รายงานผลการวิจัย
มหาวิทยาลัยแม่โจ้

สำนักหอสมุด
แม่โจ้ ๒๔๗๗
มหาวิทยาลัยแม่โจ้

เรื่อง การเพาะเลี้ยงสาหร่าย *Cladophora* (ไก) และ *Spirulina* เพื่อเป็นอาหารปลาบึก

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

ภายใต้ชุดโครงการ : ระบบการพัฒนาเชิงพาณิชย์ที่ยั่งยืน สำหรับการเพาะเลี้ยงปลาบึก

ได้รับการจัดสรรงบประมาณวิจัย ประจำปี 2550
จำนวน 240,069 บาท

หัวหน้าโครงการ นายสุฤทธิ์ สมบูรณ์ชัย
ผู้ร่วมโครงการ นายจงกล พรมยะ
นายขจรเกียรติ์ ศรีนวลสม

งานวิจัยเสร็จสิ้นสมบูรณ์
1 มกราคม 2551

คำนิยม

รายงานผลงานวิจัยฉบับนี้สำเร็จลุล่วงเป็นอย่างดี คณะผู้จัดทำขอขอบพระคุณสภาวิจัยแห่งชาติ สำนักวิจัยและส่งเสริมวิชาการเกษตร มหาวิทยาลัยแม่โจ้ ที่ได้ให้การสนับสนุนทุนอุดหนุนการวิจัย ซึ่งได้รับการจัดสรรงบประมาณการวิจัยประจำปี 2550 ในการทำวิจัยในครั้งนี้ ขอขอบพระคุณ คณาจารย์ ข้าราชการ เจ้าหน้าที่และ นักศึกษา คณะเทคโนโลยีการประมง และทรัพยากรทางน้ำ มหาวิทยาลัยแม่โจ้ ที่ให้ความช่วยเหลือด้านอุปกรณ์ เครื่องมือ ตลอดจนสถานที่ทำการวิจัย ขอขอบพระคุณผู้ที่เกี่ยวข้อง และคณะผู้ร่วมทำงาน ที่ให้ความร่วมมือช่วยเหลือ ทำให้งานวิจัยสมบูรณ์ยิ่งขึ้น

คณะผู้วิจัย

สารบัญ

เรื่อง	หน้า
สารบัญตาราง	ก
สารบัญภาพ	ข
สารบัญภาคผนวก	ค
บทคัดย่อ	1
คำนำ	3
การตรวจเอกสาร	4
วัตถุประสงค์ของโครงการ	7
วันเวลา และสถานที่ทำการวิจัย	8
ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	8
อุปกรณ์และวิธีดำเนินการ	9
ผลการวิจัย	11
วิจารณ์ผลการวิจัย	33
สรุปผลการวิจัย	35
เอกสารอ้างอิง	36
ภาคผนวก	38

MAEJO UNIVERSITY

สารบัญตาราง

ตารางที่ **หน้า**

1 การเปรียบเทียบคุณค่าทางโภชนาการของสาหร่ายและวัตถุดิบอาหารสัตว์ 5

2 คุณภาพน้ำทางกายภาพและเคมีบางประการของน้ำทิ้งจากโรงอาหาร มหาวิทยาลัยแม่โจ้ ที่ผ่านการกรองและพักไว้ 2 สัปดาห์ 12

สารบัญภาพ

ภาพที่ หน้า

ภาพที่		หน้า
1	รูปบ่อแบบ Raceway pond	11
2	ความเป็นกรด – ด่าง (pH) ของการเพาะเลี้ยงสาหร่ายไก ด้วยสูตรอาหาร Jm และน้ำจากโรงอาหารที่ระดับความเข้มข้นต่าง ๆ ในตู้กระจก เป็นเวลา 15 วัน	16
3	ค่าการนำไฟฟ้า (conductivity) ของการเพาะเลี้ยงสาหร่ายไกด้วยสูตรอาหาร Jm และน้ำจากโรงอาหารที่ระดับความเข้มข้นต่าง ๆ ในตู้กระจก เป็นเวลา 15 วัน	16
4	ค่าตะกอนแขวนทั้งหมด (TDS) ของการเพาะเลี้ยงสาหร่ายไก ด้วยสูตรอาหาร Jm และน้ำจากโรงอาหารที่ระดับความเข้มข้นต่าง ๆ ในตู้กระจก เป็นเวลา 15 วัน	17
5	ค่าออกซิเจนที่ละลายน้ำ (DO) ในการเพาะเลี้ยงสาหร่ายไกด้วยสูตรอาหาร Jm และน้ำจากโรงอาหารที่ระดับความเข้มข้นต่าง ๆ ในตู้กระจก เป็นเวลา 15 วัน	17
6	ค่า BOD ของน้ำในการเพาะเลี้ยงสาหร่ายไก ด้วยสูตรอาหาร Jm และน้ำจากโรงอาหารที่ระดับความเข้มข้นต่าง ๆ ในตู้กระจก เป็นเวลา 15 วัน	18
7	ค่าไนเตรท – ไนโตรเจน (NO_3-N) ของน้ำในการเพาะเลี้ยงสาหร่ายไกด้วยสูตรอาหาร JM และน้ำจากโรงอาหารที่ระดับความเข้มข้นต่าง ๆ ในตู้กระจก เป็นเวลา 15 วัน	18
8	ค่า TKN ของน้ำในการเพาะเลี้ยงสาหร่ายไก ด้วยสูตรอาหาร Jm และน้ำจากโรงอาหารที่ระดับความเข้มข้นต่าง ๆ ในตู้กระจก เป็นเวลา 15 วัน	19
9	ค่า TKN ของน้ำในการเพาะเลี้ยงสาหร่ายไกด้วย สูตรอาหาร Jm และน้ำจากโรงอาหารที่ระดับความเข้มข้นต่าง ๆ ในตู้กระจก เป็นเวลา 15 วัน	19

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
10	ค่า TP ของน้ำในการเพาะเลี้ยงสาหร่ายไก ด้วยสูตรอาหาร Jm และน้ำจากโรงอาหารที่ระดับความเข้มข้นต่าง ๆ ในตู้กระจก เป็นเวลา 15 วัน	20
11	ผลผลิตของสาหร่ายไกที่เพาะเลี้ยงในสูตรอาหาร Jm และน้ำจากโรงอาหารที่ระดับความเข้มข้นต่าง ๆ ในตู้กระจก เป็นเวลา 15 วัน	20
12	ค่าอุณหภูมิของน้ำ (water temperature) , pH , DO และ BOD ของน้ำในการเพาะเลี้ยงสาหร่ายไกด้วยสูตรอาหารน้ำทิ้งจากโรงอาหารที่ระดับความเข้มข้นต่าง ๆ ในบ่อซีเมนต์ เป็นเวลา 15 วัน	24
13	ค่า NO_3–N , NH_3–N , TKN , TN และ TP ของน้ำในการเพาะเลี้ยงสาหร่ายไกด้วยสูตรอาหารน้ำทิ้งจากโรงอาหารที่ระดับความเข้มข้นต่าง ๆ ในบ่อซีเมนต์ เป็นเวลา 15 วัน	25
14	ค่าผลผลิต แคโรทีนอยด์รวม และคุณค่าทางโภชนาการของสาหร่ายไกที่เลี้ยงด้วยสูตรอาหารน้ำทิ้งจากโรงอาหารที่ระดับความเข้มข้นต่าง ๆ ในบ่อซีเมนต์ เป็นเวลา 15 วัน	26
15	ค่าอุณหภูมิของน้ำ (water temperature) , pH , DO และ BOD ของน้ำในการเพาะเลี้ยงสาหร่าย *S.platensis* ด้วยสูตรอาหาร Zm และน้ำทิ้งจากโรงอาหารที่ระดับความเข้มข้น 90 % และ 100 % ในบ่อซีเมนต์ เป็นเวลา 15 วัน	30
16	ค่า NO_3–N , NH_3–N , TKN , TN และ TP ของน้ำในการเพาะเลี้ยงสาหร่ายไกด้วยสูตรอาหารน้ำทิ้งจากโรงอาหารที่ระดับความเข้มข้นต่าง ๆ ในบ่อซีเมนต์ เป็นเวลา 15 วัน	31
17	ค่าผลผลิต แคโรทีนอยด์รวม และคุณค่าทางโภชนาการของสาหร่าย *S.platensis* ที่เลี้ยงด้วยสูตรอาหารน้ำทิ้งจากโรงอาหาร ที่ระดับความเข้มข้นต่าง ๆ ในซีเมนต์ เป็นเวลา 15 วัน	32

สารบัญภาคผนวก

ตารางภาคผนวกที่ **หน้า**

1 ผลการวิเคราะห์คุณภาพน้ำในการเลี้ยงสาหร่าย *S.platensis* ในน้ำทิ้งจากจากโรงอาหาร วันที่ 0 ของการเลี้ยง 39

2 ผลการวิเคราะห์คุณภาพน้ำในการเลี้ยงสาหร่าย *S.platensis* ในน้ำทิ้งจากจากโรงอาหาร วันที่ 5 ของการเลี้ยง 40

3 ผลการวิเคราะห์คุณภาพน้ำในการเลี้ยงสาหร่าย *S.platensis* ในน้ำทิ้งจากจากโรงอาหาร วันที่ 10 ของการเลี้ยง 41

4 ผลการวิเคราะห์คุณภาพน้ำในการเลี้ยงสาหร่าย *S.platensis* ในน้ำทิ้งจากจากโรงอาหาร วันที่ 15 ของการเลี้ยง 42

5 การเพาะเลี้ยงสาหร่าย *Cladophora* (ไก)ในบ่อซีเมนต์แบบ raceway pond กลางแจ้ง โดยใช้น้ำทิ้งจากโรงอาหาร (Cafeteria wastewater ; CW) เป็นอาหารเลี้ยงสาหร่าย 43

6 การเปรียบเทียบผลผลิต คุณค่าทางโภชนาการ และต้นทุนการผลิตสาหร่าย *Cladophora* ที่เลี้ยงในบ่อซีเมนต์แบบ raceway pond โดยใช้น้ำทิ้งจากโรงอาหาร 3 ความเข้มข้น (80 % CW , 90 % CW และ 100 % CW) เป็นเวลา 15 วัน 45

7 การเปรียบเทียบผลผลิต คุณค่าทางโภชนาการ และต้นทุนการผลิตสาหร่าย *S.platensis* ที่เลี้ยงในบ่อซีเมนต์แบบ raceway pond โดยใช้น้ำทิ้งจากโรงอาหาร 3 ความเข้มข้น (80 % CW , 90 % CW และ 100 % CW) เป็นเวลา 15 วัน 46

การเพาะเลี้ยงสาหร่าย *Cladophora* (ไก) และ *Spirulina* เพื่อเป็นอาหารปลาบึก

CULTURE OF A GREEN ALGA GENUS *CLADOPHORA* (KAI) AND *SPIRULINA* AS FEED FOR THE MAE- KONG GIANT CATFISH (*PANGASIANODON GIGAS*, CHEVRY)

สุฤทธิ์ สมบูรณ์ชัย จงกล พรมยะ ขจรเกียรติ์ ศรีนวลสม

SURIT SOMBOONCHAI JONGKON PROMYA KAJORNGIED SRINUANSOM

คณะเทคโนโลยีการประมงและทรัพยากรทางน้ำ

มหาวิทยาลัยแม่โจ้

....

บทคัดย่อ

การเพาะเลี้ยงสาหร่าย *Cladophora* (ไก) และ *Spirulina platensis* เพื่อเป็นอาหารปลาบึก ได้ทำการวิจัย ณ คณะเทคโนโลยีการประมง และทรัพยากรทางน้ำ มหาวิทยาลัยแม่โจ้ เชียงใหม่ ระหว่าง เดือน มกราคม 2550 ถึง เดือน กุมภาพันธ์ 2551 ได้ทำ การเพาะเลี้ยงสาหร่ายสกุล *Cladophora* (ไก) ในสูตรอาหาร Jaworski's medium (JM) ปรับปรุง และใช้น้ำทิ้งจากโรงอาหาร ความเข้มข้น 10% ถึง 100% เลี้ยงสาหร่ายในตู้กระจก และบ่อซีเมนต์ มีการเติมอากาศตลอดเวลา เป็นเวลา 15-30 วัน พบว่า ผลผลิตของสาหร่ายไกที่เลี้ยงด้วยน้ำทิ้งจากโรงอาหารที่ระดับความเข้มข้น 80% มีผลผลิตของสาหร่ายในรูปแห้งสูงสุด รองลงมา คือ ที่ระดับความเข้มข้น 100%, 90%, 70% และ 60% คุณค่าทางโภชนาการของสาหร่ายไก โดยน้ำหนักแห้งที่เลี้ยงในที่เลี้ยงในน้ำทิ้งจากโรงอาหาร 80% มีปริมาณแคโรทีนอยด์ 580 µg/g โปรตีน 31.37% สูงกว่าสาหร่ายไกที่เลี้ยงในน้ำทิ้งจากโรงอาหารความเข้มข้น อื่นๆ และมีค่า BOD, NH_3-N, NO_3-N, TP และ TKN ลดลงจากวันแรกของการเลี้ยงสาหร่าย และการการเพาะเลี้ยงสาหร่าย *S. platensis* ในสูตรอาหาร modified Zarrouk's medium (Zm) และน้ำทิ้งจากโรงอาหาร 90% และ 100% ทำการทดลองในบ่อซีเมนต์กลม ให้อากาศตลอดเวลา เป็นเวลา 15-30 วัน พบว่า ผลผลิตของสาหร่าย *S. platensis* ที่เลี้ยงด้วยน้ำทิ้งจากโรงอาหารที่ระดับความเข้มข้น 100% มีผลผลิตของ

สาหร่ายแห้งสูงสุด รองลงมา คือ สูตรอาหาร Zm และน้ำทิ้งจากโรงอาหารที่ระดับความเข้มข้น 90% ตามลำดับ คุณค่าทางโภชนาการของสาหร่าย *S. platensis* โดยน้ำหนักแห้ง สาหร่ายที่เลี้ยงในน้ำทิ้งจากโรงอาหาร 100% และ Zm มีปริมาณแคโรทีนอยด์ 630-700 μg/g โปรตีน 40.86-54.83% โดยน้ำหนักแห้ง และน้ำทิ้งจากโรงอาหาร 100% มีค่า BOD, NH_3-N, NO_3-N, TP และ TKN ลดลงจากวันแรกของการเลี้ยง คณะผู้วิจัยจะนำน้ำทิ้งจากโรงอาหาร 80% เพาะเลี้ยงสาหร่ายไก และ น้ำทิ้งจากโรงอาหาร 100% ไปเพาะเลี้ยงสาหร่าย *S. platensis* ในบ่อซีเมนต์ขนาดใหญ่ แบบ raceway pond เพื่อนำผลผลิตไปเลี้ยงปลาบึก ในบ่อดินต่อไป

คำสำคัญ : ปลาบึก น้ำทิ้งจากโรงอาหาร สาหร่ายไก สาหร่าย สไปรูลิน่า

Abstract

Culture of a Green Alga Genus *Cladophora* (Kai) and *Spirulina* as Feed for the Mae-Kong Giant Catfish (*Pangasianodon gigas*, Chevey) was researched at Faculty of Fisheries Technology and Aquatic Resources, Maejo University, Chiang Mai in January 2007 to February 2008. *Cladophora* cultivated with Jaworski's medium (JM) and cafeteria wastewater (Cw) 10%Cw to 100%Cw in aquarium and cement pond. Water quality, biomass production and nutritional value of *Cladophora* were determined from cultures harvested every 5 days for a period of 15-30 days. The highest level of biomass production, total- carotenoid (580 ug/g) and protein (31.37% DW) of *Cladophora* was achieved in 80%Cw. The 80%Cw produced lower BOD, TP, NH_3-N, TKN, NO_3-N and TN compared to each treatment. *Spirulina platensis* cultivated with modified Zarrouk's medium (Zm), 100% cafeteria wastewater (100%Cw) and 90% cafeteria wastewater (90%Cw) in the cement pond. Water quality, biomass production and nutritional value of *S. platensis* were determined from cultures harvested every 5 days for a period of 15-30 days. The highest level of biomass production, total- carotenoid (630 ug/g) and protein (40.86 % DW) of *S. platensis* was achieved in 100%Cw and Zm. The 100%Cw produced lower BOD, TP, NH_3-N, TKN, NO_3-N and TN compared to Zm and 90%Cw. The *Cladophora* will culture with 80%Cw and *S. platensis* 100%Cw in raceway pond

was evaluated as a protein source for cultured the Mae-Kong Giant Catfish in earth pond.

Keywords : Mae-Kong Giant Catfish (*Pangasianodon gigas*, Chevey), cafeteria wastewater, *Cladophora*, *Spirulina platensis*

คำนำ

สาหร่ายจัดเป็นแหล่งอาหารที่สำคัญอีกแหล่งหนึ่งในการนำมาผลิตเป็นอาหารของปลาและของมนุษย์ เพื่อทดแทนอาหารจากแหล่งอื่น ๆ สาหร่ายน้ำจืดขนาดใหญ่ *Cladophora* หรือภาษาท้องถิ่นเรียกว่า "ไก" เป็นสาหร่ายสีเขียวที่พบมากในลำน้ำน่าน และลำน้ำโขง ที่ชาวบ้านบริเวณลุ่มน้ำทั้งสองนิยมนำมาบริโภคในรูปแบบต่าง ๆ ได้มีผู้ศึกษาถึงคุณค่าทางโภชนาการของสาหร่ายไก พบว่ามีปริมาณโปรตีนถึงร้อยละ 28.22 และคาโรตินอยด์ ถึง 339.68 μgg^{-1} (น้ำหนักแห้ง) และ สาหร่ายสไปรูลินามีชื่อทางวิทยาศาสตร์ว่า *Spirulina platensis* เป็นสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินขนาดเล็กที่มีคุณประโยชน์มากมาย เพราะมีโปรตีนสูงกว่า 60 % ของน้ำหนักแห้ง และยังมีกรดอะมิโนที่สำคัญอีกกว่า 18 ชนิดนอกจากนี้ยังมีวิตามินและเบต้าแคโรทีนสูงด้วย เหมาะอย่างยิ่งที่จะนำมาทำเป็นอาหารเสริมทั้งของคนและสัตว์ ซึ่งสาหร่ายทั้งสองชนิดมีคาโรทีน (carotene) และแซนโทฟิลล์ (xanthophyll) และเป็นที่ยอมรับกันมาแล้วว่าคาโรทีนกลุ่มเบต้าคาโรทีน (β-carotene) จัดเป็นสารตั้งต้นของวิตามินเอ และเป็นสารต้านอนุมูลอิสระ (antioxidant) ป้องกันการเกิดโรคมะเร็ง ลดการเกิดต้อกระจกและการเสื่อมของเรตินา (retina) ของตา ในปัจจุบันมีการนำคาโรตินอยด์มาใช้ประโยชน์มากมาย อาทิ ผสมอาหารของสัตว์น้ำ กระตุ้นการเกิดสีในปลา การเกิดสีในไก่และไข่แดง ใช้ในอุตสาหกรรมเครื่องสำอาง และใช้เป็นสีผสมอาหารแทนสีสังเคราะห์

ปลาบึก (*Pangasianodon gigas*, Chevey) เป็นปลาน้ำจืดขนาดใหญ่ มีถิ่นกำเนิดและแพร่พันธุ์ในลำน้ำโขง เป็นปลาที่กินพืชซึ่งรวมถึงสาหร่ายเป็นอาหารหลัก กรมประมงได้ทำการขยายพันธุ์ปลาบึกโดยวิธีผสมเทียม และส่งเสริมให้เกษตรกรได้มีการเลี้ยงในบ่อเป็นอาชีพมากขึ้น โดยการให้อาหารสำเร็จรูป ซึ่งโปรตีนส่วนใหญ่ได้มาจากปลาป่น จึงทำให้ต้นทุนในการเลี้ยงปลาบึกสูง ดังนั้นการศึกษาและเพาะเลี้ยงสาหร่าย ซึ่งเป็นแหล่งโปรตีนและคาโรตินอยด์ ทั้งในห้องปฏิบัติการ และเพาะเลี้ยงแบบมหวลในบ่อซีเมนต์ด้วยน้ำทิ้งที่มีสารอาหารต่างกัน รวมทั้งการศึกษาถึงอัตราส่วนที่จะใช้ทดแทนโปรตีนจากปลาป่นและจากแหล่งอื่น ๆ การศึกษาถึงปริมาณ

