายไกทั้ง 3 ชุดการทดลอง ระยะเวลาเลี้ยง 180 วัน



ภาพที่ 18 การวิเคราะห์ค่าออร์โธฟอสเฟตของการเพาะเลี้ยงสาหร่ายไกทั้ง 3 ชุดการทดลอง ระยะเวลาเลี้ยง 180 วัน



ภาพที่ 19 การวิเคราะห์ค่าไนไตรท์ของการเพาะเลี้ยงสาหร่ายไกทั้ง 3 ชุดการทดลอง ระยะเวลาเลี้ยง 180 วัน



ภาพที่ 20 การวิเคราะห์ค่าไนเตรทของการเพาะเลี้ยงสาหร่ายไกทั้ง 3 ชุดการทดลอง ระยะเวลาเลี้ยง 180 วัน

กล่าวโดยสรุปคุณภาพน้ำระหว่างการเพาะเลี้ยงสาหร่ายไกในทุกชุดการทดลอง มีค่าอุณหภูมิอากาศ (air temperature) อยู่ในช่วง 27.5-37.5 องศาเซลเซียส อุณหภูมิน้ำ (water temperature) อยู่ในช่วง 22.0-28.5 องศาเซลเซียส ค่าความเป็นกรด-เบส อยู่ในช่วง 8.40-9.55 ปริมาณออกซิเจนที่ละลายน้ำ (DO) อยู่ในช่วง 5.8-9.9 มิลลิกรัมต่อลิตร และค่าอุณหภูมิอากาศ อุณหภูมิน้ำ ค่าความเป็นกรด-เบส และปริมาณออกซิเจนที่ละลายน้ำ ทั้ง 3 ชุดการทดลองไม่มีความแตกต่างทางสถิติ ($P>0.05$) แอมโมเนีย (NH_3) อยู่ในช่วง 0.00-0.15 มิลลิกรัมต่อลิตร ออร์โธฟอสเฟต (PO_4) อยู่ในช่วง 1.72-81.07 มิลลิกรัมต่อลิตร ไนไตรท์ (NO_2) อยู่ในช่วง 6.37-10.32 มิลลิกรัมต่อลิตร และไนเตรท (NO_3) อยู่ในช่วง 8.90-191.55 มิลลิกรัมต่อลิตร ซึ่งค่าแอมโมเนีย ออร์โธฟอสเฟต ไนไตรท์ และไนเตรท ชุดการทดลองที่ 3 มากกว่าชุดการทดลองที่ 1 และ2 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$)

4. การวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี

จากการศึกษาเปรียบเทียบปริมาณโปรตีนในของสาหร่ายไกทั้ง 3 ชุดการทดลอง พบว่า ชุดการทดลองที่ 1 (T_1) มีค่าเฉลี่ยคือ 18.00±0.62 เปอร์เซ็นต์ ชุดการทดลองที่ 2 (T_2) มีค่าเฉลี่ยคือ 16.52±0.01 เปอร์เซ็นต์ และชุดการทดลองที่ 3 (T_3) มีค่าเฉลี่ยคือ 32.03±0.29 เปอร์เซ็นต์

เมื่อนำค่าเฉลี่ยปริมาณโปรตีนมาวิเคราะห์ผลทางสถิติพบว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P<0.05) ดังภาพที่ 21 และตารางที่ 3

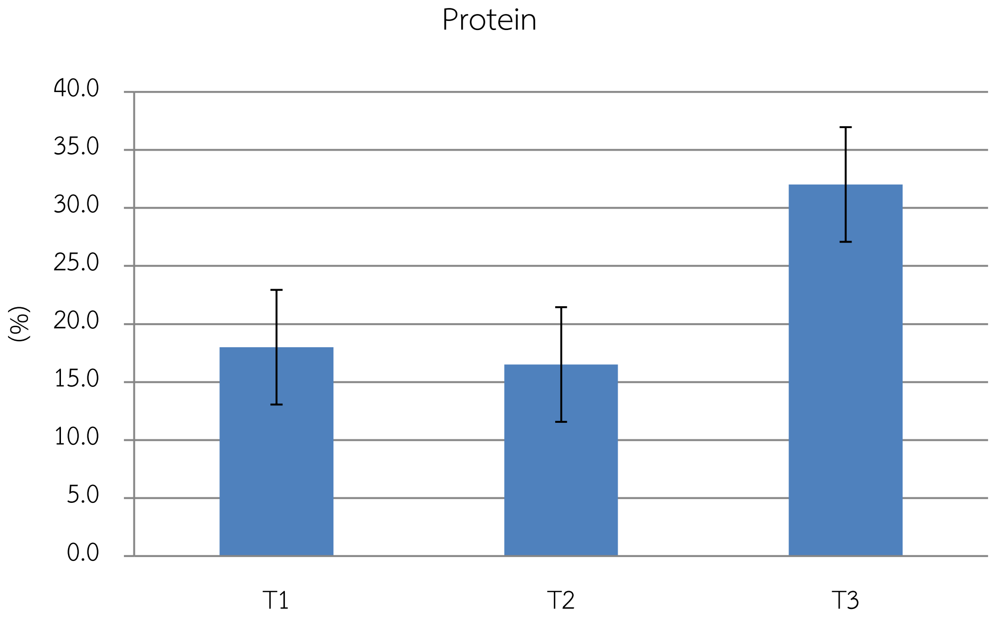
จากการศึกษาเปรียบเทียบปริมาณไขมันในของสาหร่ายไกทั้ง 3 ชุดการทดลอง พบว่า ชุดการทดลองที่ 1 (T_1) มีค่าเฉลี่ยคือ 1.31±0.01 เปอร์เซ็นต์ ชุดการทดลองที่ 2 (T_2) มีค่าเฉลี่ย คือ 0.64±0.02 เปอร์เซ็นต์ และชุดการทดลองที่ 3 (T_3) มีค่าเฉลี่ยคือ 1.82±0.01 เปอร์เซ็นต์ เมื่อนำค่าเฉลี่ยปริมาณไขมันมาวิเคราะห์ผลทางสถิติพบว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P<0.05) ดังภาพที่ 22 และตารางที่ 3

จากการศึกษาเปรียบเทียบปริมาณคาร์โบไฮเดรตของสาหร่ายไกทั้ง 3 ชุดการทดลอง พบว่า ชุดการทดลองที่ 1 (T_1) มีค่าเฉลี่ยคือ 27.82±0.00 เปอร์เซ็นต์ ชุดการทดลองที่ 2 (T_2) มีค่าเฉลี่ยคือ 23.37±0.00 เปอร์เซ็นต์ และชุดการทดลองที่ 3 (T_3) มีค่าเฉลี่ยคือ 21.69±0.00 เปอร์เซ็นต์ เมื่อนำค่าเฉลี่ยปริมาณคาร์โบไฮเดรตมาวิเคราะห์ผลทางสถิติพบว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P<0.05) ดังภาพที่ 23 และตารางที่ 3

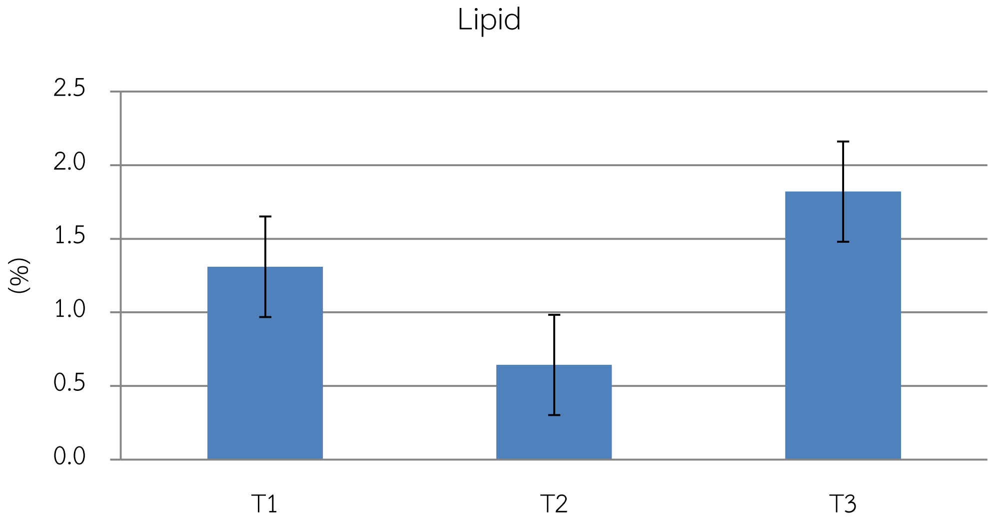
จากการศึกษาเปรียบเทียบปริมาณเยื่อใยของสาหร่ายไกทั้ง 3 ชุดการทดลอง พบว่า ชุดการทดลองที่ 1 (T_1) มีค่าเฉลี่ยคือ 25.96±0.05 เปอร์เซ็นต์ ชุดการทดลองที่ 2 (T_2) มีค่าเฉลี่ยคือ 21.46±0.22 เปอร์เซ็นต์ และชุดการทดลองที่ 3 (T_3) มีค่าเฉลี่ยคือ 28.42±0.14 เปอร์เซ็นต์ เมื่อนำค่าเฉลี่ยปริมาณเยื่อใยมาวิเคราะห์ผลทางสถิติพบว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P<0.05) ดังภาพที่ 24 และตารางที่ 3

จากการศึกษาเปรียบเทียบปริมาณความชื้นของสาหร่ายไกทั้ง 3 ชุดการทดลอง พบว่า ชุดการทดลองที่ 1 (T_1) มีค่าเฉลี่ยคือ 6.44 ± 0.01 เปอร์เซ็นต์ ชุดการทดลองที่ 2 (T_2) มีค่าเฉลี่ยคือ 5.45±0.02 เปอร์เซ็นต์ และชุดการทดลองที่ 3 (T_3) มีค่าเฉลี่ยคือ 7.61±0.01 เปอร์เซ็นต์ เมื่อนำค่าเฉลี่ยปริมาณความชื้นมาวิเคราะห์ผลทางสถิติพบว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P<0.05) ดังภาพที่ 25 และตารางที่ 3

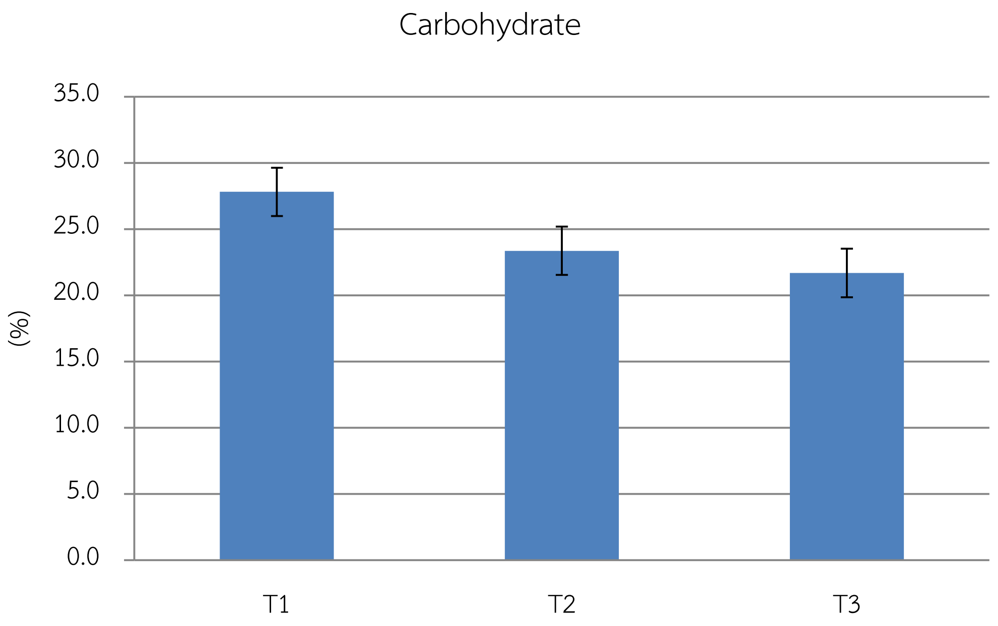
จากการศึกษาเปรียบเทียบปริมาณเถ้าของสาหร่ายไกทั้ง 3 ชุดการทดลอง พบว่า ชุดการทดลองที่ 1 (T_1) มีค่าเฉลี่ยคือ 20.48±0.03 เปอร์เซ็นต์ ชุดการทดลองที่ 2 (T_2) มีค่าเฉลี่ยคือ 32.56±0.27 เปอร์เซ็นต์ และชุดการทดลองที่ 3 (T_3) มีค่าเฉลี่ยคือ 8.43±0.17 เปอร์เซ็นต์ เมื่อนำค่าเฉลี่ยปริมาณเถ้ามาวิเคราะห์ผลทางสถิติพบว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P<0.05) ดังภาพที่ 26 และตารางที่ 3



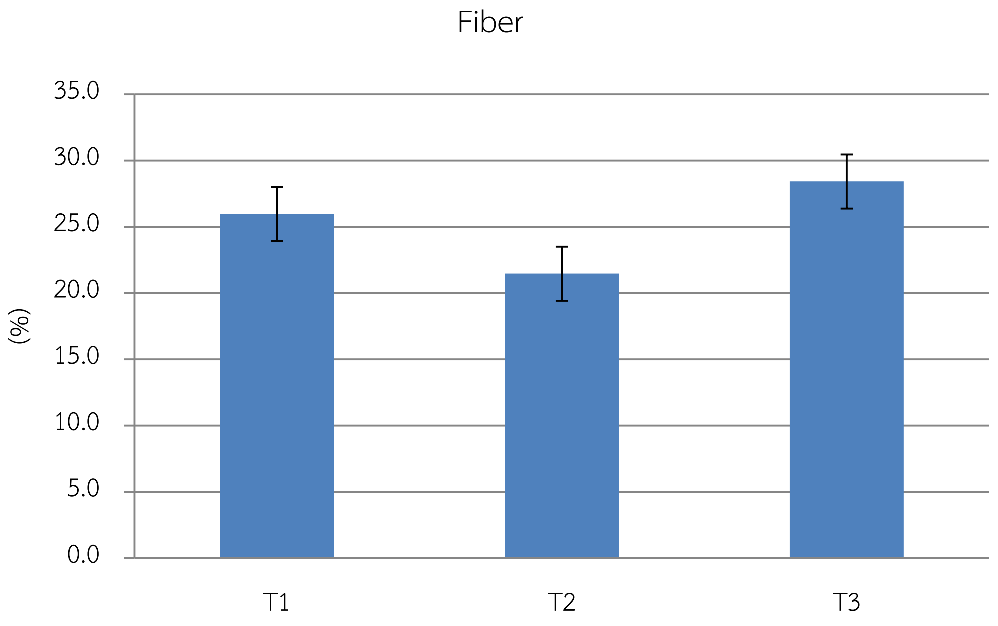
ภาพที่ 21 การวิเคราะห์ปริมาณโปรตีนของสาหร่ายไกทั้ง 3 ชุดการทดลอง



