



รายงานผลการวิจัย มหาวิทยาลัยแม่โจ้

เรื่อง

การเพาะเลี้ยงสาหร่าย *SPIRULINA PLATENSIS* ในน้ำทิ้งจากโรงอาหาร
เพื่อเป็นอาหารในการอนุบาล และเลี้ยงปลาแฟนซีคาร์พ แบบยั่งยืน
THE CULTURE OF *SPIRULINA PLATENSIS* IN CAFETERIA EFFLUENT
USE TO NURSING AND MASS CULTURE FANCY CARPS (*CYPRINUS*
CARPIO) TO BE STABLE FEED

โดย

นายจกกล พรมยะ นายชจรเกียรติ แซ่ตัน และนาย อนุภาพ วรรณคนาพล



รายงานผลการวิจัย มหาวิทยาลัยแม่โจ้

เรื่อง การเพาะเลี้ยงสาหร่าย *SPIRULINA PLATENSIS* ในน้ำทิ้งจากโรงอาหาร เพื่อเป็นอาหารใน
การอนุบาล และเลี้ยงปลาแฟนซีคาร์พ แบบยั่งยืน

THE CULTURE OF *SPIRULINA PLATENSIS* IN CAFETERIA EFFLUENT USE TO NURSING
AND MASS CULTURE FANCY CARPS (*CYPRINUS CARPIO*) TO BE STABLE FEED

ได้รับการจัดสรรงบประมาณวิจัย ประจำปี 2551

จำนวน 295,000 บาท

หัวหน้าโครงการ นาย จงกล พรมยะ

ผู้ร่วมโครงการ นาย ขจรเกียรติ แซ่ตัน

นาย อนุภาพ ววรรณคนาพล

งานวิจัยเสร็จสิ้นสมบูรณ์

23 กุมภาพันธ์ 2552

คำนิยม

รายงานผลงานวิจัยฉบับนี้สำเร็จลุล่วงเป็นอย่างดี คณะผู้จัดทำขอขอบพระคุณ สำนักวิจัยและส่งเสริมวิชาการเกษตร สภาวิจัยแห่งชาติ มหาวิทยาลัยแม่โจ้ ที่ได้ให้การสนับสนุนทุนอุดหนุนการวิจัย ซึ่งได้รับการจัดสรรงบประมาณการวิจัยประจำปี 2551 และ 2552 ในการทำวิจัยในครั้งนี้ ขอขอบพระคุณ คณะอาจารย์ ข้าราชการ เจ้าหน้าที่และ นักศึกษา คณะเทคโนโลยีการประมง และทรัพยากรทางน้ำ มหาวิทยาลัยแม่โจ้ ที่ให้ความช่วยเหลือด้านอุปกรณ์ เครื่องมือ ตลอดจนสถานที่ทำการวิจัย ขอขอบพระคุณผู้ที่เกี่ยวข้อง และคณะผู้ร่วมทำงาน ที่ให้ความร่วมมือช่วยเหลือ ทำให้งานวิจัยสมบูรณ์ยิ่งขึ้น

คณะผู้วิจัย



สารบัญ

เรื่อง	หน้า
สารบัญตาราง	ก
สารบัญภาพ	ข
บทคัดย่อ	1
คำนำ	4
อุปกรณ์และวิธีดำเนินการ	6
ผลการวิจัย	9
วิจารณ์ผลการวิจัย	33
สรุปผลการวิจัย	36
เอกสารอ้างอิง	36



(ก)

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
1 คุณภาพน้ำทางกายภาพและเคมีบางประการของน้ำทิ้ง จากโรงอาหาร มหาวิทยาลัยแม่โจ้ ที่ผ่านการกรองและพักไว้ 2 สัปดาห์	10
2 ผลการเพาะเลี้ยงสาหร่ายด้วยน้ำทิ้งจากโรงอาหาร 100%Cw ในบ่อซีเมนต์แบบ raceway pond ผลิตสาหร่าย แบบหมวกล	25



(๒)