คาโรตินอยด์ในเนื้อปลาบึกว่ามีมากน้อยเพียงใด พร้อมทั้งการส่งเสริมให้เกษตรกรเลี้ยงสาหร่ายเพื่อเป็นอาหารโปรตีนแก่ปลาบึก จึงเป็นวิธีการที่จะลดต้นทุนอาหารโปรตีนจากปลาป่น และโปรตีนจากแหล่งอื่น ๆ รวมทั้งเป็นการสร้างแหล่งโภชนาการที่ให้ คาโรตินอยด์ ซึ่งเป็นสารตั้งต้นของวิตามินเอ และเป็นสารต้านอนุมูลอิสระอีกด้วย

การตรวจเอกสาร

สาหร่ายน้ำจืดขนาดใหญ่ที่นิยมใช้เป็นอาหารตั้งแต่อดีตจนถึงปัจจุบัน ทั้งในแบบสด และแห้งอย่างแพร่หลายในระดับท้องถิ่น มี 4 สกุล (genera) เป็นสาหร่ายสีเขียว (division Chorophyta) 3 สกุล คือ 1) *Cladophora* ภาษาท้องถิ่นเรียกว่า ไกไหม หรือไกตะ หรือไกเปื่อย 2) *Microspora* ภาษาท้องถิ่นเรียกว่า ไกค่าว หรือไกเหนียว หรือไกมื่น ซึ่งทั้งสองสกุลนี้ ภาษาท้องถิ่นเรียกรวมว่า "ไก" 3) *Spirogyra* ซึ่งภาษาท้องถิ่นเรียกว่า เทาน้ำ เทา เตา หรือผักไก และเป็นสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงิน (division Cyanophyta) อีก1 สกุล คือ *Nostochopsis* ซึ่งภาษาท้องถิ่นเรียกว่า ไข่หิน เห็ดหิน อองลอน หรือล็อกล่อล็อก-ลอน ไกจะมีวางขายในตลาดท้องถิ่นทั้งแบบสาหร่ายสด และสาหร่ายแห้ง แต่เทาน้ำและไข่หินจะมีขายในรูปสาหร่ายสด นอกจากนี้ยังมีไกและเทาน้ำที่ปรุงเป็นอาหารสำเร็จรูปแบบต่าง ๆ กัน โดยไกเป็นที่นิยมรับประทานในหมู่ชาวไทยลื้อมากกว่าคนพื้นเมือง เทาน้ำเป็นที่นิยมรับประทานกันทั่วไป (สมใจ, 2540) *Cladophora* เป็นสาหร่ายที่พบแพร่หลายในแม่น้ำโขงในเขตพื้นที่อำเภอเชียงของ อำเภอเชียงแสน จังหวัดเชียงราย และในแม่น้ำยาวซึ่งเป็นลำน้ำสาขาย่อยของแม่น้ำน่านในเขตพื้นที่อำเภอท่าวังผา จังหวัดน่าน และแม่น้ำยม ในเขตพื้นที่อำเภอปง จังหวัดพะเยา ซึ่งในทั้งสามจังหวัดดังกล่าว ประชาชนในท้องถิ่นนิยมบริโภค *Cladophora* กันมาก ทั้งในรูปแบบที่เรียกว่า ไกยี ไกทรงเครื่อง ห่อนึ่งไก และไกทอด แต่อย่างไรก็ตาม สาหร่ายชนิดนี้จะพบมากเฉพาะในบางฤดูกาลเท่านั้น โดยมีรายงานว่าพบมากในช่วงฤดูหนาวจนถึงฤดูแล้ง

ซึ่งบางจังหวัดจะพบมากในช่วงเวลาประมาณสี่ถึงห้าเดือน และบางจังหวัดจะพบมากในช่วงเวลาประมาณสามเดือนเท่านั้น ด้วยเหตุนี้จึงเป็นประเด็นที่คณะผู้วิจัยสนใจจะทำการเพาะเลี้ยง *Cladophora* แบบมหวลเพื่อใช้ประโยชน์ในการทำเป็นอาหารปลา และเพื่อวิเคราะห์คุณค่าทางโภชนาการและรงควัตถุพวกคาโรตินอยด์ (carotenoid) การศึกษาเกี่ยวกับ นิเวศวิทยาของสาหร่ายไก (*Cladophora glomerata*) ในแม่น้ำโขง ของ ศรีวรรณ และประเสริฐ (2544) พบว่าคุณภาพน้ำในช่วงการสำรวจ มีค่า pH 7.53-8.40 ค่าการนำไฟฟ้า (EC) 283.0-549.0 μScm^{-1} ปริมาณของแข็งทั้งหมด (TSS) 140.0-275.0 mgl^{-1} ปริมาณออกซิเจนละลายน้ำ (DO)

7.20-9.20 mgl^{-1} ค่าความเป็นด่าง (alkalinity) 60-92 mgl^{-1} ปริมาณแอมโมเนียไนโตรเจน (NH_3-N) 0.08-1.05 mgl^{-1} ปริมาณไนเตรทไนโตรเจน (NO_3-N) 0.20-1.60 mgl^{-1} ฟอสฟอรัสละลายน้ำ (SRP) 0.07-0.67 mgl^{-1} อุณหภูมิน้ำ 21.1-28.3 °C และความเร็วน้ำ 0.22-0.96 ms^{-1} ในการตรวจสอบคุณภาพน้ำในลำน้ำน่าน ในเดือนมกราคม พ.ศ. 2543 ซึ่งมี *Cladophora* เจริญอยู่ พบว่าอุณหภูมิน้ำมีค่า 20 °C ความเข้มแสง 60,000 ลักส์ ค่า pH 7.2, NH_3-N 0.01 mgl^{-1}, NO_3-N 0.02 mgl^{-1} และ PO_4-P 0.20 mgl^{-1} (จงกล และคณะ, 2545)

ได้มีการศึกษาเบื้องต้นในการเพาะเลี้ยง *Cladophora* ในร่องน้ำซีเมนต์ที่ภาควิชาเทคโนโลยีการประมง มหาวิทยาลัยแม่โจ้ โดยใช้น้ำทิ้งจากบ่อเลี้ยงปลานิล ซึ่งคุณภาพน้ำที่ใช้มีค่าอุณหภูมิ 24 °C ความเข้มแสง 6,800-50,000 ลักส์ ค่า pH 7.2, DO 6.20 mgl^{-1}, NH_3-N 0.01 mgl^{-1}, NO_3-N 0.15 mgl^{-1} และ PO_4-P 0.60 mgl^{-1} สามารถเก็บผลผลิตสาหร่ายทุก 15 วัน โดยเก็บเกี่ยวสาหร่ายร้อยละ 50 ของพื้นที่เพาะเลี้ยงได้สาหร่ายน้ำหนักเปียก 3 kgm^{-2} (จงกล และจารุวรรณ, 2544) ซึ่งข้อมูลดังกล่าวข้างต้นสามารถใช้เป็นข้อมูลพื้นฐานในการปรับและเจือจางน้ำทิ้งที่จะใช้ในการเพาะเลี้ยงสาหร่ายได้ต่อไป ในด้านคุณค่าทางอาหารนั้น คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ วิทยาเขตดอยคำ พบว่า *Cladophora* มีโปรตีน ร้อยละ 28.22, ไขมัน ร้อยละ 6.81,Fiber ร้อยละ 19.29, 19.06 (neutral and acid detergent fiber), Ash ร้อยละ 20.80, Moisture ร้อยละ 13.19, Ca ร้อยละ 1.20, และ P ร้อยละ 0.36 (สรวิศ, 2543) และเมื่อเปรียบเทียบคุณค่าทางอาหารกับปลาป่น กากถั่วเหลือง รำ และปลายข้าวแล้วพบว่า *Cladophora* มีโปรตีน ไขมัน และคาร์โบไฮเดรท ที่สูงพอจะทดแทนปลาป่น และกากถั่วเหลืองได้

ตารางที่ 1 การเปรียบเทียบคุณค่าทางโภชนาการของสาหร่าย และวัตถุดิบอาหารสัตว์

วัตถุดิบอาหาร	โปรตีน (%)	ไขมัน (%)	คาร์โบไฮเดรท (%)	เยื่อใย (%)	ความชื้น (%)	เถ้า (%)	รวม (%)
สาหร่ายไก	28.22	6.81	11.92	19.06	13.19	20.80	100
สาหร่าย *Spirulina* ที่เลี้ยงในน้ำเสีย	55.28	3.72	23.13	0.22	8.52	9.14	100
ปลาป่น	60.09	6.80	7.81	0.60	7.10	17.60	100
กากถั่วเหลือง	45.50	1.00	34.00	3.50	10.00	6.00	100
รำ	12.38	19.80	44.37	6.18	9.65	8.60	100
ปลายข้าว	6.47	1.38	63.21	11.15	11.42	6.37	100

ที่มา: นิวุฒิ และสุฤทธิ์ (2540), สรวิศ (2543) และ จงกล (2543)

สาหร่าย *S. platensis* เป็น Cyanobacteria ที่นิยมใช้เป็นอาหารเสริมสุขภาพของคน เพราะมีไวตามิน เกลือแร่ โดยเฉพาะโปรตีนที่มีอยู่ปริมาณสูงถึง 70 % ของน้ำหนักแห้ง นอกจากนี้ยังมีรงควัตถุที่มีมูลค่าสูงอีกหลายชนิด เช่น Phycocyanin allophycocyanin Beta-carotene Chlorophyll-a และกรดไขมันจำเป็นไม่อิ่มตัว เช่น Gamma- linolenic acid :GLA อยู่ร้อยละ 26 –30 ของกรดไขมันทั้งหมด GLA เป็นกรดไขมันจำเป็นตัวหนึ่งซึ่งได้รับความสนใจทางการแพทย์ และอุตสาหกรรม เนื่องจากมีคุณสมบัติในการยับยั้งการแข็งตัวของเลือด ลดระดับความดันโลหิต ลดปริมาณ คลอเลสเตอรอล ควบคุมฮอร์โมน Prostaglandin ช่วยรักษาเกี่ยวกับโรคหัวใจ และโรคภูมิแพ้ และรงควัตถุ Phycocyanin และ allophycocyanin สามารถนำมาใช้เป็นสารติดตามในงานด้าน immunnoassays microcopy เนื่องจากมีคุณสมบัติในการเรืองแสง (Nakamura, 1982 ; Venkataraman, 1983)

มีการใช้สาหร่าย *S. platensis* สดอนุบาล และเลี้ยงปลานิลแดงจนถึงระยะวางไข่ พบว่าปลานิลมีอัตราการผสมพันธุ์ อัตราการฟักออกเป็นตัว และอัตรารอดของลูกปลาสูงกว่า การใช้อาหารปลาทั่วไป และสาหร่าย *S. platensis* สดทำให้เนื้อปลา มีกรดไขมันจำพวก linoleic acid , Gamma- linolenic acid และ $\Sigma n-6$ สูงกว่าเนื้อปลาที่เลี้ยงในอาหารทั่วไป (Lu and Toshio, 2003)

คาโรตินอยด์เป็นรงควัตถุเสริมซึ่งพบในสาหร่ายทั่วไป ประกอบด้วยคาโรทีน (carotene) และแซนโทฟิลล์ (xanthophyll) ซึ่งเป็นที่ยอมรับกันมาแล้วว่าคาโรทีนกลุ่มเบต้าคาโรทีน (ß-carotene) จัดเป็นสารตั้งต้นของวิตามินเอ และเป็นสารต้านอนุมูลอิสระ (antioxidant) ป้องกันการเกิดโรคมะเร็ง ลดการเกิดต้อกระจกและการเสื่อมของเรตินา (retina) ในปัจจุบันมีการนำคาโรตินอยด์มาใช้ผสมอาหารของสัตว์น้ำ กระตุ้นการเกิดสีในปลา การเกิดสีในไก่และไข่แดง ใช้ในอุตสาหกรรมเครื่องสำอาง และใช้เป็นสีผสมอาหารแทนสีสังเคราะห์ (Del Campo *et al.* ,2002) ในสาหร่ายสีเขียวจะพบคาโรตินอยด์ กลุ่มเบต้าคาโรทีน ลูทีน (lutein) วิโอลาแซนทีน (violaxanthin) และนีโอแซนทีน (neoxanthin) เป็นหลัก (Goodwin, 1980) ส่วนใน *Cladophora* พบ ลอโซแซนทีน (loxoxanthin) ไซโฟนาแซนทีน (siphonaxanthin) และไซโฟเนอิน (siphonein) (Del Campo *et al.*, 2002) การวิเคราะห์ปริมาณคาโรตินอยด์ของ *Cladophora* , *Spirogyra* และ *Spirulina platensis* พบว่ามีปริมาณคาโรตินอยด์ 339.68, 139.29 และ 187.89 $\mu g g^{-1}$ (น้ำหนักแห้ง) ตามลำดับ ซึ่งพบว่า *Cladophora* มีปริมาณคาโรตินอยด์มากที่สุด (จงกล และคณะ, 2545)

ได้มีการทดลองเลี้ยงปลานิลแดง (ปลาทับทิม) โดยใช้สูตรอาหารต่างกัน 3 สูตร (1) อาหารผสมโปรตีนร้อยละ 25 (2) อาหารผสมโปรตีนร้อยละ 25 และ *Spirulina* ร้อยละ 15

และ (3) อาหารผสมโปรตีนร้อยละ 25 และ *Cladophora* ร้อยละ 15 โดยเลี้ยงปลาเป็นเวลา 2 เดือน และวิเคราะห์ปริมาณคาโรตินอยด์ในเนื้อปลา พบว่าปริมาณคาโรตินอยด์เฉลี่ยในเนื้อปลาที่เลี้ยงโดยใช้อาหารทั้ง 3 สูตร มีค่า 5.927, 17.568 และ 18.553 μgg^{-1} (เนื้อปลา) ตามลำดับ ซึ่งจะเห็นว่าปริมาณคาโรตินอยด์ในเนื้อปลาที่เลี้ยงโดยใช้อาหารที่มีส่วนผสมของ *Cladophora* มีค่าสูงที่สุด (สุรศักดิ์, 2544) จึงมีแนวความคิดที่จะนำ *Cladophora* มาเป็นส่วนผสมในอาหารเลี้ยงปลาบึกซึ่งเป็นปลาเศรษฐกิจของประเทศไทย ทั้งปลาที่ใช้ในการบริโภคและปลาสวยงาม เพื่อเพิ่มสีสันให้สวยงามยิ่งขึ้น เพื่อใช้ทดแทนอาหารโปรตีนและคาโรตินอยด์สังเคราะห์ที่ต้องสั่งซื้อจากต่างประเทศและมีราคาแพงมาก ซึ่งได้มีการใช้ *Spirulina* เพื่อวัตถุประสงค์นี้และประสบผลดีมาแล้ว (Hill, 1980)

วัตถุประสงค์ของโครงการ

งานวิจัยประกอบด้วย 2 ระยะ (phase) **โดยระยะที่ 1 ปีงบประมาณ 2550 ที่ 1** การเพาะเลี้ยงสาหร่ายระดับห้องปฏิบัติการ และบ่อกลางแจ้ง แบบมหมวล **ระยะที่ 2 ปี ปีงบประมาณ 2551 ที่ 2** การเพาะเลี้ยงสาหร่ายในบ่อกลางแจ้ง แบบมหมวล และ การใช้สาหร่ายเป็นอาหารปลาบึก เพื่อทดแทนโปรตีนจากปลาป่นและแหล่งอื่น ๆ และเป็นการพยายามเพิ่มคุณค่าทางโภชนาการและคาโรตินอยด์แก่ปลาบึก โดยมีวัตถุประสงค์เฉพาะดังนี้

<u>ระยะที่ 1 ปีที่ 1</u>

1. ศึกษาองค์ประกอบทางเคมี และปัจจัยทางกายภาพของน้ำทิ้งจากครัวเรือน ที่มีความเหมาะสมต่อการเติบโตของสาหร่ายในระดับห้องปฏิบัติการ
2. ศึกษานิเวศวิทยา ของสาหร่ายที่เพาะเลี้ยงด้วยน้ำทิ้งจากครัวเรือน และสูตรอาหารมาตรฐานในระดับห้องปฏิบัติการ
3. ศึกษาอัตราการเพิ่มของผลผลิตเบื้องต้นและมวลชีวภาพของสาหร่าย และ วิเคราะห์คุณค่าโภชนาการและคุณภาพน้ำทางกายภาพ-เคมี จากการเพาะเลี้ยงสาหร่ายด้วยน้ำทิ้งจากครัวเรือนแบบมหมวลในบ่อซีเมนต์
4. เพื่อศึกษาอัตราการเพิ่มของผลผลิตเบื้องต้น และมวลชีวภาพ เพื่อเปรียบเทียบคุณค่าทางโภชนาการ และปริมาณคาโรตินอยด์ของสาหร่าย

<u>ระยะที่ 2 ปีที่ 2</u>

1. ศึกษาการใช้สาหร่าย เพื่อเป็นอาหารปลาบึก โดยหาสัดส่วนที่เหมาะสมของสาหร่าย ที่ใช้ทดแทนปลาป่นในอาหารเลี้ยงปลาบึก และเปรียบเทียบอัตราการเติบโต (growth rate) ของปลาบึกเมื่อใช้สาหร่ายทดแทน
2. วิเคราะห์ปริมาณคาโรตินอยด์ และคุณค่าทางโภชนาการ ของปลาบึกเมื่อเลี้ยงด้วยสาหร่าย
3. ประเมินต้นทุน
4. จัดทำเอกสารเผยแพร่สู่เกษตรกรและผู้สนใจทั่วไป

วัน เวลา และสถานที่ทำการวิจัย

ระยะเวลาในการทำวิจัย 2 ปี ระหว่างเดือน ตุลาคม 2549 ถึง ตุลาคม 2551 ณ คณะเทคโนโลยีการประมง และทรัพยากรทางน้ำ มหาวิทยาลัยแม่โจ้

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

ผลงาน (Output)

1. สามารถเพาะเลี้ยงสาหร่าย แบบมหมวลในบ่อซีเมนต์โดยใช้น้ำทิ้งจากครัวเรือน
2. ทราบประสิทธิภาพในการผลิตคาโรตินอยด์และคุณค่าทางโภชนาการเมื่อเลี้ยงในอาหารสูตรต่างกัน
3. ทราบอัตราการเติบโตของสาหร่าย
4. สามารถนำสาหร่ายไปเลี้ยงปลาบึกที่เป็นผลดีต่ออัตราการเติบโต เพิ่มปริมาณคาโรตินอยด์ และเศรษฐกิจ
5. เอกสารเผยแพร่สู่เกษตรกรและผู้สนใจทั่วไป

ผลงานในแต่ละช่วงเวลา

ระยะที่ 1

<u>ปีที่ 1</u> - เตรียมอุปกรณ์การเพาะเลี้ยงสาหร่ายในห้องปฏิบัติการ และสร้างโรงเรือนพร้อมเตรียมบ่อ เลี้ยง สาหร่ายแบบมหมวล และบ่อดินเลี้ยงปลาบึกรวมทั้งจัดเตรียมสารเคมี

- เพาะเลี้ยงสาหร่ายในห้องปฏิบัติการ โดยจัดเพาะเลี้ยงหัวเชื้อ (inoculum) และเลี้ยงในถังพลาสติก หรือบ่อซีเมนต์ ขนาด 1x2x.70 เมตร และ ขนาด 0.5 x 1 x 0.5 เมตร เพื่อใช้เป็นหัวเชื้อ เพาะเลี้ยงแบบมหมวล ในปอกลางแจ้ง
- วิเคราะห์คุณภาพน้ำทางกายภาพและเคมี เพื่อหาความเข้มข้นที่เหมาะสม
- วิเคราะห์คุณค่าทางโภชนาการและคาโรตินอยด์ของสาหร่าย
- สรุปรายงานผลการเพาะเลี้ยงสาหร่าย