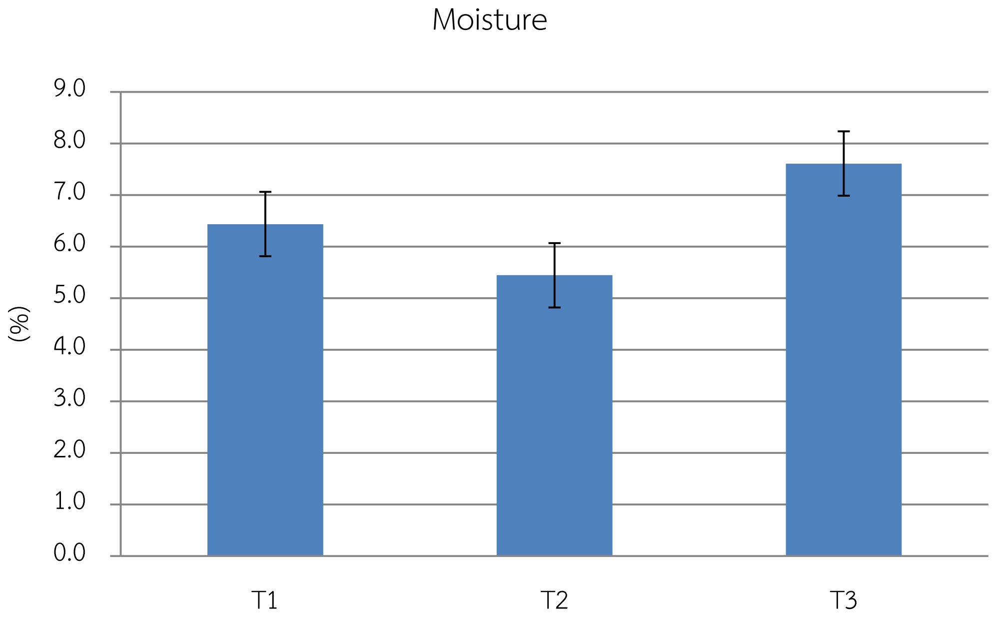
ภาพที่ 22 การวิเคราะห์ปริมาณไขมันของสาหร่ายไกทั้ง 3 ชุดการทดลอง



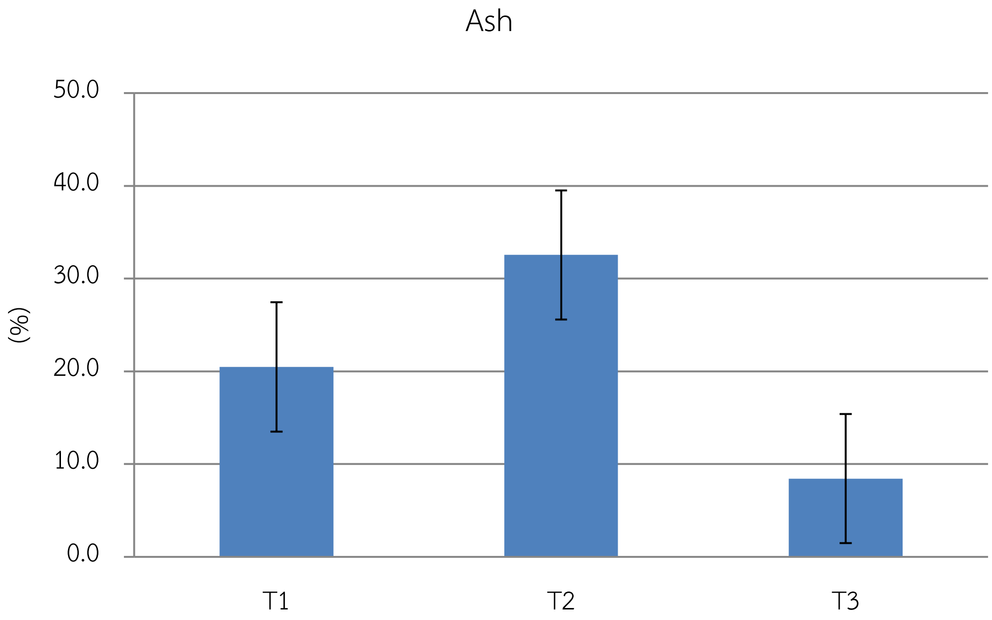
ภาพที่ 23 การวิเคราะห์ปริมาณคาร์โบไฮเดรตของสาหร่ายไกทั้ง 3 ชุดการทดลอง



ภาพที่ 24 การวิเคราะห์ปริมาณเยื่อใยของสาหร่ายไกทั้ง 3 ชุดการทดลอง



ภาพที่ 25 การวิเคราะห์ปริมาณความชื้นของสาหร่ายไกทั้ง 3 ชุดการทดลอง



ภาพที่ 26 การวิเคราะห์ปริมาณเถ้าของสาหร่ายไกทั้ง 3 ชุดการทดลอง

ตารางที่ 3 องค์ประกอบทางเคมีของสาหร่ายไกที่เพาะเลี้ยงทั้ง 3 ชุดการทดลอง

พารามิเตอร์ที่ศึกษา (%)	T1	T2	T3
โปรตีน	18.00 ± 0.62^{b}	16.52 ± 0.01^{c}	32.03 ± 0.29^{a}
ไขมัน	1.31 ± 0.01^{b}	0.64 ± 0.02^{c}	1.82 ± 0.01^{a}
คาร์โบไฮเดรต (โดยการคำนวณ)	27.82 ± 0.00^{a}	23.37 ± 0.00^{b}	21.69 ± 0.00^{c}
เยื่อใย	25.96 ± 0.05^{b}	21.46 ± 0.22^{c}	28.42 ± 0.14^{a}
เถ้า	20.48 ± 0.03^{b}	32.56 ± 0.27^{a}	8.43 ± 0.17^{c}
ความชื้น	6.44 ± 0.01^{b}	5.45 ± 0.02^{c}	7.61 ± 0.01^{a}

หมายเหตุ : Mean ± SE ตัวอักษรที่ไม่เหมือนกันในแต่ละแถว แสดงถึงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ ความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ โดยใช้โปรแกรมทางสถิติ SPSS Version 11.0 แบบ Duncan's Test

กล่าวโดยสรุปผลการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของสาหร่ายไกที่เพาะเลี้ยงในชุดการทดลองที่ 3 มีค่าโปรตีน 32.03±0.29 เปอร์เซ็นต์ ไขมัน 1.82±0.01 เปอร์เซ็นต์ เยื่อใย 28.42±0.1 เปอร์เซ็นต์ และความชื้น 7.61± 0.01 เปอร์เซ็นต์ ชุดการทดลองที่ 2 มีค่าเถ้า 32.56±0.27 เปอร์เซ็นต์ และชุดการทดลองที่ 1 มีค่าคาร์โบไฮเดรต 27.82±0.00 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งสูงกว่าชุดการทดลองอื่นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$)

จากองค์ประกอบทางเคมีของสาหร่ายไกทั้ง 3 ชุดการทดลอง จะเห็นได้ชัดว่าสาหร่ายไกมีองค์ประกอบทางเคมีสูง ซึ่งเป็นที่นิยมรับประทานกันทั่วไปของประชาชนที่อยู่ริมแม่น้ำโขง และแม่น้ำน่าน จุดเด่นของสาหร่ายไกในเรื่องโภชนาการก็คือ การมีโปรตีนสูงเท่าๆ กับปลาน้ำจืด ซึ่งถือว่าใช้ทดแทนเนื้อปลาได้ทีเดียว และสาหร่ายไกยังสามารถรับประทานได้ครั้งละมากๆ จึงถือว่าเป็นแหล่งอาหารโปรตีนได้อีกแหล่งหนึ่ง และเยื่อใยก็มีใกล้เคียงกับผักใบเขียวทั่วๆ ไป

5. ผลของบะหมี่สาหร่ายไกอบแห้งต่อการยอมรับของผู้บริโภค

ผลิตภัณฑ์จากสาหร่ายไกยังมีไม่มาก เนื่องจากเป็นที่รู้จักเฉพาะกลุ่มคนที่อยู่ริมแม่น้ำโขงและแม่น้ำน่านเท่านั้น ดังนั้นจึงมีงานวิจัยต่างๆ เพื่อศึกษาวิธีการแปรรูปสาหร่ายไกให้มีความหลากหลายมากขึ้น และงานวิจัยนี้จึงทำผลิตภัณฑ์บะหมี่สาหร่ายไกอบแห้งขึ้นมา เพื่อเป็นทางเลือกให้กับผู้บริโภคกลุ่มที่รักสุขภาพ และสำหรับกลุ่มคนที่แพ้ไข่ จากการทดลองโดยใช้ผู้บริโภคจำนวน 100 คน พบว่าการยอมรับของคุณลักษณะต่างๆ ได้แก่ ลักษณะปรากฏ สี กลิ่น และรสชาติ มีความแตกต่างกัน แต่ความนุ่ม ความเหนียว และความชอบรวม ของบะหมี่สาหร่ายไกอบแห้ง กับบะหมี่ที่จำหน่ายทั่วไปตามท้องตลาด (บะหมี่ยี่ห้อ A) ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$) โดยมี

คะแนนการยอมรับของทุกคุณลักษณะอยู่ในช่วงเฉยๆ ถึงชอบเล็กน้อย (5.58-6.99) ดังแสดงในตารางที่ 4

ตารางที่ 4 คะแนนการยอมรับของผู้บริโภคต่อบะหมี่สาหร่ายไกอบแห้งและบะหมี่ยี่ห้อ A

คุณลักษณะ	ชนิดบะหมี่	
	บะหมี่สาหร่ายไก	บะหมี่ยี่ห้อ A
ลักษณะปรากฏ	5.89 ± 1.47^{b}	6.68 ± 1.37^{a}
สี	5.80 ± 1.43^{b}	6.99 ± 1.31^{a}
กลิ่น	5.58 ± 1.68^{b}	6.06 ± 1.38^{a}
รสชาติ	5.79 ± 1.62^{b}	6.28 ± 1.41^{a}
ความนุ่ม	6.85 ± 1.37^{ns}	6.62 ± 1.33^{ns}
ความเหนียว	6.41 ± 1.42^{ns}	6.35 ± 1.40^{ns}
ความชอบรวม	6.62 ± 1.15^{ns}	6.89 ± 1.17^{ns}

หมายเหตุ อักษรที่แตกต่างกันหมายถึงตัวเลขในแถวเดียวกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$); คะแนน 9 = ชอบมากที่สุด 8 = ชอบมาก 7 = ชอบปานกลาง 6 = ชอบเล็กน้อย 5 = เฉยๆ 4 = ไม่ชอบเล็กน้อย 3 = ไม่ชอบปานกลาง 2 = ไม่ชอบมาก และ 1 = ไม่ชอบมากที่สุด; ค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน จากผู้ทดสอบทั้งหมด 100 คน

6. ผลการทดสอบความตั้งใจซื้อบะหมี่สาหร่ายไกอบแห้งของผู้บริโภค

จากการทดสอบความตั้งใจซื้อของผู้บริโภค เครื่องมือที่ใช้คือแบบสอบถาม (ภาคผนวก ค) จำนวน 100 คน เป็นเพศหญิงจำนวน 51 คน (ร้อยละ 51) และเพศชายจำนวน 49 คน (ร้อยละ 49) โดยมีช่วงอายุของผู้ตอบแบบสอบถามส่วนใหญ่อยู่ในช่วง 15-30 ปี โดยคิดเป็นร้อยละ 91 ของผู้ตอบแบบสอบถามทั้งหมด ดังตารางที่ 5

ตารางที่ 5 ข้อมูลทั่วไปของผู้ตอบแบบสอบถาม (n=100)

รายละเอียด	**ความถี่**	**ร้อยละ**
เพศ		
ชาย	49	49
หญิง	51	51
รวม	100	100
อายุ		
<15 ปี	1	1
15-30 ปี	91	91
31-45 ปี	5	5
46-60 ปี	2	2
>60 ปี	1	1
รวม	100	100
อาชีพ		
นิสิต/นักศึกษา	87	87
ข้าราชการ/รัฐวิสาหกิจ	1	1
พนักงานเอกชน	8	8
อื่นๆ	4	4
รวม	100	100
ระดับการศึกษา		
ต่ำกว่ามัธยมศึกษา	4	4
มัธยมศึกษา/ปวช.	19	19
ปวส./อนุปริญญา	5	5
ปริญญาตรี	63	63
สูงกว่าปริญญาตรี	9	9
รวม	100	100

ตารางที่ 6 แสดงพฤติกรรมการบริโภคสาหร่ายไก โดยผู้สอบถาม 26 คน (ร้อยละ 26) เคยรับประทานสาหร่ายไก และจำนวน 85 คน (ร้อยละ 85) ที่สนใจจะซื้อบะหมี่สาหร่ายไกอบแห้งเพื่อบริโภค แสดงว่ามีผู้บริโภคที่ไม่เคยรับประทานสาหร่ายไก ได้ให้ความสนใจที่จะซื้อบะหมี่สาหร่ายไกอบแห้งเพื่อบริโภค

ตารางที่ 6 ข้อมูลพฤติกรรมการบริโภคบะหมี่สาหร่ายไกอบแห้ง

รายละเอียด	ความถี่	ร้อยละ
ผู้ตอบแบบสอบถามเคยบริโภคสาหร่ายไก		
เคย	26	26
ไม่เคย	74	74
รวม	100	100
ความสนใจที่จะซื้อบะหมี่สาหร่ายไกอบแห้งเพื่อบริโภค		
สนใจ	85	85
ไม่สนใจ	15	15
รวม	100	100

ตารางที่ 7 แสดงคะแนนความสำคัญของปัจจัยต่างๆ ที่มีผลต่อการบริโภคบะหมี่สาหร่ายไกอบแห้ง โดยปัจจัยที่มีความสำคัญมาก (คะแนนอยู่ในช่วง 7 ถึง 8) ได้แก่ องค์ประกอบทางเคมี/ประโยชน์ต่อสุขภาพ และความปลอดภัยในการบริโภค ส่วนปัจจัยในเรื่องของสี กลิ่น รสชาติ ราคา บรรจุภัณฑ์ ตรายี่ห้อ อายุการเก็บรักษา ส่วนประกอบ และกรรมวิธีการผลิตมีความสำคัญปานกลาง โดยมีคะแนนอยู่ในช่วง 5 ถึง 6

ตารางที่ 7 คะแนนความสำคัญของปัจจัยต่างๆ ที่มีผลต่อการบริโภคบะหมี่สาหร่ายไกอบแห้ง

ลำดับที่	ปัจจัย	คะแนนเฉลี่ย
1	สี	5.87
2	กลิ่น	6.09
3	รสชาติ	6.63
4	ราคา	5.92
5	บรรจุภัณฑ์	5.92
6	ตรายี่ห้อ	6.01
7	องค์ประกอบทางเคมี/ประโยชน์ต่อสุขภาพ	7.20
8	อายุการเก็บรักษา	6.39
9	ส่วนประกอบ	6.67
10	กรรมวิธีการผลิต	6.43
11	ความปลอดภัยในการบริโภค	7.53

หมายเหตุ ความหมายของคะแนนเป็นดังนี้ 9 หมายถึงสำคัญมากที่สุด 5 หมายถึงสำคัญปานกลางและ 1 หมายถึงสำคัญน้อยที่สุด
เป็นคะแนนเฉลี่ยจากผู้ตอบแบบสอบถามจำนวน 100 คน

ตารางที่ 8 แสดงข้อมูลเกี่ยวกับความต้องการของผู้บริโภคและการพัฒนาผลิตภัณฑ์ทางด้านลักษณะบรรจุภัณฑ์ของบะหมี่สาหร่ายไกอบแห้งที่ต้องการ ปริมาณที่เหมาะสมของบะหมี่สาหร่ายไกอบแห้งต่อบรรจุภัณฑ์ 1 หน่วย และราคาที่เหมาะสมของบะหมี่สาหร่ายไกอบแห้งต่อบรรจุภัณฑ์ 1 หน่วย

ตารางที่ 8 ข้อมูลเกี่ยวกับความต้องการของผู้บริโภคและการพัฒนาผลิตภัณฑ์

รายละเอียด	ความถี่	ร้อยละ
ลักษณะบรรจุภัณฑ์ของบะหมี่สาหร่ายไกอบแห้งที่ต้องการ		
ถุงพลาสติกบรรจุแบบธรรมดา	16	17.98
ถุงพลาสติกบรรจุแบบสุญญากาศ	71	79.77
อื่นๆ	2	2.25
รวม	89	100
ปริมาณที่เหมาะสมของบะหมี่สาหร่ายไกอบแห้งต่อบรรจุภัณฑ์ 1 หน่วย		
80 กรัม	10	11.24

ตารางที่ 8 (ต่อ)...

