



รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์

โครงการ การเพาะเลี้ยงสาหร่ายสีเขียว สกุล *Cladophora* (ไก)
เพื่อเป็นอาหารปลาบึก

Culture of a Green Alga Genus *Cladophora* (Kai) as Feed for the
Mae-Kong Giant Catfish (*Pangasianodon gigas*, Chevey)

โดย รองศาสตราจารย์ ดร. ศิริเพ็ญ ตริยไชยาพร และคณะ

กันยายน 2549

รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์

โครงการ “การเพาะเลี้ยงสาหร่ายสีเขียว สกุล *Cladophora* (ไก) เพื่อเป็นอาหารปลานิล”

Culture of a Green Alga Genus *Cladophora* (Kai) as Feed for the Mae-Kong Giant Catfish (*Pangasianodon gigas*, Chevey)

คณะผู้วิจัย

1. รองศาสตราจารย์ ดร. ศิริเพ็ญ ตรัยไชยาพร
2. ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. บุญสม วราเอกศิริ
3. นายจกกล พรมยะ

สังกัด

มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
มหาวิทยาลัยแม่โจ้
มหาวิทยาลัยแม่โจ้

ชุดโครงการ “สาหร่าย”

สนับสนุนโดยสำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย (สกว.)
(ความเห็นในรายงานนี้เป็นของผู้วิจัย สกว. ไม่จำเป็นต้องเห็นด้วยเสมอไป)

EXECUTIVE SUMMARY

Project Title

Culture of a Green Alga Genus *Cladophora* (Kai) as Feed for the Mae-Kong Giant Catfish (*Pangasianodon gigas*, Chevey)

Researchers

1. Associate Professor Dr. Siripen Traichaiyaporn (Project Leader)

Associate Professor

Algae and Water Quality Research Unit

Department of Biology, Faculty of Science, Chiang Mai University

Tel 0-5394-3346 Ext. 1104, 1132; 08-1595-4532

Fax 0-5389-2259

e-mail: siripen_t@yahoo.com

2. Assistant Professor Dr. Boonsom Waraegsiri (Staff)

Assistant Professor

Department of Agricultural Extension, Faculty of Agricultural Business,
Maejo University, Chiang Mai

Tel 0-5387-3294; 08-1952-6374

Fax 0-5387-3294

e-mail: boonsomw@mju.ac.th

3. Mr. Jongkol Promya (Staff)

Lecturer

Department of Fishery Technology, Faculty of Agricultural Production,
Maejo University, Chiang Mai

Tel 0-5387-3470-2

Fax 0-5349-8178

e-mail: kol255@yahoo.com

Statement and Significance of the Problem

Algae are significant sources of food for fish production and human consumption, and can replace other sources of food. A macro freshwater alga, *Cladophora* (known as “Kai” locally) is abundant in the Nan and Mae-Kong Rivers of northern Thailand. The local people around these rivers consume it in both fresh and preserved food. A nutritional value study of “Kai” reported 28% protein and $340 \mu\text{g g}^{-1}$ carotenoids (dry weight) (Jongkol *et al.*, 2002). Carotenoid is an accessory pigment which includes carotenes and xanthophylls. It is confirmed that β -carotene functions as a precursor of vitamin A and an antioxidant for cancer prevention, and can reduce cataracts and abnormalities of the retina. At present, carotenoids are used for several applications, such as fish feed for increasing of nutritional value and also a stimulant of fish's color, color development in poultry and yolks, cosmetics, food dyes and etc.

Mae-Kong giant catfish (*Pangasianodon gigas*, Chevey) is a large freshwater fish found in the Mae-Kong River. It is a herbivorous fish by nature, consuming plants and macroalgae as the main food. The Royal Fishery Department produces Mae-Kong giant catfish by artificial breeding and extends ponds-culture opportunities to farmers. They use commercial fish feed which mostly contains protein from fish meal, leading to a high cost of culturing this fish. The research proposed here to culture the alga “Kai”, as the protein and carotenoid sources, both in the laboratory and mass culture in cement ponds with different concentrations of nutrients from kitchen wastewater. It will also be applied the use of various amount of “Kai” as substitution for protein from fish feed and other sources. Investigation on the effects of the carotenoids content of “Kai” on the amount of carotenoids accumulation in Mae-Kong giant catfish's meat. Extension of Kai's culture, as the main protein source for Mae-Kong giant catfish, to farmers should reduce the cost of protein feed and provide nutritional value by increasing carotenoids which can function as antioxidants.

Objectives

The research was divided into three phases. The objectives of the **first phase** were:

- 1) Culture of *Cladophora* (Kai) in different dilutions of kitchen wastewater in laboratory using glass jars and glass aquarium.
- 2) Investigation the growth rate, biomass, nutritional values and carotenoids contents of *Cladophora* and comparison the collected data among cultures.

These objectives were achieved by

1. Investigation on the chemical and physical quality of kitchen wastewater to find out the concentrations which suitable for growth of “Kai” in laboratory cultures.
2. Investigation on ecology and biology of “Kai” in laboratory culture using kitchen wastewater and standard media. The growth, biomass, nutritional values and carotenoids content of “Kai” were analysed.

Methodology

1. Investigation of the physico-chemical quality of wastewater for the culturing of “Kai” in the laboratory were conducted by:
 - Sedimentation of kitchen wastewater in sedimentation tanks
 - Analyses of the physico-chemical properties of kitchen wastewater after acclimation for 2 weeks (TSS, hardness, alkalinity, pH, DO, BOD, $\text{NH}_3\text{-N}$, $\text{NO}_3\text{-N}$, TKN, $\text{PO}_4\text{-P}$ and TP) then filtration out suspended solids and fat.
 - Dilution of the kitchen wastewater by tap water until the concentrations of nutrients (N,P) are nearly the same as in the Nan and Mae-Kong Rivers
2. Study on the ecology and biology of “Kai” in laboratory cultures using kitchen wastewater and standard media were involved:
 - Preparation of inoculum: Primary culture of Kai in 5 litre-glass jars using ten dilutions of wastewater and one standard media for not less than 3 months, transfer to culture in glass aquarium.
 - Culture of “Kai” in glass aquarium 0.38 m^3 ($0.5 \times 0.5 \times 1.5 \text{ m}$) with circulating water by the turbines in selected three dilutions of kitchen wastewater (100, 80 and 60%) as treatments (with 3 replications). Three types of cultures were performed: Type1. Cultivation of Kai in the culture media with 100, 80 and 100% of kitchen wastewater without addition of nutrients for the whole culture period; Type2. Cultivation of Kai in culture media with 100, 80 and 60% of kitchen wastewater, three concentrations of ammonium chloride were added to each culture medium by weekly. Type3. Cultivation of Kai in the culture media with 100, 80 and 60% of kitchen wastewater with addition of the same volume of kitchen wastewater every week for the whole culture period.

- Analyses of physico-chemical water quality (weekly sampling) and measurement the length and growth of *Cladophora* (weekly sampling); harvesting biomass and analyses of the nutritional value and carotenoid content at the end of culture.
- ANOVA and DMRT were used as the statistical analysis tools.

Results

The physico-chemical water quality of kitchen wastewater after acclimation for 2 weeks and filtration showed high value of hardness and alkalinity. Nitrogen mostly presented as organic nitrogen form, whereas the inorganic nitrogen composed of ammonia nitrogen with higher concentration than nitrate nitrogen. The N : P ratio was approximately 4 : 1.

Cladophora cultivated in glass jars contained culture media with 10, 20, 30, 40, 50, 60, 70, 80, 90 and 100% of kitchen wastewater for four weeks. The water quality were as follows: suspended solids 1.67-6.67 mg/L, pH 7.07-10.63, hardness 48.99-121.04 mg/L as CaCO₃, alkalinity 30.00-162.00 mg/L as CaCO₃, DO 4.25-7.29 mg/L, BOD 0.06-6.53 mg/L, NH₃-N Non detectable limit (ND-0.476 mg/L, NO₃-N ND-0.613 mg/L, TKN 0.001-3.200 mg/L, PO₄-P ND-0.720 mg/L and TP ND-1.822 mg/L. *Cladophora* cultured in 100% kitchen wastewater showed the highest growth rate, followed by 80, 70 and 60%, respectively.

The results and statistical analysis (significance level 0.05) of *Cladophora* cultivated in glass aquarium by three culture-types showed that *Cladophora* possessed the highest growth rate in type 3 culture, follow by type 2 and type 1, respectively. Biomass of *Cladophora* which cultured in type 1, type 2 and type 3 were 38.00-376.00, 90.00-123.33 and 70.00-150.00 g/m² (wet weight) and 2.66-26.32, 6.30-10.03 and 4.90-10.50 g/m² (dry weight), respectively. Statistical analysis showed that biomass was not significantly different among culture types. Concerning nutritional values (as percent dry weight) of *Cladophora* which cultured by type 1, type 2 and type 3 were as follow: carotenoid 215.47-247.07, 430.86-820.49 and 620.62-720.42 µg/g; protein 28.98-31.49, 29.64-30.75 and 29.17-29.87%; carbohydrate 10.24-18.17, 16.42-19.03 and 19.34-20.78%; fat 2.36-3.35, 2.03-4.17 and 2.20-3.55%; fiber 16.99-19.20, 16.42-17.07 and 16.29-16.53%; moisture 7.12-8.71, 6.93-7.39 and 7.31-7.60%; ash 25.58-27.02, 23.16-27.33 and 22.52-24.34%, respectively. Statistical analysis showed that carotenoid, carbohydrate, ash, fiber and moisture values were significantly different among culture types, whereas protein and fat values were not significantly different among type of culture.

The data gained from the study can be used as primary information for mass culture of “Kai” in big cement culture ponds. The researches aim to supply “Kai” from mass culture as feed for Mae-Kong giant catfish. Lastly an extension of the cement pond model of “Kai” to farmers and interested persons must be performed.

บทคัดย่อ

การเพาะเลี้ยงสาหร่ายสกุล *Cladophora* (ไถ) โดยใช้น้ำทิ้งจากโรงอาหาร ได้แบ่งการทดลองเป็น 2 ส่วน ส่วนที่ 1 เป็นการเพาะเลี้ยงสาหร่ายไถในโถแก้วกลมซึ่งอาหารเพาะเลี้ยงได้จากน้ำทิ้งโรงอาหารความเข้มข้น 10, 20, 30, 40, 50, 60, 70, 80, 90 และ 100% เป็นระยะเวลา 4 สัปดาห์ เพื่อศึกษาคุณภาพน้ำและการเจริญเติบโตของสาหร่ายไถ พบว่าคุณภาพน้ำมีปริมาณของแข็งที่แขวนลอยในน้ำ 1.67-6.67 มิลลิกรัมต่อลิตร pH 7.07-10.63 ความกระด้าง 48.99-121.04 มิลลิกรัมต่อลิตร ความเป็นด่าง 30.00-162.00 มิลลิกรัมต่อลิตร ออกซิเจนที่ละลายน้ำ 4.25-7.29 มิลลิกรัมต่อลิตร บีโอดี 0.06-6.53 มิลลิกรัมต่อลิตร แอมโมเนียไนโตรเจน ตรวจไม่พบ (ND)-0.476 มิลลิกรัมต่อลิตร ไนเตรทไนโตรเจน ND-0.613 มิลลิกรัมต่อลิตร เคาท์ลไนโตรเจน 0.001-3.200 มิลลิกรัมต่อลิตร ออร์โธฟอสเฟตฟอสฟอรัส ND-0.720 มิลลิกรัมต่อลิตร ฟอสฟอรัสรวม ND-1.822 มิลลิกรัมต่อลิตร โดยสาหร่ายไถที่เพาะเลี้ยงในน้ำทิ้งจากโรงอาหาร 100% มีการเจริญเติบโตดีที่สุด รองลงมาคือที่ระดับความเข้มข้น 80, 70 และ 60% ตามลำดับ

ส่วนที่ 2 เป็นการเพาะเลี้ยงสาหร่ายไถในตู้กระจกขนาด $0.5 \times 1.5 \times 0.5$ เมตร ที่มีน้ำไหลเวียนตลอดเวลาโดยใช้ใบพัดตีน้ำและมีความเร็วกระแสน้ำประมาณ 0.30 เมตรต่อวินาที ทำการเพาะเลี้ยง 3 รูปแบบ คือแบบที่ 1 เพาะเลี้ยงสาหร่ายไถโดยใช้น้ำทิ้งจากโรงอาหาร 3 ความเข้มข้น (60, 80 และ 100%) โดยใช้น้ำทิ้งนี้อย่างเดียวตลอดการเพาะเลี้ยง รูปแบบที่ 2 เพาะเลี้ยงสาหร่ายไถโดยใช้น้ำทิ้งจากโรงอาหาร 3 ความเข้มข้น แต่มีการเติมแอมโมเนียมคลอไรด์ ทุกสัปดาห์ และ รูปแบบที่ 3 เพาะเลี้ยงสาหร่ายไถโดยใช้น้ำทิ้งจากโรงอาหาร 3 ความเข้มข้น และเติมน้ำทิ้งจากโรงอาหารทุกสัปดาห์ ทำการศึกษาคุณภาพน้ำ การเจริญเติบโต มวลชีวภาพและคุณค่าทางโภชนาการของสาหร่ายไถ

ผลการศึกษาและผลการวิเคราะห์ทางสถิติที่ระดับนัยสำคัญทางสถิติ 0.05 พบว่า สาหร่ายไถที่เพาะเลี้ยงในรูปแบบที่ 3 มีการเจริญเติบโตดีที่สุด รองลงมาคือรูปแบบที่ 2 และรูปแบบที่ 1 ตามลำดับ มวลชีวภาพของสาหร่ายไถที่เลี้ยงในรูปแบบที่ 1, 2 และ 3 ได้น้ำหนักสด 38.00-376.00, 90.00-123.33 และ 70.00-150.00 กรัมต่อตารางเมตร และน้ำหนักแห้ง 2.66-26.32, 6.30-10.03 และ 4.90-10.50 กรัมต่อตารางเมตร ตามลำดับ ซึ่งมวลชีวภาพของไถจากการเพาะเลี้ยงในแต่ละแบบ ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ด้านคุณค่าทางโภชนาการของสาหร่ายไถโดยน้ำหนักแห้งที่เลี้ยงในรูปแบบที่ 1, 2 และ 3 พบว่ามีปริมาณคาร์โบไฮเดรต 215.47-247.07, 430.86-820.49 และ 620.62-720.42 ไมโครกรัมต่อกรัม โปรตีน 28.98-31.49, 29.64-30.75 และ 29.17-29.87% คาร์โบไฮเดรต 10.24-18.17, 16.42-19.03 และ 19.34-20.78% ไขมัน 2.36-3.35, 2.03-4.17 และ 2.20-3.55% เยื่อใย 16.99-19.20, 16.42-17.07 และ 16.29-16.53% ความชื้น 7.12-8.71, 6.93-

7.39 และ 7.31-7.60% ถั่ว 25.58-27.02, 23.16-27.33 และ 22.52-24.34% ตามลำดับ ผลการวิเคราะห์ทางสถิติ พบว่าปริมาณคาร์โบไฮเดรต ถั่ว เยื่อใย และความชื้นของสารหยาบไถจากการเพาะเลี้ยงแต่ละแบบมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ส่วนปริมาณโปรตีนและไขมันไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

ABSTRACT

Cultivation of a green alga genus *Cladophora* (Kai) in the canteen wastewater was divided into two parts. **Part 1:** *Cladophora* was cultured in glass jars contained culture media with 10, 20, 30, 40, 50, 60, 70, 80, 90 and 100% kitchen wastewater for four weeks. Water quality and algal growth rate were analysed. The water quality showed the range of suspended solids 1.67-6.67 mg/L, pH 7.07-10.63, hardness 48.99-121.04 mg/L as CaCO₃, alkalinity 30.00-162.00 mg/L as CaCO₃, DO 4.25-7.29 mg/L, BOD 0.06-6.53 mg/L, NH₃-N ND-0.476 mg/L, NO₃-N ND-0.613 mg/L, TKN 0.001-3.200 mg/L, PO₄-P ND-0.720 mg/L and TP ND-1.822 mg/L. *Cladophora* cultured in 100% kitchen wastewater showed the highest growth rate., followed by the cultures in 80 , 70 and 60% dilutions, respectively.

Part 2: *Cladophora* was cultured in glass cabinets (0.5×1.5×0.5 m) with water movement by the turbines with the approximate water velocity of 0.30 m/sec.. Three types of cultivation were performed as: Type 1: *Cladophora* was cultured in the 60, 80 and 100% of kitchen wastewater. Type 2: *Cladophora* was cultured in 60, 80 and 100% of kitchen wastewater with addition of NH₄Cl every week. Type 3: *Cladophora* was cultured in 60, 80 and 100% of kitchen wastewater with addition of canteen wastewater every week. Water quality, algal growth rate, biomass nutritional values and carotenoids were analyzed.