ระยะที่ 2

<u>ปีที่ 2</u> - เพาะเลี้ยงสาหร่ายในห้องปฏิบัติการ

- เพาะเลี้ยงสาหร่ายแบบมหมวลในบ่อซีเมนต์
- วิเคราะห์คุณค่าทางโภชนาการและคาโรตินอยด์ของสาหร่าย
- นำสาหร่ายไปเลี้ยงปลาบึกในบ่อดิน
- วัดการเติบโต วิเคราะห์คุณค่าทางโภชนาการและคาโรตินอยด์ในเนื้อของปลาบึก
- ประเมินต้นทุน

อุปกรณ์และวิธีดำเนินการวิจัย (Materials and Methods)

อุปกรณ์ในการวิจัย

1. เครื่องมือวิเคราะห์คุณภาพน้ำ เช่น pH meter , Do meter , Spectrophotometer เป็นต้น
2. กล้องจุลทรรศน์

วิธีการ

ระยะที่ 1 ปีที่ 1

1. การศึกษาองค์ประกอบทางกายภาพ-เคมีของน้ำทิ้งจากครัวเรือนต่อการเติบโตของสาหร่าย

ระดับห้องปฏิบัติการ

- วิเคราะห์คุณภาพน้ำทางกายภาพ-เคมี ของน้ำทิ้งก่อนนำมาบำบัดทางกายภาพ
- นำน้ำทิ้งใส่บ่อตกตะกอน ขนาด 6 ตารางเมตร เพื่อการบำบัดทางกายภาพ โดยทิ้งไว้ 2 สัปดาห์ ใช้ผ้าขาวบางกรองเอาตะกอนและไขมันทิ้ง
- วิเคราะห์คุณภาพน้ำทางกายภาพ-เคมีของน้ำทิ้งที่กรองตะกอนและไขมันแล้ว (temperature, pH, DO, BOD, TKN, TN, NO_3-N และ TP)
- เจือจางน้ำทิ้งด้วยน้ำประปาให้ได้ความเข้มข้นต่างๆ กัน โดยขึ้นกับปริมาณสารอาหาร (N, P) ว่ามีค่าเท่าใด เพื่อปรับให้น้ำทิ้งที่จะใช้ในการเพาะเลี้ยงสาหร่ายมีปริมาณสารอาหารที่ใกล้เคียงกับในแหล่งน้ำธรรมชาติที่พบสาหร่ายเจริญอยู่ (ลำน้ำน่านและลำน้ำโขง) มี อัตราส่วน N:P เท่ากับ 4-6:1หากขาดสารอาหารตัวหนึ่งตัวใดไป จะทำการเติมอาหารอนินทรีย์ทดแทนในปริมาณที่เหมาะสม โดยใช้น้ำทิ้งความเข้มข้นต่างๆ กัน คือ น้ำทิ้ง : น้ำประปาในอัตราส่วน 100 : 0, 90 : 10, 80 : 20, 70 : 30, 60 : 40, 50 : 50, 40 : 60, 30 : 70, 20 : 80, 10 : 90

2. ศึกษานิเวศวิทยาของสาหร่ายที่เพาะเลี้ยงด้วยน้ำทิ้งจากครัวเรือน และสูตรอาหารมาตรฐานในระดับห้องปฏิบัติการ

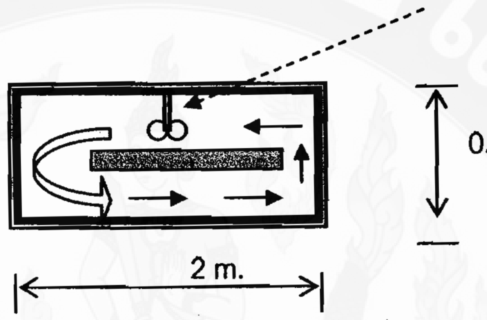
1) เตรียมหัวเชื้อ (inoculum) สาหร่าย

- เพาะเลี้ยงเริ่มแรกในบีกเกอร์ ใช้อาหาร 2 ชนิด คือ น้ำทิ้งจากครัวเรือนในระดับความเข้มข้นต่างๆ กัน (ข้อ 1) และเพาะเลี้ยงในสูตรอาหาร Jaworski's medium (JM) ปรับปรุง ไม่น้อยกว่า 6 เดือน และย้ายสาหร่ายไปเพาะเลี้ยงในตู้กระจก

2) เพาะเลี้ยงสาหร่าย ในบ่อซีเมนต์

- เพาะเลี้ยงสาหร่ายในน้ำทิ้งระดับความเข้มข้นต่างๆ กัน ที่ได้จากข้อ 1 เพื่อศึกษาปริมาณสารอาหาร และเพื่อหาระดับความเข้มข้นของน้ำทิ้งที่เหมาะสมต่อการเติบโตของสาหร่ายโดยเพาะเลี้ยงในถังพลาสติก หรือบ่อซีเมนต์ ขนาด กว้าง 0.5 m. x ยาว 2 m. x สูง 0.5 m ใส่ปั๊มน้ำ ให้มีน้ำไหลเวียนตลอดเวลา

- วิเคราะห์คุณภาพน้ำทางกายภาพ-เคมี (ศิริเพ็ญ, 2543 และ APHA,1985) สัปดาห์ละครั้ง
- วัดมวลชีวภาพ และผลผลิตเบื้องต้นของสาหร่าย 15 วันครั้ง
- วัดอัตราการเติบโตของสาหร่าย
- วิเคราะห์คุณค่าทางโภชนาการ และคาโรตินอยด์ (นิวุฒิ และสุฤทธิ์, 2540)



ภาพที่ 1 รูปบ่อแบบ raceway pond

การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

เปรียบเทียบคุณภาพน้ำ ผลผลิต แคโรทีนอยด์ คุณค่าทางโภชนาการของสาหร่าย แต่ละความเข้มข้น โดยวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) เพื่อศึกษาความ แตกต่างระหว่าง Treatment โดยวิธี Tukey ' s Test ที่ระดับนัยสำคัญทางสถิติ $P \leq 0.05$ เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของ Treatment โดยวิธีของ Student T – Test โดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป Spss

ผลการวิจัย (Results) ในปีงบ 2550
(การทดลองเลี้ยงสาหร่ายไก ในตู้กระจก และบ่อซีเมนต์ รวมทั้งการเพาะเลี้ยงสาหร่าย *S. platensis* ในบ่อซีเมนต์กลม)

ผลการศึกษาจากการทำวิจัยเรื่อง การเพาะเลี้ยงสาหร่ายสีเขียว สกุล *Cladophora* (ไก) และสาหร่าย *S. platensis* เพื่อเป็นอาหารปลาบึก (Culture of a Green Alga Genus *Cladophora* (Kai) and *S. platensis* as Feed for the Mae-Kong Giant Catfish (*Pangasianodon gigas*, Chevey) ผู้วิจัยได้เสนอผลการศึกษาออกเป็น 3 ผลการศึกษา คือ

4.1 ผลการเพาะเลี้ยงสาหร่ายไกในห้องปฏิบัติการ โดยการเพาะเลี้ยงในตู้กระจก

4.2 ผลการเพาะเลี้ยงสาหร่ายไกในบ่อซีเมนต์ขนาดเล็กแบบ raceway pond

4.3 ผลการเพาะเลี้ยงสาหร่าย *S. platensis* ในห้องปฏิบัติการ ได้ทำการวิจัยในโครงการเพาะเลี้ยงสาหร่าย และแพลงก์ตอนเพื่อเป็นอาหารปลานิลในปีงบประมาณ 2549 และเอาผลการวิจัยในห้องปฏิบัติการ ดังกล่าวมาประยุกต์ใช้ กับการเพาะเลี้ยงสาหร่าย *S. platensis* ในบ่อซีเมนต์กลม กลางแจ้ง โดยมีรายละเอียดของผลการศึกษาดังนี้

4.1 ผลการเพาะเลี้ยงสาหร่ายไกในตู้กระจก

4.1.1 คุณภาพน้ำทางกายภาพและเคมีของน้ำทิ้งจากโรงอาหารของ มหาวิทยาลัยแม่โจ้

ผลการศึกษาคุณภาพน้ำทางกายภาพและเคมีบางประการของน้ำทิ้งจากโรงอาหารที่ผ่านการกรองและพักไว้ 2 สัปดาห์ แสดงในตารางที่ 2

ตารางที่ 2 คุณภาพน้ำทางกายภาพและเคมีบางประการของน้ำทิ้งจากโรงอาหาร มหาวิทยาลัยแม่โจ้ ที่ผ่านการกรองและพักไว้ 2 สัปดาห์

ปัจจัย	ผลการศึกษา	ปัจจัย	ผลการศึกษา
pH	7.5	NO_2-N (mg L^{-1})	0.024
Alkalinity (mg L^{-1})	157	TKN (mg L^{-1})	5.381
EC (*us* cm^{-1})	820	NH_3-N (mg L^{-1})	3.45
TDS (mg L^{-1})	400	TN (mg L^{-1})	5.556
DO (mg L^{-1})	0	PO_4-P (mg L^{-1})	8.204
BOD (mg L^{-1})	420	TP (mg L^{-1})	40.12
NO_3-N (mg L^{-1})	0.179	N:P	0.14 : 1

ผลการศึกษาคุณภาพของน้ำทิ้งจากโรงอาหารที่ผ่านการกรองและพักไว้ 2 สัปดาห์ พบว่า

- น้ำมีความเป็นด่าง และมีความกระด้างมาก
- ไนโตรเจนจะอยู่ในรูปที่เป็นสารอินทรีย์ไนโตรเจน (organic nitrogen) เป็นส่วนใหญ่ ส่วนในรูปอนินทรีย์ไนโตรเจน จะมีปริมาณมากในรูปแอมโมเนียไนโตรเจน แต่ไนเตรทไนโตรเจนมีปริมาณน้อยมากจนตรวจวัดค่าไม่ได้
- มีอัตราส่วนของ ไนโตรเจน ต่อ ฟอสฟอรัส เท่ากับ 0.14 : 1

การเพาะเลี้ยงสาหร่ายไกในตู้กระจก ด้วยสูตรอาหาร Jm' s media ซึ่งเป็นสูตรอาหารควบคุมและน้ำทิ้งจากโรงอาหารที่ระดับความเข้มข้น 10%, 20%, 30%, 40%, 50%, 60%, 70%, 80%, 90% และ 100% เป็นระยะเวลา 15 วัน การเปลี่ยนแปลงของคุณภาพน้ำ มีรายละเอียดดังนี้ (ภาพที่ 2 - 11 และ ตารางภาคผนวกที่ 1 - 4)

สูตรอาหาร Jm

สูตรอาหาร Jm พบว่า มีอุณหภูมิของน้ำ 27.00-28.67 °C, pH 7.50-7.90, DO 2.31-8.26 mg L^{-1}, BOD 5.00-26.00 mg L^{-1}, NH_3-N 0.155-0.850 mg L^{-1}, NO_2-N 0.039-0.601 mg L^{-1}, NO_3-N 0.020-0.408 mg L^{-1},TKN 1.546-8.206 mg L^{-1}, TN 1.711-8.628 mg L^{-1} และ TP 26.00-34.23 mg L^{-1}

น้ำทิ้งความเข้มข้น 10%

น้ำทิ้งจากโรงอาหารที่ระดับความเข้มข้น 10% พบว่า มีอุณหภูมิของน้ำ 27.00-29.33 °C, pH 7.40-8.00, DO 2.18-10.10 mg L^{-1}, BOD 2.00-26.00 mg L^{-1}, NH_3-N 0.069-0.709 mg L^{-1}, NO_2-N 0.005-0.076 mg L^{-1}, NO_3-N 0.001-0.425 mg L^{-1},TKN 0.044-1.079 mg L^{-1}, TN 0.05-1.536 mg L^{-1} และ TP 7.480-34.40 mg L^{-1}

น้ำทิ้งความเข้มข้น 20%

น้ำทิ้งจากโรงอาหารที่ระดับความเข้มข้น 20% พบว่า มีอุณหภูมิของน้ำ 27.50-29.50 °C, pH 7.20-7.99, DO 2.23-11.17 mg L^{-1}, BOD 5.00-20.00 mg L^{-1}, NH_3-N 0.140-0.660 mg L^{-1}, NO_2-N 0.010-0.054 mg L^{-1}, NO_3-N 0.005-0.528 mg L^{-1},TKN 0.125-2.060 mg L^{-1}, TN 0.140-2.60 mg L^{-1} และ TP 36.67-8.958 mg L^{-1}

น้ำทิ้งความเข้มข้น 30%

น้ำทิ้งจากโรงอาหารที่ระดับความเข้มข้น 30% พบว่า มีอุณหภูมิของน้ำ 27.50-29.17 °C, pH 7.50-8.21, DO 2.13-9.12 mg L^{-1}, BOD 12.00-22.00 mg L^{-1}, NH_3-N 0.267-0.580 mg L^{-1}, NO_2-N 0.025-0.424 mg L^{-1}, NO_3-N 0.005-0.398 mg L^{-1},TKN 0.426-0.812 mg L^{-1}, TN 0.317-1.257 mg L^{-1} และ TP 40.87-9.606 mg L^{-1}

น้ำทิ้งความเข้มข้น 40%

น้ำทิ้งจากโรงอาหารที่ระดับความเข้มข้น 40% พบว่า มีอุณหภูมิของน้ำ 27.50-29.33 °C, pH 7.60-8.18, DO 2.57-10.80 mg L^{-1}, BOD 13.00-38.00 mg L^{-1}, NH_3-N 0.132-0.766 mg L^{-1}, NO_2-N 0.013-0.339 mg L^{-1}, NO_3-N 0.004 -0.589 mg L^{-1},TKN 0.437-1.450 mg L^{-1}, TN 0.492-1.985 mg L^{-1} และ TP 11.834-43.34 mg L^{-1}

น้ำทิ้งความเข้มข้น 50%

น้ำทิ้งจากโรงอาหารที่ระดับความเข้มข้น 50% พบว่า มีอุณหภูมิของน้ำ 27.00-29.00 °C, pH 7.80-8.25, DO 2.24-9.65 mg L^{-1}, BOD 12.58-48.00 mg L^{-1}, NH_3-N 0.211-0.875 mg L^{-1}, NO_2-N 0.020-0.191 mg L^{-1}, NO_3-N 0.005 -0.414 mg L^{-1},TKN 0.524-2.650 mg L^{-1}, TN 0.583-2.785 mg L^{-1} และ TP 13.00-44.34 mg L^{-1}

น้ำทิ้งความเข้มข้น 60%

น้ำทิ้งจากโรงอาหารที่ระดับความเข้มข้น 60% พบว่า มีอุณหภูมิของน้ำ 27.00-29.00 °C, pH 7.50-8.29, DO 2.34-10.73 mg L^{-1}, BOD 13.40-55.00 mg L^{-1}, NH_3-N 0.121-0.850 mg L^{-1}, NO_2-N 0.051-0.254 mg L^{-1}, NO_3-N 0.013 -0.463 mg L^{-1},TKN 0.522-3.631 mg L^{-1}, TN 0.586-3.881 mg L^{-1} และ TP 11.112-47.78 mg L^{-1}

น้ำทิ้งความเข้มข้น 70%

น้ำทิ้งจากโรงอาหารที่ระดับความเข้มข้น 70% พบว่า มีอุณหภูมิของน้ำ 27.00-29.17 °C, pH 6.60-8.30, DO 2.36-9.07 mg L^{-1}, BOD 15.10-60.00 mg L^{-1}, NH_3-N 0.145-0.984 mg L^{-1}, NO_2-N 0.021-0.240 mg L^{-1}, NO_3-N 0.011-0.485 mg L^{-1},TKN 0.579-3.853 mg L^{-1}, TN 0.655-4.168 mg L^{-1} และ TP 12.00-49.23 mg L^{-1}

น้ำทิ้งความเข้มข้น 80%

น้ำทิ้งจากโรงอาหารที่ระดับความเข้มข้น 80% พบว่า มีอุณหภูมิของน้ำ 27.00-29.00 °C, pH 7.67-8.23, DO 2.38-10.85 mg L^{-1}, BOD 16.38-67.00 mg L^{-1}, NH_3-N 0.189-1.340 mg L^{-1}, NO_2-N 0.019-0.382 mg L^{-1}, NO_3-N 0.022-0.494 mg L^{-1},TKN 0.412-3.963 mg L^{-1}, TN 0.487-4.323 mg L^{-1} และ TP 12.00-51.12 mg L^{-1}

น้ำทิ้งความเข้มข้น 90%

น้ำทิ้งจากโรงอาหารที่ระดับความเข้มข้น 90% พบว่า มีอุณหภูมิของน้ำ 27.00-28.67 °C, pH 7.46-8.30, DO 2.32-10.93 mg L^{-1}, BOD 17.00-85.00 mg L^{-1}, NH_3-N 0.216-1.242 mg L^{-1}, NO_2-N 0.051-0.376 mg L^{-1}, NO_3-N 0.03-0.464 mg L^{-1},TKN 0.280-3.984 mg L^{-1}, TN 0.314-4.550 mg L^{-1} และ TP 9.204-53.78 mg L^{-1}

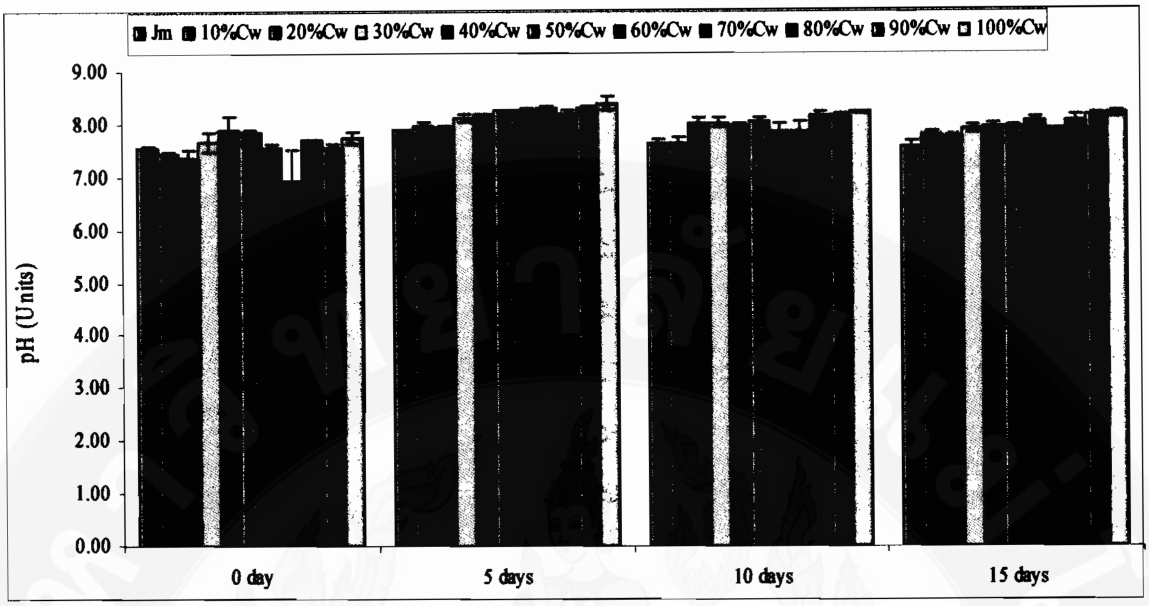
น้ำทิ้งความเข้มข้น 100%

น้ำทิ้งจากโรงอาหารที่ระดับความเข้มข้น 100% พบว่า มีอุณหภูมิของน้ำ 27.00-29.00 °C, pH 7.70-8.53, DO 6.00-11.00 mg L^{-1}, BOD 18.00-210.00 mg L^{-1}, NH_3-N 0.400-1.340 mg L^{-1}, NO_2-N 0.051-0.438 mg L^{-1}, NO_3-N 0.034-0.482 mg L^{-1},TKN 0.443-4.163 mg L^{-1}, TN 0.530-4.772 mg L^{-1} และ TP 9.893- 54.67 mg L^{-1}