รายละเอียด	ความถี่	ร้อยละ
100 กรัม	32	35.96
200 กรัม	28	31.46
300 กรัม	3	3.37
500 กรัม	12	13.48
อื่นๆ	4	4.49
รวม	89	100
ราคาที่เหมาะสมของบะหมี่สาหร่ายไกอบแห้งต่อบรรจุภัณฑ์ 1 หน่วย		
25 บาท	30	33.71
30 บาท	30	33.71
50 บาท	18	20.22
70 บาท	5	5.62
100 บาท	5	5.62
อื่นๆ	1	1.12
รวม	89	100

ภาพที่ 27 ผลิตภัณฑ์บะหมี่สาหร่ายไกอบแห้ง

วิจารณ์ผลการวิจัย

จากการเพาะเลี้ยงสาหร่ายไกโดยใช้สูตรอาหารต่างกัน พบว่าชุดการทดลองที่ 2 สาหร่ายไกมีผลผลิตโดยน้ำหนักสดสูงที่สุด คือ 1,140 กรัมต่อตารางเมตร (น้ำหนักเปียก) รองลงมา คือ ชุดการทดลองที่ 1 คือ 340 กรัมต่อตารางเมตร (น้ำหนักเปียก) และชุดการทดลองที่ 3 คือ 160 กรัมต่อตารางเมตร (น้ำหนักเปียก) ซึ่งมากกว่างานวิจัยของ ศิริเพ็ญ และคณะ (2549) ที่ทำการเพาะเลี้ยงโดยใช้น้ำทิ้งจากโรงอาหารทั้ง 3 รูปแบบโดยกล่าวว่าผลผลิตสาหร่ายไกในรูปน้ำหนักสด มีค่าอยู่ระหว่าง 118.89-179.99 กรัมต่อตารางเมตร จากงานวิจัยนี้จะเห็นว่าสาหร่ายไกมีมวลชีวภาพสูงอาจเป็นเพราะมีสารอาหารที่เพียงพอต่อความต้องการของสาหร่าย และมีคุณภาพน้ำที่เหมาะต่อการเพาะเลี้ยงสาหร่ายไกจึงทำให้มีการเจริญดี และมีค่าใกล้เคียงกับงานวิจัยของ ทวีศักดิ์ และศิริเพ็ญ (2553) ซึ่งมีมวลชีวภาพ 870-1,705 กรัมต่อตารางเมตร (น้ำหนักเปียก) ซึ่งศิริเพ็ญ และคณะ (2553) กล่าวว่าสาหร่ายไกสามารถเจริญเติบโตได้ในแหล่งน้ำที่มีสารอาหารต่ำมาก (Ultraoligotrophic) จนถึงแหล่งน้ำที่มีสารอาหารสูง (Eutrophic) ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ ศิริเพ็ญ (2555) กล่าวว่ากระแสคลื่นมีส่วนเกี่ยวข้องกับความยาวของเซลล์สาหร่าย *Cladophora* โดยพบว่าสาหร่าย *Cladophora* ที่เจริญอยู่บริเวณชายฝั่งที่มีกระแสคลื่นรุนแรงจะมีความยาวของเซลล์มากกว่าสาหร่าย *Cladophora* ที่เจริญอยู่บริเวณที่มีกระแสคลื่นที่ไม่รุนแรงมากนัก ชี้ให้เห็นว่าปริมาณของแข็งที่แขวนลอยในน้ำที่สูงขึ้นมีผลต่อการลดมวลชีวภาพและทำให้ความยาวเซลล์ของสาหร่าย *Cladophora* ลดลง แต่จะมีผลทำให้ความกว้างของเซลล์สาหร่ายเพิ่มขึ้น และ *Cladophora* ที่เจริญในแหล่งน้ำที่มีปริมาณฟอสฟอรัสสูงจะเพิ่มการกักเก็บฟอสฟอรัสไว้ในเซลล์และทำให้มีอัตราการเจริญเติบโตที่สูงขึ้น โดย *Cladophora* ที่เก็บสะสมฟอสฟอรัสในเซลล์ระหว่าง 1 ถึง 2 ไมโครกรัมต่อมิลลิกรัม จะมีอัตราการเจริญเติบโตจำเพาะระหว่าง 0.01 ถึง 0.25 ต่อวัน

ต้นทุนการผลิตสาหร่ายไก พบว่าชุดการทดลองที่ 1 และชุดการทดลองที่ 2 มีค่าเท่ากับ 49.67 บาทต่อเดือน และชุดการทดลองที่ 3 มีค่าเท่ากับ 120.50 บาทต่อเดือน จะเห็นได้ว่าชุดการทดลองที่ 1 และชุดการทดลองที่ 2 มีต้นทุนการผลิตต่ำกว่าชุดการทดลองที่ 3 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) เมื่อพิจารณาถึงมวลชีวภาพ ชุดการทดลองที่ 2 และชุดการทดลองที่ 1 ก็ให้ผลผลิตมากกว่าชุดการทดลองที่ 3

คุณภาพน้ำระหว่างการเพาะเลี้ยงสาหร่ายไกในทุกชุดการทดลองมีค่าอุณหภูมิอากาศอยู่ในช่วง 27.5-37.5 องศาเซลเซียส อุณหภูมิน้ำอยู่ในช่วง 22.0-28.5 องศาเซลเซียส ค่าความเป็นกรด-เบสอยู่ในช่วง 8.40-9.55 ปริมาณออกซิเจนที่ละลายน้ำอยู่ในช่วง 5.8-9.9 มิลลิกรัมต่อลิตร แอมโมเนียอยู่ในช่วง 0.00-0.15 มิลลิกรัมต่อลิตร ออร์โธฟอสเฟตอยู่ในช่วง 1.72-81.07 มิลลิกรัมต่อลิตร ไนไตรท์อยู่ในช่วง 6.37-10.32 มิลลิกรัมต่อลิตร และไนเตรทอยู่ในช่วง 8.90-191.55 มิลลิกรัมต่อลิตร ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกับ ศรีวรรณ และประเสริฐ (2544) กล่าวว่าจากการศึกษาระบบนิเวศของสาหร่ายไก พบว่าอุณหภูมิของแหล่งน้ำตลอดระยะเวลาการทำวิจัยอยู่ในช่วง 21.1-28.3 องศา

เซลเซียส ค่าความเป็นกรด-เบสมีค่าอยู่ในช่วง 7.53-8.40 ปริมาณออกซิเจนที่ละลายน้ำมีค่าอยู่ในช่วง 7.20-9.20 มิลลิกรัมต่อลิตร แอมโมเนียม-ไนโตรเจนมีค่าอยู่ในช่วง 0.08-1.05 มิลลิกรัมต่อลิตร และไนเตรท-ไนโตรเจนมีค่าอยู่ในช่วง 0.2-1.6 มิลลิกรัมต่อลิตร อาจกล่าวได้ว่าคุณภาพน้ำมีผลต่อการเจริญของสาหร่ายไกได้ และ Khuantrairong and Traichaiyaporn (2012) กล่าวว่าฟอสฟอรัสเป็นปัจจัยหลักที่เกี่ยวข้องกับการเจริญและการผลิตสาหร่ายน้ำจืด *Cladophora* แต่ความเข้มข้นของ phosphorus สูงกว่า (0.01 มิลลิกรัมต่อลิตร) ไม่มีผลต่อการเจริญและการผลิตชีวมวลของสาหร่าย *Cladophora* การผลิตชีวมวลของสาหร่าย *Cladophora* จะขึ้นอยู่กับสิ่งแวดล้อมโดยเฉพาะอุณหภูมิ และความเข้มแสง ซึ่งสอดคล้องกับศิริเพ็ญ (2555) กล่าวว่าการศึกษานิเวศวิทยาของสาหร่าย พบว่ามีหลายปัจจัยที่เป็นตัวควบคุมการเจริญ การผลิตมวลชีวภาพ (biomass production) และสัณฐานวิทยา (morphology) ได้แก่ ความเข้มแสง อุณหภูมิน้ำ ความเป็นกรดด่าง ความเร็วของกระแสน้ำ ปริมาณของแข็งที่แขวนลอยในน้ำ และปริมาณสารอาหาร แต่จากรายงานต่างๆ ที่ผ่านมาพบว่าฟอสฟอรัสเป็นปัจจัยสำคัญที่ควบคุมการเจริญ และผลผลิตเบื้องต้นของสาหร่ายสกุล *Cladophora* ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Raghavan et al. (2008) กล่าวว่าสำหรับการเพาะเลี้ยงสาหร่ายนั้นปัจจัยต่างๆ เช่น ธาตุอาหาร อุณหภูมิ ความเค็ม แสง เป็นต้น มีผลต่อการเจริญและองค์ประกอบทางเคมีของสาหร่าย จากงานวิจัยนี้เป็นการเพาะเลี้ยงในระบบปิด จึงสามารถควบคุมปัจจัยต่างๆ ได้ เช่น การประหยัดน้ำเนื่องจากไม่มีการเปลี่ยนถ่ายน้ำ การปล่อยน้ำทิ้งจากการเพาะเลี้ยงลงสู่แหล่งน้ำ เราสามารถควบคุมได้เนื่องจากการเพาะเลี้ยงของเราไม่ใช้สารเคมีที่เป็นอันตราย และสารอาหารที่เติมลงไปสามารถละลายและถูกดูดซับให้หมดไปโดยสาหร่าย คุณภาพน้ำเมื่อสิ้นสุดการเพาะเลี้ยงจึงสามารถปล่อยลงสู่แหล่งน้ำได้ตามมาตรฐานคุณภาพน้ำ (กรมควบคุมมลพิษ กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม, 2547)

องค์ประกอบทางเคมีของสาหร่ายไกที่เพาะเลี้ยงมีโปรตีน 16.52-32.03 เปอร์เซ็นต์ ไขมัน 0.64-1.82เปอร์เซ็นต์ คาร์โบไฮเดรต 21.69-27.82 เปอร์เซ็นต์ เยื่อใย 21.46-28.42 เปอร์เซ็นต์ และเถ้า 8.43-32.56 เปอร์เซ็นต์ โดยองค์ประกอบทางเคมีทุกปัจจัยของสาหร่ายไกที่เพาะเลี้ยงในแต่ละชุดการทดลองมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) ซึ่งสาหร่ายไกที่เพาะเลี้ยงครั้งนี้พบว่าชุดการทดลองที่ 3 มีโปรตีนสูงถึง 32.03 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งสูงกว่าสาหร่ายไกในธรรมชาติที่มีโปรตีน 19.3 เปอร์เซ็นต์ ยุวดี และคณะ (2548) สูงกว่าของทวีศักดิ์ และศิริเพ็ญ (2553) ซึ่งมีโปรตีน 10.05-17.58 เปอร์เซ็นต์ สูงกว่าของศิริเพ็ญ และคณะ (2553) ที่ทำการเพาะเลี้ยงโดยใช้น้ำทิ้งจากโรงอาหารและน้ำจากบ่อปลาบึก ซึ่งมีโปรตีน 10.05-17.58เปอร์เซ็นต์ และยังสูงกว่าของ (Akkoz et al., 2011) ซึ่งมีโปรตีน 14.13 เปอร์เซ็นต์ แต่ค่าไขมัน และคาร์โบไฮเดรต มีน้อยกว่าสาหร่ายไกในธรรมชาติซึ่งมี 3.12 และ 30.34 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ยุวดี และคณะ (2548) น้อยกว่าของ ทวีศักดิ์ และศิริเพ็ญ (2553) ซึ่งมี 1.82-2.45 และ 42.44-53.96 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ น้อยกว่าของ ศิริเพ็ญ และคณะ (2553) ซึ่งมี 1.84-6.02 และ30.07-49.96 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ และยังน้อยกว่าของ Akkoz *et al.* (2009) ซึ่งมี 2.48 เปอร์เซ็นต์ ดังนั้นจากการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของสาหร่ายไก จะเห็นว่า

มีโปรตีนสูงกว่าสาหร่ายไกในธรรมชาติเนื่องจากอัตราส่วนของไนโตรเจนที่เติมลงไปมีค่าเหมาะสมต่อการเจริญจึงทำให้มีโปรตีนสูง

การทดสอบการยอมรับของผู้บริโภค จากการทดลองโดยใช้ผู้บริโภคจำนวน 100 คน พบว่าการยอมรับของคุณลักษณะต่างๆ ได้แก่ ลักษณะปรากฏ สี กลิ่น และรสชาติ มีความแตกต่างกัน แต่ความนุ่ม ความเหนียว และความชอบรวมของบะหมี่สาหร่ายไกอบแห้งกับบะหมี่ที่จำหน่ายทั่วไปตามท้องตลาด (บะหมี่ยี่ห้อ A) ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$) โดยมีคะแนนการยอมรับของทุกคุณลักษณะอยู่ในช่วงเฉยๆ ถึงชอบเล็กน้อย (5.58-6.99) จากการทดสอบความตั้งใจซื้อของผู้บริโภค โดยใช้แบบสอบถาม (ภาคผนวก ค.) จำนวน 100 คน เป็นเพศหญิงจำนวน 51 คน (ร้อยละ 51) และเพศชายจำนวน 49 คน (ร้อยละ 49) โดยมีช่วงอายุของผู้ตอบแบบสอบถามส่วนใหญ่อยู่ในช่วง 15-30 ปี โดยคิดเป็นร้อยละ 91 ของผู้ตอบแบบสอบถามทั้งหมด พฤติกรรมการบริโภคสาหร่ายไก โดยผู้สอบถาม 26 คน (ร้อยละ 26) เคยรับประทานสาหร่ายไก และจำนวน 85 คน (ร้อยละ 85) ที่สนใจจะซื้อบะหมี่สาหร่ายไกอบแห้งเพื่อบริโภค แสดงว่ามีผู้บริโภคที่ไม่เคยรับประทานสาหร่ายไก ได้ให้ความสนใจที่จะซื้อบะหมี่สาหร่ายไกอบแห้งเพื่อบริโภค จะเห็นได้ว่าการจากทดสอบการยอมรับและความตั้งใจซื้อของผู้บริโภคมีความเป็นไปได้ที่จะพัฒนาผลิตภัณฑ์บะหมี่สาหร่ายไกอบแห้งเพื่อวางจำหน่ายในท้องตลาด เพื่อเป็นทางเลือกให้กับผู้บริโภคมากขึ้น