สารบัญภาพ

ภาพที่	หน้า
1 ความเป็นกรด-ด่าง (pH) ของการเพาะเลี้ยงสาหร่าย ด้วยสูตรอาหาร MZm และ น้ำจากโรงอาหารที่ระดับความเข้มข้นต่างๆ ในตู้กระจก เป็นเวลา 15 วัน	13
2 ค่าออกซิเจนที่ละลายน้ำ (DO) ในการเพาะเลี้ยงสาหร่าย ด้วยสูตรอาหาร MZm และ น้ำจากโรงอาหารที่ระดับความเข้มข้นต่างๆ ในตู้กระจก เป็นเวลา 15 วัน	13
3 ค่าแอมโมเนียม-ไนโตรเจน $\text{NH}_3\text{-N}$ ของน้ำใน การเพาะเลี้ยงสาหร่าย ด้วยสูตรอาหาร MZm และ น้ำจากโรงอาหารที่ระดับความเข้มข้นต่างๆ ในตู้กระจก เป็นเวลา 15 วัน	14
4 ค่าไนเตรท-ไนโตรเจน ($\text{NO}_3\text{-N}$) ของน้ำใน การเพาะเลี้ยงสาหร่าย ด้วยสูตรอาหาร MZm และ น้ำจากโรงอาหารที่ระดับความเข้มข้นต่างๆ ในตู้กระจก เป็นเวลา 15 วัน	14
5 ค่าไนเตรท-ไนโตรเจน ($\text{NO}_2\text{-N}$) ของน้ำใน การเพาะเลี้ยงสาหร่าย ด้วยสูตรอาหาร MZm และ น้ำจากโรงอาหารที่ระดับความเข้มข้นต่างๆ ในตู้กระจก เป็นเวลา 15 วัน	15
6 ค่า TKN ของน้ำใน การเพาะเลี้ยงสาหร่าย ด้วยสูตรอาหาร MZm และ น้ำจากโรงอาหารที่ระดับความเข้มข้นต่างๆ ในตู้กระจก เป็นเวลา 15 วัน	15
7 ค่า TN ของน้ำใน การเพาะเลี้ยงสาหร่าย ด้วยสูตรอาหาร MZm และ น้ำจากโรงอาหารที่ระดับความเข้มข้นต่างๆ ในตู้กระจก เป็นเวลา 15 วัน	16
8 ค่า TP ของน้ำใน การเพาะเลี้ยงสาหร่าย ด้วยสูตรอาหาร MZm และ น้ำจากโรงอาหารที่ระดับความเข้มข้นต่างๆ ในตู้กระจก เป็นเวลา 15 วัน	16
9 ผลผลิตของสาหร่าย ที่เพาะเลี้ยงในสูตรอาหาร MZm และ น้ำจากโรงอาหารที่ระดับความเข้มข้น ต่างๆ ในตู้กระจก เป็นเวลา 15 วัน	17