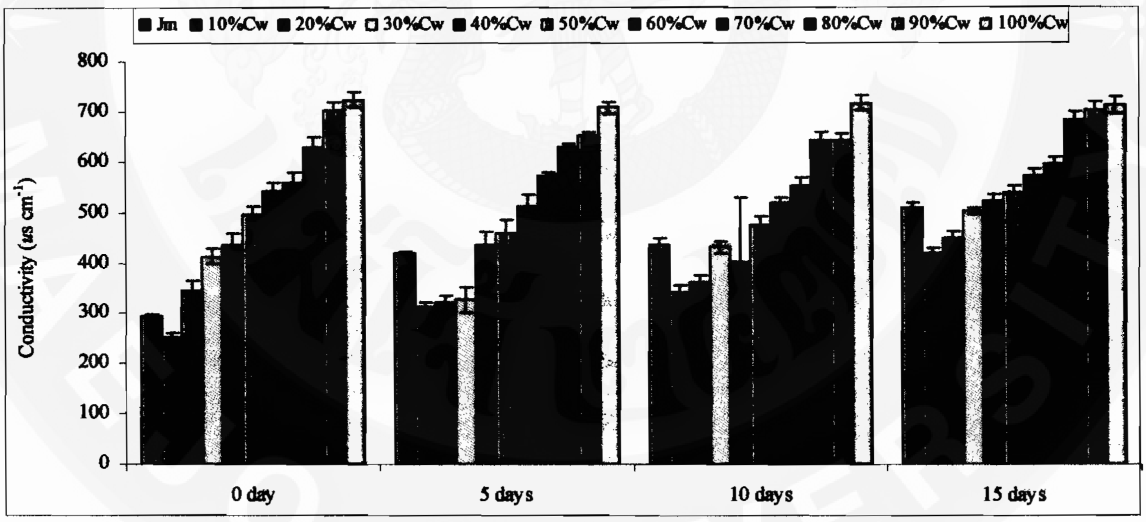
สรุปได้ว่า ในน้ำทิ้งทุกความเข้มข้นมีค่า pH ที่เป็นด่าง และค่า DO แต่ละความเข้มข้นมีค่าที่ใกล้เคียงกัน BOD และสารอาหาร ในน้ำมีค่าสูงขึ้นตามระดับความเข้มข้นของน้ำทิ้งจากโรงอาหาร และจะมีค่าลดลงเรื่อยๆ เมื่อมีการเลี้ยงสาหร่าย อาจกล่าวได้ว่า คุณภาพของน้ำทิ้งเริ่มต้นที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของสาหร่ายไก เมื่อเพาะเลี้ยงในตู้กระจก

4.1.2 ผลผลิตของ สาหร่ายไกแห้ง

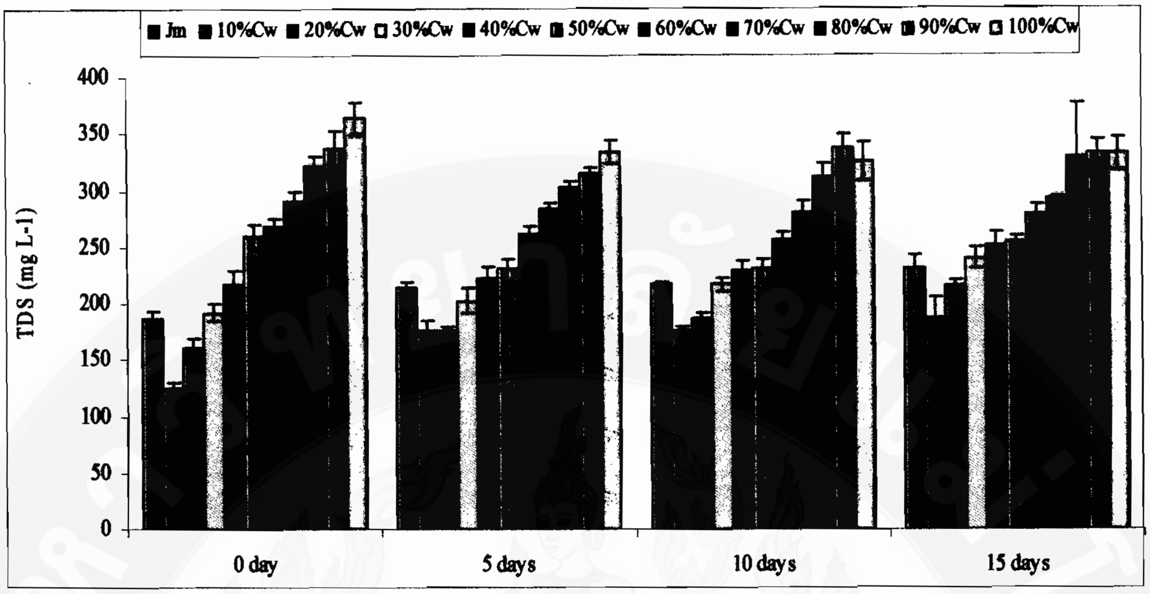
สาหร่ายไกที่เลี้ยงด้วยน้ำทิ้งจากโรงอาหารที่ระดับความเข้มข้นต่างๆกัน ส่วนใหญ่มี การเจริญน้อยที่สุดในวันที่ 5 และวันที่ 10 ของการเลี้ยง หรือในน้ำทิ้งบางความเข้มข้นสาหร่ายไกมีการเจริญลดลง เนื่องจากสาหร่ายบางส่วนตาย และหลุดออกจากตาข่าย ซึ่งน่าเป็นผลจากการปรับตัวของสาหร่าย จากการทดลองพบว่าสาหร่ายไกที่เลี้ยงด้วยน้ำทิ้งจากโรงอาหาร มีผลผลิตในรูปของสาหร่ายแห้ง อยู่ระหว่าง 12- 26 กรัมต่อตารางเมตร (ภาพที่ 9) ที่ระดับความเข้มข้น 80% มีผลผลิตสาหร่ายโดยน้ำหนักแห้งสูงสุด รองลงมา คือ ที่ระดับความเข้มข้น 90%, 100%, 70%, 60% และ Jm จึงทำการเลือกความเข้มข้นของน้ำทิ้งจากโรงอาหารที่ระดับ 80%, 90% และ 100% เพื่อใช้เพาะเลี้ยงสาหร่ายไกในบ่อซีเมนต์ขนาดเล็ก มีระบบน้ำแบบ raceway pond ต่อไป



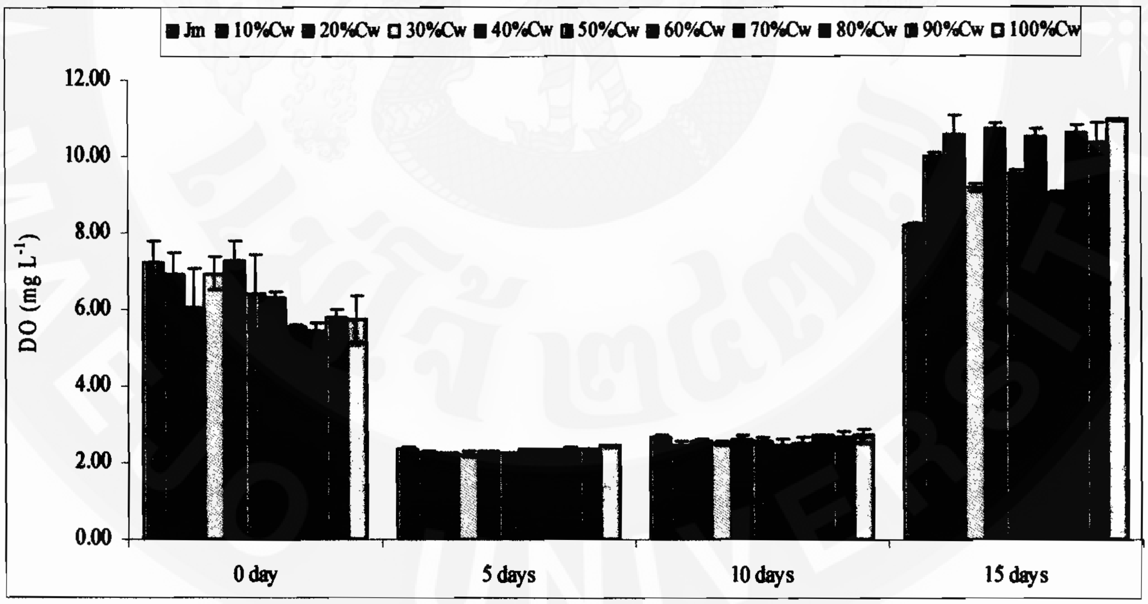
ภาพที่ 2 ความเป็นกรด- ด่าง (pH) ของการเพาะเลี้ยงสาหร่ายไก ด้วยสูตรอาหาร Jm และน้ำจากโรงอาหารที่ระดับความเข้มข้นต่างๆ ในตู้กระจก เป็นเวลา 15 วัน



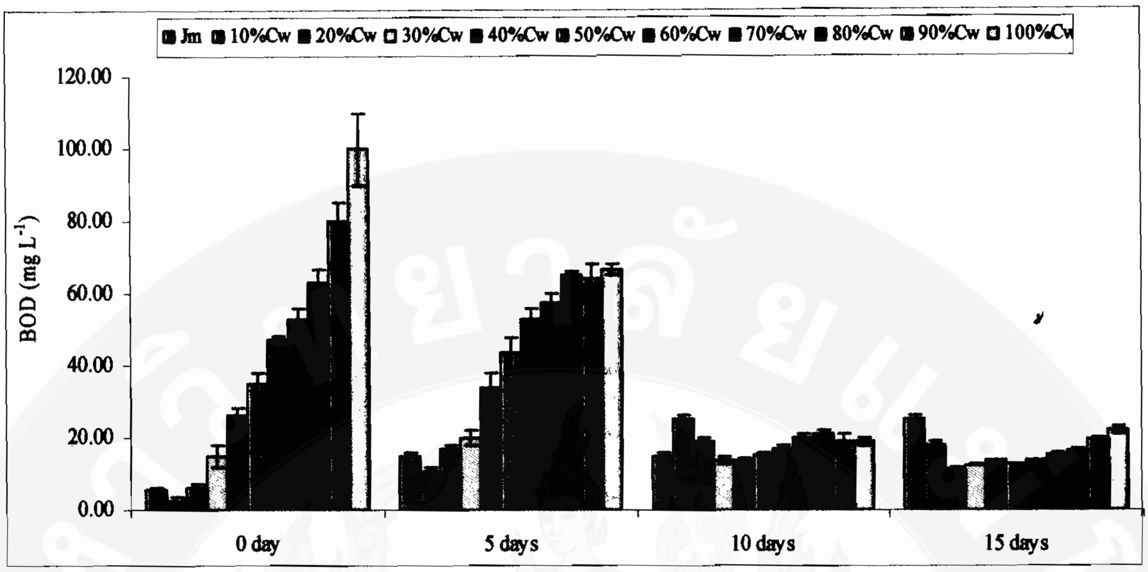
ภาพที่ 3 ค่าการนำไฟฟ้า (conductivity) ของการเพาะเลี้ยงสาหร่ายไก ด้วยสูตรอาหาร Jm และน้ำจากโรงอาหารที่ระดับความเข้มข้นต่างๆ ในตู้กระจก เป็นเวลา 15 วัน



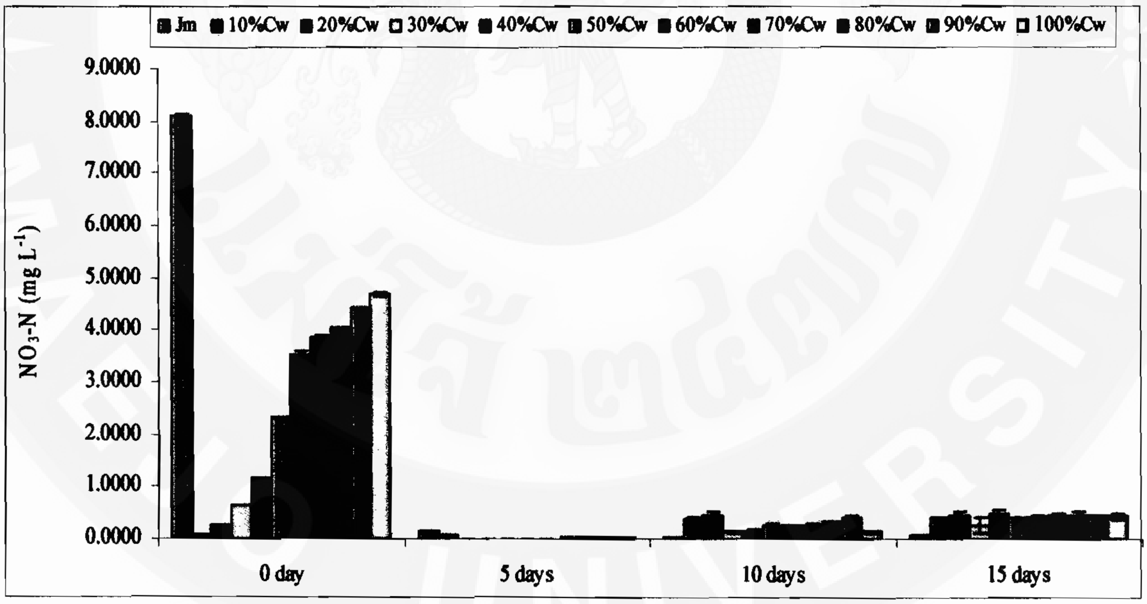
ภาพที่ 4 ค่าตะกอนแขวนทั้งหมด (TDS) ของการเพาะเลี้ยงสาหร่ายไก ด้วยสูตรอาหาร Jm และน้ำจากโรงอาหารที่ระดับความเข้มข้นต่างๆ ในตู้กระจก เป็นเวลา 15 วัน



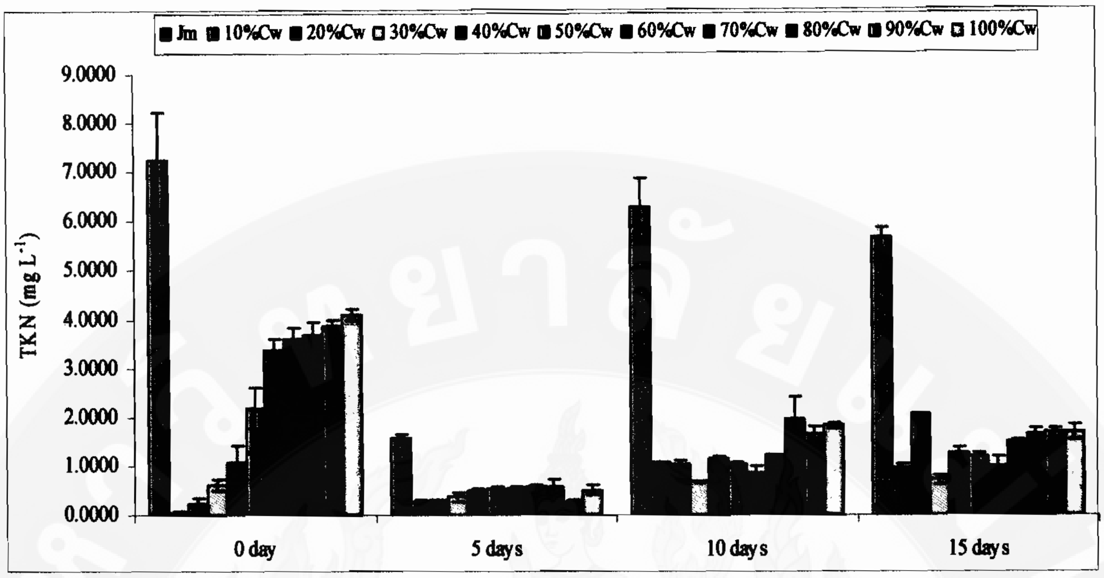
ภาพที่ 5 ค่าออกซิเจนที่ละลายน้ำ (DO) ในการเพาะเลี้ยงสาหร่ายไก ด้วยสูตรอาหาร Jm และน้ำจากโรงอาหารที่ระดับความเข้มข้นต่างๆ ในตู้กระจก เป็นเวลา 15 วัน



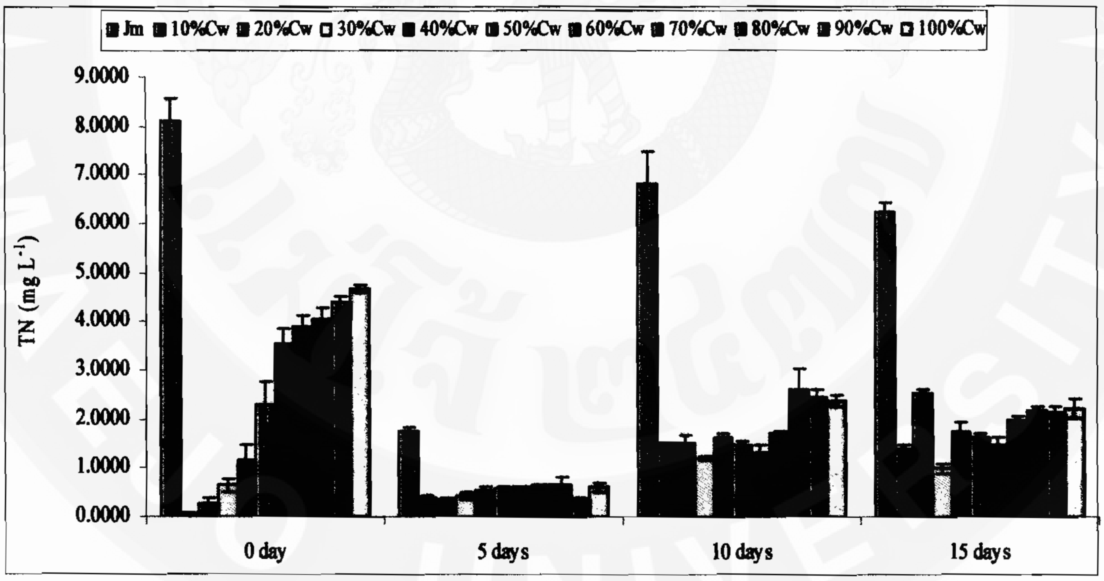
ภาพที่ 6 ค่า BOD ของน้ำใน การเพาะเลี้ยงสาหร่ายไก ด้วยสูตรอาหาร Jm และ น้ำจากโรงอาหารที่ระดับความเข้มข้นต่างๆ ในตู้กระจก เป็นเวลา 15 วัน



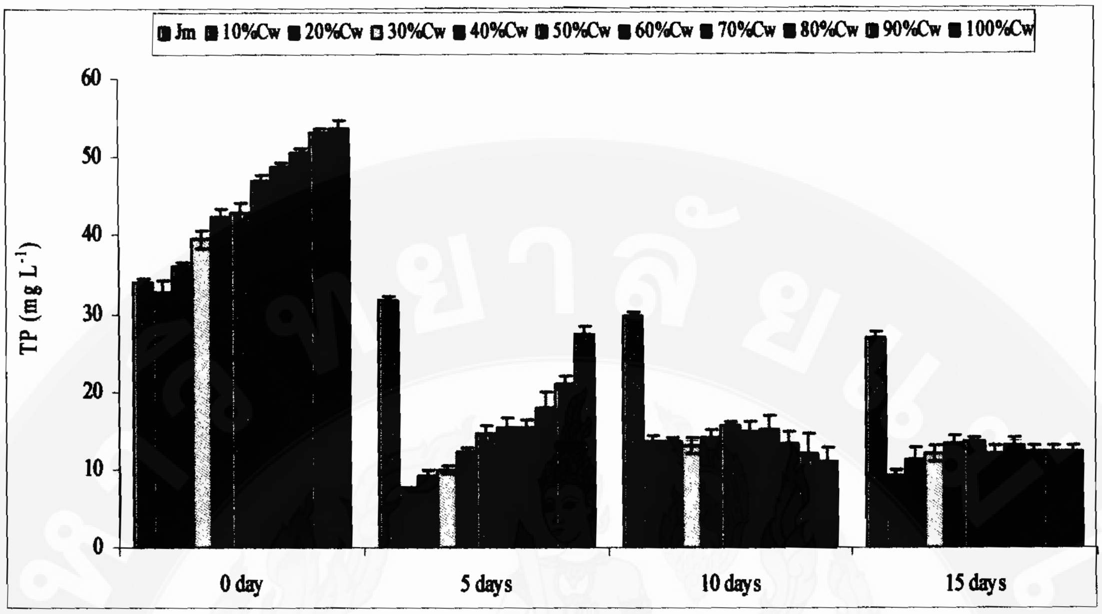
ภาพที่ 7 ค่าไนเตรท-ไนโตรเจน (NO_3-N) ของน้ำใน การเพาะเลี้ยงสาหร่ายไก ด้วยสูตรอาหาร Jm และน้ำจากโรงอาหารที่ระดับความเข้มข้นต่างๆ ในตู้กระจก เป็นเวลา 15 วัน