จากงานวิจัยนี้ทำการเพาะเลี้ยงในระบบปิดจึงสามารถควบคุมสารพิษปนเปื้อนในน้ำที่อาจปนอยู่ในสาหร่ายนั้นได้ เพื่อให้ได้สาหร่ายไกปลอดภัยต่อผู้บริโภค แล้วยังสามารถถ่ายทอดความรู้ให้กับเกษตรกร และผู้ที่สนใจนำไปเพาะเลี้ยงเพื่อประกอบอาชีพได้โดยไม่ต้องรอเก็บสาหร่ายไกจากธรรมชาติ และเป็นข้อมูลพื้นฐานในการเพิ่มมูลค่าทรัพยากรทางน้ำให้เกิดการพัฒนาที่ยั่งยืนต่อไป

บทที่ 5
สรุปและข้อเสนอแนะ

ผลการศึกษาการเปรียบเทียบการเจริญและองค์ประกอบทางเคมีของสาหร่ายไก ในการเพาะเลี้ยงที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม พบว่าสูตรอาหารที่เหมาะสมสำหรับการเพาะเลี้ยงสาหร่ายไกสำหรับการทดลองนี้คือ ชุดการทดลองที่ 2 คือ N : P : K (16 : 16 : 16) 0.002 กรัมต่อลิตร เนื่องจากทำให้สาหร่ายไกมีมวลชีวภาพมากกว่าชุดการทดลองอื่นๆ และมีต้นทุนการผลิตต่ำกว่าชุดการทดลองอื่นๆ

คุณภาพน้ำของสาหร่ายไก พบว่าอุณหภูมิอากาศอยู่ในช่วง 27.5-37.5 องศาเซลเซียส อุณหภูมิน้ำอยู่ในช่วง 22.0-28.5 องศาเซลเซียส ค่าความเป็นกรด-เบสอยู่ในช่วง 8.40-9.55 ปริมาณออกซิเจนที่ละลายน้ำอยู่ในช่วง 5.8-9.9 มิลลิกรัมต่อลิตร แอมโมเนียอยู่ในช่วง 0.00-0.15 มิลลิกรัมต่อลิตร ออร์โธฟอสเฟต อยู่ในช่วง 1.72-81.07 มิลลิกรัมต่อลิตร ไนไตรท์อยู่ในช่วง 6.37-10.32 มิลลิกรัมต่อลิตร และไนเตรทอยู่ในช่วง 8.90-191.55 มิลลิกรัมต่อลิตร ซึ่งอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานของการเพาะเลี้ยงสาหร่ายทั่วไป

การทดสอบการยอมรับของผู้บริโภค จากการทดลองโดยใช้ผู้บริโภคจำนวน 100 คน พบว่าการยอมรับของคุณลักษณะต่างๆ ได้แก่ ลักษณะปรากฏ สี กลิ่น และรสชาติ มีความแตกต่างกัน แต่ความนุ่ม ความเหนียว และความชอบรวม ของบะหมี่สาหร่ายไกอบแห้งกับบะหมี่ที่จำหน่ายทั่วไปตามท้องตลาด (บะหมี่ยี่ห้อ A) ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$) โดยมีคะแนนการยอมรับของทุกคุณลักษณะอยู่ในช่วงเฉยๆ ถึงชอบเล็กน้อย (5.58-6.99) จากการทดสอบความตั้งใจซื้อของผู้บริโภค โดยใช้แบบสอบถาม จำนวน 100 คน เป็นเพศหญิงจำนวน 51 คน (ร้อยละ 51) และเพศชายจำนวน 49 คน (ร้อยละ 49) โดยมีช่วงอายุของผู้ตอบแบบสอบถามส่วนใหญ่อยู่ในช่วง 15-30 ปี โดยคิดเป็นร้อยละ 91 ของผู้ตอบแบบสอบถามทั้งหมด พฤติกรรมการบริโภคสาหร่ายไกโดยผู้สอบถาม 26 คน (ร้อยละ 26) เคยรับประทานสาหร่ายไก และจำนวน 85 คน (ร้อยละ 85) ที่สนใจจะซื้อบะหมี่สาหร่ายไกอบแห้งเพื่อบริโภค แสดงว่ามีผู้บริโภคที่ไม่เคยรับประทานสาหร่ายไกได้ให้ความสนใจที่จะซื้อบะหมี่สาหร่ายไกอบแห้งเพื่อบริโภค คะแนนความสำคัญของปัจจัยต่างๆ ที่มีผลต่อการบริโภคบะหมี่สาหร่ายไกอบแห้ง โดยปัจจัยที่มีความสำคัญมาก (คะแนนอยู่ในช่วง 7 ถึง 8) ได้แก่ องค์ประกอบทางเคมี/ประโยชน์ต่อสุขภาพ และความปลอดภัยในการบริโภค ส่วนปัจจัยในเรื่องของสี กลิ่น รสชาติ ราคา บรรจุภัณฑ์ ตรายี่ห้อ อายุการเก็บรักษา ส่วนประกอบ และกรรมวิธีการผลิตมีความสำคัญปานกลาง โดยมีคะแนนอยู่ในช่วง 5 ถึง 6

ข้อเสนอแนะ

1. บ่อซีเมนต์ที่ใช้เพาะเลี้ยงสาหร่ายไก ควรมีความกว้างประมาณ 1 เมตร และควรเลือกขนาดของปั๊มน้ำให้เหมาะสมกับขนาดและความกว้างของบ่อ เพื่อให้การไหลเวียนของกระแสน้ำภายในบ่อเพาะเลี้ยงมีความเร็วสม่ำเสมอ

2. การใส่หัวเชื้อสาหร่ายไก ควรใช้อย่างน้อย 10 เปอร์เซ็นต์ของพื้นที่ตาข่าย จะทำให้สาหร่ายมีระยะพักตัว (lag phase) สั้น และสามารถเจริญเติบโตได้เร็ว

3. ระหว่างการเพาะเลี้ยงควรจะเก็บเกี่ยวผลผลิตสาหร่ายไกสัปดาห์ละครั้ง และเหลือหัวเชื้อสาหร่ายไกไว้ปริมาณหนึ่ง จะทำให้สาหร่ายเจริญเติบโตได้ดี และช่วยลดการบังแสงกันเองของสาหร่ายและเป็นการช่วยให้อัตราการไหลของน้ำมีค่าคงที่ตามที่ต้องการ

บรรณานุกรม

กรมควบคุมมลพิษ กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม. 2547. **มาตรฐานคุณภาพน้ำ**. [ระบบออนไลน์]. แหล่งที่มา http://www.pcd.go.th/info_serv/reg_std_water04.html (11 มกราคม 2560).

กลุ่มอนุรักษ์ความหลากหลายทางชีวภาพและสิ่งแวดล้อม. 2554. **สาหร่ายไก**. [ระบบออนไลน์]. แหล่งที่มา http://siamensis.org/node/5873 (11 มกราคม 2560).

จริยาวดี สุริยพันธุ์. 2557. บทบาทของธาตุอาหารที่มีผลต่อการเจริญเติบโตของแพลงก์ตอนพืช ในบ่อเลี้ยงกุ้งทะเลแบบพัฒนา. **วารสารวิทยาศาสตร์บูรพา**, 19(2), 227-236.

ชรินรัตน์ อุดเมืองคำ. 2552. **การพัฒนาผลิตภัณฑ์เยลลี่จากสาหร่ายไก**. สารนิพนธ์ปริญญาโท. มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ, กรุงเทพฯ.

ชุติมา ศรีมะเริง, สัณหภาส สุดวิลัย, พรพรรณ วิวิธนาภรณ์, มนัสพร พัสระ และ วรนุช ฉัตรสุทธิพงษ์. 2556. **ผลการออกฤทธิ์ของสารสกัดสาหร่ายไก (*Cladophora glomerata*) ต่อการทำงานของโปรตีนขนส่งสารอินทรีย์ประจุลบและบวกในท่อไตในหนูที่ถูกเหนี่ยวนำด้วยอาหารไขมันสูงให้มีภาวะเบาหวานชนิดที่ 2**. [รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์], เชียงใหม่: สกว.

ดวงพร อมรเลิศพิศาล, เกรียงศักดิ์ เม่งอำพัน และ ชุติมา ศรีมะเริง. 2556. **การเพิ่มมูลค่าปลาหนังลูกผสมด้วยอาหารเสริมสาหร่ายไก**. [รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์], เชียงใหม่: มหาวิทยาลัยแม่โจ้.

ดวงพร อมรเลิศพิศาล, เมธัส เงินจันทร์, เกรียงศักดิ์ เม่งอำพัน และ รัตนาภรณ์ จันทร์ทิพย์. 2558. สารสำคัญและการป้องกันภาวะออกซิเดชันของสาหร่ายไกในปลาหนังลูกผสม. **วิจัยและพัฒนา มจธ.**, 38(4), 393-405.

ทวีศักดิ์ ขวัญไตรรงค์ และ ศิริเพ็ญ ตรัยไชยาพร. 2553. ประสิทธิภาพการผลิตคาโรทินอยด์และคุณค่าทางโภชนาการของสาหร่ายไก (*Cladophora* sp.) เพื่อประโยชน์ทางเศรษฐกิจ (I). **วารสารวิจัยเทคโนโลยีการประมง**, 4(1), 54-64.

นิวุฒิ หวังชัย. 2549. **เอกสารประกอบการสอนวิชา พล 331 โภชนศาสตร์สัตว์น้ำ**. เชียงใหม่: คณะเทคโนโลยีการประมงและทรัพยากรทางน้ำ มหาวิทยาลัยแม่โจ้.

ปริญญา มูลสิน. 2559. ความหลากหลายของสาหร่ายขนาดใหญ่และคุณภาพน้ำบางประการในอ่างเก็บน้ำห้วยถ้ำแข้ อำเภอตระการพืชผล จังหวัดอุบลราชธานี. **วารสารวิจัยและพัฒนา มจธ.**, 39(1), 37-50.

ปรีดา ภูมี. 2555. **อาหารและการให้อาหารสัตว์น้ำ**. [ระบบออนไลน์]. แหล่งที่มา http://fishtech.rmutsv.ac.th/fishtech3/Fishtech_SAR55/4.0.3/FISHTECH%204.0.3-02(3).pdf (9 มิถุนายน 2560).

โพสต์ทูเดย์. 2559. **น่านเจอสารเคมีปนเปื้อนเกินค่ามาตรฐาน**. [ระบบออนไลน์]. แหล่งที่มา http://www.posttoday.com/local/north/442692 (1กุมภาพันธ์ 2560).

ภูมิปัญญาไทย. 2556. **ไก(สาหร่ายน้ำจืด).** [ระบบออนไลน์]. แหล่งที่มา http://www.otoptoday.com/wisdom/8583 (11 มกราคม 2560).

ยุวดี พีรพรพิศาล. 2560. **สาหร่ายไก ความรู้ทั่วไปและการแปรรูปอาหาร**. กรุงเทพฯ: สกว.

ยุวดี พีรพรพิศาล. 2548. **สาหร่ายน้ำจืดในภาคเหนือของประเทศไทย**. เชียงใหม่: โชตนาพริ้นท์.

---. 2549. **สาหร่ายวิทยา (Phycology)**. เชียงใหม่: ภาควิชาชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.

ยุวดี พีรพรพิศาล, ดวงพร อมรเลิศพิศาล, ดวงตา กาญจนโพธิ์, ธวัช แต้โสตถิกุล, ญาณี พงษ์ไพบูลย์ และ สุดาพร ตงศิริ. (2552). **ศักยภาพสาหร่ายน้ำจืดขนาดใหญ่ในการเป็นผลิตภัณฑ์เสริมอาหารและเวชสำอาง.** [รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์], เชียงใหม่: สกว.

ยุวดี พีรพรพิศาล, สนิท มกรแก้วเกยูร, อิศรพงษ์ พงษ์ศิริกุล, อร่าม คุ้มกลาง, นัดจุฑามณ์ เลิศลีลากิจจา, บัณฑิต บุญสินไชย, สมชัย อวเกียรติ, สุนทรี เปรื่องการ, กัญญา สุจริตวงศานนท์, ดวงตา กาญจนโพธิ์, ไชยยง รุจนจเวท, ศรีสุลักษณ์ ธีรานุพัฒนา, กนกพร แสนเพชร, จีรพร เพกเกาะ, ดวงพร อมรเลิศพิศาล, โฉมยง ไชยอุบล, สุดาพร ตงศิริ, คมสัน เรืองฤทธิ์ & ลภัสรดา มุ่งหมาย. (2548). **โครงการศักยภาพของสาหร่ายน้ำจืดขนาดใหญ่ในการนำมาทำเป็นอาหารและยา**. [รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์], เชียงใหม่. สกว.

ศรีวรรณ ไชยสุข และ ประเสริฐ ไวยะกา. 2544. **การศึกษาระบบนิเวศของไก**. [รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์] เชียงราย: สกว.

ศิริเพ็ญ ตรัยไชยาพร. 2555. **สาหร่ายไก: มรดกทางธรรมชาติ และการเพาะเลี้ยงแบบยั่งยืน**. เชียงใหม่: ภาควิชาชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.

ศิริเพ็ญ ตรัยไชยาพร, บุญสม สราเอกศิริ และ จงกล พรมยะ. 2549. **การเพาะเลี้ยงสาหร่ายสีเขียวสกุล *Cladophora* (ไก) เพื่อเป็นอาหารปลาบึก**. [รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์], เชียงใหม่: มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.

---. (2553). **การเพาะเลี้ยงสาหร่ายสกุล *Cladophora* (ไก) เพื่อเป็นอาหารปลาบึก (ระยะ 2)**. [รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์], เชียงใหม่: สกว.

สมจิต อ่อนเหม, กัญญา สุจริตวงศานนท์, ช่อลัดดา เที่ยงพุก และ ยุวดี พีรพรพิศาล. 2548. การพัฒนาผลิตภัณฑ์ข้าวเม่าหมี่ : ข้าวเม่าหมี่สาหร่ายไก. **วารสารอาหาร,** 35(3).

อุดมลักษณ์ สมพงษ์. 2557. **เอกสารประกอบการสอนวิชา ชป 363 นิเวศวิทยาแหล่งน้ำ**. เชียงใหม่: สาขาการประมง คณะเทคโนโลยีการประมงและทรัพยากรทางน้ำ มหาวิทยาลัยแม่โจ้.

AOAC. 2000. **Offical Methods of Analysis**. U.S.A.: The Association of Offical Analytical Chemist, Gaithersburg.