The results and statistical analysis at level of significance 0.05 showed that *Cladophora* cultured in type 3 possed the highest growth rate, follow by type 2 and type 1, respectively. Biomass of *Cladophora* (wet weight) from type 1, type 2 and type 3 cultures was 38.00-376.00, 90.00-123.33 and 70.00-150.00 g/m² (wet weight); and 2.66-26.32, 6.30-10.03 and 4.90-10.50 g/m² (dry weigh)t, respectively. Statistical analysis showed that biomass was not significantly different among culture types. Concerning nutritional values (percent dry weight) of *Cladophora* from type 1, type 2 and type 3 cultures were as follow: carotenoid 215.47-247.07, 430.86-820.49 and 620.62-720.42 µg/g; protein 28.98-31.49, 29.64-30.75 and 29.17-29.87%; carbohydrate 10.24-18.17, 16.42-19.03 and 19.34-20.78%; fat 2.36-3.35, 2.03-4.17 and 2.20-3.55%; fiber 16.99-19.20, 16.42-17.07 and 16.29-16.53%; moisture 7.12-8.71, 6.93-7.39 and 7.31-7.60%; ash 25.58-27.02, 23.16-27.33 and 22.52-24.34%, respectively. Statistical analysis showed that carotenoid, carbohydrate, ash, fiber and moisture values were significantly different among types of culture, whereas protein and fat values were not significantly different among culture types.

สารบัญ

หน้า

Executive Summary	iv
บทคัดย่อ	ix
ABSTRACT	xi
สารบัญ	xii
สารบัญตาราง	xiii
สารบัญภาพ	xv
รายการสัญลักษณ์ และอักษรย่อ	xviii
บทนำ	1
วัตถุประสงค์	2
ทบทวนเอกสาร	3
วิธีดำเนินการวิจัย	12
ผลการศึกษา	22
อภิปรายผล	66
สรุป	70
เอกสารอ้างอิง	71
ภาคผนวก ก คุณภาพน้ำ และการเจริญเติบโตของสาหร่ายไคที่เพาะเลี้ยงในโถแก้ว	74
ภาคผนวก ข คุณภาพน้ำ การเจริญเติบโต ผลผลิต คุณค่าทางโภชนาการ และผลการวิเคราะห์ทางสถิติของสาหร่ายไคที่เพาะเลี้ยงในตู้กระจก	80
ภาคผนวก ค บทความสำหรับการเผยแพร่ กิจกรรมที่เกี่ยวข้องในการนำผลไปใช้ประโยชน์ และตารางเปรียบเทียบวัตถุประสงค์ กิจกรรม และผลที่ได้รับตลอดโครงการ	89

สารบัญตาราง

ตาราง	หน้า
1 ปริมาณคาโรทีนอยด์ในเนื้อปลานิลแดงที่เลี้ยงด้วยอาหารสูตรต่างๆ	7
2 คุณค่าทางโภชนาการของสาหร่าย <i>Cladophora</i>	8
3 คุณค่าทางโภชนาการของสาหร่าย <i>Cladophora</i> จากลำน้ำน่าน	9
4 คุณภาพน้ำทางกายภาพและเคมีบางประการของน้ำทิ้งจากโรงอาหาร ภาควิชาชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ ที่พักไว้ 2 สัปดาห์และกรอง	21
5 การเปรียบเทียบคุณค่าทางโภชนาการของสาหร่ายไก่อ	69
6 คุณภาพน้ำของการเลี้ยงสาหร่ายไก่อในโถแก้วด้วยน้ำทิ้งจากโรงอาหาร ที่ระดับความเข้มข้นต่างๆ สัปดาห์ที่ 1	75
7 คุณภาพน้ำของการเลี้ยงสาหร่ายไก่อในโถแก้วด้วยน้ำทิ้งจากโรงอาหาร ที่ระดับความเข้มข้นต่างๆ สัปดาห์ที่ 2	76
8 คุณภาพน้ำของการเลี้ยงสาหร่ายไก่อในโถแก้วด้วยน้ำทิ้งจากโรงอาหาร ที่ระดับความเข้มข้นต่างๆ สัปดาห์ที่ 3	77
9 คุณภาพน้ำของการเลี้ยงสาหร่ายไก่อในโถแก้วด้วยน้ำทิ้งจากโรงอาหาร ที่ระดับความเข้มข้นต่างๆ สัปดาห์ที่ 4	78
10 ความยาวของสาหร่ายไก่อที่เลี้ยงในโถแก้วด้วยน้ำทิ้งจากโรงอาหาร ที่ระดับความเข้มข้นต่างๆ เป็นระยะเวลา 4 สัปดาห์	79
11 คุณภาพน้ำของการเพาะเลี้ยงสาหร่ายไก่อรูปแบบที่ 1 สัปดาห์ที่ 1-4	81
12 ผลการวิเคราะห์ทางสถิติ ผลผลิต คาโรทีนอยด์ และคุณค่าทางโภชนาการ ของสาหร่ายไก่อที่เพาะเลี้ยงรูปแบบที่ 1	82
13 คุณภาพน้ำของการเพาะเลี้ยงสาหร่ายไก่อรูปแบบที่ 2 สัปดาห์ที่ 1-5	83
14 ผลการวิเคราะห์ทางสถิติ ผลผลิต คาโรทีนอยด์ และคุณค่าทางโภชนาการ ของสาหร่ายไก่อที่เพาะเลี้ยงรูปแบบที่ 2	84
15 คุณภาพน้ำของการเพาะเลี้ยงสาหร่ายไก่อรูปแบบที่ 3 สัปดาห์ที่ 1-4	85
16 ผลการวิเคราะห์ทางสถิติ ผลผลิต คาโรทีนอยด์ และคุณค่าทางโภชนาการ ของสาหร่ายไก่อที่เพาะเลี้ยงรูปแบบที่ 3	86

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตาราง	หน้า
17 ความยาวเฉลี่ยของสาหร่ายไคที่เพาะเลี้ยงในอ่างแก้ว 3 รูปแบบ	87
18 ผลการวิเคราะห์ทางสถิติเพื่อเปรียบเทียบความยาว ผลผลิตของปริมาณ คาโรทีนอยด์ และคุณค่าทางโภชนาการสาหร่ายไคที่เพาะเลี้ยงในแต่ละรูปแบบ	88
19 เปรียบเทียบวัตถุประสงค์ กิจกรรมและผลที่ได้รับตลอดโครงการ	91

สารบัญภาพ

ภาพ	หน้า
1 ลักษณะของสาหร่ายไคสกูล <i>Cladophora</i> ภายใต้กล้องจุลทรรศน์ และที่เจริญอยู่บนหิน	3
2 ลักษณะเซลล์ของสาหร่ายไคสกูล <i>Microspora</i> ภายใต้กล้องจุลทรรศน์	4
3 ลักษณะสาหร่ายไคในลำน้ำน่าน	4
4 ลักษณะสาหร่ายไคที่ยึดเกาะกับพื้นผิว	5
5 บ่อซีเมนต์กลมที่ใช้เก็บน้ำทิ้งจากโรงอาหาร	12
6 การสูบน้ำทิ้งจากโรงอาหารที่พักไว้ในบ่อซีเมนต์ นำมาใส่ในบ่อพัก เพื่อใช้เพาะเลี้ยงสาหร่ายไค	13
7 การเก็บตัวอย่างสาหร่ายไคในแม่น้ำน่าน	13
8 การวัดความยาวสาหร่ายไคและตัดให้มีความยาวประมาณ 1 นิ้ว หรือ 2.5 เซนติเมตร	14
9 ภาชนะใส่สาหร่ายไคเพื่อนำมาที่ห้องทดลอง	14
10 การทดลองเลี้ยงสาหร่ายไคในโถแก้ว	15
11 ระบบเลี้ยงสาหร่ายไคในตู้กระจก	16
12 การนำสาหร่ายไคลงเลี้ยงในตู้กระจก	16
13 อุปกรณ์ใช้วัดความยาวของสาหร่ายไค	19
14 สาหร่ายไคที่เจริญบนหินในการเพาะเลี้ยง และผลผลิตของสาหร่ายไค	19
15 สาหร่ายไคที่ผ่านการอบ และบดเป็นผง	20
16 คุณภาพน้ำของการเพาะเลี้ยงสาหร่ายไคด้วยน้ำจากโรงอาหาร ที่ระดับความเข้มข้นต่างๆ ในโถแก้วเป็นเวลา 4 สัปดาห์ (ก. ปริมาณของแข็งที่แขวนลอยในน้ำ ข. pH ค. hardness)	25
17 คุณภาพน้ำของการทดลองเลี้ยงสาหร่ายไคด้วยน้ำจากโรงอาหาร ที่ระดับความเข้มข้นต่างๆ ในโถแก้ว เป็นเวลา 4 สัปดาห์ (ก. alkalinity ข. DO ค. BOD)	26
18 คุณภาพน้ำของการทดลองเลี้ยงสาหร่ายไคด้วยน้ำจากโรงอาหารที่ระดับความเข้มข้นต่างๆ ในโถแก้ว เป็นเวลา 4 สัปดาห์ (ก. $\text{NH}_3\text{-N}$ ข. $\text{NO}_3\text{-N}$ ค. TKN)	27
19 คุณภาพน้ำของการทดลองเลี้ยงสาหร่ายไคด้วยน้ำจากโรงอาหาร ที่ระดับความเข้มข้นต่างๆ ในโถแก้ว เป็นเวลา 4 สัปดาห์ (ก. $\text{PO}_4\text{-P}$ ข. TP)	28
20 การเจริญเติบโตของสาหร่ายไคที่เลี้ยงในโถแก้วด้วยน้ำทิ้งจากโรงอาหาร ที่ระดับความเข้มข้นต่างๆ เป็นเวลา 4 สัปดาห์	29

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพ	หน้า
21 คุณภาพน้ำของการเพาะเลี้ยงสาหร่ายไคด้วยน้ำทิ้งจากโรงอาหารความเข้มข้น T_1 , T_2 และ T_3 ในตู้กระจกรูปแบบที่ 1 เป็นเวลา 4 สัปดาห์ (ก. pH ข. ปริมาณของแข็งที่แขวนลอยในน้ำ ค. hardness)	35
22 คุณภาพน้ำของการเพาะเลี้ยงสาหร่ายไคด้วยน้ำทิ้งจากโรงอาหารความเข้มข้น T_1 , T_2 และ T_3 ในตู้กระจกรูปแบบที่ 1 เป็นเวลา 4 สัปดาห์ (ก. alkalinity ข. DO ค. BOD)	36
23 คุณภาพน้ำของการเพาะเลี้ยงสาหร่ายไคด้วยน้ำทิ้งจากโรงอาหารความเข้มข้น T_1 , T_2 และ T_3 ในตู้กระจก รูปแบบที่ 1 เป็นเวลา 4 สัปดาห์ (ก. $\text{NH}_3\text{-N}$ ข. $\text{NO}_3\text{-N}$ ค. TKN)	37
24 คุณภาพน้ำของการเพาะเลี้ยงสาหร่ายไคด้วยน้ำทิ้งจากโรงอาหารที่ระดับความเข้มข้น T_1 , T_2 และ T_3 ในตู้กระจก รูปแบบที่ 1 เป็นเวลา 4 สัปดาห์ (ก. $\text{PO}_4\text{-P}$ ข. TP)	38
25 การเจริญเติบโตของสาหร่ายไคที่เพาะเลี้ยงในรูปแบบที่ 1	40
26 อัตราการเจริญเติบโตของสาหร่ายไคที่เพาะเลี้ยงในรูปแบบที่ 1	40
27 ผลผลิต และคาโรทีนอยด์ของสาหร่ายไคที่เพาะเลี้ยงในรูปแบบที่ 1	41
28 คุณค่าทางโภชนาการของสาหร่ายไคที่เพาะเลี้ยงในรูปแบบที่ 1	41
29 คุณภาพน้ำของการเพาะเลี้ยงสาหร่ายไคด้วยน้ำจากโรงอาหารความเข้มข้น T_1 , T_2 และ T_3 ในตู้กระจกรูปแบบที่ 2 เป็นเวลา 5 สัปดาห์ (ก. pH ข. Alkalinity ค. Hardness)	44
30 คุณภาพน้ำของการเพาะเลี้ยงสาหร่ายไคด้วยน้ำจากโรงอาหารความเข้มข้น T_1 , T_2 และ T_3 ในตู้กระจกรูปแบบที่ 2 เป็นเวลา 5 สัปดาห์ (ก. Suspended solids ข. DO ค. BOD)	45
31 คุณภาพน้ำของการเพาะเลี้ยงสาหร่ายไคด้วยน้ำจากโรงอาหารความเข้มข้น T_1 , T_2 และ T_3 ในตู้กระจกรูปแบบที่ 2 เป็นเวลา 5 สัปดาห์ (ก. $\text{NH}_3\text{-N}$ ข. $\text{NO}_3\text{-N}$)	46
32 คุณภาพน้ำของการเพาะเลี้ยงสาหร่ายไคด้วยน้ำจากโรงอาหารความเข้มข้น T_1 , T_2 และ T_3 ในตู้กระจกรูปแบบที่ 2 เป็นเวลา 5 สัปดาห์ (ก. $\text{PO}_4\text{-P}$ ข. TP)	47
33 การเจริญเติบโตของสาหร่ายไคที่เพาะเลี้ยงในรูปแบบที่ 2	49
34 อัตราการเจริญเติบโตของสาหร่ายไคที่เพาะเลี้ยงในรูปแบบที่ 2	49
35 ผลผลิต และคาโรทีนอยด์ของสาหร่ายไคที่เพาะเลี้ยงในรูปแบบที่ 2	50
36 คุณค่าทางโภชนาการของสาหร่ายไคที่เพาะเลี้ยงในรูปแบบที่ 2	50

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพ	หน้า
37	คุณภาพน้ำของการเพาะเลี้ยงสาหร่ายไคด้วยน้ำจากโรงอาหารที่ระดับความเข้มข้น T_1 , T_2 และ T_3 ในตู้กระจก เป็นเวลา 4 สัปดาห์ (ก. pH ข. Alkalinity ค. Hardness) 53
38	คุณภาพน้ำของการเพาะเลี้ยงสาหร่ายไคด้วยน้ำจากโรงอาหารความเข้มข้น T_1 , T_2 และ T_3 ในตู้กระจกแบบที่ 3 เป็นเวลา 4 สัปดาห์ (ก. ปริมาณของแข็งที่แขวนลอยในน้ำ ข. DO ค. BOD) 54
39	คุณภาพน้ำของการเพาะเลี้ยงสาหร่ายไคด้วยน้ำจากโรงอาหารความเข้มข้น T_1 , T_2 และ T_3 ในตู้กระจกแบบที่ 3 เป็นเวลา 4 สัปดาห์ (ก. NH_3 -N ข. NO_3 -N ค. TKN) 55
40	คุณภาพน้ำของการเพาะเลี้ยงสาหร่ายไคด้วยน้ำจากโรงอาหารความเข้มข้น T_1 , T_2 และ T_3 ในตู้กระจก แบบที่ 3 เป็นเวลา 4 สัปดาห์ (ก. PO_4 -P ข. TP) 56
41	การเจริญเติบโตของสาหร่ายไคที่เพาะเลี้ยงในรูปแบบที่ 3 58
42	อัตราการเจริญเติบโตของสาหร่ายไคที่เพาะเลี้ยงในรูปแบบที่ 3 58
43	ผลผลิต และคาโรทีนอยด์ของสาหร่ายไคที่เพาะเลี้ยงในรูปแบบที่ 3 59
44	คุณค่าทางโภชนาการของสาหร่ายไคที่เพาะเลี้ยงในรูปแบบที่ 3 59
45	สาหร่ายไคที่เพาะเลี้ยงในตู้กระจกโดยใช้น้ำทิ้งจากโรงอาหาร 60
46	ลักษณะเซลล์สาหร่ายไค <i>Cladophora</i> ก่อนการเพาะเลี้ยงในน้ำทิ้งจากโรงอาหาร 61
47	ลักษณะเซลล์สาหร่ายไค <i>Cladophora</i> ได้กล้องจุลทรรศน์ระหว่างการเพาะเลี้ยง และหลังจากการเพาะเลี้ยง มีการสร้างเซลล์สืบพันธุ์ 62
48	ลักษณะเซลล์สาหร่ายไค <i>Cladophora</i> ได้กล้องจุลทรรศน์ระหว่างการเพาะเลี้ยง และหลังจากการเพาะเลี้ยง มีการสร้างเซลล์สืบพันธุ์ 63
49	ลักษณะเซลล์สาหร่ายไคที่ตายเนื่องจากขณะเพาะเลี้ยง อุณหภูมิสูง (ระหว่าง 30-35 °C) 64
50	ลักษณะเซลล์สาหร่ายไคหลังการเพาะเลี้ยง 65

รายการสัญลักษณ์ และอักษรย่อ

$^{\circ}\text{C}$	=	องศาเซลเซียส
l	=	ลิตร
cm	=	เซนติเมตร
m	=	เมตร
g	=	กรัม
μm	=	ไมโครเมตร
mg/L	=	มิลลิกรัมต่อลิตร
$\mu\text{g/g}$	=	ไมโครกรัมต่อกรัม
$\mu\text{s/cm}$	=	ไมโครซีเมนต์ต่อเซนติเมตร
g/m^2	=	กรัมต่อตารางเมตร
m/s	=	เมตรต่อวินาที
g/kg	=	กรัมต่อกิโลกรัม
$\mu\text{g/g DW}$	=	ไมโครกรัมต่อกรัม น้ำหนักแห้ง
g/100 g DW	=	กรัมต่อ 100 กรัม น้ำหนักแห้ง
mg/100 g DW	=	มิลลิกรัมต่อ 100 กรัม น้ำหนักแห้ง
$\mu\text{g}/100 \text{ g DW}$	=	ไมโครกรัมต่อ 100 กรัม น้ำหนักแห้ง
ND	=	Non detectable limit หรือ ตรวจไม่พบ