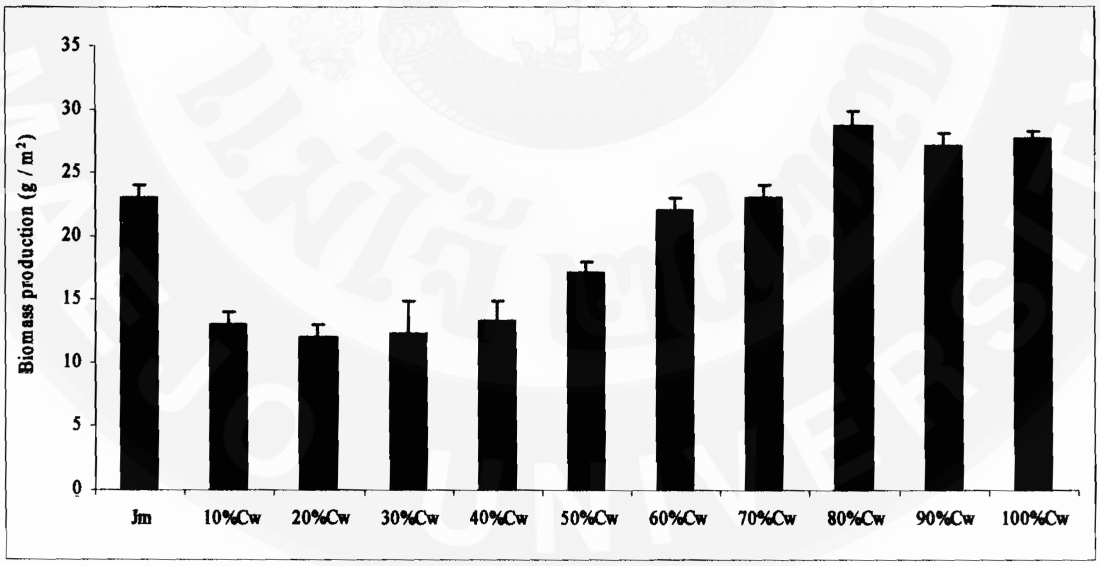
ภาพที่ 8 ค่า TKN ของน้ำในการเพาะเลี้ยงสาหร่ายไก ด้วยสูตรอาหาร Jm และน้ำจากโรงอาหาร ที่ระดับความเข้มข้นต่างๆ ในตู้กระจก เป็นเวลา 15 วัน



ภาพที่ 9 ค่า TKN ของน้ำใน การเพาะเลี้ยงสาหร่ายไก ด้วยสูตรอาหาร Jm และ น้ำจากโรงอาหาร ที่ระดับความเข้มข้นต่างๆ ในตู้กระจก เป็นเวลา 15 วัน



ภาพที่ 10 ค่า TP ของน้ำใน การเพาะเลี้ยงสาหร่ายไก ด้วยสูตรอาหาร Jm และ น้ำจากโรงอาหาร ที่ระดับความเข้มข้นต่างๆ ในตู้กระจก เป็นเวลา 15 วัน



ภาพที่ 11 ผลผลิตของสาหร่ายไก ที่เพาะเลี้ยงในสูตรอาหาร Jm และ น้ำจากโรงอาหารที่ระดับความเข้มข้นต่างๆ ในตู้กระจก เป็นเวลา 15 วัน

4.2 ผลการเพาะเลี้ยงสาหร่ายไกในบ่อซีเมนต์ขนาดเล็กแบบ raceway pond

การเพาะเลี้ยงสาหร่ายไกในในบ่อซีเมนต์ขนาดเล็กแบบ raceway pond ที่มีน้ำไหลเวียนตลอดเวลาด้วยน้ำทิ้งจากโรงอาหารแยกเป็น 3 หน่วยการทดลอง โดยเลือกใช้ความเข้มข้นของน้ำทิ้งจากโรงอาหาร 3 ความเข้มข้น (T_1, T_2 และ T_3) แต่ละความเข้มข้นทำ 3 ซ้ำ (R_1, R_2 และ R_3) ดังนี้

หน่วยทดลองที่ 1 เป็นการเพาะเลี้ยงโดยใช้น้ำทิ้งจากโรงอาหาร ความเข้มข้น 80% ความเข้มข้นละ 3 ซ้ำ

หน่วยทดลองที่ 2 เป็นการเพาะเลี้ยงโดยใช้น้ำทิ้งจากโรงอาหาร ความเข้มข้น 90% ความเข้มข้นละ 3 ซ้ำ

หน่วยทดลองที่ 3 เป็นการเพาะเลี้ยงโดยใช้น้ำทิ้งจากโรงอาหาร ความเข้มข้น 100% ความเข้มข้นละ 3 ซ้ำ

4.2.1 คุณภาพน้ำทางกายภาพและเคมี (ภาพที่ 12 - 14 และตารางภาคผนวกที่ 5)

เมื่อเพาะเลี้ยงสาหร่ายไก โดยใช้น้ำทิ้งจากโรงอาหาร 3 ความเข้มข้นคือ 80%, 90% และ 100% จะมีการเปลี่ยนแปลงของคุณภาพน้ำทางกายภาพและเคมี ดังนี้

น้ำทิ้งความเข้มข้นที่ 80% (T_1)

น้ำทิ้งจากโรงอาหารที่ระดับความเข้มข้น 80% พบว่า มีอุณหภูมิอากาศ 27 °C มีอุณหภูมิของน้ำ 27.00-29.00 °C, pH 7.67-8.23, DO 2.32-10.85 mg L^{-1}, BOD 16.38-67.00 mg L^{-1}, NH_3-N 0.63-4.34 mg L^{-1}, NO_3-N 0.022-0.494 mg L^{-1},TKN 1.64-13.96 mg L^{-1}, TN 2.08-14.32 mg L^{-1} และ TP 12.00-51.12 mg L^{-1}

น้ำทิ้งความเข้มข้นที่ 90% (T_2)

น้ำทิ้งจากโรงอาหารที่ระดับความเข้มข้น 90% พบว่า มีอุณหภูมิอากาศ 27-29.67 °C มีอุณหภูมิของน้ำ 27.00-29.00 °C, pH 7.46-8.30, DO 2.32-10.93 mg L^{-1}, BOD 17.00-85.00 mg L^{-1}, NH_3-N 0.216-6.99 mg L^{-1}, NO_3-N 0.03-0.464 mg L^{-1},TKN 1.55-13.98 mg L^{-1}, TN 2.10-14.55 mg L^{-1} และ TP 9.20-53.78 mg L^{-1}

น้ำทิ้งความเข้มข้นที่ 100% (T_3)

น้ำทิ้งจากโรงอาหารที่ระดับความเข้มข้น 100% พบว่า มีอุณหภูมิอากาศ และอุณหภูมิของน้ำเท่ากับ 27.00-29.00 °C, pH 7.67-8.53, DO 2.41-11.00 mg L^{-1}, BOD 18.00-170.00 mg L^{-1}, NH_3-N 0.40-7.34 mg L^{-1}, NO_3-N 0.034-0.482 mg L^{-1},TKN 1.599-14.16 mg L^{-1}, TN 2.03-14.77 mg L^{-1} และ TP 9.89-54.67 mg L^{-1}

สรุปได้ว่า น้ำทิ้งทุกความเข้มข้นมีค่า pH ที่เป็นด่าง ค่า DO แต่ละความเข้มข้นมีค่าที่ใกล้เคียงกัน ปริมาณสารอาหาร พบว่า NH_3-N, NO_3-N , TN, TKN, PO_4-P และ TP จะมีค่าลดลงจากวันเริ่มต้น หรือวันที่ 0 เช่นเดียวกับค่า BOD

4.2.2 ผลผลิตของสาหร่ายไก คาโรทีนอยด์และคุณค่าทางโภชนาการ (ภาพที่ 14 และตารางภาคผนวกที่ 10)

ผลผลิตสาหร่ายไกในรูปน้ำหนักแห้ง มีค่า อยู่ระหว่าง 26-30 g/m^2 มีค่าสูงสุดใน 80%Cw (28-30 g/m^2) ต่ำสุดใน 90%Cw (26-27 g/m^2) ผลการวิเคราะห์ พบว่า สาหร่ายที่เลี้ยงในน้ำทิ้งจากโรงอาหาร น้ำหนักสาหร่ายแห้งของ 80%Cw มีค่ามากกว่าสาหร่ายที่เลี้ยงใน น้ำทิ้งจากโรงอาหาร 100%Cw และ 90%Cw ตามลำดับ

คาโรทีนอยด์ รวมในสาหร่ายไก มีค่า อยู่ระหว่าง 420.00-580.45 μg/ 1 g DW โดยมีปริมาณสูงสุดใน 80%Cw (580.45 μg/g DW) แต่ต่ำสุดเมื่อเพาะเลี้ยงใน 90%Cw (420.00 μg/g DW) ผลการวิเคราะห์ พบว่า สาหร่ายที่เพาะเลี้ยงใน 80%Cw มีค่าคาโรทีนอยด์มากกว่าสาหร่ายที่เลี้ยงใน 100%Cw และ 90%Cw ตามลำดับ

คุณค่าทางโภชนาการของสาหร่าย

เปอร์เซ็นต์โปรตีน โดยน้ำหนักแห้ง อยู่ระหว่าง 26.12–31.37 % สูงสุดที่น้ำทิ้งจากโรงอาหาร 80%Cw มีค่า 31.37 % ต่ำสุดที่น้ำทิ้งจากโรงอาหาร 90%Cw มีค่า 26.12 %

เปอร์เซ็นต์คาร์โบไฮเดรท โดยน้ำหนักแห้ง อยู่ระหว่าง 6.42–12.21 % สูงสุดที่ น้ำทิ้งจากโรงอาหาร 90%Cw มีค่า 12.21 % ต่ำสุดที่น้ำทิ้งจากโรงอาหาร 100%Cw มีค่า 6.42 %

เปอร์เซ็นต์ไขมัน โดยน้ำหนักแห้ง อยู่ระหว่าง 2.01–3.35 % สูงสุดที่ น้ำทิ้งจากโรงอาหาร 100%Cw มีค่า 3.35 % ต่ำสุดที่น้ำทิ้งจากโรงอาหาร 80%CW มีค่า 2.01 %

เปอร์เซ็นต์ เยื่อใย โดยน้ำหนักแห้ง อยู่ระหว่าง 15.89–17.80 % สูงสุดที่ น้ำทิ้งจากโรงอาหาร 90%Cw มีค่า 17.89 % ต่ำสุดที่น้ำทิ้งจากโรงอาหาร 80%Cw มีค่า 15.89 %

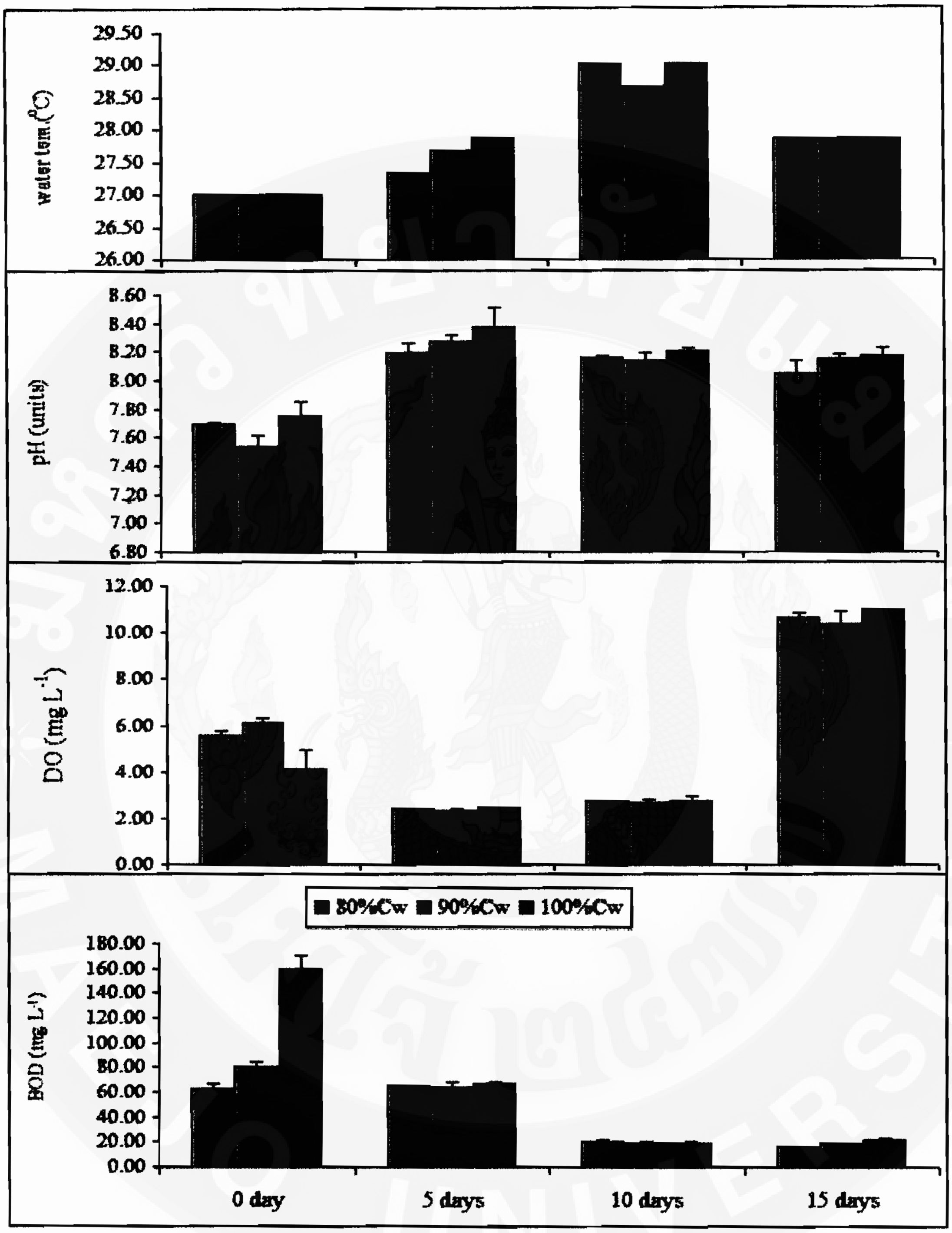
เปอร์เซ็นต์ ความชื้น โดยน้ำหนักแห้ง อยู่ระหว่าง 15.89–18.10 % สูงสุดที่ น้ำทิ้งจากโรงอาหาร 100%Cw มีค่า 18.10 % ต่ำสุดที่น้ำทิ้งจากโรงอาหาร 80%Cw มีค่า 15.89 %

เปอร์เซ็นต์ เถ้า โดยน้ำหนักแห้ง อยู่ระหว่าง 24.00– 26.89 % สูงสุดที่ น้ำทิ้งจากโรงอาหาร 100% Cw และ 90% Cw มีค่า 26.89 % ต่ำสุดที่น้ำทิ้งจากโรงอาหาร 80%Cw มีค่า 24.00 %

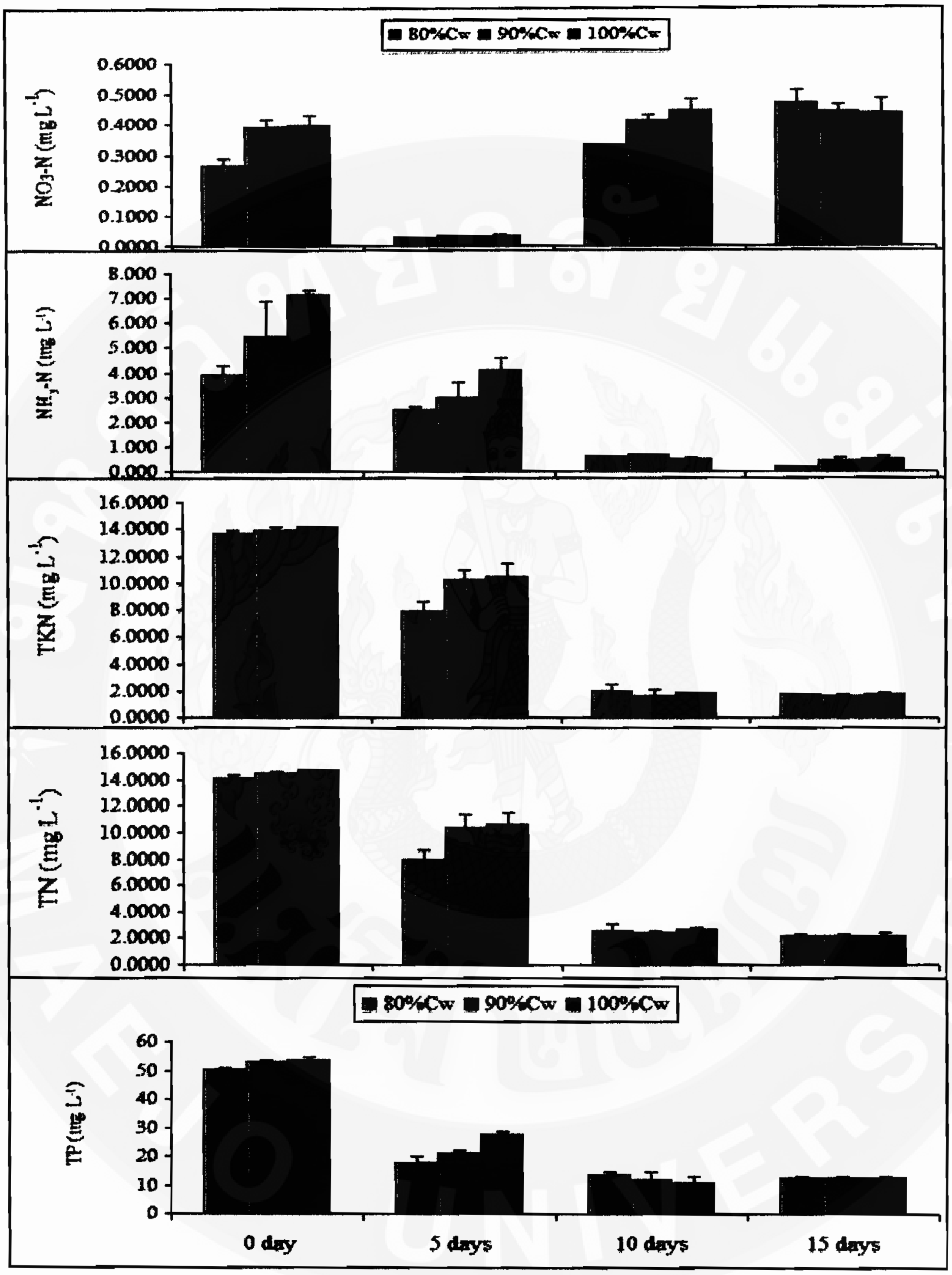
ต้นทุนการผลิตสาหร่ายไกแห้ง

อยู่ระหว่าง 60 – 95 บาท สูงสุดที่น้ำทิ้งจากโรงอาหาร 100% Cw และ 90%Cw มีค่า 95 บาท ต่อ กิโลกรัม ต่ำสุดที่น้ำทิ้งจากโรงอาหาร 80%Cw มีค่า 60 บาท ต่อกิโลกรัม