Akkoz, C., Arslan D., Unver, A., Ozcan, M.M. & Yilmaz, B. 2011. Chemical composition, total phenolic and mineral contents of *Enteromorpha intestinalis (L.)* kutz. and *Cladophora glomerata (L.)* kutz. Seaweeds. **Journal of Food Biochemistry***,* 35(513-523.

Dodds, W. K. & Gudder, D. A. 1992. The ecology of *cladophora*. **Journal of Phycology***,* 28(4)*,* 415-427.

Elisa R. Parodi & Eduardo J. Caceres. 1993. Life history of freshwater populations of *Rhizoclonium hieroglyphicum* (Cladophorales, Chlorophyta). **European Journal of Phycology***,* 28(1)*,* 69-74.

Krisna Dewi, A.P.W., Nursyam, H. & Hariati, A.M. 2014. Response of fermented *Cladophora* containing diet on growth performances and feed efficiency of Tilapia (*Oreochromis* sp.). **International Journal of Agronomy and Agricultural Research (IJAAR)***,* 5(6)*,* 78-85.

Lapatrada Mungmai, Supat Jiranusornkul, Yuwadee Peerapornpisal, Busabun Sirithunyalug & Pimporn Leelapornpisid. 2014. Extraction, Characterization and Biological Activities of Extracts from Freshwater Macroalga [*Rhizoclonium hieroglyphicum* (C.Agardh) K tzing] Cultivated in Northern Thailand. **Chiang Mai J. Sci.***,* 41(1)*,* 14-26.

Oh, H.-M., Lee, S. J., Jang, M.-H. & Yoon, B.-D. 2000. Microcystin Production by Microcystis aeruginosa in a Phosphorus-Limited Chemostat. **Applied and Environmental Microbiology***,* 66(1)*,* 176-179.

Raghavan, G., Haridevi, C.K. & Gopinathan, C.P. 2008. Growth and Proximate composition of the *Chaetoceros calcitrans* f. *pumilus* under different temperature, salinity and carbon dioxide levels. **Aquaculture Research***,* 39(1053-1058.

Ratiphan Laungsuwon & Warawut Chulalaksananukul. 2013. Antioxidant and

anticancer activities of freshwater green algae, *Cladophora glomerata* and *Microspora floccosa*, from Nan River in northern Thailand. **Maejo International Journal of Science and Technology**, 70(2), 181-188.

---. 2014. Chemical composition and antibacterial activity of extracts from freshwater green algae, *Cladophora glomerata* Kutzing and *Microspora floccosa* (Vaucher) Thuret. **J. BioSci. Biotech.**, 3(3), 211-218.

Sunda, W. G., Price, N. M. & Morel, F. M. M. (2005). Trace metal ion buffers and their use in culture studies. In R. A. Andersen. (Ed.), **Algal Culturing Techniques** (pp. 35-63). Amsterdam: Elsevier Academic Press.

Taweesak Khuantrairong & Siripen Traichaiyaporn. 2012. Enhancement of carotenoid and chlorophyll content of an edible freshwater alga (Kai: *Cladophora* sp.) by supplementary inorganic phosphate and investigation of its biomass production. **Maejo International Journal of Science and Technology**, 6(01), 1-11.

Yoshii, Y., Hanyuda, T., Wakana, I., Miyaji, K., Arai, S., Ueda, K. & Inouye, I. 2004. Carotenoid Compositions of *Cladophora* balls (*Aegagropila linnaei*) and some members of the cladophorales (Ulvophyceae, Chlorophyta): Their taxonomic and evolutionary implication. **Journal of Phycology**, 40(6), 1170-1177.

MAEJO UNIVERSITY

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก

วิธีวิเคราะห์คุณภาพน้ำ

1. ค่าความเป็นกรด – เบส (pH)

วิธีการ

1. เทตัวอย่างน้ำลง Beaker
2. ล้างปลาย Electrode ของเครื่องวัด pH ด้วยน้ำกลั่นแล้วซับด้วยกระดาษชำระให้แห้ง
3. จุ่มปลาย Electrode ของเครื่องวัด pH ลงในน้ำตัวอย่าง
4. กดปุ่มคำว่า pH (ค่าที่ได้จะรอจนกว่าตัวเลขนิ่ง)
5. วัดเสร็จให้ล้างด้วยน้ำกลั่น และซับด้วยกระดาษ (เพื่อรอวัดตัวอย่างถัดไป)

2. ปริมาณออกซิเจนละลายน้ำ (Dissolved Oxygen; DO) : วิเคราะห์โดย Winkler's method แบบ Azide modification

อุปกรณ์

1. ขวด BOD
2. อุปกรณ์ในการไตเตรต
3. อุปกรณ์เครื่องแก้ว

สารเคมี

1. สารละลาย $MnSO_4$

ละลาย $MnSO_4.4H_2O$ 480 g หรือ $MnSO_4.2H_2O$ 400 g หรือ $MnSO_4.H_2O$ 364 g ในน้ำกลั่น และปรับปริมาตรให้ได้ 1000 ml

2. สารละลาย Alkali - iodide – azide reagent (AIA)

- สำหรับน้ำตัวอย่างที่มี DO อยู่ในปริมาณที่จุดอิ่มตัว หรือต่ำกว่าความเข้มอิ่มตัว (แหล่งน้ำทั่วไป)

ละลาย NaOH 500 g (หรือ KOH 700 g) + NaI 135 g (หรือ KI 150 g) ในน้ำกลั่น 250 mL เติม NaN_3 10 g ซึ่งละลายแล้วในน้ำกลั่น 40 mL แล้วปรับปริมาตรให้เป็น 1,000 mL

- สำหรับน้ำตัวอย่างที่มี DO อยู่ในปริมาณที่มากกว่าจุดอิ่มตัว (แหล่งน้ำที่มีสาหร่ายแพลงก์ตอนพืช หรือพืชน้ำเจริญอยู่ปริมาณมาก แล้วมีแสงแดดจัด)

ละลาย NaN_3 10 g ในน้ำกลั่น 500 ml แล้วเติม NaOH 480 g และ NaI 750 g ลงไปคนจนละลาย (สารละลายที่ได้จะมีสีขาวขุ่นของโซเดียมคาร์บอเนต)

3. กรดซัลฟูริก (H_2SO_4) เข้มข้น
4. น้ำแป้ง (Starch solution)

ละลายผงแป้ง (starch) 2 g และ salicylic acid 0.2 g (ใช้เป็นสารกันบูด) ในน้ำกลั่นที่ร้อน 100 mL

5. สารละลาย Sodium thiosulfate ($Na_2S_2O_3.5H_2O$) 0.025 N

ละลาย $Na_2S_2O_3.5H_2O$ 6.205 g ในน้ำกลั่นที่ต้มให้เดือดแล้วทำให้เย็นใหม่ๆ เติม NaOH 0.4 g (หรือเติม 6N NaOH 1.5 ml) จากนั้นปรับปริมาตรให้ได้ 1000 ml

วิธีการ

1. เก็บน้ำตัวอย่างในขวด BOD เติมสารละลาย $MnSO_4$ และ Alkali – iodide – azide regent (AIA) อย่างละ 1 mL โดยให้ปลายปิเปตจุ่มใต้ผิวน้ำ ปิดจุกคว่ำขึ้นลงตั้งทิ้งให้ตกตะกอน

2. เติมกรด H_2SO_4 เข้มข้น 1- 2 mL ปิดจุก คว่ำขึ้นลงจนตะกอนละลาย

3. ตวงสารละลายมา 100 mL ไตเตรตกับสารละลาย $Na_2S_2O_3.5H_2O$ 0.025 N จนสีของสารละลายจางลง จากนั้นเติมน้ำแป้ง 2 – 3 หยด สีสารละลายจะเปลี่ยนเป็นสีฟ้าหรือน้ำเงิน แล้วไตเตรทต่อจนสารละลายกลายเป็นสีใส

4. จดปริมาตรละลาย $Na_2S_2O_3.5H_2O$ 0.025 N ที่ใช้ไป

คำนวณปริมาณออกซิเจนละลายน้ำ = ปริมาตร $Na_2S_2O_3.5H_2O$ 0.025 N ที่ใช้ไป X 2

3. แอมโมเนีย ไนโตรเจน (Ammonia nitrogen; NH_3-N) วิเคราะห์โดย Phenate method

แอมโมเนีย ในแหล่งน้ำที่เกิดขึ้นเนื่องจากการย่อยสลายซองสารอินทรีย์ที่มีไนโตรเจน เป็นองค์ประกอบสำคัญ เช่น โปรตีน และจากการขับถ่ายของเสียของสัตว์น้ำ แอมโมเนียในแหล่งน้ำจะปรากฏอยู่ 2 รูปแบบ คือ NH_3 ที่ไม่แตกตัว (un-ionized ammonia) และ NH_4^+ (ionized ammonia) โดยแอมโมเนียในรูป NH_3 จะเป็นพิษต่อสัตว์น้ำ หากมีปริมาณที่เข้มข้น เช่น การระคายเคืองของเหงือก การหายใจ การขับถ่ายของเสีย pH ในเลือดสูง เป็นต้น ซึ่งสัดส่วนระหว่าง NH_3 กับ NH_4^+ จะเปลี่ยนแปลงตามความเป็นกรด-เบส (pH) และอุณหภูมิของแหล่งน้ำ กล่าวคือ แอมโมเนียในรูป NH_3 จะเพิ่มขึ้นเมื่อค่า pH และอุณหภูมิของแหล่งน้ำสูงขึ้นตาม (อุดมลักษณ์, 2557)

สารเคมี

1. Oxidizing solution

เตรียมสารโซเดียมไฮโปคลอไรด์ (5%) หรือ ใช้น้ำยาฟอกสี เช่น ไฮเตอร์, คลอรอกซ์ ที่มีคลอรีนประมาณ 5% ปริมาตร 10 ml ผสมกับน้ำกลั่น 40 ml ปรับความเป็นกรด-เบสของสารละลายให้อยู่ระหว่าง 6.5-7.0 ด้วยกรดเกลือ (HCl) สารละลายนี้ควรเตรียมใหม่สัปดาห์

2. Rochelle salt solution

ละลาย Rochelle salt (Potassium sodium tartrate) จำนวน 50 g ในน้ำกลั่น 100 ml ต้ม 30 นาที ทิ้งให้เย็น แล้วจึงเติม Manganous sulphate ($MnSO_4$) 50 mg เติมน้ำกลั่นที่ปราศจากแอมโมเนียให้ได้ปริมาตรครบ 100 ml

3. Phenate solution

ละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) 2.5 g และ ฟีนอล (Phenol) 10 g ในน้ำกลั่นที่ปราศจากแอมโมเนียให้ได้ปริมาตรครบ 100 ml สารละลายนี้ควรเตรียมใหม่ทุกสัปดาห์

4. Standard Ammonium chloride solution

ชั่ง NH_4Cl ที่อบแห้ง 3.819 g ละลายในน้ำกลั่นที่ปราศจากแอมโมเนียให้ได้ปริมาตร 1,000 ml จะได้สารละลายแอมโมเนียมาตรฐานที่มีความเข้มข้น 1,000 mg/l จากนั้นดูดสารละลายมาจำนวน 5 ml เจือจางด้วยน้ำกลั่น 500 ml จะได้สารละลายแอมโมเนียมาตรฐาน ที่มีความเข้มข้น

10 mg/l จากนั้น ดูดสารละลาย 15 ml เจือจางด้วยน้ำกลั่น 500 ml จะได้สารละลายแอมโมเนียมาตรฐานที่มีความเข้มข้น 0.3 mg/l (ใช้เป็น Standard Ammonium chloride solution)

วิธีการ

1. ดูดน้ำตัวอย่างที่กรองด้วยกระดาษกรอง จำนวน 10 ml. ลงในขวดรูปชมพู่
2. ขณะเขย่าน้ำตัวอย่างในขวดรูปชมพู่ ให้เติมสารละลาย
   - Rochelle salt solution 1 หยด
   - Oxidizing solution 0.5 ml
   - Phenate solution 0.6 ml
3. ตั้งไว้อย่างน้อย 15 นาที เพื่อให้สารละลายทำปฏิกิริยาเต็มที่
4. นำไปวัดค่าการดูดซับแสงด้วยเครื่อง Spectrophotometer ที่คลื่น 630 นาโนเมตร (nm)
5. คำนวณค่าความเข้มข้นแอมโมเนียโดยเปรียบเทียบกับสารละลายแอมโมเนียมาตรฐานที่เตรียมไว้ คือ เตรียม Reagent blank โดยใช้น้ำกลั่น และ Standard solution โดยใช้ Standard Ammonia chloride (0.3 mg/l) อย่างละ 10 ml แทนตัวอย่างน้ำและเติมสารละลายใน ข้อ 2.

คำนวณปริมาณ Total ammonia – nitrogen ด้วยสมการ

$$C2 = \frac{C1\ A2}{A\ 1}$$

เมื่อ C1 = ความเข้มข้นของ Total ammonia - nitrogen ใน Standard solution (0.3 mg/l)

C2 = ความเข้มข้นของ Total ammonia-nitrogen ในน้ำตัวอย่าง (Sample)

A1 = ค่า Absorbance ของ Standard solution

A2 = ค่า Absorbance ของ Sample

4. ไนไตรท์ ไนโตรเจน (Nitrite nitrogen; NO_2-N) วิเคราะห์โดย Reddish purple azo dye method

ไนไตรท์ (Nitrite) เป็นสารประกอบไนโตรเจนรูปแบบหนึ่ง โดยเกิดกึ่งกลางระหว่างการเปลี่ยนแปลงแอมโมเนียเป็นไนเตรท (Nitrification) และไนเตรทเปลี่ยนกลับเป็นแอมโมเนีย (Denitrification) ถ้าน้ำมีปริมาณออกซิเจนเพียงพอไนไตรท์จะออกซิไดส์ (Oxidation) ไปเป็นไนเตรท ได้รวดเร็ว แต่ถ้าน้ำขาดออกซิเจน พวกจุลินทรีย์จะรีดิวซ์ (Reduced) ไนเตรทไปเป็นไนไตรท์ทำให้เป็นพิษต่อสัตว์น้ำ ไนไตรท์ทำให้ฮีโมโกบินในเลือดปลามีประสิทธิภาพรับออกซิเจนน้อยลง ความเป็นพิษของไนไตรท์ต่อปลาและสัตว์น้ำจะแตกต่างกันไปตามชนิดของปลาและสัตว์น้ำ แต่มักเกิดในปริมาณต่ำ (อุดมลักษณ์, 2557)

สารเคมี

1. Diazotizing Reagent

ชั่งสาร Sulfanilamine 5 g ละลายในสารละลายกรดเกลือ โดยใช้กรดเกลือ (HCl) เข้มข้น ปริมาตร 50 ml ละลายในน้ำกลั่น 300 ml แล้วปรับปริมาตรให้ได้ 500 ml

2. Coupling Reagent

ชั่งสาร N - (1-napthyl) – ethylenediamine - dihydrochloride 0.500 g ละลายในน้ำกลั่น 500 ml เก็บในขวดสีชา เตรียมสารละลายใหม่ทุกเดือน หรือเมื่อสารละลายเป็นสีน้ำตาล