ภาพที่	หน้า
10 ค่าอุณหภูมิของน้ำ (water temperature), pH, DO และ BOD ของน้ำใน การเพาะเลี้ยงสาหร่าย ด้วยสูตรอาหาร MZm และน้ำทิ้งจากโรงอาหารที่ ระดับความเข้มข้น 100% และ 90% ในบ่อพลาสติกแบบ raceway pond เป็นเวลา 15 วัน	20
11 ค่า $\text{NO}_2\text{-N}$, $\text{NO}_3\text{-N}$ และ $\text{NH}_3\text{-N}$ ของน้ำใน การเพาะเลี้ยงสาหร่ายด้วย สูตรอาหาร MZm และน้ำทิ้ง จากโรงอาหารที่ระดับความเข้มข้น 100% และ 90% ในพลาสติกแบบ raceway pond เป็นเวลา 15 วัน	21
12 ค่า TKN, TN และ TP ของน้ำใน การเพาะเลี้ยงสาหร่ายด้วย สูตรอาหาร MZm และน้ำทิ้ง จากโรงอาหารที่ระดับความเข้มข้น 100% และ 90% ในพลาสติกแบบ raceway pond เป็นเวลา 15 วัน	22
13 ค่า β -carotene, C-phycoerythrin และ γ -linoleic acid ของสาหร่าย ที่เลี้ยง ด้วยสูตรอาหาร MZm และน้ำทิ้งจากโรงอาหารที่ระดับความเข้มข้น 100% และ 90% ในบ่อพลาสติก แบบ raceway pond ระยะเวลา 15 วัน	23
14 ค่า ผลผลิต แครโรทีนอยด์รวม และ คุณค่าทางโภชนาการ ของสาหร่ายไค ที่เลี้ยง ด้วยสูตรอาหารน้ำทิ้ง จากโรงอาหารที่ระดับความเข้มข้นต่างๆ ในบ่อซีเมนต์ เป็นเวลา 15 วัน	24
15 ค่าน้ำหนักเฉลี่ย (กรัม/ตัว) ของลูกปลาคาร์ฟ ที่เลี้ยงด้วย อาหารผง 10% /น้ำหนักตัวปลา สไปรูลิน่าสด 100%/น้ำหนักตัวปลา และ สไปรูลิน่าผง 10%/น้ำหนักตัวปลา อนุบาลในบ่อซีเมนต์กลม ระยะเวลา 120 วัน	27
16 ความยาว (ซม. /ตัว) ของลูกปลาคาร์ฟ ที่เลี้ยงด้วย อาหารผง 10% /น้ำหนักตัวปลา สไปรูลิน่าสด 100%/น้ำหนักตัวปลา และ สไปรูลิน่าผง 10%/น้ำหนักตัวปลา อนุบาลในบ่อซีเมนต์กลม ระยะเวลา 120 วัน	27
17 อัตราการเจริญเติบโต (g/fish/day) อัตราการเจริญเติบโตจำเพาะ (SGR ;%) อัตราการแลกเนื้อ (FCR) อัตราการรอด (%) และ ต้นทุนการผลิตลูกปลา (บาท/ ตัว) ของลูกปลาคาร์ฟ ที่เลี้ยงด้วย อาหารผง 10% /น้ำหนักตัวปลา สไปรูลิน่าสด 100%/น้ำหนักตัวปลา และ สไปรูลิน่าผง 10%/น้ำหนักตัวปลา อนุบาลในบ่อซีเมนต์กลม ระยะเวลา 120 วัน	28

ภาพที่	หน้า
18	29
ค่าแรงควัตถุ ในรูป carotenoids (mg/kg fish) ก่อนและหลังการทดลองใน ลูกปลาครีฟ ที่เลี้ยงด้วย อาหารผง 10% /น้ำหนักตัวปลา สไปรูลิน่าสด 100%/น้ำหนักตัวปลา และ สไปรูลิน่าผง 10%/น้ำหนักตัวปลา อนุบาลในบ่อซีเมนต์กลม ระยะเวลา 120 วัน	
19	31
อุณหภูมิน้ำ ($^{\circ}\text{C}$) ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำ (TDS; mg L^{-1}) และ ความนำไฟฟ้า (conductivity; $\mu\text{s cm}^{-1}$) ในบ่อซีเมนต์กลม อนุบาล ลูกปลาแพนซีครีฟ ที่เลี้ยงด้วย อาหารผง 10% /น้ำหนักตัวปลา สไปรูลิน่าสด 100%/น้ำหนักตัวปลา และ สไปรูลิน่าผง 10%/น้ำหนักตัวปลา ระยะเวลา 120 วัน	
20	32
ค่า pH (Units) DO (mg L^{-1}) และ $\text{NH}_3\text{-N}$ (mg L^{-1}) ในบ่อซีเมนต์กลม อนุบาลลูกปลาแพนซีครีฟ ที่เลี้ยงด้วย อาหารผง 10% /น้ำหนักตัวปลา สไปรูลิน่าสด 100%/น้ำหนักตัวปลา และ สไปรูลิน่าผง 10%/น้ำหนักตัวปลา ระยะเวลา 120 วัน	