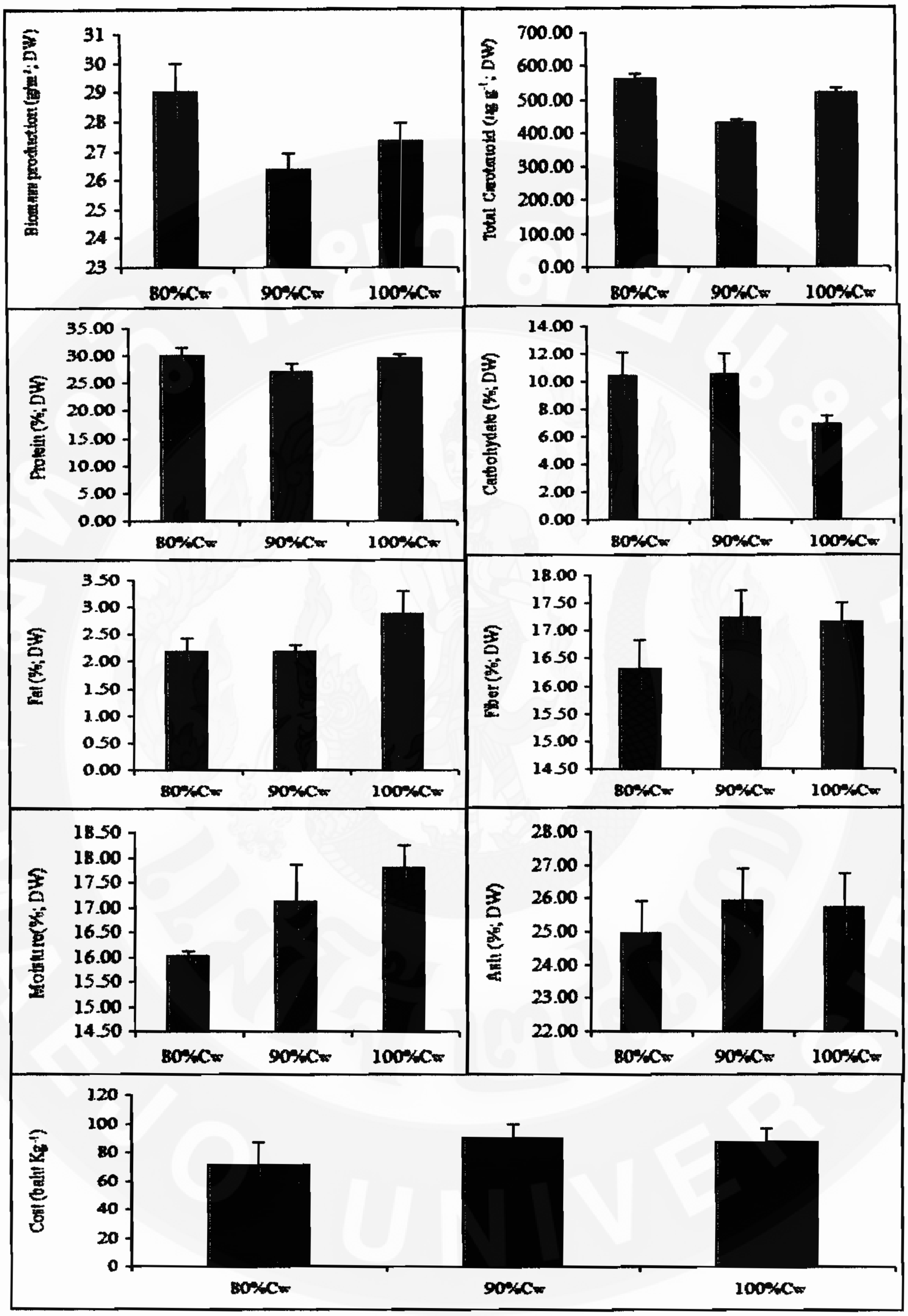
สรุปได้ว่า น้ำทิ้งจากโรงอาหารที่ความเข้มข้น 80 % Cw มีการเจริญที่ดี ได้ผลผลิตสาหร่ายค่อนข้างสูง สาหร่ายมี Total carotenoid และคุณค่าทางโภชนาการสูงกว่า การทดลองอื่น คณะผู้วิจัยจะนำน้ำทิ้งจากโรงอาหารความเข้มข้น 80%Cw ไปเลี้ยงในบ่อซีเมนต์ แบบ raceway pond ขนาดใหญ่ต่อไป เพื่อ biomass production นำผลผลิตสาหร่าย ไปผสมอาหารเลี้ยงปลาบึกต่อไป ในปีงบประมาณ 2551 ต่อไป



ภาพที่ 12 ค่า อุณหภูมิของน้ำ (water temperature), pH, DO และ BOD ของน้ำในการเพาะเลี้ยงสาหร่ายไก ด้วยสูตรอาหารน้ำทิ้ง จากโรงอาหารที่ระดับความเข้มข้นต่าง ๆ ในบ่อซีเมนต์ เป็นเวลา 15 วัน



ภาพที่ 13 ค่า NO_3-N, NH_3-N, TKN, TN และ TP ของน้ำใน การเพาะเลี้ยงสาหร่ายไก ด้วยสูตรอาหารน้ำทิ้ง จากโรงอาหารที่ระดับความเข้มข้นต่างๆ ในบ่อซีเมนต์ เป็นเวลา 15 วัน



ภาพที่ 14 ค่าผลผลิต แคโรทีนอยด์รวม และ คุณค่าทางโภชนาการ ของสาหร่ายไก ที่เลี้ยงด้วยสูตรอาหารน้ำทิ้ง จากโรงอาหารที่ระดับความเข้มข้นต่าง ๆ ในบ่อซีเมนต์ เป็นเวลา 15 วัน

สำนักหอสมุด มหาวิทยาลัยแม่โจ้

4.3 ผลการเพาะเลี้ยงสาหร่ายการเพาะเลี้ยงสาหร่าย *S. platensis* ในบ่อซีเมนต์กลม

การเพาะเลี้ยงสาหร่าย *S. platensis* ในบ่อซีเมนต์กลม ที่มีระบบหมุนเวียนน้ำ ตลอดเวลา ด้วยใช้สูตรอาหาร Zm ปรับปรุง (จงกล, 2543) และน้ำทิ้งจากโรงอาหาร รวมเป็น 3 หน่วยการทดลอง ดังนี้

หน่วยทดลองที่ 1 เป็นการเพาะเลี้ยงโดยใช้สูตรอาหาร Zm ปรับปรุงจาก (จงกล, 2543) แต่ละการทดลองมี 3 ซ้ำ

หน่วยทดลองที่ 2 เป็นการเพาะเลี้ยงโดยใช้น้ำทิ้งจากโรงอาหาร ความเข้มข้น 90%Cw ความเข้มข้นละ 3 ซ้ำ

หน่วยทดลองที่ 3 เป็นการเพาะเลี้ยงโดยใช้น้ำทิ้งจากโรงอาหาร ความเข้มข้น 100%Cw ความเข้มข้นละ 3 ซ้ำ

4.3.1 คุณภาพน้ำทางกายภาพและเคมี (ภาพที่ 15 - 16 และตารางภาคผนวกที่ 6-9)

เมื่อเพาะเลี้ยงสาหร่าย *S. platensis* โดยใช้ สูตรอาหาร Zm และน้ำทิ้งจากโรงอาหาร 2 ความเข้มข้นคือ 90% และ 100% จะมีการเปลี่ยนแปลงของคุณภาพน้ำทางกายภาพและเคมี ดังนี้

สูตรอาหาร Zm (T_1)

น้ำทิ้งจากโรงอาหารที่ระดับความเข้มข้น 80% พบว่า มีอุณหภูมิของน้ำ 27.00-28.63 °C, pH 8.66-11.37, DO 3.38-7.78 mg L^{-1}, BOD 3.96-11.26 mg L^{-1}, NH_3-N 0.010-1.25 mg L^{-1}, NO_3-N 1.20-31.74 mg L^{-1},TKN 0.06-10.75 mg L^{-1}, TN 1.832-31.82 mg L^{-1} และ TP 12.12-14.74mg L^{-1}

น้ำทิ้งความเข้มข้นที่ 90% (T_2)

น้ำทิ้งจากโรงอาหารที่ระดับความเข้มข้น 90% พบว่า มีอุณหภูมิของน้ำ 27.03-28.90 °C, pH 9.01-12.39, DO 0.21-7.67 mg L^{-1}, BOD 5.62-18.67 mg L^{-1}, NH_3-N 0.121-6.23 mg L^{-1}, NO_3-N 0.018-4.23 mg L^{-1},TKN 0.59-20.80 mg L^{-1}, TN 0.618-24.04 mg L^{-1} และ TP 11.48-13.94 mg L^{-1}

น้ำทิ้งความเข้มข้นที่ 100% (T_3)

น้ำทิ้งจากโรงอาหารที่ระดับความเข้มข้น 100% พบว่า มีอุณหภูมิของน้ำเท่ากับ 27.00-29.00 °C, pH 9.43-12.00, DO 0.15-7.38 mg L^{-1}, BOD 4.70-18.97 mg L^{-1}, NH_3-N 0.134-7.10 mg L^{-1}, NO_3-N 0.020-4.70 mg L^{-1},TKN 0.66-22.56 mg L^{-1}, TN 0.692-26.71 mg L^{-1} และ TP 11.64-14.38 mg L^{-1}

สรุปได้ว่า น้ำทิ้งทุกความเข้มข้นมีค่า pH ที่เป็นด่าง ค่า DO และ BOD แต่ละความเข้มข้นมีค่าที่ใกล้เคียง ปริมาณสารอาหาร พบว่า NH_3-N, NO_3-N, TKN, TN และ TP จะมีค่าลดลงจากวันเริ่มต้นของการเลี้ยงสาหร่าย เช่นเดียวกับค่า BOD

4.3.2 ผลผลิตของสาหร่าย *S. platensis* คาโรทีนอยด์ และคุณค่าทางโภชนาการ (ภาพที่ 17 และ ตารางภาคผนวกที่ 11)

ผลผลิตสาหร่าย *S. platensis* รูปน้ำหนักแห้ง มีค่าอยู่ระหว่าง 0.70-0.85 g L^{-1} มีค่าสูงสุดใน 100%Cw (0.85 g L^{-1}) ต่ำสุดใน 90%Cw (0.70 g L^{-1}) ผลการวิเคราะห์เฉลี่ย พบว่า สาหร่ายที่เลี้ยงในน้ำทิ้งจากโรงอาหาร น้ำหนักสาหร่ายแห้งของ 100%Cw มีค่ามากกว่าสาหร่ายที่เลี้ยงใน น้ำทิ้งจากโรงอาหาร 90%Cw และ สูตรอาหาร Zm ตามลำดับ

คาโรทีนอยด์ รวมในสาหร่าย *S. platensis* มีค่าอยู่ระหว่าง 450-700 μg/ 1 g DW โดยมีปริมาณสูงสุดใน Zm (700 μg/g DW) แต่ต่ำสุดเมื่อเพาะเลี้ยงใน 90%Cw (450 μg/g DW) ผลการวิเคราะห์เฉลี่ย พบว่า สาหร่ายที่เพาะเลี้ยงใน Zm มีค่าคาโรทีนอยด์มากกว่าสาหร่ายที่เลี้ยงใน 100%Cw และ 90%Cw ตามลำดับ

คุณค่าทางโภชนาการของสาหร่าย

เปอร์เซ็นต์โปรตีน โดยน้ำหนักแห้ง อยู่ระหว่าง 31.37–53.72 % สูงสุดที่สูตรอาหาร Zm ค่า 53.72 % ต่ำสุดที่น้ำทิ้งจากโรงอาหาร 90%Cw มีค่า 31.37%

เปอร์เซ็นต์คาร์โบไฮเดรท โดยน้ำหนักแห้ง อยู่ระหว่าง 14.36–27.67 % สูงสุดที่ สูตรอาหาร Zm มีค่า 27.67 % ต่ำสุดที่น้ำทิ้งจากโรงอาหาร 100%Cw มีค่า 14.36 %

เปอร์เซ็นต์ไขมัน โดยน้ำหนักแห้ง อยู่ระหว่าง 1.75–3.81 % สูงสุดที่ น้ำทิ้งจากโรงอาหาร 100%Cw มีค่า 3.81 % ต่ำสุดที่สูตรอาหาร Zm มีค่า 1.75 %

เปอร์เซ็นต์เยื่อใย โดยน้ำหนักแห้ง อยู่ระหว่าง 2.09–11.36 % สูงสุดที่ น้ำทิ้งจากโรงอาหาร 100%Cw มีค่า 11.36 % ต่ำสุดที่สูตรอาหาร Zm มีค่า 2.09 %

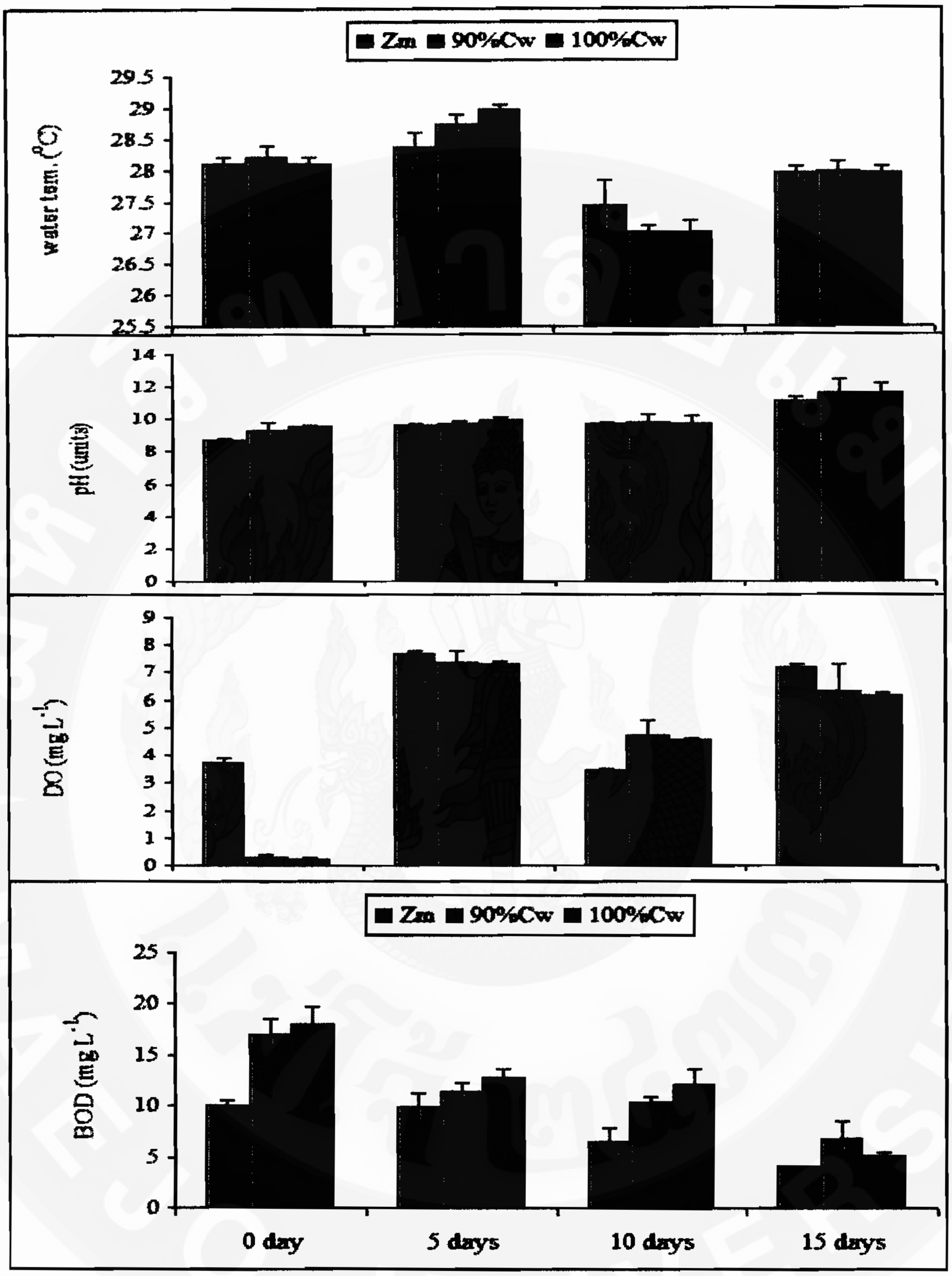
เปอร์เซ็นต์ความชื้น โดยน้ำหนักแห้ง อยู่ระหว่าง 6.80–11.56 % สูงสุดที่สูตรอาหาร Zm มีค่า 11.56 % ต่ำสุดที่น้ำทิ้งจากโรงอาหาร 90%Cw มีค่า 6.80 %

เปอร์เซ็นต์เถ้า โดยน้ำหนักแห้ง อยู่ระหว่าง 4.08–29.65 % สูงสุดที่ น้ำทิ้งจากโรงอาหาร 100%Cw มีค่า 29.65 % ต่ำสุดที่สูตรอาหาร Zm มีค่า 4.08 %

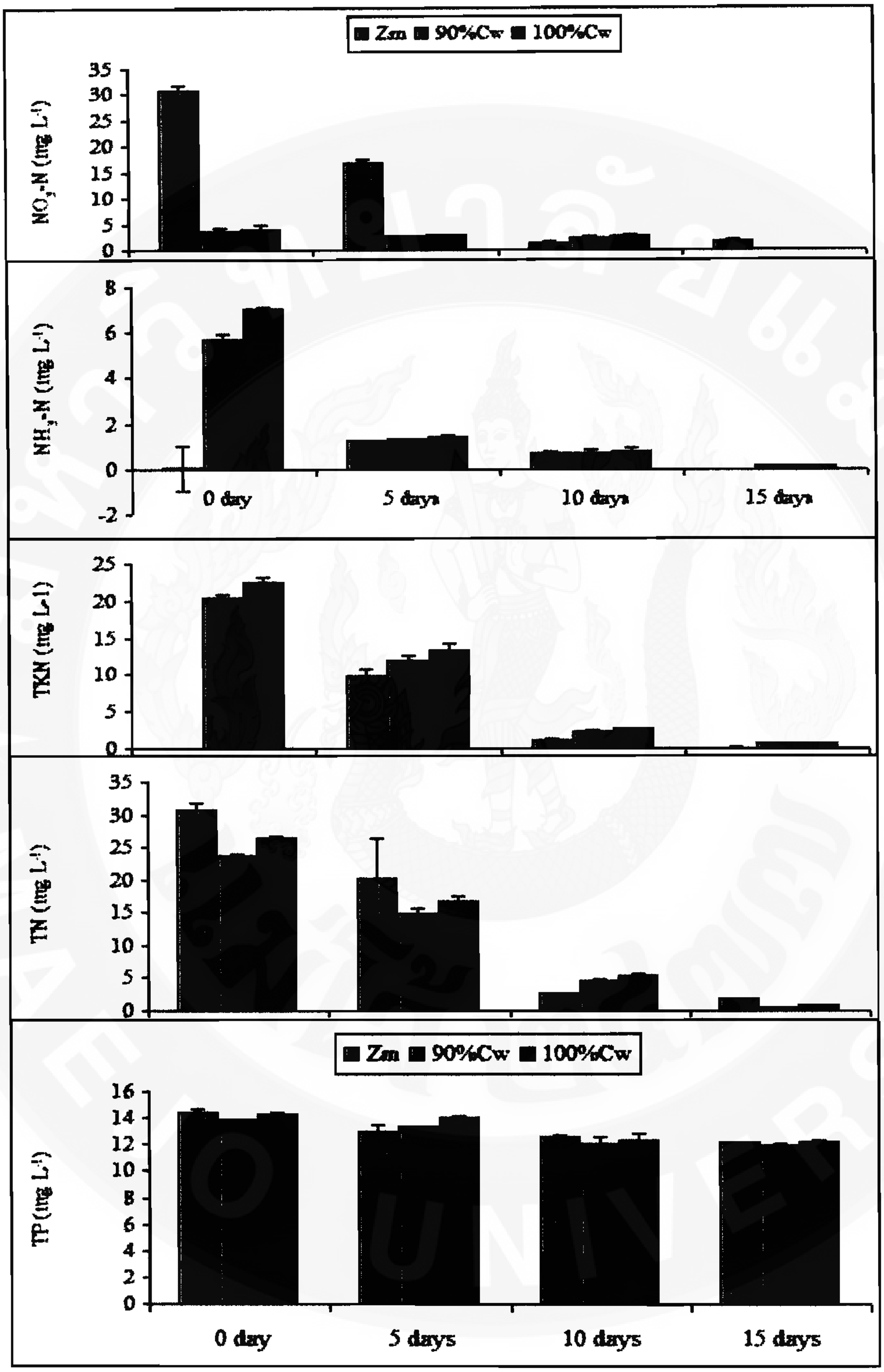
ต้นทุนการผลิตสาหร่าย *Spirulina platensis* แห้ง