I บทนำ

ประชาชนในบางท้องถิ่นได้ใช้สาหร่ายที่พบตามแหล่งน้ำจืดในธรรมชาติเป็นอาหารมาเป็นเวลานาน โดยมีความเชื่อที่ได้รับการถ่ายทอดมากจากบรรพบุรุษว่าสาหร่ายบางชนิดมีคุณสมบัติช่วยรักษาสุขภาพและทำให้อายุยืนยาว ทางภาคเหนือและภาคตะวันออกเฉียงเหนือได้นำสาหร่ายน้ำจืดบางชนิดมาใช้เป็นอาหารในชีวิตประจำวัน โดยเป็นส่วนประกอบแทนผัก ในรูปแบบของลาบ คั้ม แกง ตำ ยำ ห่อหมก ข้าวปั้น หรือเป็นผักสดจิ้มน้ำพริก ตัวอย่างของสาหร่ายน้ำจืดเหล่านี้ได้แก่ สาหร่ายสกุล *Cladophora*, *Microspora*, *Nostochopsis* และ *Spirogyra* สาหร่ายบางชนิดเมื่อมองจากภายนอกแล้วจะมีลักษณะที่คล้ายคลึงกันทำให้มีการเรียกชื่อในภาษาถิ่นผิดเพี้ยนกันไปบ้าง เช่น สาหร่ายชนิดเดียวกันแต่ชื่อต่างกัน หรือสาหร่ายต่างชนิดกันแต่ชื่อเหมือนกัน เป็นต้น ความนิยมในการรับประทานสาหร่ายน้ำจืดแตกต่างกันไปตามกลุ่มชาติพันธุ์และชนิดของสาหร่าย โดย *Cladophora* และ *Microspora* เรียกรวมว่า ไก่ นิยมรับประทานในหมู่ชาวไทย ลื้อมากกว่าคนพื้นเมือง ขณะที่ *Spirogyra* หรือ เต่า เป็นที่นิยมรับประทานกันทั่วไป อย่างไรก็ตาม ความนิยมในการรับประทานสาหร่ายน้ำจืดค่อนข้างน้อยเมื่อเทียบกับสาหร่ายทะเล ทั้งนี้เป็นเพราะชนิดและปริมาณสาหร่ายน้ำจืดที่พบในธรรมชาติมีค่อนข้างน้อย และภาวะมลพิษของแหล่งน้ำที่เพิ่มขึ้นในปัจจุบัน เช่น ในนาข้าวซึ่งเป็นแหล่งที่พบ *Spirogyra* แต่มีการใช้ยาฆ่าหญ้า ทำให้ช่วงเวลาในการนำ *Spirogyra* มารับประทานถูกจำกัดให้น้อยลง (ศรีวรรณ และประเสริฐ, 2544; สรวิศ, 2543)

Cladophora มีชื่อถิ่นว่า ไก่ ไก่ไหม ไก่เปื่อย ตะ หรือ ภาษาญี่ปุ่นเรียกว่า Marimba มีลักษณะเป็นเส้นสาย นิยมรับประทานในจังหวัดเชียงราย ซึ่งพบในลำน้ำโขง ลำเภอเชียงของ เวียงแก่น และเชียงแสน รวมทั้งจังหวัดน่าน ซึ่งพบในลำน้ำน่านและลำน้ำสาขาของกลุ่มน้ำน่าน สาหร่ายชนิดนี้พบมากในช่วงฤดูหนาว และฤดูร้อน (แล้ง) ในบริเวณที่ระดับน้ำค่อนข้างตื้นและน้ำค่อนข้างใส โดยที่จังหวัดน่านจะพบมากในช่วงเวลา 4-5 เดือน แต่ที่จังหวัดเชียงรายจะพบมากในช่วงเวลาประมาณ 3-4 เดือน เนื่องจาก *Cladophora* เป็นสาหร่ายที่มีคุณค่าทางโภชนาการ และมีปริมาณคาร์โบไฮเดรตสูง แต่ยังคงมีความจำกัดในเรื่องระยะเวลาในการเก็บเกี่ยวผลผลิตสาหร่ายจากธรรมชาติ ฉะนั้นจึงเป็นสาหร่ายที่ควรเพาะเลี้ยง เพื่อให้สามารถเก็บใช้ได้ตลอดปี

ดังนั้นจึงเป็นที่มาของการศึกษาการเพาะเลี้ยงสาหร่ายไก่อในระดับห้องปฏิบัติการในอ่างแก้วที่มีระบบน้ำหมุนเวียน เพื่อทำให้สามารถเพาะเลี้ยงและเก็บผลผลิตสาหร่ายไก่อได้ตลอดทั้งปี จากการศึกษาดังกล่าวสามารถเป็นข้อมูลเบื้องต้นเพื่อใช้ในการเพาะเลี้ยงในบ่อซีเมนต์ระดับมหวมวลต่อไปได้

รายงานโครงการวิจัย เรื่อง “การเพาะเลี้ยงสาหร่ายสกุล *Cladophora* (ไถ) เพื่อเป็นอาหารปลาบึก (ระยะ 1)” เป็นรายงานจากการทำวิจัยเป็นเวลา 11 เดือน ซึ่งเป็นการศึกษาเกี่ยวกับการเพาะเลี้ยงสาหร่ายไถเบื้องต้น โดยใช้น้ำทิ้งจากโรงอาหาร มาทำการเพาะเลี้ยงสาหร่ายไถในโหลแก้ว และเพาะเลี้ยงสาหร่ายไถในอ่างแก้วที่มีระบบน้ำหมุนเวียน ตรวจสอบคุณภาพน้ำ วัดอัตราการเจริญเติบโตและมวลชีวภาพของสาหร่ายไถ รวมทั้งวิเคราะห์คุณค่าทางโภชนาการ และปริมาณคาร์บอนของสาหร่ายไถจากการเพาะเลี้ยง

วัตถุประสงค์

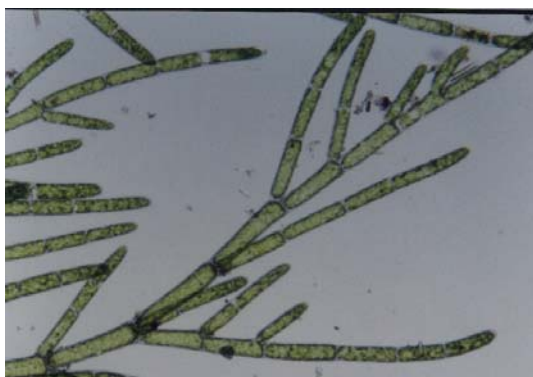
1. ศึกษาองค์ประกอบทางเคมี และปัจจัยทางกายภาพของน้ำทิ้งจากโรงอาหาร ที่มีความเหมาะสมต่อการเจริญของสาหร่ายไถในระดับห้องปฏิบัติการ
2. ศึกษาชีววิทยา และชีววิทยาของสาหร่ายไถที่เพาะเลี้ยงด้วยน้ำทิ้งจากโรงอาหารและสูตรอาหารมาตรฐานในระดับห้องปฏิบัติการ เพื่อศึกษาอัตราการเพิ่มของผลผลิตเบื้องต้น และมวลชีวภาพ เพื่อเปรียบเทียบคุณค่าทางโภชนาการและปริมาณคาร์บอนของสาหร่ายไถ

II ทบทวนเอกสาร

ในการทำวิจัยเรื่อง การเพาะเลี้ยงสาหร่ายสีเขียวสกุล *Cladophora* (ไก) เพื่อเป็นอาหารปลาบึก (Culture of a Green Alga Genus *Cladophora* (Kai) as Feed for the Mae-Kong Giant Catfish (*Pangasianodon gigas*, Chevey) มีรายงานเอกสารที่เกี่ยวข้องดังนี้

2.1 ไก (*Cladophora* และ *Microspora*)

Cladophora เป็นสาหร่ายสีเขียวอยู่ในวงศ์ Cladophoraceae มีชื่ออื่นว่า ไก ไกโหม ไกเปื่อย ตะหรือภาษาญี่ปุ่น เรียกว่า Marimba มีลักษณะเป็นเส้นสายแบบแตกแขนงทีละ 1 กิ่ง (ภาพ 1) หรือแบบโคคอตโตมัส (dichotomous branching) ทัดดิสแบ่งเป็น 2 ส่วนคือ ส่วนที่เป็นฐานจะมีไรซอยด์ (rhizoid) และแขนงสั้นๆ ยึดกับพื้นผิว และส่วนที่คล้ายลำต้น (caudal) ซึ่งจะแตกแขนงตั้งตรงขึ้นมาเป็นเส้นสาย ลักษณะสายเป็นลอน ผิวสัมผัสหยาบ รูปร่างเซลล์เป็นทรงกระบอกยาว ด้านยาวยาวกว่าด้านกว้างมาก ผนังเซลล์หนา ในเซลล์ที่มีอายุมากมีคลอโรพลาสต์เป็นแบบร่างแหอยู่ด้านข้างของเซลล์ มีไพรีโนอยด์หลายอัน ใน 1 เซลล์มีมากกว่า 1 นิวเคลียส (ศรีวรรณ และประเสริฐ, 2544; อภารัตน์, 2545)



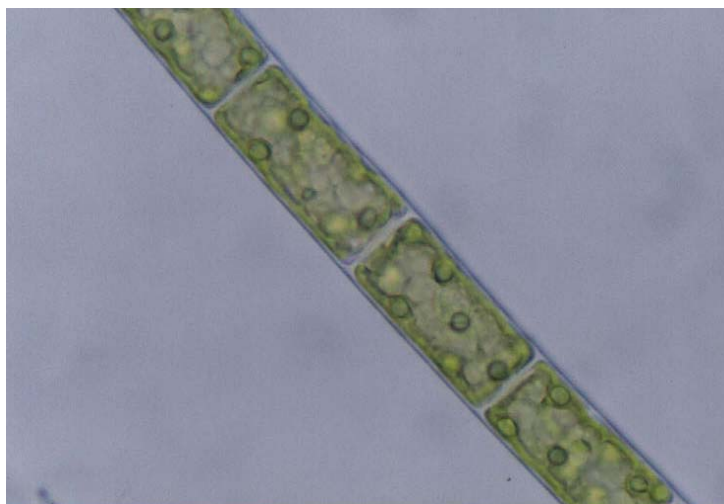
ภาพ 1 ลักษณะของสาหร่ายไก สกุล

Cladophora ภายใต้กล้องจุลทรรศน์ และที่เจริญอยู่บนหิน

Cladophora พบตามแหล่งน้ำธรรมชาติ (ภาพ 2) ทั้งในน้ำเค็มและน้ำจืด ในวงศ์นี้จะพบเซลล์ที่มีแฟลกเจลลา 2 และ 4 เส้น ในแหล่งน้ำจืดพบทั้งในแหล่งน้ำไหลและน้ำนิ่ง โดยจะเจริญเกาะติดกับกิ่งไม้ ทราย หยาบ ก้อนหิน หรือพื้นผิวที่แข็งในระบบนิเวศน้ำไหล และจะมีเส้นสายยาว ส่วนในระบบนิเวศน้ำนิ่ง *Cladophora* จะจับตัวเป็นก้อนกลม เรียกว่า lake ball เมื่อตายและเกิดการเน่าจะลอยไปติดริมฝั่ง ลักษณะคล้ายผ้าห่มขนสัตว์ ในบริเวณที่เป็น littoral zone มักพบ *Cladophora glomerata* ปกคลุมก้อนหินที่พื้นผิว ซึ่งช่วยเพิ่มพื้นผิวให้สาหร่ายมาเกาะเพิ่มมากขึ้น เนื่องจากผนังเซลล์ของ *Cladophora* ไม่มีเมือกจึงเหมาะต่อการยึดเกาะของสาหร่ายชนิดอื่น โดยเฉพาะไดอะตอมสกุล *Cocconeis* และ *Gomphonema*

จะพบในปริมาณมาก *Cladophora* มักพบเป็นชนิดเด่นในแหล่งน้ำไหล พบในน้ำใสมากกว่าในน้ำขุ่น ปริมาณของสารอาหารและความเร็วกระแสน้ำมีผลทำให้รูปร่างเซลล์และรูปแบบการแตกแขนงเปลี่ยนไป อย่างไรก็ตาม *Cladophora* สามารถเจริญอยู่ได้ในสภาพแวดล้อมที่มีความแตกต่างค่อนข้างกว้าง (ศรีวรรณ และประเสริฐ, 2544; อาภารัตน์, 2545; Prescott, 1970; Jan *et al.*, 1996)

Microspora เป็นสาหร่ายสีเขียว (ภาพ 2.2) มีชื่อท้องถิ่นว่า ไก่ ไก่คั่ว ไก่เหี่ยว มีลักษณะเป็น เส้นสายแบบไม่แตกแขนง เจริญเป็นเส้นยาว รูปร่างเซลล์เป็นทรงกระบอก ความกว้าง และความยาวของ เซลล์ไม่แตกต่างกันมากนัก ผนังเซลล์หนาซ้อนกันเป็นรูปตัว H คลอโรพลาสต์มีลักษณะเป็นร่างแหอยู่ที่ ขอบเซลล์หรือเป็นแผ่นกระจายเต็มเซลล์ ไม่มีไพรีนอยด์ เมื่ออายุน้อยจะมีโฮลด์ฟาสต์ (holdfast) ยึดกับพื้น เมื่ออายุมากขึ้นจะขาดลอยเป็นแพ มักพบในน้ำที่เป็นกรดอ่อนๆ (ศรีวรรณ และประเสริฐ, 2544)



ภาพ 2 ลักษณะเซลล์ของสาหร่ายไก่อ สกุล *Microspora* ภายใต้กล้องจุลทรรศน์

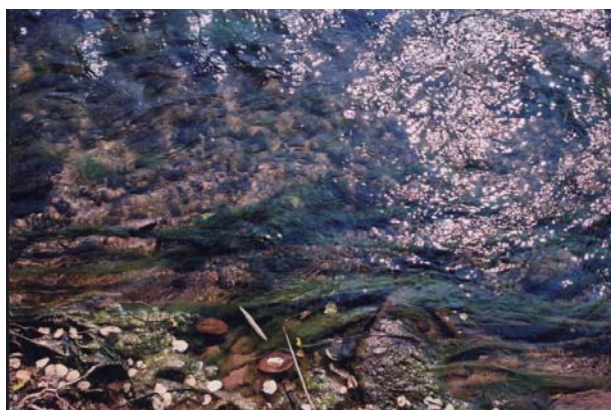
ในธรรมชาติ ไก่ทั้งสองสกุลมักขึ้นปะปนกันยากที่จะแยกเป็นชนิดใดชนิดหนึ่งได้ ไก่เป็นถิ่นนิยมบริเวณในพม่า ไทย (ภาคเหนือ) และลาว (อาภารัตน์, 2545) ในจังหวัดเชียงราย พบที่ลำน้ำโขง อำเภอเชียงของ เวียงแก่น และเชียงแสน ในช่วงเดือนกุมภาพันธ์ถึงเดือนเมษายน โดยจะยึดเกาะอยู่กับพื้นผิวที่เป็นก้อนหินใต้น้ำอย่างหนาแน่น (ภาพ 3) บางครั้งจะพบทอดตัวยาว 14-16 เมตร และอยู่ในน้ำลึกค่อนข้างเขียวใสและเย็นมาก การหาไก่อตามลำน้ำโขงจะใช้เรือ เมื่อพบจะดึงทาง



ภาพ 3 ลักษณะสาหร่ายไก่อในลำน้ำน่าน

ปลายที่ลอยอยู่ตามน้ำแล้วสาวขึ้นมา จากนั้นจึงดึงให้ขาดเป็นท่อนยาวประมาณ 1 ศอก แล้วขี้นเบาๆ ในน้ำ เพื่อล้างเอาโคลนหรือทรายออกให้หมด บางแห่งพบเพียงกระจุกเดียว (ยาว 14-18 เมตร) แต่จะได้ไก่อประมาณ 1 หาบกระบุง ชาวบ้านนิยมเก็บไก่อที่มีสีค่อนข้างเขียวและมีความยาวพอประมาณ หลังจากนั้นจะนำไปตากแห้งและทำเป็นพับเพื่อเก็บไว้รับประทานหรือนำไปจำหน่ายในตลาด แต่ไก่อที่ขายในตลาดอำเภอเชียงของ ส่วนหนึ่งจะเป็นไก่อที่ชาวลาวเก็บมาจากลำน้ำงาว ซึ่งเป็นลำน้ำย่อยที่ไหลลงสู่แม่น้ำโขง แล้วส่งขายทางฝั่งไทย รูปแบบการรับประทานไก่อจะเป็นแผ่น (ไก่อน้ำข่า) ไกยี้ (ไก่อพรวุ่ย) ห่อหมกไก่อ แกงไก่อ