การเพาะเลี้ยงสาหร่าย *SPIRULINA PLATENSIS* ในน้ำทิ้งจากโรง
อาหาร เพื่อเป็นอาหารในการอนุบาล และเลี้ยงปลาแพนซีคาร์ฟ แบบ
ยั่งยืน

THE CULTURE OF *SPIRULINA PLATENSIS* IN CAFETERIA
EFFLUENT USE TO NURSING AND MASS CULTURE FANCY
CARPS (*CYPRINUS CARPIO*) TO BE STABLE FEED

จกมล พรหมยะ ขจรเกียรติ ศรีนวลสม และอนุภาพ วรรณคนาพล
JONGKON PROMYA KAJORNGIED SRINOUNSAM AND ARNUPARP
WANKANAPOL

คณะเทคโนโลยีการประมง และทรัพยากรทางน้ำ
มหาวิทยาลัยแม่โจ้

บทคัดย่อ

การเพาะเลี้ยงสาหร่าย *Spirulina platensis* ในน้ำทิ้งจากโรงอาหาร เพื่อเป็นอาหารในการอนุบาล และเลี้ยงปลาแพนซีคาร์ฟ แบบยั่งยืน ได้ทำการวิจัย ณ คณะเทคโนโลยีการประมง และทรัพยากรทางน้ำ มหาวิทยาลัยแม่โจ้ เชียงใหม่ ระหว่าง เดือน มกราคม 2551 ถึง เดือน กุมภาพันธ์ 2552 มีการเพาะเลี้ยงสาหร่าย ในสูตรอาหาร Modified Zarrouk's medium (MZm) และใช้น้ำทิ้งจากโรงอาหาร (cafeteria water; Cw) ความเข้มข้น 10% ถึง 100% (10%Cw-100%Cw) ดังนี้ การเพาะเลี้ยงสาหร่าย ในตู้กระจก มีการศึกษาคุณภาพน้ำ ผลผลิตสาหร่ายแห้งของสาหร่าย *S. platensis* เก็บผลผลิตทุกๆ 5 วัน ระยะเวลา 15 วัน พบว่า ผลผลิตของสาหร่ายที่เลี้ยงด้วยสูตรอาหาร MZm, 100%Cw และ 90%Cw มีผลผลิตในรูปสาหร่ายแห้งมากกว่า 80%Cw-10%Cw คุณภาพน้ำหลังการเพาะเลี้ยงสาหร่ายใน Cw ทำให้ค่า $\text{NH}_3\text{-N}$, $\text{NO}_3\text{-N}$, $\text{NO}_2\text{-N}$, TKN, TN และ TP ลดลงมากกว่า MZm และการเพาะเลี้ยงสาหร่าย ในบ่อพลาสติกแบบ raceway pond ด้วยสูตรอาหาร MZm, 100%Cw และ 90%Cw มีการศึกษาคุณภาพน้ำ ผลผลิต

สาหร่ายแห้ง β -carotene, C-phyococyanin, γ -Linoleic acid และคุณค่าทางโภชนาการ ของสาหร่าย เก็บผลผลิตทุกๆ 5 วัน ระยะเวลา 15 วัน พบว่า ผลผลิตของสาหร่ายที่เพาะเลี้ยงด้วย MZm และ 100%Cw มีผลผลิตสาหร่ายแห้งสูงสุด คุณค่าทางโภชนาการของสาหร่าย โดยน้ำหนักแห้ง สาหร่ายที่เพาะเลี้ยงใน 100%Cw และ MZm มีปริมาณ β -carotene $0.27-0.28 \text{ mg g}^{-1}$, C-phyococyanin $8.27-17.77 \text{ mg g}^{-1}$, γ -Linoleic acid $0.19-0.30 \text{ gm g}^{-1}$ และโปรตีน 36.31-55.44% โดยน้ำหนักแห้ง น้ำทิ้ง 100%Cw และ 90%Cw มีค่า BOD, $\text{NH}_3\text{-N}$, $\text{NO}_3\text{-N}$, TKN, TN และ TP ลดลงจากวันแรกมากกว่า MZm คณะผู้วิจัยนำน้ำทิ้ง 100%Cw ไปเพาะเลี้ยงสาหร่าย ในบ่อซีเมนต์ แบบ raceway pond เพื่อนำผลผลิตไปอนุบาลลูกปลาแฟนซีคาร์ฟต่อไป