อยู่ระหว่าง 262.30–316 บาท สูงสุดที่สูตรอาหาร Zm มีค่า 316 บาท ต่อ กิโลกรัม ต่ำสุดที่น้ำทิ้งจากโรงอาหาร 100%Cw มีค่า 262.30 บาท ต่อกิโลกรัม

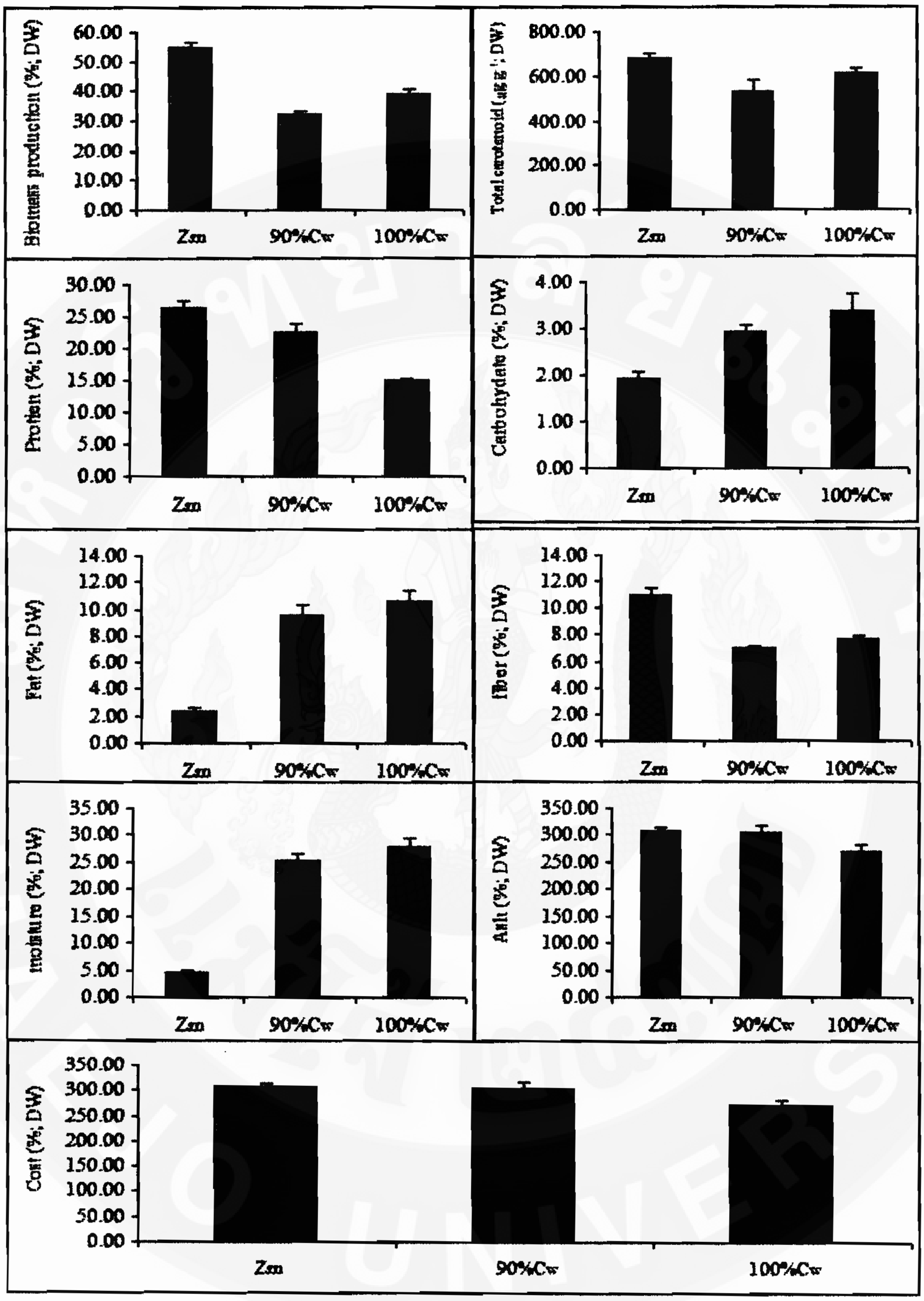
สรุปได้ว่า น้ำทิ้งจากโรงอาหารที่ความเข้มข้น 100 % Cw มีการเจริญของสาหร่าย *Spirulina platensis* ดี ได้ผลผลิตสาหร่าย ค่อนข้างสูง สาหร่ายมี Total carotenoid และคุณค่าทางโภชนาการสูง ใกล้เคียงกับ สูตรอาหาร Zm แต่ต้นทุนการผลิตต่ำกว่า สูตรอาหาร Zm คณะผู้วิจัยจะนำน้ำทิ้งจากโรงอาหารความเข้มข้น 100%Cw ไปเลี้ยงในบ่อซีเมนต์ แบบ raceway pond ขนาดใหญ่ต่อไป เพื่อนำ biomass production หรือนำผลผลิตสาหร่าย ไปผสมอาหารเลี้ยงปลาบึกต่อไป ในปีงบประมาณ 2551 ต่อไป



ภาพที่ 15 ค่า อุณหภูมิของน้ำ (water temperature), pH, DO และ BOD ของน้ำในการเพาะเลี้ยงสาหร่าย *S. platensis* ด้วยสูตรอาหาร Zm และน้ำทิ้งจากโรงอาหารที่ระดับความเข้มข้น90% และ 100% ในบ่อซีเมนต์ เป็นเวลา 15 วัน



ภาพที่ 16 ค่า NO_3-N, NH_3-N, TKN, TN และ TP ของน้ำใน การเพาะเลี้ยงสาหร่ายไก ด้วยสูตรอาหารน้ำทิ้ง จากโรงอาหารที่ระดับความเข้มข้นต่างๆ ในบ่อซีเมนต์ เป็นเวลา 15 วัน



ภาพที่ 17 ค่าผลผลิต แคโรทีนอยด์รวม และ คุณค่าทางโภชนาการ ของสาหร่าย *S. platensis* ที่เลี้ยง ด้วยสูตรอาหารน้ำทิ้ง จากโรงอาหารที่ระดับความเข้มข้นต่างๆ ในบ่อซีเมนต์ เป็นเวลา 15 วัน

วิจารณ์ผลการวิจัย

คุณภาพน้ำของน้ำทิ้งจากโรงอาหาร

คุณภาพน้ำของน้ำทิ้งจากโรงอาหาร มหาวิทยาลัยแม่โจ้ ที่ผ่านการกรองและพักทิ้งไว้ 2 สัปดาห์ พบว่า น้ำทิ้งจากโรงอาหารมีความเป็นด่างสูง มีสารอาหารแอมโมเนียไนโตรเจนสูง ซึ่งเป็นไนโตรเจนที่สาหร่ายสามารถนำไปใช้ได้ (ศิริเพ็ญ, 2543; Sze, 1998) อีกทั้งพบว่าน้ำทิ้งจากโรงอาหารมีความเข้มข้นของไนโตรเจนและออร์โธฟอสเฟตฟอสฟอรัสที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตในการเพาะเลี้ยงสาหร่าย (Jerald, 1996) จากการพิจารณาอัตราส่วนของ N:P ซึ่งเป็นสารอาหารที่จำเป็นต่อการเจริญของสาหร่ายไก และสาหร่าย *S. platensis* (Harris, 2005; Stauffer, 2006) พบว่า น้ำทิ้งจากโรงอาหารมีอัตราส่วนของ N:P เท่ากับ 4:1 ถึง 6 : 1 ซึ่งจัดได้ว่ามีไนโตรเจนเป็นปัจจัยจำกัดต่อการเจริญเติบโต (ศิริเพ็ญ, 2543; Fogg, 1966) แต่น้ำทิ้งจากโรงอาหารมีอัตราส่วนของ N:P น้อยกว่าอัตราส่วนของ N:P ที่เหมาะสมต่อการเพาะเลี้ยงสาหร่าย *Spilurina platensis* ในน้ำทิ้งจากบ่อหมักก๊าซชีวภาพมูลสุกร ที่มีอัตราส่วน N:P เท่ากับ 6:1 ถึง 8:1(จงกล, 2543)

การเพาะเลี้ยงสาหร่ายไกในตู้กระจก

คุณภาพน้ำของการเพาะเลี้ยงสาหร่ายไกในตู้กระจก พบว่ามีค่า pH ที่เป็นด่าง มีค่า DO สูง เนื่องจากมีการให้ออกซิเจน ปริมาณสารอาหารจะลดลงโดยเฉพาะไนโตรเจน ซึ่งน่าจะเกิดจากสาหร่ายนำสารอาหารไปใช้ในการเจริญ ปริมาณแอมโมเนียในรูปแอมโมเนียไนโตรเจนลดลง แต่พบว่าไนเตรทไนโตรเจนในน้ำทิ้งจากโรงอาหารบางความเข้มมีปริมาณไนเตรทไนโตรเจนเพิ่มขึ้นในวันที่ 10 และ 15 อาจเนื่องจากการเพาะเลี้ยงมีการให้ออกซิเจนจึงทำให้เกิดการออกซิไดซ์ (oxidize) แอมโนเนีย โดยแบคทีเรียไปเป็นรูปไนเตรทได้มากขึ้น (Sze, 1998) อีกทั้งการเพาะเลี้ยงสาหร่ายไก สามารถปรับปรุงคุณภาพน้ำได้ดีระดับหนึ่ง โดยสามารถลดค่า BOD ความเป็นด่าง และปริมาณสารอาหารได้เช่นเดียวกับการเพาะเลี้ยงสาหร่าย *S. platensis* ในน้ำเสีย (จงกล, 2543)

การเจริญของสาหร่ายไกที่เพาะเลี้ยงในตู้กระจก โดยใช้น้ำทิ้งจากโรงอาหารที่ระดับความเข้มข้นต่างๆ พบว่า สาหร่ายที่เลี้ยงโดยใช้น้ำทิ้งจากโรงอาหารเกือบทุกความเข้มข้นมีอัตราการเจริญน้อยที่สุดในวันที่ 10 และ 15 ซึ่งน่าเป็นผลมาจากสารอาหารขาดแคลน โดยพบว่าสาหร่ายไกที่เพาะเลี้ยงในน้ำทิ้งจากโรงอาหารที่ระดับความเข้มข้น 60% ถึง 100% มีการเจริญดีกว่า

สาหร่ายไกที่เลี้ยงในน้ำทิ้งจากโรงอาหารที่ระดับความเข้มข้น 10% ถึง 50% อย่างชัดเจน อาจเนื่องจากน้ำทิ้งจากโรงอาหารที่ระดับความเข้มข้น 60% ถึง 100% มีคุณภาพน้ำที่เหมาะสมต่อการเจริญของสาหร่ายไก

การเพาะเลี้ยงสาหร่ายไกใน บ่อซีเมนต์ แบบ raceway pond และสาหร่าย *S. platensis* ในบ่อซีเมนต์กลม

การเพาะเลี้ยงสาหร่ายไก ในบ่อซีเมนต์ขนาด 2X 4 ตารางเมตร แบบ raceway pond และสาหร่าย *S. platensis* ในบ่อซีเมนต์กลมปริมาตร 100 ลิตร พบว่า คุณภาพน้ำมีค่า pH และ DO ใกล้เคียงกับคุณภาพน้ำบริเวณที่พบสาหร่ายไกในแม่น้ำโขง ที่มีค่า pH 7.53-8.40 และค่า DO 7.20-9.20 mg/l ซึ่งเป็นช่วงที่เหมาะสมต่อการเจริญของสาหร่ายไก (ศรีวรรณและประเสริฐ, 2544) และ การเพาะสาหร่าย *S. platensis* คล้ายกับการเพาะเลี้ยง *S. platensis* ในน้ำทิ้งจากหอพักนักศึกษามหาวิทยาลัยแม่โจ้ พบว่าที่ความเข้มข้นของน้ำทิ้งหอพักนักศึกษาที่ความเข้มข้น 70 เปอร์เซ็นต์ มี NH_3-N 1.44 mg/l, NO_3-N 0.68 mg/l, PO_4-P 0.49 mg/l (จงกล, 2545) อีกทั้งการเพาะเลี้ยงสาหร่ายไก และ สาหร่าย *S. platensis* ยังช่วยปรับปรุงคุณภาพน้ำได้ดีระดับหนึ่ง โดยสามารถลดค่า BOD ความกระด้าง ความเป็นด่าง และปริมาณสารอาหารได้เช่นเดียวกับการเพาะเลี้ยงสาหร่าย *S. platensis* ในน้ำเสีย (จงกล, 2543)

คุณค่าทางโภชนาการโดยเฉพาะโปรตีน ของสาหร่ายไกที่เลี้ยงโดยใช้น้ำทิ้งจากโรงอาหาร 80%, 90% และ100% อยู่ระหว่าง 26.12-30.23 มากกว่า สาหร่ายไกที่เก็บเกี่ยวจากแม่น้ำน่าน (ยุวดี, 2547) อาจมาจากปริมาณไนโตรเจนซึ่งเป็นธาตุที่มีความสำคัญต่อสาหร่ายเพื่อใช้ในการสังเคราะห์กรดอะมิโน (amino acid) และโปรตีน (protein) (ศิริเพ็ญ, 2543) ในน้ำทิ้งจากโรงอาหารมีมากกว่าในน้ำธรรมชาติ ทำให้สาหร่ายไกที่เลี้ยงในน้ำทิ้งจากโรงอาหารสามารถผลิตโปรตีนได้ดีกว่าสาหร่ายไกในธรรมชาติ คุณค่าทางโภชนาการโดยเฉพาะโปรตีน ของสาหร่าย *S. platensis* ที่เลี้ยงโดยใช้น้ำทิ้งจากโรงอาหาร 100% มีค่า 40.86% โดยน้ำหนักแห้ง ใกล้เคียงกับการเพาะเลี้ยง *S. platensis* ในน้ำหมักมูลวัวมีโปรตีนประมาณ 42 – 63 เปอร์เซ็นต์ (Tamayo *et al.*, 1987)

สรุปผลการวิจัย (Summary)

การเพาะเลี้ยงสาหร่ายสกุล *Cladophora* (ไก) โดยใช้น้ำทิ้งจากโรงอาหาร ผลจากการเลี้ยงสาหร่ายไกพบว่า มีค่า BOD, NH_3-N, NO_3-N, TP และ TKN ลดลงจากวันแรก ส่วนการเจริญของสาหร่ายไก พบว่า สาหร่ายไกที่เลี้ยงด้วยน้ำทิ้งจากโรงอาหารที่ระดับความเข้มข้น 80% มีผลผลิตของสาหร่ายแห้งสูงสุด รองลงมา คือ ที่ระดับความเข้มข้น 100%, 90%, 70% และ 60% คุณค่าทางโภชนาการของสาหร่ายไกโดยน้ำหนักแห้งที่เลี้ยงในที่เลี้ยงในน้ำทิ้งจากโรงอาหาร 80% มีปริมาณแคโรทีนอยด์ 580 μg/g โปรตีน 31.37% สูงกว่าสาหร่ายไกที่เลี้ยงในน้ำทิ้งจากโรงอาหาร 100% และ90% ตามลำดับ คณะผู้วิจัยจะนำน้ำทิ้งจากโรงอาหาร 80% ไปเลี้ยงสาหร่ายไกในบ่อซีเมนต์ขนาดใหญ่ แบบ raceway pond ต่อไป เพื่อนำผลผลิตไกไปเลี้ยงปลาบึกต่อไปใน งบวิจัยปี 2551

การการเพาะเลี้ยงสาหร่าย *S. platensis* โดยใช้สูตรอาหาร Zm และน้ำทิ้งจากโรงอาหาร ผลจากการเลี้ยงสาหร่าย *S. platensis* พบว่า มีค่า BOD, NH_3-N, NO_3-N, TP และ TKN ลดลงจากวันแรก คล้ายกับการเลี้ยงสาหร่ายไก ส่วนการเจริญของสาหร่าย *S. platensis* พบว่า สาหร่ายที่เลี้ยงด้วยน้ำทิ้งจากโรงอาหารที่ระดับความเข้มข้น 100% มีผลผลิตของสาหร่ายแห้งสูงสุด รองลงมา คือ สูตรอาหาร Zm และน้ำทิ้งจากโรงอาหารที่ระดับความเข้มข้น 90% ตามลำดับ คุณค่าทางโภชนาการของสาหร่าย *S. platensis* โดยน้ำหนักแห้งที่เลี้ยงในที่เลี้ยงในน้ำทิ้งจากโรงอาหาร 100% มีปริมาณแคโรทีนอยด์ 630 μg/g โปรตีน 40.86% ซึ่งใกล้เคียงกับสูตรอาหา Zm ที่เป็นสูตรควบคุม คณะผู้วิจัยจะนำน้ำทิ้งจากโรงอาหาร 100% ไปเลี้ยงสาหร่าย *S. platensis* ในบ่อซีเมนต์ขนาดใหญ่ แบบ raceway pond ต่อไป เพื่อนำผลผลิตไกไปเลี้ยงปลาบึกต่อไปใน งบวิจัยปี 2551

เอกสารอ้างอิง

เกรียงศักดิ์ เม่งอำพัน. 2545. **การศึกษาพ่อ-แม่พันธุ์ปลาบึกจากการเลี้ยงเพื่อการอนุรักษ์และพัฒนาการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำเชิงพาณิชย์.** (In press)

จงกล พรมยะ. 2543. **การเพาะเลี้ยงสาหร่าย *Spirulina platensis* ในน้ำทิ้งจากบ่อหมักก๊าซชีวภาพมูลสุกร.** วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต, ภาควิชาชีววิทยา, คณะวิทยาศาสตร์, มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.

จงกล พรมยะ และ จารุวรรณ แผงนาง. 2543. **การวิเคราะห์หาคาโรตินอยด์และโปรตีนในสาหร่าย *Spirulina* sp., *Spirogyra* sp. และ *Cladophora* sp.** (In press)

จงกล พรมยะ และ จารุวรรณ แผงนาง. 2544. **การเพาะเลี้ยงสาหร่าย *Cladophora* ในร่องน้ำซีเมนต์.** (In press)

จงกล พรมยะ . 2545 . **การเพาะเลี้ยงสาหร่าย *Spirulina platensis* เพื่อปรับปรุงคุณภาพน้ำหอพักนักศึกษามหาวิทยาลัยแม่โจ้ .** รายงานผลการวิจัย มหาวิทยาลัยแม่โจ้ เชียงใหม่

จงกล พรมยะ, จารุวรรณ แผงนาง, ธานินทร์ หรัญรัตน์, จุฑามัณฑก์ ศาลางาม และ ศิริเพ็ญ ตรัยไชยาพร. 2545. Carotenoids Content and Nutritional Value of Some Edible Algae. (In press)

นิวุฒิ หวังชัย และ สุฤทธิ์ สมบูรณ์ชัย. 2540. **อาหารปลา.** เชียงใหม่: ภาควิชาเทคโนโลยีการประมง, คณะผลิตกรรมการเกษตร, มหาวิทยาลัยแม่โจ้.

ยุวดี พีรพรพิศาล. 2547. ศักยภาพของสาหร่ายน้ำจืดขนาดใหญ่. วารสารนานาสัตว์น้ำ ปีที่ 8 ฉบับที่ 2. หน้า 20-21.

ศรันย์ วรรธนัจจริยา. 2532. **การวิเคราะห์เศรษฐศาสตร์การผลิตทางการเกษตร.** กรุงเทพฯ: ภาควิชาเศรษฐศาสตร์เกษตร, คณะเศรษฐศาสตร์และบริหารธุรกิจ, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ศิริเพ็ญ ตรัยไชยาพร. 2543. **การวิเคราะห์คุณภาพน้ำ.** พิมพ์ครั้งที่ 2. เชียงใหม่: ภาควิชาชีววิทยา, คณะวิทยาศาสตร์, มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.

ศรีวรรณ ไชยสุข และ ประเสริฐ ไวยะกา. 2544. “การศึกษาระบบนิเวศของไก.” **รายงานการวิจัยฉบับสมบูรณ์.** สกว.