3. Standard Nitrite Solution

เตรียมสารละลาย Sodium nitrite ($NaNO_2$) 0.4925 g ละลายในน้ำกลั่น 1,000 ml (ได้สารละลายความเข้มข้น 100 mg/l NO_2-N) ดูดสารละลาย Standard Nitrite Solution 10 ml (ความเข้มข้น 100 mg/l NO_2-N) เจือจางด้วยน้ำกลั่นให้ได้ปริมาตร 1,000 ml (สารละลายมีความเข้มข้น 1.0 mg/l NO_2-N) ใช้สารละลาย NO_2-N ที่มีความเข้มข้น 1.0 mg/l เป็น Standard Nitrite Solution เจือจางสารละลายในการทำกราฟมาตรฐานต่อไป

วิธีการ

1. ตวงน้ำตัวอย่างที่ผ่านการกรองด้วยกระดาษกรอง 50 ml ลงใน Beaker ขนาด 100 ml
2. เติมสารละลาย Diazotizing Reagent 1 ml เขย่าให้เข้ากันทิ้งไว้ 2-4 นาที (อย่าเกิน)
3. เติมสารละลาย Coupling Reagent 1 ml เขย่าให้เข้ากันทิ้งไว้อย่างน้อย 10 นาที แต่ไม่เกิน 2 ชั่วโมง
4. นำไปวัดค่าการดูดซับแสงด้วยเครื่อง Spectrophotometer ที่ช่วงคลื่น 543 นาโนเมตร (nm)
5. คำนวณค่าความเข้มข้นไนไตรท์ ไนโตรเจน (NO_2-N) จากกราฟมาตรฐาน
6. แปลงค่าความเข้มข้น ไนไตรท์ ไนโตรเจน (NO_2-N) ให้เป็นไนไตรท์ (mg/l) โดยคูณด้วย 3.28

5. ไนเตรท ไนโตรเจน (Nitrate nitrogen; NO_3-N) วิเคราะห์โดย Hydrazine

ไนเตรท (Nitrate) เป็นสารประกอบของไนโตรเจน ที่พบมากที่สุดในลำธาร และทะเลสาบ ซึ่งจะพบในปริมาณมากหรือน้อย ขึ้นกับลักษณะ และวิธีการใช้ที่ดินในทางการเกษตรบริเวณแหล่งต้นน้ำ เนื่องจากไนเตรทเป็นสารประกอบที่สามารถถูกชะล้างได้ง่าย เมื่อมีการไหลผ่านของน้ำบนพื้นดิน ดังนั้นปริมาณไนเตรทจะลงสู่แหล่งน้ำมากขึ้น เมื่อมีการพังทลายของดินมาก ปริมาณของไนเตรทสามารถใช้เป็นตัวชี้ถึงระดับความสมบูรณ์ของแหล่งน้ำได้ ไนเตรทโดยปกติจะมีความเป็นพิษต่อสัตว์น้ำน้อย เมื่อเทียบกับไนไตรท์และแอมโมเนีย นอกจากนี้ไนเตรทยังมีประโยชน์ต่อพืช ในการดูดซึมไปใช้ในขบวนการสร้างโปรตีนอีกด้วย (อุดมลักษณ์, 2557)

สารเคมี

1. Diazotizing Reagent

ชั่งสาร Sulfanilamine 5 g ละลายในสารละลายกรดเกลือ โดยใช้กรดเกลือ (HCl) เข้มข้น ปริมาตร 50 ml ละลายในน้ำกลั่น 300 ml แล้วปรับปริมาตรให้ได้ 500 ml

2. Coupling Reagent

ชั่งสาร N - (1-napthyl) – ethylenediamine - dihydrochloride 0.500 g ละลายในน้ำกลั่น 500 ml เก็บในขวดสีชา เตรียมสารละลายใหม่ทุกเดือน หรือเมื่อสารละลายเป็นสีน้ำตาล

3. Phenol solution

ชั่ง Phenol จำนวน 4.6 g ละลายในน้ำกลั่น แล้วปรับปริมาตรให้ได้ 100 ml.

4. Sodium hydroxide solution

ชั่ง Sodium hydroxide จำนวน 1.45 g ละลายในน้ำกลั่น แล้วปรับปริมาตรให้ได้ 100 ml.

5. Copper sulfate solution

ชั่ง $CuSO_4.5H_2O$ จำนวน 0.0156 g ละลายในน้ำกลั่น แล้วปรับปริมาตรให้ได้ 100 ml.

6. Hydrazine sulfate solution

ชั่ง Hydrazine sulfate 0.725 g ละลายในน้ำกลั่น แล้วปรับปริมาตรให้ได้ 100 ml.

7. สารละลายผสมชนิดที่ 1

ผสมสารละลายข้อ 3 และข้อ4 อย่างละเท่าๆ กัน

8. สารละลายผสมชนิดที่ 2

ผสมสารละลายข้อ 5 และข้อ6 อย่างละเท่าๆ กัน

วิธีการ

1. ตวงน้ำตัวอย่างที่ผ่านการกรองด้วยกระดาษกรอง 10 ml ลงในขวดรูปชมพู่
2. เติมสารละลายผสมชนิดที่1 0.5 ml. ตามด้วยสารละลายผสมชนิดที่2 0.25 ml.
3. ปิดปากขวดรูปชมพู่ด้วยจุกยาง/ฝา หรือปิดด้วยparafilm แล้วเขย่าให้เข้ากันทิ้งไว้อย่างน้อย 10 นาที แต่ไม่เกิน 2 ชั่วโมง
4. นำไปอบในที่มืดอุณหภูมิ 30 องศาเซลลเซียส เป็นเวลา 15-20 ชั่วโมง (แต่ไม่เกิน 20 ชั่วโมง)
5. เติม Acetone 0.4 ml. เขย่าให้เข้ากันตั้งทิ้งไว้ 2 นาที
6. เติมสารละลาย Diazotizing Reagent 0.2 ml เขย่าให้เข้ากันตั้งทิ้งไว้ 2 นาที แต่ไม่เกิน 8 นาที
7. เติมสารละลาย Coupling Reagent 0.2 ml เขย่าให้เข้ากันตั้งทิ้งไว้อย่างน้อย 10 นาที แต่ไม่เกิน 2 ชั่วโมง
8. นำไปวัดด้วยเครื่อง Spectrophotometer ที่ช่วงคลื่น 543 นาโนเมตร (nm)

9. นำค่าการดูดซับแสงที่ได้ไปหาความเข้มข้นของไนไตรท ไนโตรเจน (NO_3-N) จากกราฟมาตรฐาน

10. แปลงค่าความเข้มข้น ไนไตรท ไนโตรเจน (NO_3-N) ให้เป็นไนไตรท (mg/l) โดยคูณด้วย 4.43

6. ออร์โธฟอสเฟต ฟอสฟอรัส (Orthophosphate phosphorus; PO_4-P) วิเคราะห์โดย Stannous chloride

สารเคมี

1. Ammonia Molybdate Solution

เตรียมสารละลาย Ammonia Molybdate $(NH_4)_6$ $MO_7.4H_2O$ จำนวน 5 g ละลายในน้ำกลั่น 35 ml นำสารละลายดังกล่าว เติมลงในสารละลายกรด H_2SO_4 (ละลายกรด H_2SO_4 56 ml ลงในน้ำกลั่น 80 ml) แล้วเติมน้ำกลั่นให้ได้ปริมาตรครบ 200 ml

2. Stannous Chloride Solution

เตรียมสารละลาย Stannous Chloride ($SnCl_22H_2O$) จำนวน 2.5 g ละลายใน Glycerol ในปริมาตร 100 ml โดยใช้อ่างน้ำร้อน (Water bath) ในการทำละลายสาร

3. Standard Phosphate Solution

เตรียมสารละลาย KH_2PO_4 จำนวน 0.2195 g ละลายในน้ำกลั่น 1,000 ml (ได้สารละลายเข้มข้น 50 mg/l PO_4-P) ดูดสารละลาย Standard Phosphate Solution ที่ได้มาจำนวน 50 ml เจือจางด้วยน้ำกลั่นให้ปริมาตรครบ 500 ml (ได้สารละลายเข้มข้น 5 mg/l PO_4-P) เพื่อใช้ในการเตรียมกราฟมาตรฐาน

วิธีการ

1. ดูดน้ำตัวอย่างที่ผ่านการกรองด้วยกระดาษกรอง 25 ml ลงใน Beaker ขนาด 100 ml

2. เติมสารละลาย Ammonia Molybdate Solution จำนวน 1 ml เขย่าให้เข้ากัน

3. เติมสารละลาย Stannous Chloride Solution จำนวน 5 หยด เขย่าให้เข้ากันทิ้งไว้ 10 นาที แต่ไม่เกิน 12 นาที

4. นำไปวัดค่าการดูดซับแสงด้วยเครื่อง Spectrophotometer ที่คลื่น 690 นาโนเมตร (nm)

5. คำนวณค่าความเข้มข้นฟอสฟอรัส (Phosphorus) จากกราฟมาตรฐาน

6. ทำการแปลงค่าความเข้มข้นออร์โธฟอสเฟต ฟอสฟอรัส (PO_4-P) ให้เป็นออร์โธฟอสเฟต (mg/l) โดยคูณด้วย 3.06

ภาคผนวก ข

วิธีวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี

1. การวิเคราะห์โปรตีน

การวิเคราะห์หาระดับโปรตีนในอาหาร ทำได้โดยการวิเคราะห์หาไนโตรเจนที่อยู่ในสารอาหารนั้นๆ เนื่องจากไนโตรเจนในสารอาหารส่วนใหญ่จะอยู่ในรูปของโปรตีน ซึ่งปกติในโปรตีนจะมีปริมาณไนโตรเจนอยู่ 16 เปอร์เซ็นต์ ดังนั้นเมื่อทราบปริมาณไนโตรเจนที่ได้จะต้องคูณด้วย 6.25 จึงจะได้ค่าเปอร์เซ็นต์โปรตีนของอาหารที่นำมาวิเคราะห์ วิธีวิเคราะห์หาปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดทำได้โดยการเปลี่ยนไนโตรเจนที่มีอยู่ในสารอาหารให้กลายเป็น $(NH_4)_2SO_4$ โดยนำตัวอย่างอาหารไปย่อยใน H_2SO_4 เข้มข้น จากนั้นเติมสารละลาย NaOH เข้มข้น เพื่อให้ไนโตรเจนไปอยู่ในรูป NH_3 แล้วนำมากลั่นเพื่อให้เกิดก๊าซ NH_3 ระเหยแยกออกมา โดยทำการจับก๊าซ NH_3 จุดนี้ด้วยสารละลาย H_2SO_4 ในปริมาณที่แน่นอนพร้อม indicator จากนั้นนำสารละลายที่ได้มา titrate ด้วยสารละลาย NaOH ที่ทำให้เป็นกลางด้วยปริมาณของที่ได้จากไนโตรเจนในอาหาร จากนั้นคำนวณหาปริมาณของไนโตรเจนได้ (นิวุฒิ, 2549)

วิธีวิเคราะห์โปรตีนแบบคเจล ดาหล์ (Kjeldahl method) เป็นการวิเคราะห์โปรตีนในอาหารโดยการวิเคราะห์ หาปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดที่มีอยู่ในตัวอย่าง วิธีนี้พัฒนาโดย Dane Johan Kjeldahl เป็นชาว เดนมาร์ก ในช่วงปีค.ศ.1800 เป็นวิธีที่ใช้วัดปริมาณโปรตีนอย่างแพร่หลาย ได้รับการยอมรับว่ามีความแม่นยำ สามารถใช้ได้กับอาหารหลากหลายชนิด รวมทั้งอาหารสัตว์ หลักการ Kjeldahl method การย่อยสลายโปรตีน ซึ่งประกอบด้วยกรดอะมิโน (amino acid) ที่มีไนโตรเจนเป็นองค์ประกอบ การย่อยสลายโปรตีนจะเปลี่ยน Organic–N เป็นแอมโมเนีย และปล่อยไนโตรเจนออกมาในรูปของnitrogen(NH_3-N) (ปรีดา, 2555)

หลักการ Kjeldahl method การย่อยสลายโปรตีน ซึ่งประกอบด้วยกรดอะมิโน (amino acid) ที่มีไนโตรเจน เป็นองค์ประกอบ การย่อยสลายโปรตีนจะเปลี่ยน Organic–N เป็นแอมโมเนีย และปล่อยไนโตรเจนออกมาในรูปของnitrogen(NH_3-N) (ปรีดา, 2555)

การวิเคราะห์หาโปรตีนด้วยวิธี Kjeldahl ประกอบด้วย 4 ขั้นตอนหลักคือ

1. การย่อยตัวอย่าง (Digestion) ด้วยกรดซัลฟูริกเข้มข้น ไนโตรเจนในตัวอย่างจะเปลี่ยนเป็นแอมโมเนียมซัลเฟต $(NH_4)_2SO_4$ ภายใต้สภาวะอุณหภูมิสูงโดยมีสารเร่งปฏิกิริยา เช่น $CuSO_4$, Se, $HgSO_4$, HgO หรือ $FeSO_4$

2. การกลั่นแอมโมเนีย (Distillation) โดยใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์มาทำปฏิกิริยากับเกลือแอมโมเนียมซัลเฟตที่ได้จากการย่อยตัวอย่างแล้วจะได้ก๊าซแอมโมเนียซึ่งจับก๊าซนี้ได้ด้วยสารละลายบอริค

3. การไตเตรตเพื่อหาปริมาณไนโตรเจน (Titration) เป็นการนำสารละลายกรดบอริค ซึ่งจับก๊าซแอมโมเนียไว้มาไตเตรต กับสารละลายมาตรฐานกรดเกลือ (Hydrochloric acid; HCl)

4. การคำนวณ นำปริมาณสารละลายมาตรฐานกรดเกลือ ที่ใช้ในการไตเตรตไปคำนวณหาปริมาณไนโตรเจน แล้วคูณกับ Kjeldahl factor ซึ่งค่าเฉลี่ยของไนโตรเจนในโปรตีน 16 เปอร์เซ็นต์ ได้เป็นค่าโปรตีนหยาบ (crude protein; CP) (ปรีดา, 2555)

สารเคมี

1. สารเร่งปฏิกิริยา Sodium sulfate : copper sulfate อัตรา 20:1 หรือ Potassium sulfate : copper sulfate อัตรา 15:1

2. screened methyl red indicator ละลาย methyl red 0.2 กรัม และ methylene blue 0.1 กรัมใน ethanol 96 เปอร์เซ็นต์ 100ml.