ผลของ สไปรูลิน่าสด และผง (raw and powder *Spirulina*; RS and PS) ต่อการเจริญเติบโต และสารสีในรูป แคโรทีนอยด์ ในลูกปลาแฟนซีคาร์ฟ อนุบาลในบ่อซีเมนต์กลม นำลูกปลาน้ำหนัก 0.005 กรัม/ตัว อัตราการปล่อย 500 ตัว/ตารางเมตร แบ่งการทดลอง เป็น 3 หน่วยทดลองๆ ละ 3 ซ้ำ ดังนี้ T_1 -ให้อาหารผง (powder feed; PF) 10%PF/น้ำหนักตัวปลา/วัน T_2 -100%RS/น้ำหนักตัวปลา/วัน T_3 -10%PS/น้ำหนักตัวปลา/วัน เก็บข้อมูลทุกๆ 30 วัน ให้ออกซิเจนในเวลากลางคืน ระยะเวลา 120 วัน พบว่า ลูกปลาที่อนุบาลด้วย 10%PF และ 10%PS มีค่าน้ำหนักเฉลี่ยต่อตัว อัตราการเจริญเติบโต อัตราการเจริญเติบโตจำเพาะ และอัตราการรอด สูงกว่าลูกปลาที่อนุบาลด้วย 100%RS แคโรทีนอยด์ หลังการทดลอง ลูกปลาที่ได้รับอาหาร 100%RS และ 10%PS มีค่ามากกว่าปลาที่ได้รับอาหาร 10%PF อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) สรุปได้ว่า การใช้สไปรูลิน่าสด และแห้ง เป็นอาหารอนุบาลลูกปลาแฟนซีคาร์ฟ มีผลทำให้ การเจริญเติบโต และสารสีในรูป แคโรทีนอยด์เพิ่มขึ้น

คำสำคัญ : สาหร่าย สไปรูลิน่า น้ำทิ้งจากโรงอาหาร และ ปลาแฟนซีคาร์ฟ

Abstract

Culture of *Spirulina platensis* as feed for the larval fancy carps (*Cyprinus carpio*) to be stable feed were researched at Faculty of Fisheries Technology and Aquatic Resources, Maejo University, Chiang Mai in January 2008 to February 2009. *S. platensis* cultivated with modified Zarrouk's medium (MZm) and cafeteria wastewater (Cw) 10%Cw to 100%Cw in aquarium. Water quality and biomass production of *S. platensis* were determined from cultures harvested every 5 days for a period of 15 days. The biomass production of *S. platensis* were MZm, 100%Cw and 90%Cw more than

10%Cw-80%Cw. The Cw produced lower $\text{NH}_3\text{-N}$, $\text{NO}_3\text{-N}$, $\text{NO}_2\text{-N}$, TKN, TN และ TP compared to MZm. *S. platensis* cultivated with MZm, 100%Cw and 90%Cw in the plastic raceway pond. Water quality, biomass production, β -carotene, C-phycocyanin, γ -Linoleic acid and nutritional value of *S. platensis* were determined from cultures harvested every 5 days for a period of 15 days. The highest level of biomass production, β -carotene ($0.27\text{-}0.28 \text{ mg g}^{-1}$), C-phycocyanin ($8.27\text{-}17.77 \text{ mg g}^{-1}$), γ -Linoleic acid ($0.19\text{-}0.30 \text{ gm g}^{-1}$) and protein ($36.31\text{-}55.44\%$ DW) of *S. platensis* were achieved in 100%Cw and MZm. The 100%Cw and 90%Cw produced lower BOD, TP, $\text{NH}_3\text{-N}$, TKN, $\text{NO}_3\text{-N}$ and TN compared to Zm. The *S. platensis* cultured with 100%Cw in raceway pond was evaluated as a protein source for cultured the fancy carps (*Cyprinus carpio*) in circular cement pond.