ชาวเมืองน่านที่อาศัยอยู่ริมแม่น้ำน่าน ตั้งแต่อำเภอทุ่งช้างลงมาถึงอำเภอเมืองนิยมรับประทานไก่อเป็นอาหาร ชาวน่านมีความเชื่อว่าถ้ารับประทานไก่อจะทำให้ร่างกายกระชุ่มกระชวย ชะลอความแก่ ช่วยทำให้ผอมคดดำ และยังช่วยรักษาโรคต่างๆ เช่น อาการร้อนใน พิษแผลสด แผลง่อย ลดอาการปวดอักเสบได้อีกด้วย (อาภารัตน์, 2545) ในอำเภอท่าวังผาซึ่งมีทั้งชาวไทยลื้อ ชาวไทยยวน และคนพื้นเมือง จะเก็บไก่อที่ลำน้ำน่าน เมื่อเก็บไก่อได้จำนวนมากแล้วจะล้างไก่อจนหมดทรายแล้วนำมาทำห่อหมกหนึ่งขาย บางครั้งก็นำไปตากแห้งและทำเป็นพับๆ นำไปขายในตลาด และผู้ซื้อจะนำไปทำเป็นไกยี้ รับประทานกับข้าวเหนียว ชาวไทยลื้อมักทำข้าวปั้นไกยี้โดยจะนำข้าวเหนียวมาแผ่และนำไกยี้



ภาพ 4 ลักษณะสาหร่ายไก่อที่ยึดเกาะกับพื้นผิว

มาใส่ตรงกลางแผ่น หลังจากนั้นจะปั้นม้วนเป็นแท่ง (สมใจ, 2540) นอกจากนี้สถาบันเทคโนโลยีราชมงคล วิทยาเขตน่าน ยังได้พัฒนาผลิตภัณฑ์ไก่อในรูปแบบของซอสปรุงรส (อาภารัตน์, 2545) ส่วนสถาบันราชภัฏเชียงรายร่วมกับกลุ่มแม่บ้านหาดไคร้ อำเภอเชียงของ จังหวัดเชียงราย ได้ศึกษาการนำไก่อมาใช้ประโยชน์ โดยการแปรรูปในลักษณะต่างๆ เช่น ไกอบแห้ง ข้าวเกรียบไก่อ ไก่อแผ่น (ศรีวรรณ และประเสริฐ, 2544)

เกาะฮอกไกโด ประเทศญี่ปุ่น มีเทศกาลสักการะ *Cladophora* (*Cladophora* Worship) โดยมีความเชื่อจากนิทานปรัมปราของชาวไอนุว่า *Cladophora* ที่เจริญเป็นลูกกลม (*Cladophora* ball) เกิดจากการที่ชายหนุ่มและหญิงสาวซึ่งเป็นผู้รักกันจมน้ำตายแล้วหัวใจของทั้งสองมาหลอมรวมกันเป็นลูกกลม ปัจจุบัน *Cladophora* เป็นพืชสงวนและคุ้มครองของประเทศญี่ปุ่นเนื่องจากใกล้สูญพันธุ์ (อาภารัตน์, 2545)

2.2 ชนิดของสาหร่ายไก่อที่พบในลำน้ำน่านและลำน้ำโขง

สาหร่ายไก่อที่พบในลำน้ำน่านและลำน้ำโขงเป็นสาหร่ายสีเขียวในดิวิชัน Chlorophyta มีลักษณะเป็นเส้นสาย พบว่ามี 6 สปีชีส์ด้วยกันดังนี้ (ศรีวรรณ และประเสริฐ, 2544; ยุวดี และคณะ, 2547)

1. *Cladophora glomerata* Kützing เป็นชนิดที่พบมากที่สุดในกลุ่มของสาหร่ายไถ่ เส้นสายมีสีเขียวสด เมื่อศึกษาด้วยกล้องจุลทรรศน์จะเห็นการแตกแขนงเป็น 2 ง่าม คลอโรพลาสต์เป็นร่างแห เส้นสายอ่อนนุ่ม ชาวบ้านเรียกว่า ไถ่ไหม เป็นไถ่ที่มีคุณภาพดี

2. *Cladophora* sp. 1 มีลักษณะคล้าย *C. glomerata* แต่แตกแขนงต่างกัน คือ เส้นสายแตกแขนงไม่มากนัก มีไรโซมที่ยึดติดกับสิ่งยึดเกาะ (substrate) สีของเซลล์จะมีสีเขียวออกเหลือง พุ่มไม่ค่อยสวยเหมือน *C. glomerata* ลักษณะหึงกอ เจริญอยู่ได้ทั้งสภาพที่มีน้ำไหลเร็วและน้ำนิ่ง ในน้ำใสและค่อนข้างขุ่น เมื่อศึกษาด้วยกล้องจุลทรรศน์จะเห็นเซลล์มีความกว้างมากกว่าความยาว คลอโรพลาสต์ในเซลล์ไม่หนาแน่นนัก พบเป็นแบบร่างแห และเกล็ดกระจายอยู่ทั่วไป พนักเซลล์ค่อนข้างหนา เส้นสายอ่อนนุ่มและจัดเป็นกลุ่มของไถ่ไหมเช่นเดียวกัน

3. *Microspora floccose* (Vaucher) Thuret เป็นเส้นสายที่ไม่แตกแขนง เส้นสายไม่เรียบ อาจเป็นลอนเล็กน้อย เมื่อจับจะรู้สึกหยาบกว่าไถ่ไหม ชาวบ้านเรียกว่าไถ่ค่าว เมื่อศึกษาด้วยกล้องจุลทรรศน์จะเห็นเซลล์รูปทรงกระบอกมาต่อกันเป็นเส้นสาย และมองเห็นผนังเซลล์เป็นรูปตัว H ชัดเจน คลอโรพลาสต์เป็นร่างแห

4. *Microspora pachyderma* (Will) Langerheim มีลักษณะคล้ายกับ *M. floccose* แตกต่างกันตรงที่เจริญเป็นเส้นสายไม่ยาวมากนัก มีลักษณะคล้ายเส้นผมสีเขียว เกาะติดกับสิ่งยึดเกาะที่เป็นของแข็ง เช่น ก้อนหิน ฟิชน้ำ รวมถึงวัสดุต่างๆ โดยใช้ไฮลฟาสต์ พบในแหล่งน้ำที่ไม่ขุ่นมากนัก เจริญติดกับพื้นท้องน้ำ เมื่อศึกษาด้วยกล้องจุลทรรศน์จะเห็นเป็นเส้นสายไม่แตกแขนง พนักเซลล์ไม่หนา เซลล์กว้าง 5-6 μm เซลล์แต่ละเซลล์มีลักษณะเป็นรูปทรงกระบอก พนักเซลล์มีลักษณะเป็นรูปตัว H ซึ่งจะมองเห็นเป็นรูปตัว H ต่อกันอย่างชัดเจน คลอโรพลาสต์เป็นร่างแห

5. *Microspora* sp.1 เป็นเส้นสายละเอียดสีเขียวอ่อน ไม่แตกแขนง เส้นสายไม่ยาวมากนัก จับดูจะลื่นคล้ายกับ *Spirogyra* sp. เกาะยึดติดกับสิ่งยึดเกาะที่เป็นของแข็ง เช่น ก้อนหิน แต่ไม่พบในแหล่งที่มีน้ำไหลแรง เจริญเกาะติดกับสิ่งยึดเกาะโดยใช้ไฮลฟาสต์ เมื่อศึกษาด้วยกล้องจุลทรรศน์จะเห็นเซลล์แต่ละเซลล์เป็นรูปทรงกระบอก พนักเซลล์ไม่หนา คลอโรพิลล์เป็นร่างแหอยู่ไม่เต็มเซลล์ พบไพรีนอยด์กระจายจำนวนน้อย

6. *Microspora* sp.2 เป็นเส้นสายละเอียดสีเขียวอ่อน ไม่แตกแขนง จับดูไม่ลื่น เส้นสายอาจยาวหรือสั้นลักษณะหึงกอเล็กน้อยไม่เหยียดตรง เกาะติดกับสิ่งยึดเกาะที่เป็นก้อนหินขนาดเล็ก พบในแหล่งน้ำที่ค่อนข้างนิ่งหรือไหลเอื่อย เมื่อศึกษาด้วยกล้องจุลทรรศน์จะเห็นผนังเซลล์หนาไม่เท่ากันในแต่ละช่วงของเซลล์ ทำให้ลักษณะของทลัสต์คงอไปมา คลอโรพลาสต์เป็นร่างแหอยู่ไม่เต็มเซลล์ พบไพรีนอยด์กระจายจำนวนน้อย

2.3 คาโรทีนอยด์ (Carotenoid)

คาโรทีนอยด์เป็นเตตราเพน (tetrapenes) ซึ่งสร้างจากไอโซพรีนอยด์ (isoprenoid) 8 หน่วย โดยมีไลโคพีน (lycopene) เป็นสารตั้งต้นของคาโรทีนอยด์ทุกชนิดที่พบในสาหร่าย คาโรทีนอยด์ประกอบด้วย คาโรทีน (carotene) และ แซนฟิลล์ (xanthophyll) ทำหน้าที่ป้องกันไม่ให้คลอโรฟิลล์ถูกทำลาย คาโรทีนอยด์สามารถป้องกันการเกิดโรคหลายชนิด โดยเบต้าคาโรทีน (β -carotene) ลูทีน (lutien) และ วีโอซานทิน (viaxanthin) สามารถป้องกันการเกิดโรคมะเร็ง และคนที่รับประทาน ลูทีน จะมีอัตราเสี่ยงในการเกิดต้อกระจกและการเสื่อมของเรตินาลดลง ปัจจุบันมีการนำคาโรทีนอยด์มาใช้ผสมอาหารสัตว์น้ำและอาหารสัตว์ปีกเพื่อกระตุ้นการเกิดสีในไข่และสีของไข่แดง อุตสาหกรรมเครื่องสำอาง และใช้เป็นสีผสมอาหารแทนสีสังเคราะห์ ได้มีรายงานการใช้สาหร่ายสีเขียว 2 ชนิดมาผลิตคาโรทีนอยด์ในระดับการค้า ได้แก่ *Haematococcus pluvialis* เป็นแหล่ง แอสต้าซานทิน (astaxanthin) และ *Dunaliella salina* เป็นแหล่ง เบต้าคาโรทีน (Del Campo *et al.*, 2000) คาโรทีนอยด์ในสาหร่ายสีเขียวจะพบเบต้าคาโรทีน ลูทีน ไวโอลาซานทิน (violaxanthin) และนีโอซานทิน (neoxanthin) เป็นหลัก (Goodwin, 1980) สำหรับใน *Cladophora spp.* มีรายงานว่าพบลอโรซานทิน (loroxanthin) ซิโฟนาซานทิน (siphonaxanthin) และไซโฟเนน (siphonein) (Aitzetmuller *et al.*, 1969)

มีรายงานการศึกษาคาโรทีนอยด์ของ *Cladophora spp.*, *Spirogyra spp.* และ *Spirulina platensis* (ตาราง 1) พบปริมาณคาโรทีนอยด์ 339.68, 139.29 และ 187.89 ไมโครกรัมต่อกรัม(น้ำหนักแห้ง) ตามลำดับ (จกมล และคณะ, 2545) ปริมาณคาโรทีนอยด์ในเนื้อปลานิลแดง (ปลาทับทิม) ที่เลี้ยงโดยใช้สูตรอาหาร 3 สูตร โดย 2 ใน 3 สูตรมีส่วนผสมของสาหร่าย *Spirulina* และ *Cladophora* พบว่าเนื้อปลานิลแดงที่เลี้ยงโดยสูตรอาหารที่มีการผสม *Cladophora* มีปริมาณคาโรทีนอยด์สูงที่สุด ดังนั้นการนำ *Cladophora* มาใช้เป็นส่วนผสมอาหารเลี้ยงปลาเศรษฐกิจของประเทศไทยเช่นปลาบึก รวมทั้งปลาสวยงาม จะช่วยเพิ่มสีสันของปลาให้สวยงามยิ่งขึ้นและเป็นที่ต้องการของตลาด ส่วนในปลาที่ใช้ในการบริโภค สาหร่ายน่าจะเพิ่มปริมาณคาโรทีนอยด์ให้กับเนื้อปลาเช่นกัน (สุรศักดิ์, 2544)

ตาราง 1 ปริมาณคาโรทีนอยด์ในเนื้อปลานิลแดงที่เลี้ยงด้วยอาหารสูตรต่างๆ

สูตร	ส่วนผสมในอาหาร (%)			ปริมาณคาโรทีนอยด์ในเนื้อปลา (ไมโครกรัมต่อกรัม)
	โปรตีน	<i>Spirulina</i>	<i>Cladophora</i>	
1	25	-	-	5.927
2	25	15	-	17.568
3	25	-	15	18.553

ที่มา: สุรศักดิ์, 2544

2.4 คุณค่าทางโภชนาการ (Nutritional Value)

ในปัจจุบันมีการให้ความสนใจศึกษาคุณค่าทางโภชนาการของสาหร่ายที่ใช้เป็นอาหารมากขึ้นเพื่อหาแหล่งอาหารที่มีคุณค่าทางโภชนาการสูง และเป็นแนวทางในการนำมาใช้ทดแทนอาหารสัตว์ที่มีราคาแพงเพื่อช่วยลดต้นทุน สาหร่ายที่ได้รับความสนใจและมีการศึกษาคุณค่าทางโภชนาการในปัจจุบัน ได้แก่ *Cladophora* ซึ่งพบว่า มีปริมาณโปรตีน 28.22%, ไขมัน 6.81%, เส้นใย (Neutral detergent fiber) 19.29%, เส้นใย (Acid detergent fiber) 19.06%, เถา 20.80%, ความชื้น 13.19%, แคลเซียม 1.20% และ ฟอสฟอรัส 0.36% ดังแสดงในตารางที่ 2 (สรวิศ, 2543) คุณค่าทางโภชนาการของสาหร่ายไถจากลำน้ำน่าน (โดยน้ำหนักแห้ง) มีไขมัน 3.12%, โปรตีน 19.3%, กาก (ใยอาหาร) 21.9%, เถา 19.6% และคาร์โบไฮเดรต 30.34% มีวิตามินจำพวกวิตามินอีและไนอะซิน 6.78 และ 4.20 mg/100 g วิตามินบี 1 169.50, วิตามินบี 2 541.10, กรดโฟลิก 136.30 และกรดแพนโทธีนิก 263.20 µg/100 g กลีโคแรจจำพวกทองแดง 310.00 และซีลีเนียม 460.40 µg/100 g แคลเซียม 943.90, โซเดียม 716.90, แมกนีเซียม 170.5, แมงกานีส 5.36, เหล็ก 162.0 และสังกะสี 0.65 mg/100 g โพแทสเซียม และคลอไรด์ เท่ากับ 4.62% และ 1.56% ดังแสดงในตารางที่ 2

ตาราง 2 คุณค่าทางโภชนาการของสาหร่าย *Cladophora*

คุณค่าทางโภชนาการ	ปริมาณ (%)
โปรตีน	28.22
ไขมัน	6.81
เส้นใย - Neutral detergent fiber	9.29
- Acid detergent fiber	19.06
เถา	20.80
ความชื้น	13.19
แคลเซียม	1.20
ฟอสฟอรัส	0.36

ที่มา: สรวิศ, 2543

ตาราง 3 คุณค่าทางโภชนาการของสาหร่าย *Cladophora* จากลำน้ำน่าน

พารามิเตอร์ที่ศึกษา	ปริมาณ
สารอาหารพื้นฐาน	(กรัม/100 กรัม น.น.แห้ง)
ไขมัน	3.12
โปรตีน	19.30
ใยอาหาร	21.90
เถ้า	19.60
คาร์โบไฮเดรต (โดยการคำนวณ)	30.34
วิตามิน	(ไมโครกรัม/100กรัม น.น.แห้ง)
วิตามินอี	0.00678
วิตามินบี 1	169.50
วิตามินบี 2	541.10
กรดโฟลิก	136.30
กรดแพนโทธีนิก	263.20
ไนอะซิน	0.0042
เกลือแร่	(มิลลิกรัม/100กรัม น.น.แห้ง)
แคลเซียม	943.90
โซเดียม	716.90
โพแทสเซียม	4,000.62
คลอไรด์	1,000.56
แมกนีเซียม	170.50
แมงกานีส	5.36
เหล็ก	162.00
ทองแดง	310.00*
สังกะสี	0.65
ซีลีเนียม	460.40*

ที่มา: ชูวดี (2547) หมายเหตุ * = ไมโครกรัม/100กรัม น.น.แห้ง

2.5 คุณภาพน้ำ (Water Quality)

ปัจจัยต่างๆในแหล่งน้ำ เช่น สารอาหาร ความเข้มแสง พื้นที่ในการยึดเกาะ ค่าความเป็นกรดเป็นด่าง ความเค็ม ปริมาณโลหะหนัก จะมีผลโดยตรงต่อชุมชนและลักษณะของสาหร่ายยึดเกาะ สารอาหาร

และแสงเป็นปัจจัยจำกัดเบื้องต้น (primary limiting factor) ที่จำเป็นต่อสาหร่ายยืคเกาะโดยเฉพาะไนโตรเจน ไนโตรเจน แอมโมเนียไนโตรเจน ไนไตรท์ไนโตรเจน และออร์โธฟอสเฟตฟอสฟอรัสที่เป็นปัจจัยควบคุมผลผลิตเบื้องต้นของแหล่งน้ำ ส่วนพื้นที่ในการยืคเกาะเป็นปัจจัยรอง (secondary limiting factor) ของสาหร่ายยืคเกาะหลายชนิด โดยเฉพาะสาหร่ายขนาดใหญ่ซึ่งมีความหลากหลายของชนิดสูงในแหล่งน้ำที่พื้นท้องน้ำเป็นกรวดและก้อนหินขนาดเล็ก การที่สาหร่ายมีช่วงอายุสั้นและตอบสนองต่อการเปลี่ยนแปลงสภาพแวดล้อมอย่างรวดเร็วจึงทำให้สามารถใช้เป็นดัชนีบ่งชี้คุณภาพของแหล่งน้ำได้ (ศิริเพ็ญ, 2537)