3. NaOH (45 เปอร์เซ็นต์)

4. H_2SO_4 เข้มข้น

5. H_2SO_4 มาตรฐาน (0.1N)

6. NaOH มาตรฐาน (0.1N)

7. ลูกแก้ว

8. ตัวอย่างอาหาร

อุปกรณ์และเครื่องมือ

1. เครื่องทำความร้อน
2. เครื่องกลั่น
3. Kjeldahl flask ขนาด 800 ml.
4. ขวดรูปชมพู่ ขนาด 250 ml.
5. กระบอกตวง ขนาด 100 และ 500 ml.
6. ปิเปต ขนาด 25 และ 50 ml.
7. บิวเรต
8. เครื่องชั่ง
9. กระบอกฉีดพร้อมน้ำกลั่น
10. กระดาษกรอง

วิธีการ

1. ทำการชั่งตัวอย่างอาหารบนกระดาษกรอง (โดยตัวอย่างอาหารที่มีระดับโปรตีนสูงใช้ 0.5-1 กรัม และระดับโปรตีนต่ำใช้ 1-2 กรัม) แล้วห่ออาหารด้วยกระดาษกรองและพับใส่ Kjeldahl flask แล้วเติมสารเร่งปฏิกิริยาประมาณ 2-3 ช้อน และลูกแก้ว 2 ลูก แล้วเติม H_2SO_4 เข้มข้น จำนวน 25 มิลลิลิตรเขย่าให้เข้ากัน(โดยต้องทำblankพร้อมกันไปด้วย)

2. ทำการย่อยตัวอย่างอาหารโดยนำ Kjeldahl flask ไปวางต่อกับเครื่องทำความร้อน เปิดเครื่องดูดอากาศของ hootให้ความร้อนน้อยๆ ก่อนจนลูกแก้วหยุดกระเด็นจึงให้ความร้อนเต็มที่ ระหว่างการย่อยให้หมุน Kjeldahl flask เป็นครั้งคราว ทำการย่อยจนสารละลายมีสีเขียวใส

3. ปิดเครื่องทำความร้อน จากนั้นปล่อยทิ้งไว้ให้ Kjeldahl flask เย็น (หากบริเวณคอ Kjeldahl flask มีสีดำๆ เกาะติดอยู่ ให้ใช้น้ำกลั่นล้างลงไปแล้วย่อยต่อจนใสทิ้งไว้ให้เย็น) จากนั้นเติมน้ำกลั่นลงไป 500 มิลลิลิตร

4. เตรียมสารละลาย H_2SO_4 มาตรฐาน (0.1 N) จำนวน 50 มิลลิลิตร ในขวดรูปชมพู่ขนาด 250 มิลลิลิตร แล้วเติม Screened methyl red indicator 4 หยด นำมาต่อเข้ากับปลายเครื่องกลั่นโดยให้ปลายของท่อกลั่นจุ่มในสารละลาย เปิดน้ำผ่านเครื่องควบแน่นของเครื่องกลั่น

5. นำ Kjeldahl flask ที่ย่อยแล้วมาเติมสารละลาย NaOH (เข้มข้น 45 เปอร์เซ็นต์) จำนวน 80 มิลลิลิตร โดยเติมลงไปช้าๆ แล้วนำไปต่อเข้ากับเครื่องกลั่นทันที เขย่าเป็นรูปวงกลมให้สารละลายเข้ากัน

6. เปิดเครื่องทำความร้อนของเครื่องกลั่นจนแอมโมเนียถูกกลั่นออกมาประมาณ 150 มิลลิลิตรในขวดรูปชมพู่ จากนั้นเลื่อนขวดรูปชมพู่ออกจากปลายเครื่องกลั่น โดยให้ปลายท่ออยู่เหนือสารละลายใช้น้ำกลั่นล้างปลายท่อ จากนั้นนำขวดรูปชมพู่ออก แล้วใส่ขวดรูปชมพู่ที่มีน้ำกลั่น 200 มิลลิลิตร ลงไปแทน (เพื่อให้เครื่องกลั่นดูดทำความสะอาดเอง) ปิดเครื่องทำความร้อนเฉพาะเตา

7. นำสารละลายที่ได้ (สีไวน์แดง) มาไตเตรทกับสารละลาย NaOH (มาตรฐาน 0.1 N) จนสารละลายเป็นสีเขียวใส

8. การคำนวณ

NaOH จำนวน 1 ml. มาตรฐาน 0.1 N ทำปฏิกิริยาได้พอดีกับไนโตรเจน 0.014 กรัม

$$\text{เปอร์เซ็นต์ไนโตรเจน} = \frac{(\text{ข} - \text{ก}) \times 0.014 \times \text{ค} \times 100}{\text{ต}}$$

เมื่อ ก=มิลลิลิตรของ NaOH มาตรฐานที่ใช้ในการไตเตรทสารละลายจากตัวอย่าง

ข=มิลลิลิตรของNaOH มาตรฐานที่ใช้ในการไตเตรทสารละลายจากBlank

ค=ความเข้มข้นของสารละลาย NaOH มาตรฐานที่ใช้

ต=น้ำหนักตัวอย่างอาหารที่ใช้ในการวิเคราะห์

ดังนั้น เปอร์เซ็นต์ crude protein = เปอร์เซ็นต์ไนโตรเจน x 6.25

2. การวิเคราะห์ไขมัน

การวิเคราะห์หาไขมัน (crude fat) สามารถทำได้ด้วยการสกัดตัวอย่างอาหาร โดยใช้ตัวทำละลายไขมันที่เป็นสารละลายประเภท organic solvent ตัวใดตัวหนึ่งเช่น petroleum ether, hexane, dichloromethane และ benzene เป็นต้น โดยใช้ชุดอุปกรณ์ที่เรียกว่า soxhlet extract ต่อเข้ากับระบบเครื่องทำความร้อนและเครื่องควบแน่น (condenser)แต่ต้องเปิดระบบน้ำทิ้งไว้เพื่อช่วยให้เกิดการควบแน่นซึ่งอุปกรณ์ครบชุดทั้งหมดนี้เรียกว่า extraction apparatus โดยส่วนของสัตว์ที่สามารถละลายได้ในตัวทำละลายได้แก่ fat, oils และwaxesส่วนในพืช carotene, chlorophyll และ sterol (นิวุฒิ, 2549)

สารเคมี

1. petroleumether หรือ hexane หรือ dichloromethane

อุปกรณ์และเครื่องมือ

1. ชุดเครื่องมือ extractionapparatus
2. ขวดก้นแบน
3. thimble
4. ตู้อบ
5. โถอบแห้ง

6. สำลี
7. คีม
8. ถุงมือ
9. ตัวอย่างอาหาร

วิธีการ

1. นำขวดก้นแบนไปอบในตู้อบที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส เพื่อให้ได้น้ำหนักที่แน่นอน เป็นเวลา 2 ชั่วโมง แล้วนำขวดก้นแบนที่อบแล้วมาวางทิ้งไว้ให้เย็นในโถอบแห้ง ชั่งน้ำหนักและจดบันทึกไว้

2. ทำการชั่งน้ำหนักตัวอย่างอาหารประมาณ 2 กรัม บนกระดาษกรองและจดบันทึกน้ำหนัก ทำการห่อตัวอย่างด้วยกระดาษกรองแล้วใส่ลงใน thimble แล้วปิดด้วนสำลีบางๆ thimble ไปใส่ใน soxhlet และต่อ soxhlet เข้ากับเครื่องควบแน่น

3. เติม petroleum ether หรือ hexane หรือ dichloromethane โดยเลือกใช้ตัวใดตัวหนึ่ง เติมลงขวดก้นแบนประมาณ 2 ใน 3 ของขวดนำมาต่อเข้ากับ soxhlet และเครื่องให้ความร้อน

4. เปิดระบบน้ำให้ผ่านเครื่องควบแน่น และเปิดเครื่องให้ความร้อน ใช้ความร้อนประมาณ 20-30 องศาเซลเซียสจากนั้นทำการสกัดเป็นเวลานาน 8 ชั่วโมง

5. ทำการถ่ายสารละลายออกจาก soxhlet โดยให้เหลือสารละลายอยู่ในขวดก้นแบนให้น้อยที่สุดและถอด soxhlet ออกจากขวดก้นแบนและเครื่องควบแน่น วางขวดก้นแบนไว้บนแผ่นความร้อนจนเกือบแห้งสนิท

6. นำขวดก้นแบนมาอบให้แห้งในตู้อบที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 4 ชั่วโมง นำขวดก้นแบนที่อบเรียบร้อยแล้วมาวางทิ้งไว้ให้เย็นในโถอบแห้ง ทำการชั่งน้ำหนักและจดบันทึกไว้

7. การคำนวณ

$$\text{เปอร์เซ็นต์ไขมัน} = \frac{(\text{ข} - \text{ก}) \times 100}{\text{ค}}$$

เมื่อ ก=น้ำหนักขวดก้นแบน
ข=น้ำหนักขวดก้นแบนหลังสกัดไขมันและหลังอบแห้ง
ค=น้ำหนักตัวอย่างอาหาร

3. การวิเคราะห์เยื่อใย

การวิเคราะห์หาเยื่อใยของวัตถุดิบ สามารถทำได้โดยการต้มตัวอย่างด้วยกรดซัลฟูริก (H_2SO_4) ที่ความเข้มข้น 1.25 เปอร์เซ็นต์ เป็นเวลา 30 นาที เมื่อต้มตัวอย่างเรียบร้อยแล้วให้นำตัวอย่างไปกรองจนแห้งสนิท จากนั้นนำกากตัวอย่างที่ได้มาต้มอีกครั้งด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) ที่ความเข้ม 1.25 เปอร์เซ็นต์ เป็นเวลา 30 นาที นำตัวอย่างมากรองอีกครั้งแล้วนำกากที่ได้ไปอบแห้ง ที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส แล้วทำการชั่งน้ำหนักของตัวอย่าง จากนั้นนำไปเผาใน

เตาเผา ที่อุณหภูมิ 550-600 องศาเซลเซียส แล้วทำการชั่งน้ำหนักส่วนที่เหลือ ซึ่งน้ำหนักที่ได้นี้จะนำไปคำนวณหาเปอร์เซ็นต์เยื่อใย โดนส่วนที่หายไปนั้นคือเยื่อใยหยาบ (crude fiber) ซึ่งประกอบด้วย hemicellulose, cellulose และ lignin (นิวุฒิ, 2549)

สารเคมี

1. กรด H_2SO_4 (เข้มข้น 1.25 เปอร์เซ็นต์)
2. ด่าง NaOH (เข้มข้น 1.25 เปอร์เซ็นต์)
3. acetone หรือ แอลกอฮอล์
4. antifoam

อุปกรณ์

1. เครื่องให้ความร้อนและเครื่องควบแน่น (condenser)
2. ถ้วยแก้วกรอง
3. ตู้อบ
4. เตาเผา
5. โถอบแห้ง
6. คีม
7. เครื่องต้มน้ำพร้อมอุปกรณ์
8. กระบอกฉีด
9. เครื่องชั่งไฟฟ้า
10. ตัวอย่างอาหาร (ที่ผ่านการสกัดไขมันออกแล้ว)

วิธีการ

1. นำถ้วยแก้วกรองไปอบในตู้ที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส เพื่อให้ได้น้ำหนักของถ้วยแก้วกรองที่แน่นอนเป็นเวลา 2 ชั่วโมงแล้วนำมาวางให้เย็นในโถอบแห้ง

2. ทำการชั่งน้ำหนักถ้วยแก้วกรองโดยจดบันทึกไว้ (ทศนิยม 4 ตำแหน่ง) นำตัวอย่างอาหารที่วิเคราะห์ใส่ลงในถ้วยแก้วกรองชั่งน้ำหนักจดบันทึกไว้ (ทศนิยม 4 ตำแหน่ง)

3. นำถ้วยแก้วกรองไปต่อเข้ากับเครื่องให้ความร้อนและเครื่องควบแน่น (condenser) แล้วจึงเติมกรด H_2SO_4 (เข้มข้น 1.25 เปอร์เซ็นต์) จำนวน 150 มิลลิลิตร ลงในท่อcondenser เปิดน้ำให้ไหลผ่านเครื่องควบแน่น แล้วทำการเปิดเครื่อง ทำการต้มตัวอย่างด้วยกรด H_2SO_4 (เข้มข้น 1.25 เปอร์เซ็นต์) เป็นเวลา 30 นาที (โดยทำการจับเวลาขณะที่สารละลายเดือด) เติม antifoam 3-5 หยด (เพื่อป้องกันการเกิดฟอง)

4. กรองสารละลายออกโดยกดที่ปุ่ม vacuum ด้านข้างพร้อมปรับปุ่มไปที่ vacuum ตรงด้านล่างถ้วยแก้วกรองจนสารละลายแห้งสนิท จากนั้นใช้น้ำร้อนที่เตรียมไว้ล้างลงไปประมาณ 3 ครั้ง (จนกรดหมด) แล้วจึงทำการปิดที่ปุ่ม vacuum ด้านข้างพร้อมปรับปุ่ม vacuum ไปที่ closes

5. เติมด่าง NaOH (เข้มข้น 1.25 เปอร์เซ็นต์) จำนวน 150 มิลลิลิตร ลงในท่อ condenser ทำการต้มตัวอย่างด้วยด่าง NaOH (เข้มข้น 1.2 เปอร์เซ็นต์) เป็นเวลา 30 นาที (โดยทำการจับเวลาขณะที่สารละลายเดือด) เติมantifoam 3-5 หยด (เพื่อป้องกันการเกิดฟอง)

6. กรองสารละลายออกโดยกดไปที่ปุ่ม vacuum ด้านข้างพร้อมปรับปุ่มไปที่ vacuum ตรงด้านล่างถ้วยแก้วกรองจนสารละลายแห้งสนิท จากนั้นใช้น้ำร้อนที่เตรียมไว้ล้างลงไปประมาณ 3 ครั้ง (จนด่างหมด) และล้างด้วยน้ำเย็น 1 ครั้ง แล้วใช้แอลกอฮอล์หรืออะซิโตนล้างออกอีก 1 ครั้ง เพื่อไล่น้ำออกไปจากนั้นปิดที่ปุ่ม vacuum ไปที่closes

7. นำถ้วยแก้วกรองออกจากเครื่องกรองโดยปรับคันโยก (ระวังอย่าให้ถ้วยแก้วกรองหล่นโดยการใช้แผ่นเหล็กบังก่อน) จากนั้นใช้คีมจับออกมานำไปอบในตู้อบที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง นำออกมาวางทิ้งไว้ให้เย็นในโถอบแห้ง ชั่งน้ำหนักและจดบันทึกไว้

8. จากนั้นนำไปเผาตอในเตาเผาที่อุณหภูมิ 550-600 องศาเซลเซียส นาน 2 ชั่วโมง นำออกมาทิ้งไว้ให้เย็นในกระเบื้องเคลือบก่อนแล้วเก็บไว้ในโถอบแห้งจนเย็น ชั่งน้ำหนัก (ทศนิยม 4 ตำแหน่ง) และจดบันทึกไว้

9. การคำนวณ

$$\text{เปอร์เซ็นต์เยื่อใย} = \frac{(\text{ก} - \text{ข}) \times 100}{\text{ค}}$$

เมื่อ ก=น้ำหนักถ้วยแก้วกรอง+กากหลังอบ
ข=น้ำหนักถ้วยแก้วกรอง+กากหลังอบและหลังเผา
ค = น้ำหนักตัวอย่าง