The effects of raw and powder *Spirulina platensis* (RS; PS) feeding on growth and pigment of carotenoids in larval fancy carps (*Cyprinus carpio*) to be stable feed were studied. The experiment was conducted in circular cement pond. Larval fancy carps initially stocked were in weight 0.005 gm/fish and 500 fishes/m^2 . Third treatments with three replications each CRD was applied including T_1 -10% powder feed (PF)/fish weight/day, T_2 -100%RS/fish weight/day, T_3 -10%PS/fish weight/day. Data was collected every 30 day for 120-day period, with oxygen supplied in night-time. It was found that larval fish nursed with 10%PF and 10%PS had significantly ($p<0.05$) higher survival percentage, weight rate, growth rate, specific growth rate and survival percentage than this reared with 100%RS. Larval fish nursed with 100%RS and 10%PS had significantly ($p<0.05$) higher after pigment of carotenoids than this reared with 10%PF. It can be concluded that the raw and powder *S. platensis*, used as feed of larval fancy carps, enhanced in growth and pigment of carotenoids, increased of larval fancy carps.

Keywords : *Spirulina platensis*, cafeteria wastewater and fancy carps (*Cyprinus carpio*)

คำนำ (Introduction)

การเพาะเลี้ยงปลาสวยงามเป็นแนวทางหนึ่งที่เกษตรกรและผู้สนใจสามารถนำไปประกอบอาชีพหลัก หรือเป็นอาชีพเสริมที่สามารถทำรายได้ให้กับเกษตรกรและผู้สนใจ ในการเพาะเลี้ยงปลาสวยงามที่มีสีสันสวยงามนั้น จำเป็นต้องมีอาหารในการเร่งสีปลา อาหารดังกล่าวที่มีในธรรมชาติและเพาะเลี้ยงง่าย เช่น สาหร่ายจัดเป็นแหล่งอาหารโปรตีนที่สำคัญอีกแหล่งหนึ่ง ในการนำมาผลิตเป็นอาหารของมนุษย์และสัตว์ เพื่อทดแทนอาหารโปรตีนที่ได้จากแหล่งอื่น ๆ ซึ่งนับวันจะมีปริมาณลดลงและไม่เพียงพอต่อความต้องการของประชากรที่เพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว ผลผลิตของสาหร่ายสามารถนำไปใช้ในอุตสาหกรรมการผลิตยา วิตามิน สารแต่งกลิ่น สี และ รส เนื่องด้วยกระบวนการเพาะเลี้ยง การเก็บเกี่ยว การนำมาทำผลิตภัณฑ์เพื่อจำหน่ายหรือบริโภค ไม่สลับซับซ้อนและใช้ต้นทุนต่ำ เมื่อเปรียบเทียบกับ การลงทุนผลิตจากวัตถุดิบอื่นๆ จึงทำให้มีการนำสาหร่ายชนิดต่าง ๆ มาเพาะเลี้ยงให้มีปริมาณมากขึ้น