จากการศึกษาระบบนิเวศของสาหร่ายไถในแม่น้ำโขงโดยเก็บตัวอย่าง 4 ครั้ง จากจุดสำรวจ 5 จุด พบว่าประกอบด้วยสาหร่าย 2 ชนิด คือ *Cladophora glomerata* Kützinger (ไถคำว) และ *Microspora flucoose* Thuret (ไถไหม) โดยจะพบ *M. flucoose* มากกว่า *C. glomerata* ในเกือบทุกจุดสำรวจ โดยส่วนใหญ่จะพบ *C. glomerata* ที่บริเวณน้ำตื้นริมตลิ่ง และพบ *M. flucoose* ในบริเวณที่น้ำลึก แต่ในบางครั้งก็จะพบสาหร่ายทั้งสองชนิดขึ้นปะปนกัน ปัจจัยทางกายภาพและเคมีในแม่น้ำโขงมีการเปลี่ยนแปลงอยู่ในช่วงดังนี้ อุณหภูมิ 21.8-26.8 °C ความขุ่น 14-134 NTU ความเร็วกระแสน้ำ 0.22-0.96 เมตร/วินาที pH 7.53-8.40 ค่าการนำไฟฟ้า 283-549 ไมโครซีเมนต่อเซนติเมตร ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำ 140-275 มิลลิกรัม/ลิตร ปริมาณออกซิเจนละลายน้ำ 7.2 – 9.2 มิลลิกรัม/ลิตร ความเป็นด่าง 60-92 มิลลิกรัม/ลิตร แอมโมเนียไนโตรเจน 0.08-1.05 มิลลิกรัม/ลิตร ไนเตรทไนโตรเจน 0.2-1.6 มิลลิกรัม/ลิตร และ ออร์โธฟอสเฟตฟอสฟอรัส 0.07-0.67 มิลลิกรัม/ลิตร จากการศึกษพบว่าปัจจัยทางกายภาพมีอิทธิพลต่อการเจริญเติบโตของสาหร่ายทั้งสองสกุลมากกว่าปัจจัยทางเคมี ทั้งนี้เพราะปัจจัยทางเคมีในแม่น้ำโขงอยู่ในช่วงที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของสาหร่ายทั้งสอง (ศรีวรรณ และประเสริฐ, 2544)

อย่างไรก็ตาม สาหร่ายชนิดนี้จะพบมากในช่วงฤดูหนาว และฤดูร้อน(แล้ง) เมื่อระดับน้ำในแม่น้ำไม่ลึกนัก และน้ำค่อนข้างใส โดยในลำน้ำน่านจะพบมากเป็นช่วงเวลา 4-5 เดือน แต่ในลำน้ำโขงที่จังหวัดเชียงรายจะพบมากเป็นช่วงเวลาประมาณ 3-4 เดือน

2.6 การใช้สาหร่ายไถเป็นอาหารปลา

ปัจจุบันปลาสวยงามจัดว่าเป็นปลาที่มีความสำคัญทางเศรษฐกิจของประเทศไทย มีการส่งออกไปจำหน่ายยังต่างประเทศ และนิยมเลี้ยงกันอย่างกว้างขวางภายในประเทศ จากสถิติการส่งออกปลาสวยงามประจำปี 2543 มีการส่งออกไปจำหน่ายต่างประเทศประมาณ 1 – 1.5 ล้านตัวต่อสัปดาห์ (อมรรัตน์, 2543) ซึ่งผลจากการส่งออกปลาที่มีสีส้มสวยงามหรือสีเข้มเป็นพิเศษ โดยเฉพาะสีแดงจะจำหน่ายได้ในราคาสูงกว่าปกติ ดังนั้นจึงมีผู้คิดค้นหาวิธีทำให้ปลามีสีเข้มขึ้น ซึ่งทำได้หลายวิธี เช่น การใช้สารเคมีให้ปลากิน การย้อมสี การให้อาหารพิเศษ เป็นต้น และจากที่ทราบว่าสีส้มของปลาเกิดจากการสะสมของรงควัตถุ

(pigments) พวกลำไยคาร์ทีนอยด์ ดังนั้นการผสมคาร์ทีนอยด์ลงในอาหารจึงเป็นแนวทางหนึ่งที่จะเพิ่มสีของปลาให้เข้มขึ้น แต่เนื่องจากคาร์ทีนอยด์สังเคราะห์มีราคาแพงมากและต้องสั่งซื้อจากต่างประเทศ จึงได้มีการนำเอาวัตถุดิบตามธรรมชาติมาใช้ทดแทนสีสังเคราะห์ เช่น สาหร่าย *Spirulina* ประกอบด้วยแซนโทฟิลล์ 1.80 g/kg คาร์ทีน 1.90 g/kg (Hill, 1980) จึงมีการนำ *Spirulina* มาผสมในอาหารให้ปลากินเพื่อเร่งสีปลา โดยผสม *Spirulina* ในปริมาณ 15% ของอาหารปลาทั้งหมด เมื่อนำไปเลี้ยงปลาแฟนซีกรัฟ ทำให้ปลาแฟนซีกรัฟมีสีแดงเข้มดีกว่าสูตรอาหารอื่นๆ (วุฒิพร, 2527 อ้างโดย บานชื่น, 2532) จากการวิเคราะห์สาหร่าย *Spirulina platensis* และ *Cladophora* sp. พบว่ามีคาร์ทีนอยด์เท่ากับ 187.89 และ 339.68 $\mu\text{g}/1\text{ g DW}$ ตามลำดับ (จงกล และคณะ, 2545) จะเห็นได้ว่าสาหร่าย *Cladophora* sp. มีคาร์ทีนอยด์มากกว่าสาหร่าย *Spirulina platensis*

ได้มีการทดลองเลี้ยงปลานิลแดง (ทับทิม) โดยใช้สูตรอาหารต่างกันคือ สูตรที่ 1 อาหารผสมโปรตีน 25% สูตรที่ 2 อาหารผสมโปรตีน 25% และ *Spirulina* 15% ของอาหารทั้งหมด สูตรที่ 3 อาหารผสมโปรตีน 25% และ *Cladophora* sp. 15% ของอาหารทั้งหมด ใช้เวลาทดลอง 2 เดือน เมื่อวิเคราะห์คาร์ทีนอยด์ในเนื้อปลาที่เลี้ยงด้วยอาหารทั้ง 3 สูตร ได้ผลดังนี้ 5.927 ± 1.212^b , 17.568 ± 2.431^a และ 18.553 ± 1.431^a $\mu\text{g}/\text{g}$ ตามลำดับ (สุรศักดิ์, 2544) เห็นได้ว่าอาหารที่มีส่วนผสมของ *Cladophora* ค่าคาร์ทีนอยด์ในเนื้อปลามีแนวโน้มจะมากกว่าอาหารผสมที่มี *Spirulina*

III วิธีดำเนินการวิจัย

การเพาะเลี้ยงสาหร่ายไถ่ (*Cladophora*) โดยใช้น้ำทิ้งจากโรงอาหาร แบ่งการทดลองเป็น 2 ส่วน ดังนี้

ส่วนที่ 1 การเพาะเลี้ยงสาหร่ายไถ่ในโอแก้วกลมปริมาตร 5 ลิตร

- โดยใช้น้ำทิ้งจากโรงอาหารที่ระดับความเข้มข้น 10%, 20%, 30%, 40%, 50%, 60%, 70%, 80%, 90% และ 100% (ผสมด้วยน้ำประปา)
- วิเคราะห์คุณภาพน้ำทางกายภาพและเคมีบางประการ
- วัดการเจริญเติบโตและอัตราการเจริญของสาหร่ายไถ่
- เลือกระดับความเข้มข้นของน้ำทิ้งจากโรงอาหารที่สาหร่ายมีการเจริญเติบโตดีที่สุด 3 ระดับเพื่อนำไปเพาะเลี้ยงสาหร่ายไถ่ในตู้กระจก

ส่วนที่ 2 การเพาะเลี้ยงสาหร่ายไถ่ในตู้กระจกขนาด $0.5 \times 1.5 \times 0.5$ เมตร

- วิเคราะห์คุณภาพน้ำทางกายภาพและเคมีบางประการ
- วัดการเจริญเติบโตและอัตราการเจริญของสาหร่ายไถ่
- วัดมวลชีวภาพและเก็บผลผลิตของสาหร่ายไถ่
- วิเคราะห์หาปริมาณแคโรทีนอยด์และคุณค่าทางโภชนาการ

วิธีการเพาะเลี้ยงสาหร่ายไถ่มีรายละเอียดดังนี้

การเตรียมน้ำเพาะเลี้ยง

1. ใช้เครื่องปั้มน้ำสูบน้ำจากท่อน้ำทิ้งของโรงอาหาร ภาควิชาชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ สูบน้ำมาพักไว้ในบ่อซีเมนต์กลม (ภาพ 5) ปิดฝาทิ้งไว้ประมาณ 2 สัปดาห์



ภาพ 5 บ่อซีเมนต์กลมที่ใช้เก็บน้ำทิ้งจากโรงอาหาร

2. วิเคราะห์คุณภาพน้ำทางกายภาพและเคมีบางประการ (ดูจาก 3.3.1)

3. เมื่อเวลาผ่านไป 2 สัปดาห์ จึงสูบน้ำทิ้งจากบ่อซีเมนต์ กรองด้วยผ้าดิบ ใส่ในบ่อพักน้ำ และใช้ในการเพาะเลี้ยงต่อไป (ภาพ 6)



ภาพ 6 การสูบน้ำทิ้งจากโรงอาหารที่พักไว้ในบ่อซีเมนต์ นำมาใส่ในบ่อพัก เพื่อใช้เพาะเลี้ยงสาหร่ายไค

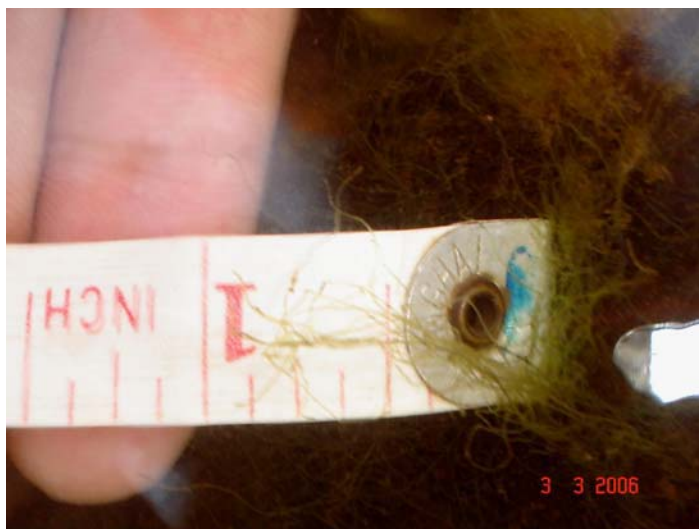
การเตรียมตัวอย่างสาหร่ายไค

1. เก็บสาหร่ายไคที่เกาะติดอยู่บนหินจากแม่น้ำน่านบริเวณ อ.ท่าวังผา จ.น่าน ใส่ในภาชนะ (ภาพ 7)



ภาพ 7 การเก็บตัวอย่างสาหร่ายไคในแม่น้ำน่าน

2. ล้างทำความสะอาด ใช้กรรไกรตัดสาหร่ายไคให้มีความยาวประมาณ 1 นิ้ว หรือ 2.5 เซนติเมตร(ภาพ 8)



ภาพ 8 การวัดความยาวสาหร่ายไก่อและตัดให้มีความยาวประมาณ 1 นิ้ว หรือ 2.5 เซนติเมตร

3. นำตัวอย่างสาหร่ายใส่ในภาชนะที่เตรียมไว้บนรถบรรทุก ใส่น้ำจากแม่น้ำน่านให้ท่วม ก้อนหิน และบรรทุกกลับมาที่ห้องปฏิบัติการ (ภาพ 9)



ภาพ 9 ภาชนะใส่สาหร่ายไก่อเพื่อนำมาที่ห้องทดลอง

3.1 วิธีการเพาะเลี้ยงสาหร่ายไก่อในโอแก้วกลม

1. เจือจางน้ำทิ้งจากโรงอาหารที่ได้พักทิ้งไว้โดยใช้น้ำประปาให้ได้ 10 ระดับ ความเข้มข้น คือ 10%, 20%, 30%, 40%, 50%, 60%, 70%, 80%, 90% และ

100% ใส่ในโถแก้วกลมให้ได้ปริมาตร โถละ 5 L และใช้อาหารสูตร

Jaworski's medium (JM) เป็นชุดควบคุม

2. ใส่หัวเชื้อสาหร่ายไค(สาหร่ายไคที่ขึ้นอยู่แล้วบนก้อนหิน) ซึ่งนำมาจากแม่น้ำน่าน ลงเลี้ยงในโถแก้ว โถละ 1 ก้อน นำไปตั้งบนชั้นที่ติดหลอดไฟ มีความเข้มแสง 5,800 ลักส์ (ภาพ 10)
3. ให้อากาศตลอด 24 ชั่วโมง และเปิดไฟเป็นเวลา 10 ชั่วโมงต่อวัน
4. วิเคราะห์คุณภาพน้ำทางกายภาพและเคมี และวัดการเจริญของสาหร่ายไค สัปดาห์ละครั้ง เป็นเวลา 4 สัปดาห์ เพื่อหาระดับความเข้มข้นของน้ำทิ้งที่เหมาะสมต่อการเจริญของสาหร่ายไค เพื่อนำไปใช้เพาะเลี้ยงในตู้กระจก ขนาด $0.5 \times 1.5 \times 0.5$ เมตรที่มีน้ำไหลเวียนตลอดเวลาต่อไป



ภาพ 10 การเพาะเลี้ยงสาหร่ายไคในโถแก้ว

3.2 การเพาะเลี้ยงสาหร่ายไคในตู้กระจก

เตรียมตู้กระจกขนาด $0.5 \times 1.5 \times 0.5$ เมตร ติดตั้งกั้นหินน้ำเพื่อให้มีกระแส น้ำไหลอย่างต่อเนื่อง ความเร็วกระแสน้ำประมาณ 0.30 เมตร/วินาที ติดหลอดไฟ 40 วัตต์เหนือตู้กระจก มีความเข้มแสงประมาณ 3,000 ลักส์ (ภาพ 11) การเพาะเลี้ยงสาหร่ายไคในตู้กระจก มี 3 รูปแบบ



ภาพ 11 ระบบเลี้ยงสาหร่ายไกลในตู้กระจก

3.2.1 วิธีการเพาะเลี้ยงสาหร่ายไกลในตู้กระจก รูปแบบที่ 1

1. เลือกน้ำทิ้งโรงอาหาร 3 ความเข้มข้นคือ 60%(T₁), 80%(T₂) และ 100%(T₃)
2. สูบน้ำทิ้งโรงอาหารที่พักทิ้งไว้ในบ่อซีเมนต์ กรองใส่ตู้กระจก เจือจางโดยน้ำประปาให้ได้ความเข้มข้น 60, 80 และ 100% และเตรียมน้ำให้ได้ระดับความลึก 20 เซนติเมตร โดยทำการทดลองชุดละ 3 ซ้ำ
3. นำตัวอย่างสาหร่ายไกลที่เก็บมาจากแม่น้ำน่านลงเลี้ยงในตู้กระจก (ภาพ 12) เปิดไฟให้แสงสว่าง 12 ชั่วโมงต่อวัน



ภาพ 12 การนำสาหร่ายไกลลงเลี้ยงในตู้กระจก

* หมายเหตุ ในการทดลองเพาะเลี้ยงสาหร่ายไกลในตู้กระจกแบบที่ 1 ได้ทำการทดลองทั้งหมด 3 ครั้ง ซึ่งเพาะเลี้ยงสำเร็จ 1 ครั้ง ส่วนอีก 2 ครั้งนั้น สาหร่ายไกลที่เลี้ยงตาย เนื่องจากอุณหภูมิห้องเพาะเลี้ยงมีอุณหภูมิสูงมากเพราะเป็นเรือนกระจก ส่งผลให้น้ำที่เลี้ยงสาหร่ายมีอุณหภูมิสูงสุดถึง 39 °C ในช่วงบ่าย (เนื่องจากเป็นฤดูร้อน) จึงได้แก้ปัญหาด้วยการติดเครื่องปรับอากาศ และปรับให้น้ำมีอุณหภูมิประมาณ 25-27 °C

4. วิเคราะห์คุณภาพน้ำทางกายภาพและเคมี วัดการเจริญเติบโต และอัตราการเจริญของสาหร่ายไกลสปีด้าห์ละครั้ง เป็นเวลา 4 สัปดาห์
5. เก็บมวลชีวภาพ วิเคราะห์คาร์บอนนอยด์ และคุณค่าทางโภชนาการ