4. การวิเคราะห์เถ้า

เถ้า (ash) หมายถึง ปริมาณสารอนินทรีย์ที่มีอยู่ในอาหาร หลังจากที่เผาผลาญสารอินทรีย์หมดแล้ว ในการวิเคราะห์มักใช้ความร้อนในการเผาผลาญสารอินทรีย์ ดังนั้น ค่าเถ้า(ash)ที่ได้จึงไม่จำเป็นต้องเท่ากับปริมาณสารเกลือแร่ทั้งหมดที่อยู่ในอาหารในตอนแรก สารอนินทรีย์หรือเกลือแร่บางส่วนจะสูญเสียไปโดยการระเหยเพราะความร้อนที่ใช้ในการเผานั่นเอง ค่าเถ้า(ash)ที่ได้จึงเป็นตัวบ่งชี้ถึงคุณภาพของสารอาหารนั้นๆ (นิวุฒิ, 2549)

อุปกรณ์และเครื่องมือ

1. ถ้วยกระเบื้อง (dishcrucible) หรือ foil
2. โถอบแห้ง (desicator)
3. เตาเผา (muffle furnace)
4. แผ่นความร้อน (hot plate)
5. ตู้ควัน (fumecupboard)
6. คีม (tong)
7. เครื่องชั่งไฟฟ้า (analyticalbalance)

8. ช้อนตักสาร
9. ตัวอย่างอาหาร

วิธีการ

1. ทำเครื่องหมายบนถ้วยกระเบื้องที่จะใส่ตัวอย่าง โดยอาจเขียนหมายเลขกำกับไว้ตามลำดับของตัวอย่างอาหาร นำตัวอย่างอาหารไปเผาในเตาเผาอุณหภูมิ 550-600 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที

2. นำถ้วยกระเบื้องที่เผาเรียบร้อยแล้วออกจากเตาเผา ตั้งทิ้งไว้สักครู่บนแผ่นกระเบื้องเคลือบ แล้วนำไปตั้งให้เย็นในโถอบแห้ง จากนั้นนำไปชั่งน้ำหนักและจดบันทึกไว้

3. ตักตัวอย่างอาหารใส่ในถ้วยกระเบื้องประมาณ 1-2 กรัม ทำการชั่งน้ำหนักและจดบันทึก

4. นำถ้วยกระเบื้องพร้อมตัวอย่างไปเผาบนแผ่นความร้อนในตู้ควันจนกระทั่งหมดควัน

5. นำถ้วยกระเบื้องพร้อมตัวอย่างไปเผาต่อในเตาเผาที่มีอุณหภูมิ550-600 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2ชั่วโมง จนเถ้าสีขาว นำถ้วยกระเบื้องที่เผาเรียบร้อยแล้วออกมาตั้งทิ้งไว้สักครู่บนแผ่นกระเบื้องเคลือบแล้ว แล้วนำไปตั้งทิ้งไว้ให้เย็นในโถอบแห้ง เสร็จแล้วนำไปชั่งน้ำหนักและจดบันทึกไว้

**หมายเหตุ หากเถ้ายังไม่ขาว (แสดงว่ายังมีคาร์บอนเหลืออยู่)ให้นำถ้วยกระเบื้องมาตั้งทิ้งไว้ให้เย็นบนแผ่นกระเบื้องเคลือบ แล้วหยดสารละลายแอมโมเนียมคาร์บอเนต 4-5หยด เพื่อให้เถ้าเกิดความชื้นจากนั้นนำไปประเหยให้แห้งบนแผ่นความร้อน แล้วนำไปเผาต่อจนได้เถ้าสีขาว

$$\text{คำนวณหาเปอร์เซ็นเถ้าทั้งหมด} = \frac{(\text{ก} - \text{ข}) \times 100}{\text{ค}}$$

เมื่อ ก=น้ำหนักถ้วยกระเบื้องรวมตัวอย่างหลังเผา
ข=น้ำหนักถ้วยกระเบื้องหลังเผา
ค= น้ำหนักตัวอย่างที่นำมาวิเคราะห์

5. การวิเคราะห์ความชื้น

ในการวิเคราะห์ทางเคมีของอาหารซึ่งสิ่งแรกที่ต้องทราบ คือความชื้นที่มีอยู่วัสดุอาหาร ดังนั้นการหาความชื้นในอาหารจึงเป็นสิ่งจำเป็นอย่างยิ่ง เพื่อหาค่าตัวอย่างเปียกแล้วนำค่าที่ได้ไปคำนวณกลับ การวิเคราะห์หาความชื้นของตัวอย่างอาหารทำได้หลายวิธี โดยวิธีวิเคราะห์ที่ง่ายที่สุดคือการทำให้แห้ง ซึ่งเป็นวิธีที่ใช้คำนวณหาปริมาณน้ำที่สูญเสียไปหลังจากที่ทำให้วัสดุแห้งแล้ว แต่ข้อเสียคือ วิธีนี้จะเป็นการยากที่จะทำให้ตัวอย่างอาหารแห้งสนิท โดยขณะทำให้แห้งอาจทำให้สารอาหารบางชนิดในตัวอย่างสูญสลายไปด้วย รวมถึงสารอื่นๆที่สามารถระเหยได้ นอกจากน้ำก็จะสูญเสียไปด้วย (นิวุฒิ, 2549)

อุปกรณ์และเครื่องมือ

1. เตาอบแห้ง (drying oven)
2. จานอลูมิเนียม (aluminium dish)
3. โถอบแห้ง (desicator)

4. คีม (tong)
5. เครื่องชั่งไฟฟ้า (analytical balance)
6. ช้อนตักสาร
7. ตัวอย่างอาหาร

วิธีการ

1. นำขวดชั่งไปอบจนได้น้ำหนักที่แน่นอน แล้วนำเอามาชั่งน้ำหนัก และจดน้ำหนัก
2. ตักตัวอย่างอาหารใส่ขวดชั่ง ประมาณ2-3 กรัม ทำการชั่งน้ำหนักแล้วจดน้ำหนัก
3. นำขวดชั่งที่บรรจุอาหารไปอบในตู้ที่มีอุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส เป็นเวลา2ชั่วโมง ในระหว่างอบจะต้องเปิดฝาขวดชั่ง
4. นำขวดชั่งออกจากตู้อบ แล้วนำไปใส่โถอบแห้งทิ้งไว้ให้เย็น ปิดฝาขวดชั่งแล้วนำไปชั่งและจดน้ำหนักไว้
5. คำนวณหาเปอร์เซ็นต์ความชื้น = $\frac{(ก - ข) \times 100}{ค}$

เมื่อ ก=น้ำหนักขวดชั่งรวมตัวอย่างก่อนอบแห้ง
ข=น้ำหนักขวดตัวอย่างหลังอบแห้งจนได้น้ำหนักที่แน่นอน
ค=น้ำหนักตัวอย่างที่นำมาวิเคราะห์

6. การหาเปอร์เซ็นต์คาร์โบไฮเดรต

การคำนวณ

เปอร์เซ็นต์ คาร์โบไฮเดรต = 100 – ช – ถ – ป – ข – ย

เมื่อ ช=เปอร์เซ็นต์ความชื้นของตัวอย่าง
ถ=เปอร์เซ็นต์เถ้าของตัวอย่าง
ป=เปอร์เซ็นต์โปรตีนของตัวอย่าง
ข=เปอร์เซ็นต์ไขมันของตัวอย่าง
ย = เปอร์เซ็นต์เยื่อใยของตัวอย่าง

ภาคผนวก ค

แบบทดสอบความชอบ

แบบทดสอบทางประสาทสัมผัส

ผลิตภัณฑ์บะหมี่สาหร่ายไกอบแห้ง

ผู้ทดสอบ.. วันที่ทดสอบ...............................

คำแนะนำ : กรุณาชิมตัวอย่างแต่ละรหัสแล้วให้คะแนนตามลักษณะต่างๆ ที่กำหนดให้ แล้วให้คะแนนความชอบตรงตามความรู้สึก โดยให้คะแนนระดับความชอบดังนี้

เกณฑ์การให้คะแนน

1= ไม่ชอบมากที่สุด 2= ไม่ชอบมาก 3= ไม่ชอบปานกลาง

4= ไม่ชอบเล็กน้อย 5= เฉยๆ 6= ชอบเล็กน้อย

7= ชอบปานกลาง 8. ชอบมาก 9. ชอบมากที่สุด

คุณลักษณะ	**รหัสตัวอย่าง**	
ลักษณะปรากฏ		
สี		
กลิ่น		
รสชาติ		
ความนุ่ม		
ความเหนียว		
ความชอบรวม		

ข้อเสนอแนะ..
....
....
....
....
....

แบบสอบถามความต้องการของผู้บริโภค

เรียน ท่านผู้ตอบแบบสอบถาม

แบบสอบถามนี้เป็นการสำรวจความต้องการของผู้บริโภคที่มีต่อ “ผลิตภัณฑ์บะหมี่สาหร่ายไกอบแห้ง” เพื่อใช้ประกอบในการทำงานวิจัยบางส่วนของ นางสาวธัญญาลักษณ์ มาลา สาขาวิชาเทคโนโลยีการประมงและทรัพยากรทางน้ำ คณะเทคโนโลยีการประมงและทรัพยากรทางน้ำ มหาวิทยาลัยแม่โจ้ ซึ่งทางผู้ศึกษาใคร่ขอความกรุณาและขอความร่วมมือจากท่านในการตอบแบบสอบถามให้สมบูรณ์

โดยแบบสอบถามจะแบ่งออกเป็น 2 ตอนคือ

ตอนที่ 1 ข้อมูลทั่วไปของผู้ตอบแบบสอบถาม
ตอนที่ 2 ข้อมูลเกี่ยวกับการพัฒนา “ผลิตภัณฑ์บะหมี่สาหร่ายไกอบแห้ง”

คำชี้แจง : กรุณากรอกข้อมูลลงในแบบสอบถามโดยทำเครื่องหมาย √ หน้าข้อที่ตรงกับท่านมากที่สุด

ตอนที่ 1 ข้อมูลทั่วไปของผู้ตอบแบบสอบถาม

1. เพศ [ ] ชาย [ ] หญิง

2. อายุ [ ] ต่ำกว่า 15 ปี [ ] 15-30 ปี [ ] 31-45 ปี

[ ] 46-60 ปี [ ] มากกว่า 60 ปี

3. อาชีพ [ ] นักเรียน [ ] นิสิต/นักศึกษา [ ] ข้าราชการ/รัฐวิสาหกิจ [ ] พนักงานเอกชน [ ] ค้าขาย/ธุรกิจส่วนตัว [ ] อื่นๆ ระบุ.............

4. ระดับการศึกษาสูงสุด

[ ] ต่ำกว่ามัธยมศึกษา [ ] มัธยมศึกษา/ปวช. [ ] ปวส./อนุปริญญา

[ ] ปริญญาตรี [ ] สูงกว่าปริญญาตรี

5. รายได้เฉลี่ยต่อเดือน

[ ] น้อยกว่า 5,000 บาท [ ] 20,001-30,000 บาท

[ ] 5,000-10,000 บาท [ ] มากกว่า 30,000 บาท

[ ] 10,001-20,000 บาท

ตอนที่ 2 ข้อมูลเกี่ยวกับการพัฒนา "ผลิตภัณฑ์บะหมี่สาหร่ายไกอบแห้ง"

1. ท่านรู้จักสาหร่ายไกหรือไม่ [ ] รู้จัก [ ] ไม่รู้จัก

2. ท่านเคยกินสาหร่ายไกหรือไม่ [ ] เคย [ ] ไม่เคย (ถ้าไม่เคยให้ข้ามไปตอบข้อ 4)

3. อาหารจากสาหร่ายไกที่ท่านเคยรับประทาน (สามารถตอบได้มากกว่า 1 ข้อ)

[ ] ห่อนึ่งไก [ ] ไกยี [ ] ยำไก

[ ] สาหร่ายไกแผ่น [ ] ข้าวเกรียบสาหร่ายไก [ ] ข้าวแต๋นหน้าสาหร่ายไก

[ ] อื่นๆ (โปรดระบุ)..................................

4. สาเหตุที่ท่านไม่เคยบริโภคสาหร่ายไกเนื่องจาก (สามารถตอบได้มากกว่า 1 ข้อ)

[ ] มีกลิ่นคาว [ ] ไม่มีขายตามท้องตลาดทั่วไป [ ] มีสีไม่สวย

[ ] แหล่งที่มาไม่ปลอดภัย [ ] อื่นๆ (โปรดระบุ)......................

5. ถ้าหากว่ามีผลิตภัณฑ์บะหมี่สาหร่ายไกอบแห้งมาวางจำหน่าย ท่านสนใจที่จะซื้อผลิตภัณฑ์ไปทดลองรับประทานหรือไม่

[ ] สนใจ [ ] ไม่สนใจ (ถ้าไม่สนใจให้หยุดการตอบแบบสอบถามเพียงเท่านี้)

6. กรุณาให้คะแนนความสำคัญของปัจจัยที่มีผลต่อการบริโภคผลิตภัณฑ์บะหมี่สาหร่ายไกอบแห้งของท่าน โดยให้ระดับความสำคัญ 1-9 ดังนี้ 1 = สำคัญน้อยที่สุด 5 = สำคัญปานกลาง และ 9 = สำคัญมากที่สุด โดยทำเครื่องหมาย √ ในช่องที่ตรงกับความต้องการของท่าน

ที่	ปัจจัย	ระดับความสำคัญ								
		1 น้อยที่สุด	2	3	4	5 ปานกลาง	6	7	8	9 มากที่สุด
1	สี									
2	กลิ่น									
3	รสชาติ									
4	ราคา									
5	บรรจุภัณฑ์									
6	ตรายี่ห้อ									
7	องค์ประกอบทางเคมี/ประโยชน์ต่อสุขภาพ									
8	อายุการเก็บรักษา									
9	ส่วนประกอบ									
10	กรรมวิธีการผลิต									
11	ความปลอดภัยในการบริโภค									

7. ลักษณะของบรรจุภัณฑ์ที่เหมาะสมสำหรับผลิตภัณฑ์บะหมี่สาหร่ายไกอบแห้ง

[ ] ถุงพลาสติกบรรจุแบบธรรมดา [ ] ถุงพลาสติกบรรจุแบบสุญญากาศ

[ ] อื่นๆ (โปรดระบุ)..................................

8. ขนาดบรรจุที่เหมาะสมต่อบรรจุภัณฑ์ 1 หน่วย

[ ] 80 กรัม [ ] 100 กรัม [ ] 200 กรัม

[ ] 300 กรัม [ ] 500 กรัม [ ] อื่นๆ (โปรดระบุ)..............

9. ราคาที่เหมาะสมต่อบรรจุภัณฑ์ 1 หน่วย

[ ] 25 บาท [ ] 30 บาท [ ] 50 บาท

[ ] 70 บาท [ ] 100 บาท [ ] อื่นๆ (โปรดระบุ)...............

ข้อเสนอแนะ...
....
....
....
....

ประวัติผู้วิจัย

ชื่อ	นางสาวธัญญาลักษณ์ มาลา	
เกิดเมื่อ	4 มกราคม 2535	
ประวัติการศึกษา	พ.ศ. 2558	ปริญญาตรี วิทยาศาสตรบัณฑิตการประมง มหาวิทยาลัยแม่โจ้ จังหวัดเชียงใหม่
	พ.ศ. 2554	มัธยมศึกษาตอนปลาย โรงเรียนเทิงวิทยาคม จังหวัดเชียงราย