สมใจ แซ่โง้ว. 2540. "สิ่งละอันพันละน้อยเกี่ยวกับชาวไทยลื้อ ไก: สาหร่ายน้ำจืด." **วารสารภาษาและวัฒนธรรม**. กรกฎาคม–ธันวาคม. 16 (2): 34

สรวิศ เผ่าทองศุข. 2543. "สาหร่าย: ศักยภาพการวิจัยและพัฒนาเพื่อการใช้ประโยชน์จากสาหร่ายในประเทศไทย." **เอกสารเผยแพร่ชุดโครงการ "อุตสาหกรรมสัตว์น้ำ" สกว. ชุดที่** 2. กรุงเทพฯ: โรงพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

สุรศักดิ์ สร้อยมี. 2544. **การศึกษาอัตราการเจริญเติบโตและปริมาณคาโรทีนอยด์สะสมในเนื้อของปลานิลสีแดงจากการใช้อาหารผสมสาหร่ายต่างชนิดกัน.** ปัญหาพิเศษ วิทยาศาสตรบัณฑิต ภาควิชาเทคโนโลยีการประมง, คณะผลิตกรรมการเกษตร, มหาวิทยาลัยแม่โจ้.

APHA, AWW and WPCF. 1985. **Standard Method for Examination of Water and Waste Water.** 18th ed. Washington D.C.: American Public Heath Association.

Del Campo, J. A; M. Jose; R . Herminia; M.A.Vagas; R. Joaaquin and G.G. Miguel. 2000. **"Carotenoid Content of Chlorophycean Microalgae: Factors Determining Lutein Accumulation in *Muriellopis* sp. (Chlorphyta)." Biotechnology.** 76: 51–59.

Goodwin, T.W . 1980. **The Biochemistry of the Carotenoids.** London: Chapman and Hall.

Hill, C. 1980. **The Secrets of *Spirulina*.** California: University of the Free Press.

Jerald, L.S. 1996. Environmental Modeling Fate and Transport of Pollutants in Water, Air and Soil. Department of Civil and Environmental Engineering, The University of Iowa.

Nakamura, H. 1982. **Food for a Hungry World, a Pioneer's Story in Aquaculture.** California: University of the Free Press.

Sze, P. 1998. A Biology of the Algae. Georgetown University, USA.

ภาคผนวก

มหาวิทยาลัยแม่โจ้ MAEJO UNIVERSITY

ตารางภาคผนวกที่ 1 ผลการวิเคราะห์คุณภาพน้ำ ในการเลี้ยงสาหร่าย *S. platensis* ในน้ำทิ้งจาก โรงอาหารวันที่ 0 ของการเลี้ยง

Parameter	Repicat.	T1(Zm)	T2 (90%Cw)	T3 (100%Cw)
water tem.(^{o}C)	r1	28.1	28.2	28.1
	r2	28.0	28.4	28.2
	r3	28.2	28.0	28.0
pH(Units)	r1	8.77	9.10	9.43
	r2	8.66	9.01	9.58
	r3	8.75	9.80	9.60
DO(mg L^{-1})	r1	3.73	0.30	0.25
	r2	3.88	0.21	0.15
	r3	3.58	0.39	0.20
BOD(mg L^{-1})	r1	9.99	16.66	18.97
	r2	9.49	18.67	16.17
	r3	10.5	15.66	18.97
NO_3 - N (mg L^{-1})	r1	30.73	3.32	3.80
	r2	31.74	4.23	4.70
	r3	29.72	2.87	2.90
NO_2 - N (mg L^{-1})	r1	0.003	0.008	0.009
	r2	0.004	0.007	0.008
	r3	0.003	0.008	0.01
TKN (mg L^{-1})	r1	0.06	20.30	22.56
	r2	0.08	19.80	22.00
	r3	0.07	20.80	23.11
TN (mg L^{-1})	r1	30.79	23.63	26.37
	r2	31.82	24.04	26.71
	r3	29.79	23.68	26.02
NH_3 - N (mg L^{-1})	r1	0.04	5.75	7.10
	r2	0.03	5.15	6.98
	r3	0.02	6.23	7.00
TP (mg L^{-1})	r1	14.35	13.83	14.25
	r2	14.74	13.94	14.38
	r3	13.96	13.71	14.12
อัตราส่วนของ N : P	r1	3.3:1	17.0:1	20.24:1
	r2	3.49:1	17.23:1	20.34:1
	r3	3.13:1	17.26:1	20.13:1

ตารางภาคผนวกที่ 2 ผลการวิเคราะห์คุณภาพน้ำ ในการเลี้ยงสาหร่าย *S. platensis* ในน้ำทิ้งจากโรงอาหาร วันที่ 5 ของการเลี้ยง

Parameter	Repicat.	T1(Zm)	T2 (90%Cw)	T3 (100%Cw)
water tem.(^{o}C)	r1	28.23	28.7	28.97
	r2	28.63	28.6	29.05
	r3	28.23	28.9	28.88
pH(Units)	r1	9.60	9.70	9.97
	r2	9.70	9.53	10.12
	r3	9.50	9.87	9.82
DO(mg L^{-1})	r1	7.57	6.79	7.38
	r2	7.78	7.56	7.32
	r3	7.65	7.67	7.12
BOD(mg L^{-1})	r1	8.5	12.09	13.43
	r2	9.74	10.58	12.98
	r3	11.26	11.59	11.88
NO_3 - N (mg L^{-1})	r1	16.87	2.61	2.90
	r2	16.26	2.70	3.00
	r3	17.48	2.52	2.80
NO_2 - N (mg L^{-1})	r1	0.06	0.29	0.32
	r2	0.07	0.29	0.34
	r3	0.05	0.28	0.31
TKN (mg L^{-1})	r1	9.84	12	13.34
	r2	8.93	12.71	14.12
	r3	10.75	11.3	12.56
TN (mg L^{-1})	r1	17.00	14.90	16.56
	r2	16.38	15.70	17.46
	r3	27.37	14.10	15.67
NH_3 - N (mg L^{-1})	r1	1.23	1.31	1.45
	r2	1.25	1.35	1.5
	r3	1.21	1.26	1.4
TP (mg L^{-1})	r1	13.36	13.35	13.94
	r2	12.45	13.26	14.00
	r3	13.10	13.30	14.20
อัตราส่วนของ N : P	r1	1.27:1	0.24:1	0.26:1
	r2	1.32:1	0.25:1	0.26:1
	r3	2.09:1	1.11:1	1.16:1

ตารางภาคผนวกที่ 3 ผลการวิเคราะห์คุณภาพน้ำ ในการเลี้ยงสาหร่าย *S. platensis* ในน้ำทิ้งจากโรงอาหาร วันที่ 10 ของการเลี้ยง

Parameter	Repicat.	T1(Zm)	T2 (90%Cw)	T3 (100%Cw)
water tem.(°C)	r1	27.80	27.03	27.00
	r2	27.50	26.90	26.80
	r3	27.00	27.09	27.20
pH(Units)	r1	9.7	9.77	9.71
	r2	9.61	10.25	9.26
	r3	9.79	9.29	10.16
DO(mg L^{-1})	r1	3.47	5.07	4.57
	r2	3.38	4.98	4.51
	r3	3.53	4.09	4.63
BOD(mg L^{-1})	r1	6.87	10.40	12.67
	r2	7.56	9.89	10.10
	r3	5.18	10.92	13.24
NO_3 - N (mg L^{-1})	r1	1.42	2.34	2.60
	r2	1.20	2.11	2.34
	r3	1.50	2.57	2.86
NO_2 - N (mg L^{-1})	r1	0.03	0.02	0.02
	r2	0.02	0.01	0.01
	r3	0.04	0.02	0.03
TKN (mg L^{-1})	r1	1.24	2.56	2.85
	r2	1.42	2.30	2.60
	r3	1.06	2.20	2.50
TN (mg L^{-1})	r1	2.69	4.92	5.47
	r2	2.64	4.42	4.95
	r3	2.60	4.79	5.39
NH_3 - N (mg L^{-1})	r1	0.68	0.86	0.95
	r2	0.59	0.72	0.80
	r3	0.77	0.63	0.70
TP (mg L^{-1})	r1	12.62	12.29	12.54
	r2	12.53	11.48	11.64
	r3	12.70	12.37	12.63
อัตราส่วนของ	r1	0.21:1	0.40:1	0.44:1
N : P	r2	0.21:1	0.39:1	0.43:1
	r3	0.20:1	0.39:1	0.42:1

ตารางภาคผนวกที่ 4 ผลการวิเคราะห์คุณภาพน้ำ ในการเลี้ยงสาหร่าย *S. platensis* ในน้ำทิ้งจากโรงอาหาร วันที่ 15 ของการเลี้ยง

Parameter	Repicat.	T1(Zm)	T2 (90%Cw)	T3 (100%Cw)
water tem.(°C)	r1	27.93	27.97	27.93
	r2	27.81	27.82	27.81
	r3	28.05	28.12	28.05
pH(Units)	r1	11	11.6	12
	r2	11.37	10.81	11.9
	r3	11.03	12.39	11
DO(mg L^{-1})	r1	7.20	7.00	6.12
	r2	7.30	6.74	6.24
	r3	7.10	5.26	6.00
BOD(mg L^{-1})	r1	4.12	5.62	5.58
	r2	4.00	5.73	4.70
	r3	3.96	8.82	4.80
NO_3 - N (mg L^{-1})	r1	1.840	0.018	0.020
	r2	1.800	0.038	0.040
	r3	1.700	0.027	0.030
NO_2 - N (mg L^{-1})	r1	0.001	0.002	0.003
	r2	0.001	0.003	0.004
	r3	0.002	0.001	0.002
TKN (mg L^{-1})	r1	0.10	0.61	0.68
	r2	0.11	0.63	0.70
	r3	0.13	0.59	0.66
TN (mg L^{-1})	r1	1.941	0.630	0.703
	r2	1.911	0.671	0.744
	r3	1.832	0.618	0.692
NH_3 - N (mg L^{-1})	r1	0.010	0.126	0.140
	r2	0.011	0.121	0.134
	r3	0.004	0.131	0.146
TP (mg L^{-1})	r1	12.17	11.90	12.11
	r2	12.12	12.03	12.25
	r3	12.23	11.77	11.97
อัตราส่วนของ N : P	r1	0.159:1	0.053:1	0.058:1
	r2	0.158:1	0.056:1	0.061:1
	r3	0.150:1	0.053:1	0.058:1

ตารางภาคผนวกที่ 5 การเพาะเลี้ยงสาหร่าย *Cladophora* (ไก) ในบ่อซีเมนต์แบบ raceway pond กลางแจ้ง โดยใช้น้ำทิ้งโรงอาหาร (Cafeteria wastewater; Cw) เป็นอาหารเลี้ยงสาหร่าย

จำนวนวัน	หน่วยทดลอง	Air-Temp (°C)	Water-Temp (°C)	pH	DO (mg/L)	BOD (mg/L)	NH_3 -N (mg/L)	NO_2 -N (mg/L)	NO_3 -N (mg/L)	TKN (mg/L)	Total - N (mg/L)	Total - P (mg/L)	N:P
0 day	80%Cw	27.00	27.00	7.70	5.70	60.00	3.65	0.085	0.239	13.63	13.95	50.12	0.28:1
		27.00	27.00	7.67	5.60	67.00	4.34	0.101	0.259	13.96	14.32	51.12	0.28:1
		27.00	27.00	7.70	5.34	63.00	3.65	0.095	0.289	13.46	13.85	50.32	0.275:1
	90%Cw	27.00	27.00	7.60	6.20	80.00	4.12	0.120	0.394	13.84	14.35	52.78	0.272:1
		27.00	27.00	7.46	5.89	75.00	5.24	0.152	0.414	13.98	14.55	53.78	0.271:1
		27.00	27.00	7.56	6.20	85.00	6.99	0.112	0.374	13.84	14.32	52.50	0.273:1
	100%Cw	27.00	27.00	7.70	4.00	170.00	6.95	0.160	0.374	14.06	14.60	53.23	0.274:1
		27.00	27.00	7.87	5.00	160.00	7.13	0.186	0.384	14.09	14.66	54.67	0.268:1
		27.00	27.00	7.67	3.41	150.00	7.34	0.176	0.433	14.16	14.77	53.10	0.278:1
จำนวนวัน	หน่วยทดลอง	Air-Temp (°C)	Water-Temp (°C)	pH	DO (mg/L)	BOD (mg/L)	NH_3 -N (mg/L)	NO_2 -N (mg/L)	NO_3 -N (mg/L)	TKN (mg/L)	Total - N (mg/L)	Total - P (mg/L)	N:P
5 days	80%Cw	29.00	27.33	8.23	2.38	65.00	2.63	0.053	0.022	7.41	7.49	20.00	0.374:1
		29.00	27.33	8.12	2.40	66.00	2.46	0.056	0.028	7.60	7.68	18.00	0.427:1
		29.00	27.33	8.23	2.38	65.00	2.40	0.053	0.029	8.70	8.78	16.00	0.549:1
	90%Cw	29.67	27.67	8.30	2.35	60.00	2.67	0.053	0.030	10.23	10.31	20.00	0.516:1
		29.67	27.67	8.23	2.32	68.00	3.68	0.057	0.031	11.30	11.39	21.00	0.542:1
		29.67	27.67	8.30	2.37	64.00	2.66	0.053	0.032	9.28	9:37	22.00	0.426:1
	100%Cw	29.00	27.87	8.30	2.41	65.00	4.69	0.053	0.034	11.44	11.53	28.00	0.412:1
		29.00	27.87	8.53	2.45	68.00	3.70	0.058	0.035	10.50	10.59	26.00	0.407:1

ตารางภาคผนวกที่ 5 (ต่อ) การเพาะเลี้ยงสาหร่าย *Cladophora* (ไก) ในบ่อซีเมนต์แบบ raceway pond กลางแจ้ง โดยใช้น้ำทิ้งโรงอาหาร (Cafeteria wastewater; Cw) เป็นอาหารเลี้ยงสาหร่าย

จำนวนวัน	หน่วยทดลอง	Air-Temp (°C)	Water-Temp (°C)	pH	DO (mg/L)	BOD (mg/L)	NH_3 -N (mg/L)	NO_2 -N (mg/L)	NO_3 -N (mg/L)	TKN (mg/L)	Total - N (mg/L)	Total - P (mg/L)	N:P
10 days	80%Cw	27.00	29.00	8.10	2.70	20.00	0.63	0.382	0.329	1.65	2.36	12.00	0.197:1
		27.00	29.00	8.18	2.73	21.00	0.63	0.321	0.333	1.76	2.41	13.00	0.186:1
		27.00	29.00	8.20	2.71	22.00	0.63	0.281	0.329	2.48	3.09	15.00	0.206:1
	90%Cw	27.00	28.67	8.20	2.56	21.00	0.65	0.361	0.432	1.55	2.34	9.20	0.254:1
		27.00	28.67	8.10	2.80	17.00	0.65	0.376	0.403	1.80	2.58	13.00	0.198:1
		27.00	28.67	8.11	2.75	19.00	0.66	0.361	0.401	1.60	2.36	14.00	0.169:1
	100%Cw	27.00	29.00	8.23	2.57	18.00	0.55	0.384	0.466	1.78	2.63	9.89	0.265:1
		27.00	29.00	8.18	2.80	19.00	0.45	0.438	0.466	1.90	2.80	10.00	0.280:1
		27.00	29.00	8.19	2.90	20.00	0.55	0.414	0.400	1.80	2.61	13.00	0.201:1
จำนวนวัน	หน่วยทดลอง	Air-Temp (°C)	Water-Temp (°C)	pH	DO (mg/L)	BOD (mg/L)	NH_3 -N (mg/L)	NO_2 -N (mg/L)	NO_3 -N (mg/L)	TKN (mg/L)	Total - N (mg/L)	Total - P (mg/L)	N:P
15 days	80%Cw	29.00	27.83	8.00	10.52	16.82	0.189	0.020	0.419	1.640	2.08	12.00	0.173:1
		29.00	27.83	8.15	10.85	16.58	0.219	0.024	0.494	1.758	2.28	13.00	0.175:1
		29.00	27.83	8.00	10.52	16.38	0.189	0.020	0.487	1.640	2.15	12.00	0.179:1
	90%Cw	29.00	27.83	8.13	9.93	19.40	0.216	0.052	0.464	1.750	2.27	12.00	0.189:1
		29.00	27.83	8.18	10.93	19.64	0.579	0.063	0.419	1.617	2.10	12.00	0.175:1
		29.00	27.83	8.13	10.27	19.74	0.422	0.088	0.441	1.576	2.11	13.00	0.162:1
	100%Cw	29.00	27.83	8.10	10.95	22.00	0.400	0.051	0.382	1.599	2.03	12.00	0.169:1
		29.00	27.83	8.21	11.00	21.00	0.540	0.095	0.438	1.888	2.42	13.00	0.186:1
		29.00	27.83	8.19	10.97	23.00	0.640	0.085	0.482	1.695	2.26	12.00	0.188:1

ตารางภาคผนวกที่ 6 การเปรียบเทียบ ผลผลิต คุณค่าทางโภชนาการ และต้นทุนการผลิต ของสาหร่าย *Cladophora* ที่เลี้ยงในบ่อซีเมนต์แบบ raceway pond โดยใช้น้ำทิ้งจากโรงอาหาร 3 ความเข้มข้น (80%Cw, 90%Cw และ 100%Cw) เป็นเวลา 15 วัน

หน่วยทดลอง	repica.	Bimass production (dry weight; g/m^2)	Protein (%, DW)	carbohy. (%, DW)	fat (%, DW)	fiber (%, DW)	moisture (%, DW)	ash (%, DW)	Total carotenoid (*ug* g^{-1}, DW)	Cost (baht Kg^{-1})
80%Cw	T1R1	28	31.37	8.44	2.01	16.17	16.12	25.89	580.45	80
	T1R2	30	30.50	11.59	2.13	15.89	15.89	24.00	560.00	75
	T1R3	29	28.54	11.12	2.45	16.89	16.00	25.00	550.00	60
90%Cw	T2R1	26	28.65	9.21	2.34	17.80	17.00	25.00	440.00	85
	T2R2	27	26.45	12.21	2.12	16.90	16.45	25.87	430.00	90
	T2R3	26	26.12	10.01	2.09	17.00	17.89	26.89	420.00	95
100%Cw	T3R1	27	30.23	6.42	3.35	16.90	18.10	25.00	530.00	95
	T3R2	27	29.56	6.80	2.54	17.00	17.23	26.87	510.00	80
	T3R3	28	28.80	7.52	2.78	17.56	18.00	25.34	520.00	85

ตารางภาคผนวกที่ 7 การเปรียบเทียบ ผลผลิต คุณค่าทางโภชนาการ และต้นทุนการผลิต ของสาหร่าย *S. platensis* ที่เลี้ยงในบ่อซีเมนต์กลม โดยใช้ สูตรอาหาร Zm และ น้ำทิ้งจากโรงอาหาร (90%Cw และ 100%Cw) เป็นเวลา 15 วัน

หน่วยทดลอง	repica.	dry weight g L-1	Protien (%; DW)	carbohy. (%; DW)	fat (%; DW)	fiber (%; DW)	moisture (%; DW)	ash (%; DW)	cost (baht kg-1)	Total carotenoid (ug g-1)	Total carotenoid (ug g-1)
Control	T1R1	0.86	54.83	25.48	1.96	2.09	11.56	4.08	302.10	650.00	650.00
T1(Zm)	T1R2	0.83	56.78	26.14	1.75	2.62	10.93	4.78	300.00	700.00	700.00
	T1R3	0.82	53.72	27.67	2.07	2.23	10.35	4.66	316.83	680.00	680.00
90% cafeteria	T2R1	0.72	33.19	23.04	2.84	10.22	6.80	23.91	307.36	500.00	500.00
T2 (90%Cw)	T2R2	0.70	32.26	21.19	3.10	9.71	7.19	24.85	316.14	550.00	550.00
	T2R3	0.77	31.37	23.44	2.83	8.82	6.85	26.69	287.40	450.00	450.00
100% cafeteria	T3R1	0.80	38.88	15.09	3.15	11.36	7.56	26.57	282.25	630.00	630.00
T3 (100%Cw)	T3R2	0.80	37.84	15.26	3.81	10.79	7.99	27.61	262.30	600.00	600.00
	T3R3	0.85	40.86	14.36	3.14	9.80	7.61	29.65	265.65	620.00	620.00