3.2.2 วิธีการเพาะเลี้ยงสาหร่ายไกลในตู้กระจก รูปแบบที่ 2

1. ผสมน้ำทิ้งจากโรงอาหารกับน้ำประปาลงในตู้กระจกที่ระดับความเข้มข้น 60% (T_1), 80% (T_2) และ 100% (T_3) โดยเตรียมน้ำให้ได้ความลึก 20 เซนติเมตร ความเร็วกระแส น้ำเฉลี่ย 0.30 เมตร/วินาที ปรับความเข้มข้นของแอมโมเนียโดยการเติม NH_4Cl ให้ชุดการทดลองที่ 1 มีปริมาณแอมโมเนียในโตรเจนเริ่มต้น 1.82 มิลลิกรัมต่อลิตร ชุดการทดลองที่ 2 มีปริมาณแอมโมเนียในโตรเจนเริ่มต้น 3.63 มิลลิกรัมต่อลิตร และชุดการทดลองที่ 3 มีปริมาณแอมโมเนียในโตรเจนเริ่มต้น 5.45 มิลลิกรัมต่อลิตร
2. ใส่หัวเชื้อสาหร่ายไกลลงเพาะเลี้ยง เปิดไฟให้แสงสว่าง 12 ชั่วโมงต่อวัน
3. ทำการทดลองชุดละ 3 ซ้ำ
4. วิเคราะห์คุณภาพน้ำทางกายภาพและเคมี และวัดการเจริญของสาหร่ายไกลสปีด้าห์ละครั้งเป็นเวลา 5 สัปดาห์
5. ทำการเติมแอมโมเนียมคลอไรด์สปีด้าห์ละครั้ง โดยให้มีปริมาณแอมโมเนียในโตรเจนใกล้เคียงกับค่าแอมโมเนียในโตรเจนเริ่มต้น

3.2.3 วิธีการเพาะเลี้ยงสาหร่ายไกลในตู้กระจก รูปแบบที่ 3

1. ผสมน้ำทิ้งจากโรงอาหารกับน้ำประปาลงในตู้กระจก ที่ระดับความเข้มข้น 60% (T_1), 80% (T_2) และ 100% (T_3) โดยเตรียมน้ำให้ได้ระดับความลึก 20 เซนติเมตร มีความเร็วกระแส น้ำเฉลี่ย 0.30 m/s ชุดการทดลองที่ 1 ปรับให้มีปริมาณแอมโมเนียในโตรเจนเริ่มต้น 1.96 มิลลิกรัมต่อลิตร การทดลองที่ 2 มีปริมาณแอมโมเนียในโตรเจนเริ่มต้น 2.64 มิลลิกรัมต่อลิตร และชุดการทดลองที่ 3 มีปริมาณแอมโมเนียในโตรเจนเริ่มต้น 3.30 มิลลิกรัมต่อลิตร
2. เตรียมหัวเชื้อสาหร่ายไกล โดยใช้สาหร่ายไกลที่เจริญอยู่บนก้อนหิน ซึ่งได้นำมาจากแม่น้ำน่าน และเพาะเลี้ยงไว้ในห้องปฏิบัติการมาก่อนแล้วเป็นเวลา 6-8 สัปดาห์ เพื่อให้สาหร่ายไกลปรับตัวกับสภาพแวดล้อมที่แตกต่าง

- จากในธรรมชาติ ก่อนนำมาใช้ในการทดลอง และเพื่อให้แน่ใจว่า
สาหร่ายไคที่ใช้เป็นหัวเชื้อไม่มีสาหร่ายไค สกุล *Microspora* ปะปนอยู่
- นำหัวเชื้อสาหร่ายไคที่ขึ้นอยู่บนหิน (ใช้กรรไกรตัดสาหร่ายยาวประมาณ 2.5 เซนติเมตร) นำลงเพาะเลี้ยงในอ่างแก้ว โดยใช้หินซึ่งมีสาหร่ายไคขึ้นอยู่มีปริมาณใกล้เคียงกันในทุกการทดลอง ให้แสงสว่าง 12 ชั่วโมงต่อวัน
 - ทำการทดลองชุดละ 3 ชุด
 - เติมน้ำทิ้งจากโรงอาหารลงในตู้กระจกทุกตู้ในปริมาณที่เท่ากันทุก สัปดาห์
 - วิเคราะห์คุณภาพน้ำทางกายภาพและเคมี และวัดการเจริญของสาหร่ายไค สัปดาห์ละครั้งเป็นเวลา 4 สัปดาห์

3.3 การวัดผล

3.3.1 คุณภาพน้ำ

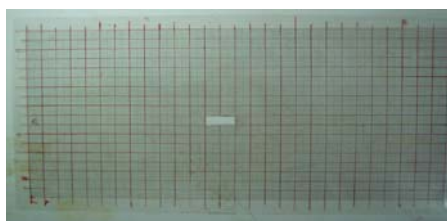
ตรวจสอบคุณภาพน้ำทางกายภาพและเคมีบางประการ ได้แก่

- วัดอุณหภูมิ น้ำ อุณหภูมิอากาศ และ pH
- วิเคราะห์ค่า TSS, Hardness, Alkalinity, DO, BOD, $\text{NH}_3\text{-N}$, $\text{NO}_3\text{-N}$, TKN, $\text{PO}_4\text{-P}$ และ TP

ปัจจัย	วิธี	อ้างอิง
Temperature	เทอร์โมมิเตอร์	
TSS	Oven dried	APHA <i>et al.</i> , 1998
pH	pH meter	ศิริเพ็ญ, 2543; APHA <i>et al.</i> , 1998
Hardness	EDTA titrimetric	"
Alkalinity	Phenolphthalein methy orange indicator	"
DO	Azide modification	"
BOD	Azide modification	"
$\text{NH}_3\text{-N}$	Nesslerization	"
$\text{NO}_3\text{-N}$	Phenoldisulfonic acid	"
TKN	Macro Kjeldahl Nitrogen follow by Nesslerization	"
$\text{PO}_4\text{-P}$	Stannous chloride	"
TP	Persulfate Digestion followed by Stannous Chloride	"

3.3.2 การวัดการเจริญเติบโต ผลผลิต และคาร์บอนของสาหร่ายไค

วัดการเจริญของสาหร่ายไคสัปดาห์ละครั้ง การวัดความยาวของสาหร่ายไคใช้ อุปกรณ์วัด(ภาพ 13) วัดสาหร่ายที่เกาะบนก้อนหินบริเวณที่ทำเครื่องหมายไว้ ตู้ละไม่น้อยกว่า 7 ก้อน และนำ มาหาค่าเฉลี่ย



ภาพ 13 อุปกรณ์ใช้วัดความยาวของสาหร่ายไค

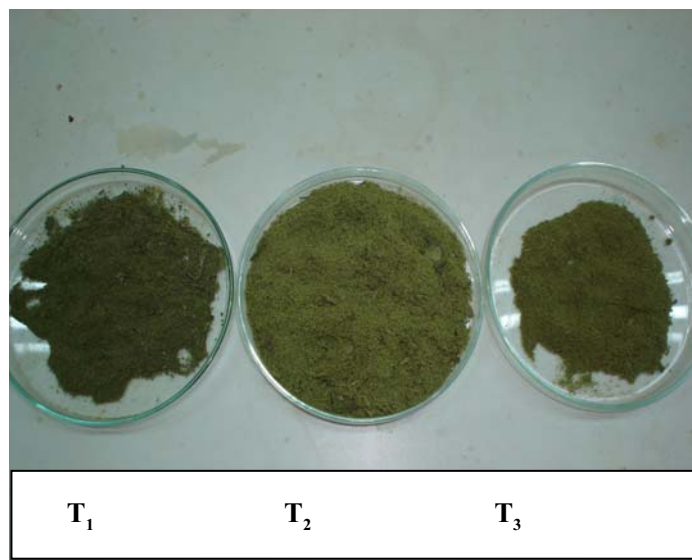
3.3.3 การวิเคราะห์คุณค่าทางโภชนาการของสาหร่ายไค

1. เก็บตัวอย่างสาหร่ายไคที่เพาะเลี้ยงในตู้กระจกนำมาชั่งน้ำหนักสด (ภาพ 14)



ภาพ 14 สาหร่ายไคที่เจริญบนหินในการเพาะเลี้ยงและผลผลิตของสาหร่ายไค

2. นำตัวอย่างสาหร่ายไค มาอบที่อุณหภูมิ 70 °C นาน 3 ชั่วโมง ชั่งน้ำหนักแห้ง และบด เป็นผง (ภาพ 15)



ภาพ 15 สาหร่ายไถ่ที่ผ่านการอบ และบดเป็นผง

3. นำตัวอย่างสาหร่ายไถ่มาวิเคราะห์คุณค่าทางโภชนาการ และปริมาณคาโรทีนอยด์ ดังนี้

<u>ปัจจัย</u>	<u>วิธี</u>	<u>อ้างอิง</u>
Protein	Macro Kjeldahl method Follow by titration	นิวุฒิ และสุฤทธิ, 2543; APHA <i>et al.</i> , 1998
Fat	Soxlet extraction	"
Carbohydrate	Nitrogen free extract	"
Ash	Muffle furnace	"
Fiber	Sulfuric acid & Sodium Hydroxide digestion	"
Moisture	Oven dried	"
Carotenoid	Spectrophotometric method 95% ethanol	"

3.4 การประมวลผล/วิเคราะห์ข้อมูล

ประมวลผลและวิเคราะห์ข้อมูลของการเพาะเลี้ยงสาหร่ายไถ่ในตู้กระจก โดยใช้ Analysis of Variance (ANOVA) และ Duncan Multiple Range Test (DMRT)

IV ผลการศึกษา

ผลการเพาะเลี้ยงสาหร่ายสีเขียวสกุล *Cladophora* (ไถ่) เพื่อเป็นอาหารปลาบึก สามารถเสนอผลการวิจัยเป็น 3 ส่วน คือ 1) การเพาะเลี้ยงสาหร่ายไถ่ในโถแก้ว 2) การเพาะเลี้ยงสาหร่ายไถ่ในตู้กระจก และ 3) ลักษณะเซลล์สาหร่ายไถ่ (*Cladophora*) โดยมีรายละเอียดของผลการศึกษา ดังนี้

4.1 ผลการเพาะเลี้ยงสาหร่ายไถ่ในโถแก้ว

4.1.1 คุณภาพน้ำทางกายภาพและเคมีของน้ำทิ้งจากโรงอาหาร

ผลการตรวจสอบคุณภาพน้ำทางกายภาพและเคมีบางประการของน้ำทิ้งจากโรงอาหาร เมื่อพักไว้ 2 สัปดาห์ แล้วนำมากรอง (ตาราง 4) พบว่า

- น้ำมีความเป็นด่าง และมีความกระด้างมาก
- ไนโตรเจนจะอยู่ในรูปที่เป็นสารอินทรีย์ไนโตรเจน (organic nitrogen) เป็นส่วนใหญ่ ส่วนไนโตรเจนในรูปอนินทรีย์ไนโตรเจน จะมีปริมาณมากในรูปแอมโมเนียไนโตรเจน แต่ไนเตรทไนโตรเจนมีปริมาณน้อยมากจนตรวจวัดค่าไม่ได้
- มีอัตราส่วนของไนโตรเจน ต่อ ฟอสฟอรัส (N : P) เท่ากับ 4 : 1

ตาราง 4 คุณภาพน้ำทางกายภาพและเคมีบางประการของน้ำทิ้งจากโรงอาหารภาควิชาชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ ที่พักไว้ 2 สัปดาห์แล้วนำมากรอง

ปัจจัย	ผลการศึกษา	ปัจจัย	ผลการศึกษา
TSS (mg/L)	3.00	NH ₃ -N (mg/L)	0.580
pH	9.05	TKN (mg/L)	3.500
Hardness (mg/L as CaCO ₃)	167.16	Organic-N (mg/L)	2.920
Alkalinity (mg/L)	157.00	TN (mg/L)	4.080
DO (mg/L)	4.40	PO ₄ -P (mg/L)	0.930
BOD (mg/L)	1.60	TP (mg/L)	1.080
NO ₃ -N (mg/L)	ND	N : P	4 : 1

การเพาะเลี้ยงสาหร่ายไคโนโอแก๊วด้วยน้ำทิ้งจากโรงอาหารที่ระดับความเข้มข้น 10, 20, 30, 40, 50, 60, 70, 80, 90 และ 100% เป็นระยะเวลา 4 สัปดาห์ การเปลี่ยนแปลงของคุณภาพน้ำ มีรายละเอียดดังนี้ (ภาพ 16-19 และ ตารางภาคผนวก 6-9)

น้ำทิ้งจากโรงอาหารความเข้มข้น 10%

น้ำทิ้งจากโรงอาหารที่ระดับความเข้มข้น 10% พบว่า มีปริมาณของแข็งที่แขวนลอยในน้ำ 1.67-3.33 mg/L pH 7.95-10.60 hardness 48.99-57.64 mg/L as CaCO₃, alkalinity 30.00-49.00 mg/L as CaCO₃, DO 5.22-6.64 mg/L, BOD 0.25-6.53 mg/L, NH₃-N ตรวจไม่พบ(ND)-0.476 mg/L, NO₃-N 0.034-0.613 mg/L, TKN 0.001-3.200 mg/L, PO₄-P ND-0.299 mg/L และ TP 0.004-1.248 mg/L

น้ำทิ้งความเข้มข้น 20%

น้ำทิ้งจากโรงอาหารที่ระดับความเข้มข้น 20% พบว่า มีปริมาณของแข็งที่แขวนลอยในน้ำ 1.67-3.33 mg/L, pH 8.08-10.63, hardness 57.64-63.40 mg/L as CaCO₃, alkalinity 43.00-58.00 mg/L as CaCO₃, DO 4.25-6.60 mg/L, BOD 0.09-6.23 mg/L, NH₃-N ND-0.404 mg/L, NO₃-N ตรวจไม่พบทุกสัปดาห์, TKN 0.003-2.890 mg/L, PO₄-P ND-0.067 mg/L และ TP ND-1.180 mg/L

น้ำทิ้งความเข้มข้น 30%

น้ำทิ้งจากโรงอาหารที่ระดับความเข้มข้น 30% พบว่า มีปริมาณของแข็งที่แขวนลอยในน้ำ 1.67-6.67 mg/L, pH 8.05-10.60, hardness 66.29-74.93 mg/L as CaCO₃, alkalinity 34.00-76.00 mg/L as CaCO₃, DO 4.30-6.55 mg/L, BOD 0.10-4.34 mg/L, NH₃-N ND-0.222 mg/L, NO₃-N ตรวจไม่พบทุกสัปดาห์, TKN 0.002-1.760 mg/L, PO₄-P ND-0.057 mg/L และ TP 0.022-0.852 mg/L

น้ำทิ้งความเข้มข้น 40%

น้ำทิ้งจากโรงอาหารที่ระดับความเข้มข้น 40% พบว่า มีปริมาณของแข็งที่แขวนลอยในน้ำ 1.67-5.00 mg/L, pH 8.05-10.54, hardness 77.81-86.46 mg/L as CaCO₃, alkalinity 41.00-87.00 mg/L as CaCO₃, DO 5.10-6.96 mg/L, BOD 0.69-5.80 mg/L, NH₃-N ND-0.358 mg/L, NO₃-N ตรวจไม่พบทุกสัปดาห์, TKN 0.001-2.230 mg/L, PO₄-P ND-0.720 mg/L และ TP 0.022-1.008 mg/L

น้ำทิ้งความเข้มข้น 50%

น้ำทิ้งจากโรงอาหารที่ระดับความเข้มข้น 50% พบว่า มีปริมาณของแข็งที่แขวนลอยในน้ำ 1.67-3.33 mg/L, pH 7.07-10.34, hardness 89.34-115.28 mg/L as CaCO₃, alkalinity 84.00-90.00 mg/L as CaCO₃, DO 4.36-7.06 mg/L, BOD 1.15-5.31 mg/L, NH₃-N ND-0.266 mg/L, NO₃-N ND-0.016 mg/L, TKN 0.003-1.860 mg/L, PO₄-P ND-0.103 mg/L และ TP ND-0.836 mg/L

น้ำทิ้งความเข้มข้น 60%

น้ำทิ้งจากโรงอาหารที่ระดับความเข้มข้น 60% พบว่า มีปริมาณของแข็งที่แขวนลอยในน้ำ 1.67-3.33 mg/L, pH 7.97-10.53, hardness 100.87-113.84 mg/L as CaCO₃, alkalinity 79.00-103.00 mg/L as CaCO₃, DO 5.20-7.02 mg/L, BOD 0.21-5.60 mg/L, NH₃-N ND-0.098 mg/L, NO₃-N ตรวจไม่พบทุกสัปดาห์, TKN 0.002-0.870 mg/L, PO₄-P ND-0.039 mg/L และ TP ND-1.284 mg/L

น้ำทิ้งความเข้มข้น 70%

น้ำทิ้งจากโรงอาหารที่ระดับความเข้มข้น 70% พบว่า มีปริมาณของแข็งที่แขวนลอยในน้ำ 1.67-3.33 mg/L, pH 8.02-10.55, hardness 82.14-121.04 mg/L as CaCO₃, alkalinity 89.00-115.00 mg/L as CaCO₃, DO 5.10-6.88 mg/L, BOD 0.94-5.60 mg/L, NH₃-N ND-0.120 mg/L, NO₃-N ตรวจไม่พบทุกสัปดาห์, TKN 0.001-0.930 mg/L, PO₄-P 0.024-0.124 mg/L และ TP 0.068-0.838 mg/L