สาหร่ายสไปรูลินา (*Spirulina platensis*) เป็นสาหร่ายที่เป็นที่รู้จักกันอย่างกว้างขวางมานานว่ามีโปรตีนสูงกว่าสาหร่ายชนิดอื่น มีโปรตีนร้อยละ 55-60 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักแห้ง (Venkataraman, 1983) เป็นแหล่งที่มาของวิตามิน กรดไขมันชนิดไลโนลิค ซึ่งเป็นกรดไขมันที่จำเป็นต่อปลา โดยเฉพาะในปลาเจริญพันธุ์ (Nakamura, 1982) เป็นสาหร่ายที่พบทั่วไปในน้ำจืด น้ำกร่อย และน้ำเค็ม (Richmond, 1986) โดยเฉพาะในเขตร้อนเจริญได้ดีในประเทศไทย (Nakamura, 1982) สามารถเพาะเลี้ยงในน้ำเสียจากฟาร์มสุกร ผลผลิตของสาหร่าย *S. platensis* มีโปรตีนสูงถึง 51 เปอร์เซ็นต์ (จกกล, 2543) และมีส่วนประกอบของคาโรทีนอยด์ (Carotenoid) ซึ่งเป็นสารที่ทำให้เกิดสีเหลือง ส้ม แดง ในผิวหนังและเนื้อปลาอีกด้วย (Goodwin, 1984) สไปรูลินา มีบทบาทในการพัฒนาอวัยวะ และระบบภูมิคุ้มกันโรคมีการนำ สไปรูลินา มาใช้ในการรักษาโรค เช่นการลดปริมาณโคเลสเตอรอล ป้องกันมะเร็ง กระตุ้นระบบภูมิคุ้มกันโรค เพิ่มปริมาณจุลินทรีย์ที่เป็นประโยชน์ (*Lactobacillus*) ในลำไส้ และปรับปรุงระบบการย่อยและดูดซึมสารอาหาร เนื่องมาจากมีผนังเซลล์ที่ไม่หนา สัตว์สามารถย่อยได้ง่ายจึงเหมาะในการใช้เป็นอาหารลูกกุ้งและลูกปลาวัยอ่อน จะทำให้ปลามีสีสันสวยงาม อัตราการรอดตายสูงและมีอัตราการเจริญเติบโตดี (อมรรตน์และบุษกร, 2543) สารคาโรทีนอยด์ทำหน้าที่ให้สีแก่สัตว์หลายชนิด มีประโยชน์ในการอำพรางกำบังตัว Astaxanthin และ β -carotene ยังเป็นสารตั้งต้นในการผลิตวิตามินเอ ในสัตว์ปีกและปลา จากการศึกษพบว่า Astaxanthin สามารถป้องกันการเหม็นหืนของไขมันได้ดีกว่า β -แคโรทีน ถึง 10 เท่า และสูงกว่า วิตามินอี ถึง 100

เท่า นอกจากนี้ยังมีประโยชน์ในการกระตุ้นการสร้างภูมิคุ้มกันโรค และเป็นการเพิ่มสีของเนื้อปลา Salmon (วุฒิพร, 2548)

จากคุณสมบัติทางด้านสารอาหารต่าง ๆ ที่สำคัญของสาหร่ายเป็นส่วนหนึ่งที่ร่างกายของมนุษย์และสัตว์มีความต้องการ มีการนำสาหร่ายมาทำเป็นผลิตภัณฑ์ จึงเป็นอีกทางเลือกหนึ่งสำหรับการนำไปใช้เป็นอาหารของมนุษย์และสัตว์ ด้วยเหตุผลต่าง ๆ ดังกล่าวข้างต้น คณะวิจัยจึงมีแนวทางวิจัย เพาะเลี้ยงสาหร่าย *S. platensis* เพื่อนำมาทดลอง เป็นอาหารสัตว์น้ำทั้งในรูปสาหร่ายสดและแห้ง นำมาเป็นส่วนผสม ในอาหารปลาสวยงามโดยเฉพาะปลาแฟนซีคาร์พ ทดลองจนถึงวัยเจริญพันธุ์ ซึ่งปลาชนิดนี้มีความสำคัญทางเศรษฐกิจ และสามารถเพาะพันธุ์ได้ตลอดทั้งปี และเลี้ยงในพื้นที่จังหวัดเชียงใหม่ มีสีส้มสวยงาม การเพาะเลี้ยง *S. platensis* ในน้ำทิ้งจากหอพักนักศึกษามหาวิทยาลัยแม่โจ้ ได้ทำการวิจัย เมื่อปีงบประมาณ 2544 พบว่าที่ความเข้มข้นของน้ำทิ้งหอพักนักศึกษาที่ความเข้มข้น 70 เปอร์เซ็นต์ มีคุณภาพน้ำทางเคมี ดังนี้ $\text{NH}_3\text{-N}$ 1.44 ± 0.56 mg/l, $\text{NO}_3\text{-N}$ 0.68 ± 0.07 mg/l, $\text{PO}_4\text{-P}$ 0.49 ± 0.12 mg/l สาหร่าย *S. platensis* มีโปรตีนมากถึง 48 – 50 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักแห้ง และมี Carotenoids 187.89 ไมโครกรัมต่อน้ำหนักสาหร่ายแห้ง 1 กรัม (จงกล, 2545) และการเพาะเลี้ยงสาหร่าย *Spirulina* ในน้ำทิ้งจากโรงอาหารที่ระดับความเข้มข้นของน้ำทิ้ง 100 % สาหร่ายเจริญเติบโตดีที่สุด ซึ่งได้ผลผลิตเท่ากับ 0.70 กรัม/ลิตร โดยน้ำหนักแห้ง (Promya *et al.*, 2006)