น้ำทิ้งความเข้มข้น 80%

น้ำทิ้งจากโรงอาหารที่ระดับความเข้มข้น 80% พบว่า มีปริมาณของแข็งที่แขวนลอยในน้ำ 1.67-5.00 mg/L, pH 8.08-10.32, hardness 125.37-144.10 mg/L as CaCO₃, alkalinity 98.00-109.00 mg/L as CaCO₃, DO 5.30-6.74 mg/L, BOD 0.07-5.18 mg/L, NH₃-N ND-0.248 mg/L, NO₃-N ตรวจไม่พบทุกสัปดาห์, TKN 0.012-1.840 mg/L, PO₄-P ND-0.082 mg/L และ TP ND-1.498 mg/L

น้ำทิ้งความเข้มข้น 90%

น้ำทิ้งจากโรงอาหารที่ระดับความเข้มข้น 90% พบว่า มีปริมาณของแข็งที่แขวนลอยในน้ำ 3.33-5.00 mg/L, pH 8.04-10.06, hardness 134.45-158.51 mg/L as CaCO₃, alkalinity 85.00-150.00 mg/L as CaCO₃, DO 5.20-7.29 mg/L, BOD 0.06-4.90 mg/L, NH₃-N ND-0.378 mg/L, NO₃-N ND-0.113 mg/L, TKN 0.001-2.320 mg/L, PO₄-P 0.033-0.090 mg/L และ TP 0.059-1.822 mg/L

น้ำทิ้งความเข้มข้น 100%

น้ำทิ้งจากโรงอาหารที่ระดับความเข้มข้น 100% พบว่า มีปริมาณของแข็งที่แขวนลอยในน้ำ 1.67-3.33 mg/L, pH 8.04-10.44, hardness 132.57-158.51 mg/L as CaCO₃, alkalinity 90.00-162.00 mg/L as CaCO₃, DO 5.20-7.07 mg/L, BOD 0.08-4.33 mg/L, NH₃-N ND-0.298 mg/L, NO₃-N ND-0.004 mg/L, TKN 0.002-1.740 mg/L, PO₄-P ND-0.069 mg/L และ TP ND-0.826 mg/L

4.1.2 การเจริญเติบโต และอัตราการเจริญเติบโตของสาหร่ายไก่อเมื่อเพาะเลี้ยงในน้ำทิ้งความเข้มข้นต่างๆ (ภาพ 20 และตารางภาคผนวก 10)

น้ำทิ้งความเข้มข้น 10%

การเจริญเติบโตของสาหร่ายไกล พบว่า สาหร่ายไกลมีความยาวเฉลี่ยในสัปดาห์ที่ 1 เท่ากับ 2.5 cm สัปดาห์ที่ 2 เท่ากับ 3.8 cm สัปดาห์ที่ 3 เท่ากับ 5.0 cm และสัปดาห์ที่ 4 เท่ากับ 5.0 cm

อัตราการเจริญเติบโตของสาหร่าย พบว่า จากสัปดาห์ที่ 1 ถึงสัปดาห์ที่ 2 สาหร่ายไกลมีความยาวเฉลี่ยเพิ่มขึ้น 1.3 cm จากสัปดาห์ที่ 2 ถึงสัปดาห์ที่ 3 สาหร่ายไกลมีความยาวเฉลี่ยเพิ่มขึ้น 1.2 cm และจากสัปดาห์ที่ 3 ถึงสัปดาห์ที่ 4 สาหร่ายไกลมีความยาวเฉลี่ยคงที่ ซึ่งเมื่อผ่านการทดลองไป 4 สัปดาห์ สาหร่ายไกลมีความยาวเฉลี่ยเพิ่มขึ้นทั้งสิ้น 2.5 cm

น้ำทิ้งความเข้มข้น 20%

การเจริญเติบโตของสาหร่ายไกล พบว่า สาหร่ายไกลมีความยาวเฉลี่ยในสัปดาห์ที่ 1 เท่ากับ 2.5 cm สัปดาห์ที่ 2 เท่ากับ 4.4 cm สัปดาห์ที่ 3 เท่ากับ 6.3 cm และสัปดาห์ที่ 4 เท่ากับ 5.6 cm

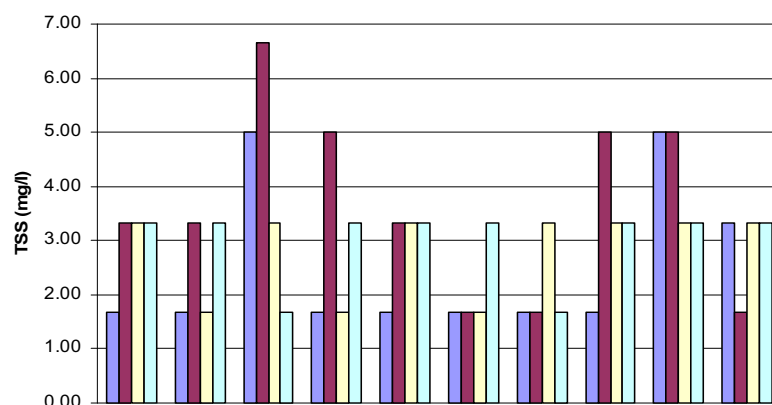
อัตราการเจริญเติบโตของสาหร่าย พบว่า จากสัปดาห์ที่ 1 ถึงสัปดาห์ที่ 2 สาหร่ายไกลมีความยาวเฉลี่ยเพิ่มขึ้น 1.9 cm จากสัปดาห์ที่ 2 ถึงสัปดาห์ที่ 3 สาหร่ายไกลมีความยาวเฉลี่ยเพิ่มขึ้น 1.9 cm และจากสัปดาห์ที่ 3 ถึงสัปดาห์ที่ 4 สาหร่ายไกลมีความยาวเฉลี่ยลดลง 0.7 cm เนื่องจากมีสาหร่ายบางส่วนตาย ซึ่งเมื่อผ่านการทดลองไป 4 สัปดาห์ สาหร่ายไกลมีความยาวเฉลี่ยเพิ่มขึ้นทั้งสิ้น 3.1 cm

น้ำทิ้งความเข้มข้น 30%

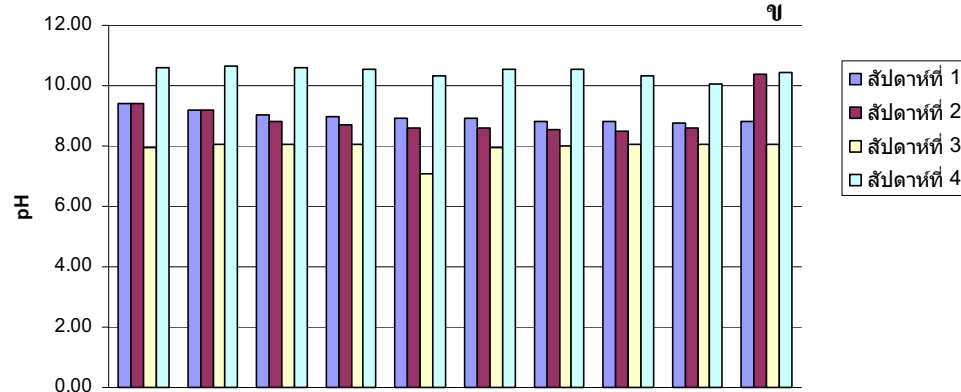
การเจริญเติบโตของสาหร่ายไกล พบว่า สาหร่ายไกลมีความยาวเฉลี่ยในสัปดาห์ที่ 1 เท่ากับ 2.5 cm สัปดาห์ที่ 2 เท่ากับ 3.8 cm สัปดาห์ที่ 3 เท่ากับ 6.3 cm และสัปดาห์ที่ 4 เท่ากับ 6.3 cm

อัตราการเจริญเติบโตของสาหร่าย พบว่า จากสัปดาห์ที่ 1 ถึงสัปดาห์ที่ 2 สาหร่ายไกลมีความยาวเฉลี่ยเพิ่มขึ้น 1.3 cm จากสัปดาห์ที่ 2 ถึงสัปดาห์ที่ 3 สาหร่ายไกลมีความยาวเฉลี่ยเพิ่มขึ้น 2.5 cm และจากสัปดาห์ที่ 3 ถึงสัปดาห์ที่ 4 สาหร่ายไกลมีความยาวเฉลี่ยคงที่ ซึ่งเมื่อผ่านการทดลองไป 4 สัปดาห์ สาหร่ายไกลมีความยาวเฉลี่ยเพิ่มขึ้นทั้งสิ้น 3.8 cm

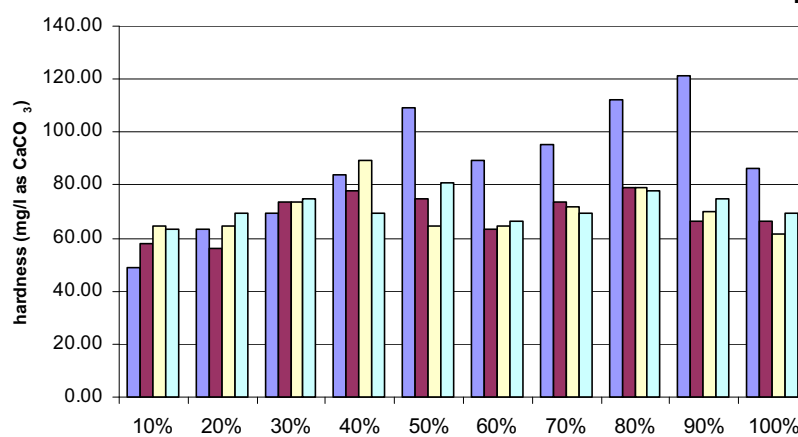
ก



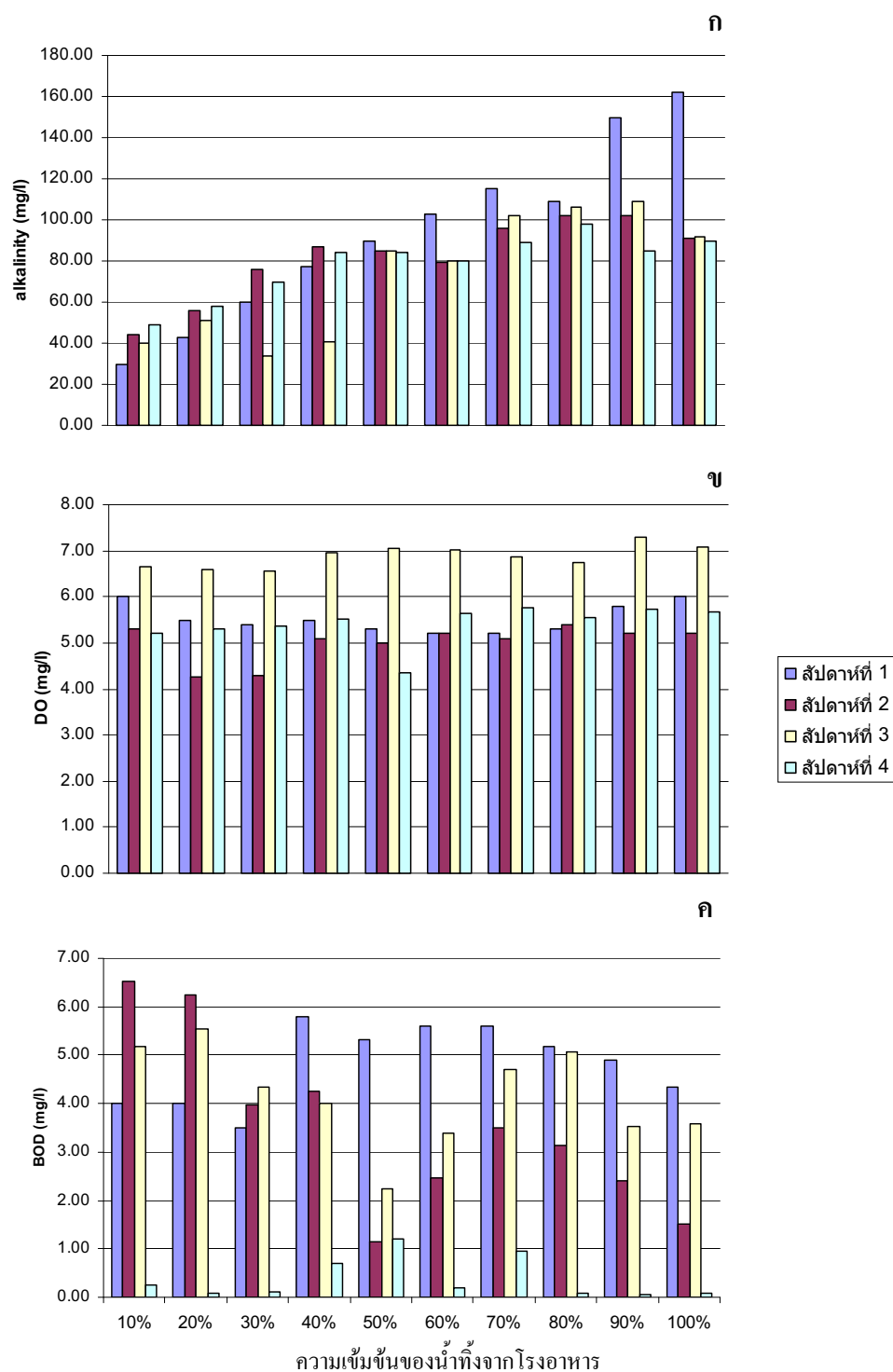
ข



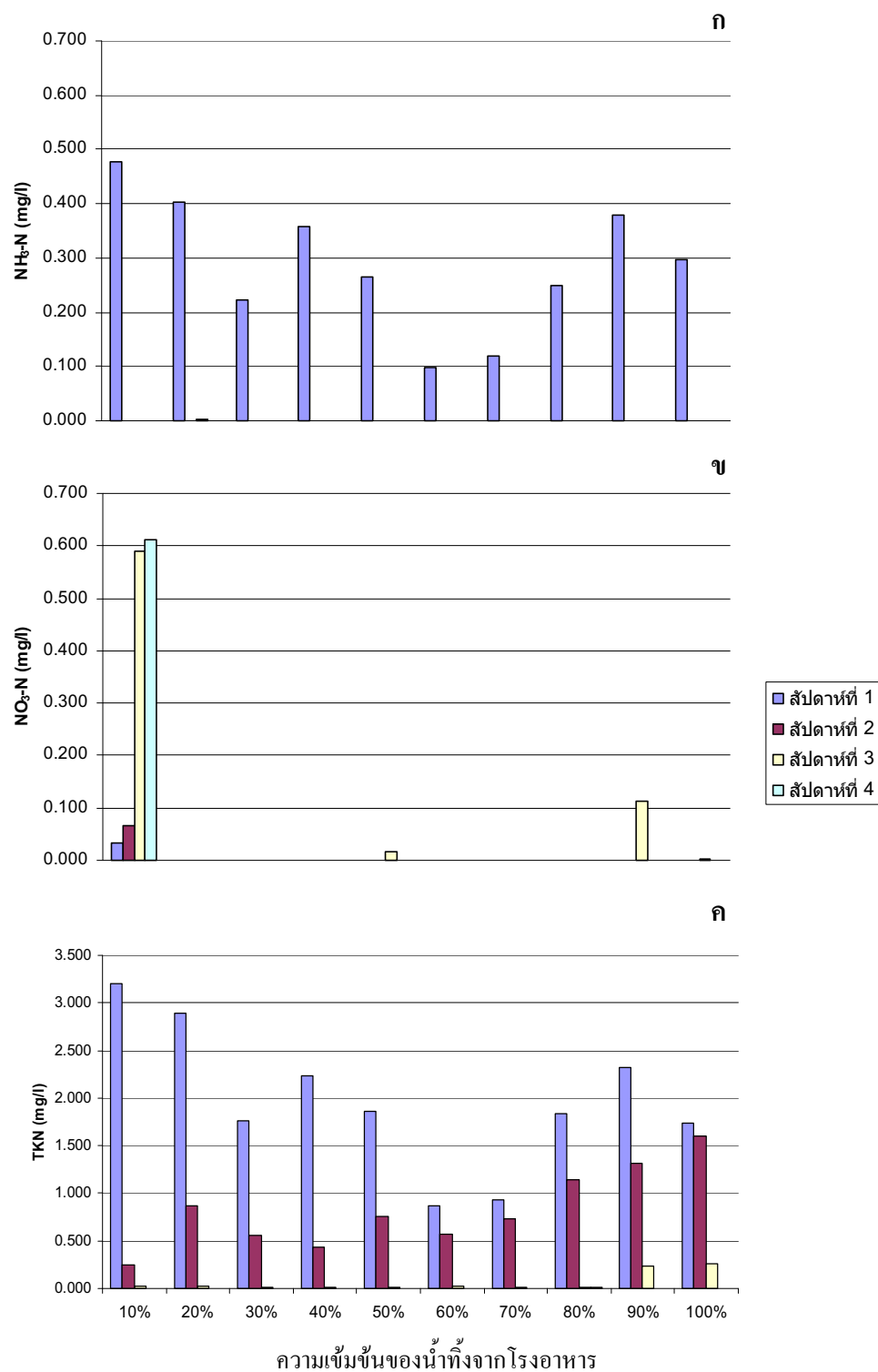
ค



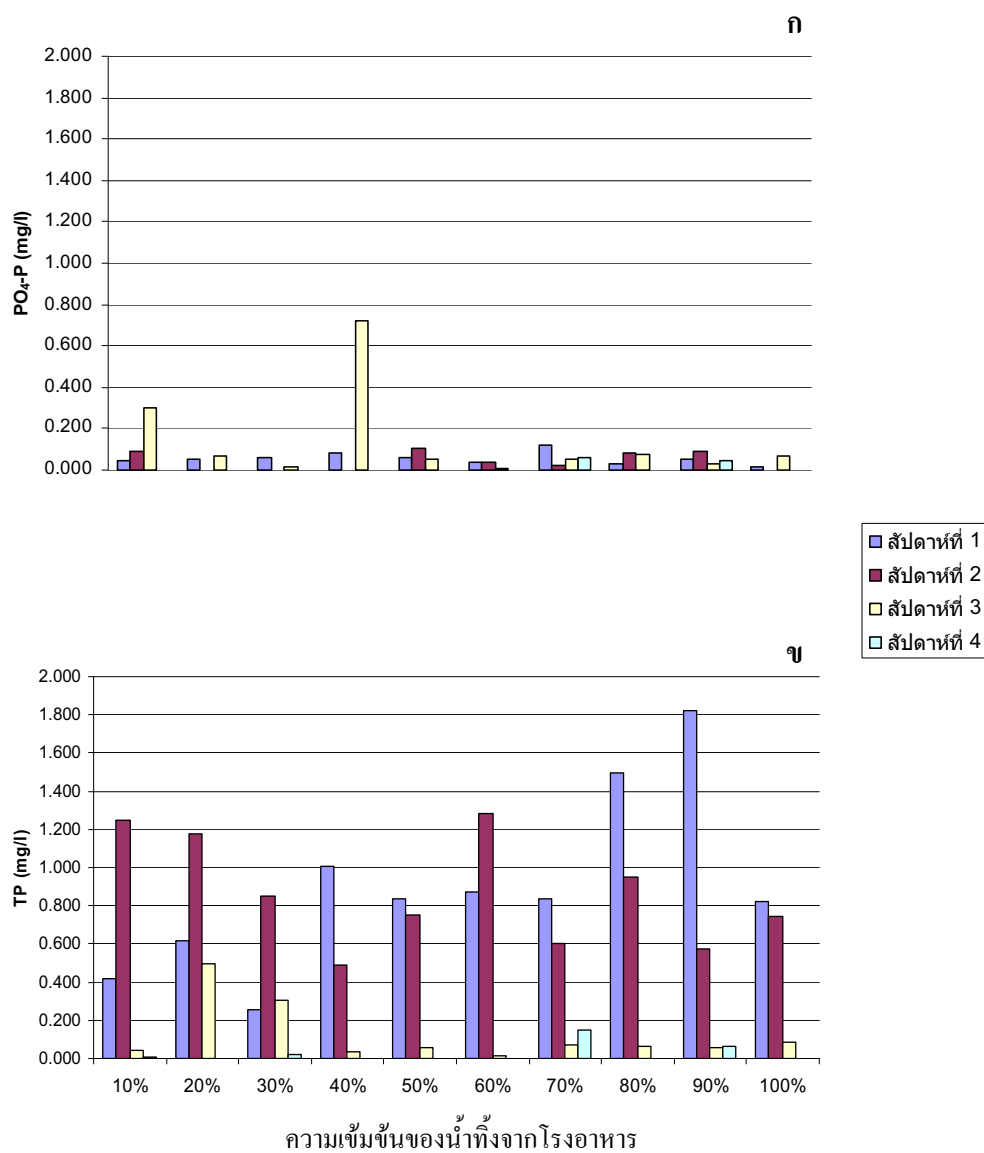
ภาพ 16 คุณภาพน้ำของการเพาะเลี้ยงสาหร่ายไคด้วยน้ำจากโรงอาหารที่ระดับความเข้มข้นต่างๆในโถแก้ว เป็นเวลา 4 สัปดาห์ (ก. ปริมาณของแข็งที่แขวนลอยในน้ำ ข. pH ค. hardness)



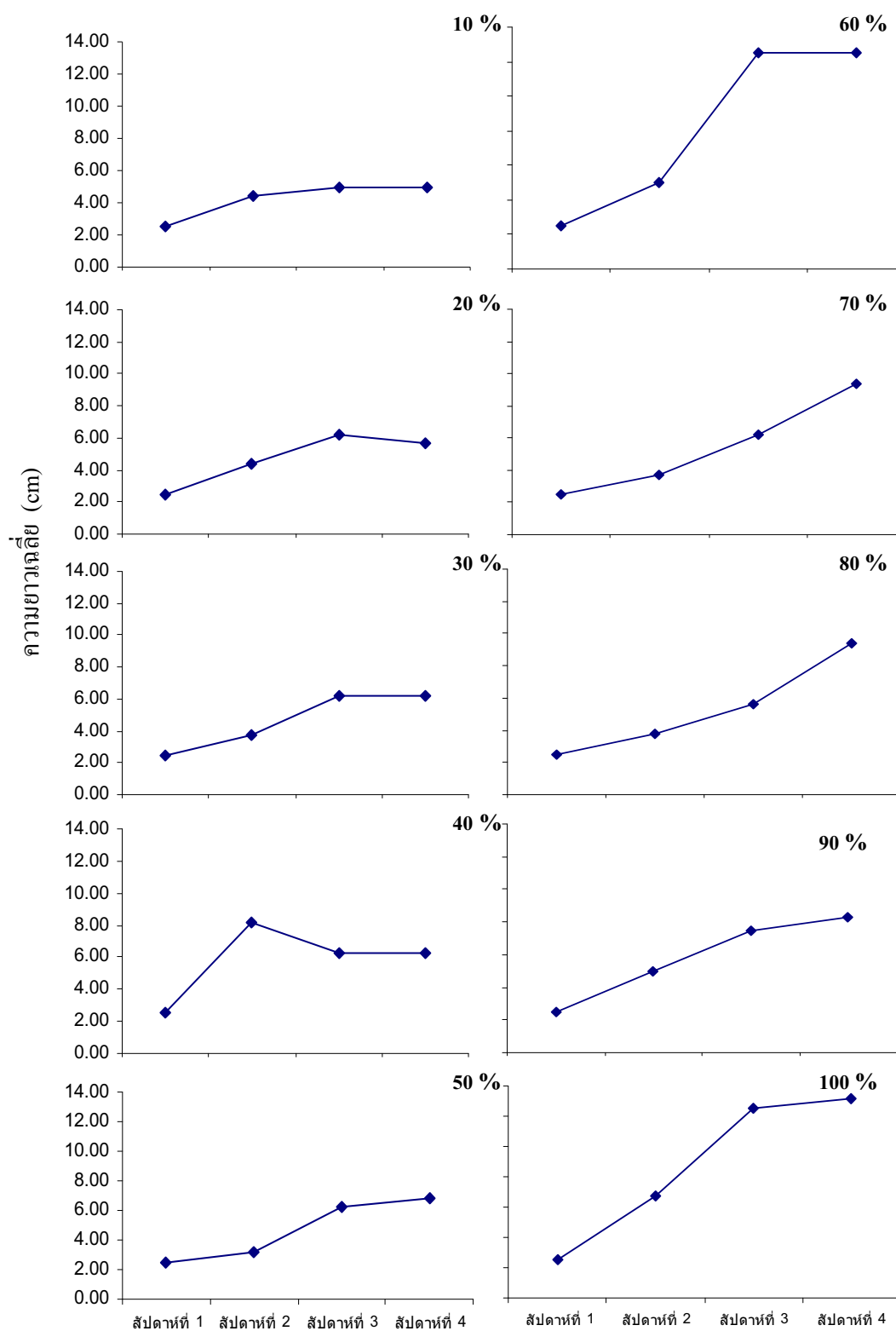
ภาพ 17 คุณภาพน้ำของการทดลองเลี้ยงสาหร่ายไคด้วยน้ำจากโรงอาหารที่ระดับความเข้มข้น
ต่างๆ ในโถแก้ว เป็นเวลา 4 สัปดาห์ (ก. alkalinity ข. DO ค. BOD)



ภาพ 18 คุณภาพน้ำของการทดลองเลี้ยงสาหร่ายไคด้วยน้ำจากโรงอาหารที่ระดับความเข้มข้น
ต่างๆ ในโอแก้ว เป็นเวลา 4 สัปดาห์ (ก. $\text{NH}_3\text{-N}$ ข. $\text{NO}_3\text{-N}$ ค. TKN)



ภาพ 19 คุณภาพน้ำของการทดลองเลี้ยงสาหร่ายไคด้วยน้ำจากโรงอาหารที่ระดับความเข้มข้นต่างๆ ในโอแก้ว เป็นเวลา 4 สัปดาห์ (ก. PO₄-P ข. TP)



ภาพ 20 การเจริญเติบโตของสาหร่ายไคที่เลี้ยงในโอแก้วด้วยน้ำทิ้งจากโรงอาหาร
ที่ระดับความเข้มข้นต่างๆ เป็นระยะเวลา 4 สัปดาห์

กล่าวโดยสรุปได้ว่า ในน้ำทิ้งทุกความเข้มข้นมีค่า pH ที่เป็นด่าง ปริมาณของแข็งที่แขวนลอยในน้ำในและค่า DO แต่ละความเข้มข้นมีค่าที่ใกล้เคียงกัน hardness และ alkalinity ของน้ำมีค่าสูงขึ้นตามระดับความเข้มข้นของน้ำทิ้งจากโรงอาหาร และจะมีค่าลดลงเรื่อยๆ เมื่อมีการเลี้ยงสาหร่ายไค ปริมาณสารอาหาร พบว่า ที่ระดับความเข้มข้น 20% ถึง 100% มีปริมาณ $\text{NO}_3\text{-N}$ ในระดับที่ไม่สามารถตรวจพบ ส่วน $\text{NH}_3\text{-N}$ เมื่อผ่านการเลี้ยงไป 1 สัปดาห์ จะมีปริมาณลดลงจนตรวจสอบไม่พบในทุกระดับความเข้มข้น เมื่อผ่านการทดลองเลี้ยงสาหร่ายไคไป 4 สัปดาห์ ค่า BOD และ TKN จะลดลงจนมีค่าน้อยมาก ส่วนปริมาณ $\text{PO}_4\text{-P}$ และ TP จะมีค่าลดลงจนตรวจไม่พบในหลายระดับความเข้มข้น ส่วนการเจริญเติบโตของสาหร่ายไค พบว่า สาหร่ายไคที่เลี้ยงด้วยน้ำทิ้งจากโรงอาหารที่ระดับความเข้มข้นต่างกัน ส่วนใหญ่มีอัตราการเจริญน้อยที่สุดในสัปดาห์ที่ 3 ถึง 4 หรือในน้ำทิ้งบางความเข้มข้นสาหร่ายไคมีการเจริญลดลง เนื่องจากสาหร่ายบางส่วนตาย และหลุดออกจากก้อนหิน ซึ่งน่าเป็นผลจากมีสารอาหารบางตัวขาดแคลน จากการทดลองพบว่า สาหร่ายไคที่เลี้ยงด้วยน้ำทิ้งจากโรงอาหารที่ระดับความเข้มข้น 100% มีการเจริญสูงสุด รองลงมาคือ ที่ระดับความเข้มข้น 90, 80, 70 และ 60% อาจกล่าวได้ว่า คุณภาพของน้ำทิ้งเริ่มต้นที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของสาหร่ายไคเมื่อเพาะเลี้ยงในโถแก้ว มีปริมาณของแข็งที่แขวนลอยในน้ำ 1.67-162.00 mg/L, pH 8.77-8.92, hardness 86.46-121.04 mg/L as CaCO_3 , alkalinity 103.00-62.00 mg/L as CaCO_3 , DO 5.20-6.00 mg/L, BOD 4.33-5.60 mg/L, $\text{NH}_3\text{-N}$ 0.098-0.378 mg/L, $\text{NO}_3\text{-N}$ มีระดับที่ตรวจวัดไม่ได้, TKN 0.870-2.320 mg/L, $\text{PO}_4\text{-P}$ 0.030-0.124 mg/L และ TP 0.826-1.822 mg/L

ดังนั้นคณะผู้วิจัยจึงได้ทำการเลือกความเข้มข้นของน้ำทิ้งจากโรงอาหารที่ระดับ 60, 80 และ 100% เพื่อใช้เพาะเลี้ยงสาหร่ายไคในตู้กระจกต่อไป

4.2 ผลการเพาะเลี้ยงสาหร่ายไคในตู้กระจก

การเพาะเลี้ยงสาหร่ายไคในตู้กระจกที่มีน้ำไหลเวียนตลอดเวลา ด้วยน้ำทิ้งจากโรงอาหาร โดยเลือกใช้ 3 ระดับความเข้มข้น คือ 60%(T_1), 80%(T_2) และ 100%(T_3) มี 3 รูปแบบการทดลอง

4.2.1 ผลการเพาะเลี้ยงสาหร่ายไคในตู้กระจกแบบที่ 1

ผลการเพาะเลี้ยงสาหร่ายไคในตู้กระจกที่มีน้ำไหลเวียนตลอดเวลาด้วยน้ำทิ้งจากโรงอาหาร 3 ความเข้มข้น คือ

T_1 : น้ำทิ้งจากโรงอาหารความเข้มข้น 60%

T_2 : น้ำทิ้งจากโรงอาหารความเข้มข้น 80% และ

T_3 : น้ำทิ้งจากโรงอาหารความเข้มข้น 100%

4.2.1.1 คุณภาพน้ำทางกายภาพและเคมี (ภาพ 21 - 24 และตารางภาคผนวก 11)

เมื่อเพาะเลี้ยงสาหร่ายไค โดยใช้น้ำทิ้งจากโรงอาหาร จะมีการเปลี่ยนแปลงของคุณภาพน้ำทางกายภาพและเคมี ดังนี้

น้ำทิ้งความเข้มข้น 60% (T_1)

น้ำทิ้งจากโรงอาหารที่ระดับความเข้มข้น T_1 ในเวลา 4 สัปดาห์ พบว่าคุณภาพน้ำมีค่าเฉลี่ยดังนี้ ปริมาณของแข็งที่แขวนลอยในน้ำ 1.67-3.33 mg/L, pH 7.44-8.67, hardness 62.12-171.48 mg/L as CaCO_3 , alkalinity 124.00-282.50 mg/L as CaCO_3 , DO 7.53-8.74 mg/L, BOD 6.21-7.00 mg/L, $\text{NH}_3\text{-N}$ 0.667-2.698 mg/L, $\text{NO}_3\text{-N}$ 0.010-0.174 mg/L, TKN 1.010-3.765 mg/L, $\text{PO}_4\text{-P}$ 0.428-1.065 mg/L และ TP 0.781-1.770 mg/L

น้ำทิ้งความเข้มข้น 80% (T_2)

น้ำทิ้งจากโรงอาหารที่ระดับความเข้มข้น T_2 ในเวลา 4 สัปดาห์ พบว่าคุณภาพน้ำมีค่าเฉลี่ยดังนี้ ปริมาณของแข็งที่แขวนลอยในน้ำ 2.50-4.17 mg/L, pH 7.47-8.55, hardness 97.99-183.01 mg/L as CaCO_3 , alkalinity 202.50-294.00 mg/L as CaCO_3 , DO 7.95-8.34 mg/L, BOD 6.07-8.05 mg/L, $\text{NH}_3\text{-N}$ 0.150-2.358 mg/L, $\text{NO}_3\text{-N}$ ND-0.485 mg/L, TKN 0.935-4.395 mg/L, $\text{PO}_4\text{-P}$ 0.230-1.398 mg/L และ TP 0.985-2.520 mg/L

น้ำทิ้งความเข้มข้น 100% (T_3)

น้ำทิ้งจากโรงอาหารที่ระดับความเข้มข้น T_3 ในเวลา 4 สัปดาห์ พบว่าคุณภาพน้ำมีค่าเฉลี่ยดังนี้ ปริมาณของแข็งที่แขวนลอยในน้ำ 4.17-5.83 mg/L, pH 7.39-8.38, hardness 91.50-171.48 mg/L as CaCO_3 , alkalinity 276.00-445.50 mg/L as CaCO_3 , DO 5.12-7.79 mg/L, BOD 7.61-10.12 mg/L, $\text{NH}_3\text{-N}$ 0.465-2.883 mg/L, $\text{NO}_3\text{-N}$ 0.024-0.398 mg/L, TKN 1.075-6.900 mg/L, $\text{PO}_4\text{-P}$ 0.305-1.730 mg/L และ TP 0.841-3.060 mg/L

กล่าวโดยสรุปได้ว่า น้ำทิ้งทุกความเข้มข้นมีค่า pH ที่แตกต่างกัน ปริมาณของแข็งที่แขวนลอยในน้ำและค่า DO แต่ละความเข้มข้นมีค่าใกล้เคียงกัน hardness และ alkalinity ของน้ำมีค่าสูงขึ้นตามระดับความเข้มข้นของน้ำทิ้งจากโรงอาหาร และมีค่าลดลงเมื่อผ่านการเลี้ยงสาหร่ายไค ปริมาณสารอาหาร พบว่า $\text{NH}_3\text{-N}$, TKN, $\text{PO}_4\text{-P}$ และ TP จะมีค่าลดลงจากสัปดาห์ที่ 1 เช่นเดียวกับค่า BOD แต่ปริมาณ $\text{NO}_3\text{-N}$ จะมีค่าเพิ่มขึ้น