การทดลองมุ่งหวังว่า น่าจะเป็นการเพิ่มคุณภาพของอาหารปลาแฟนซีคาร์พในระยะต่าง ๆ เพื่อเป็นแนวทางในการเพิ่มผลผลิตให้มีคุณภาพยิ่งขึ้น และอีกประการหนึ่งนั้นสาหร่าย *S. platensis* สามารถทดแทนปลาป่น ซึ่งเป็นส่วนผสมในอาหารสัตว์น้ำที่มีราคาแพงในปัจจุบันได้ เพราะในการทดลองเพาะเลี้ยงสาหร่าย *S. platensis* ในการวิจัยครั้งนี้ใช้น้ำทิ้งจากโรงอาหารมหาวิทยาลัยแม่โจ้ เพาะเลี้ยงจึงเป็นการลงทุนที่ต่ำ สามารถหมุนเวียนเอาธาตุอาหารและสารประกอบอื่น ๆ ในน้ำทิ้งมาใช้ในการสร้างผลผลิตเบื้องต้น ให้ได้มวลของสาหร่ายในปริมาณมาก เพื่อเป็นแหล่งโปรตีนของสัตว์น้ำเร่งสีปลาสวยงาม และสร้างระบบภูมิคุ้มกันโรคให้แก่ปลา ทำให้อัตราการรอดสูง ฉะนั้น การวิจัยครั้งนี้ คณะนักวิจัยจึงใช้สาหร่าย *S. platensis* ในการช่วยกระตุ้นการเร่งสี และ สร้างระบบภูมิคุ้มกันโรคให้แก่ ปลาแฟนซีคาร์พ เพื่อเป็นข้อมูลพื้นฐานต่อไป

อุปกรณ์และวิธีการวิจัย (Materials and Methods)

อุปกรณ์ในการวิจัย

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

วิธีการวิจัย

ระยะที่ 1

1. การศึกษาองค์ประกอบทางกายภาพ-เคมีของน้ำทิ้งจากโรงอาหาร ต่อการ

เติบโตของสาหร่ายระดับห้องปฏิบัติการ

- วิเคราะห์คุณภาพน้ำทางกายภาพ-เคมี ของน้ำทิ้งก่อนนำมาบำบัดทางกายภาพ
- นำน้ำทิ้งจากโรงอาหารมหาวิทยาลัยแม่โจ้ ใส่ในบ่อตกตะกอน ขนาด 6 ตารางเมตร เพื่อการบำบัดทางกายภาพ โดยทิ้งไว้ 2 สัปดาห์ ใช้ผ้าขาวบางกรองเอาตะกอน และไขมันทิ้ง
- วิเคราะห์คุณภาพน้ำทางกายภาพ-เคมีของน้ำทิ้งที่กรองตะกอนและไขมันแล้ว (temperature, alkalinity, pH, DO, BOD, $\text{NH}_3\text{-N}$, TKN, $\text{NO}_3\text{-N}$, $\text{NO}_2\text{-N}$ และ TP)
- เจือจางน้ำทิ้งด้วยน้ำประปาให้ได้ความเข้มข้นต่างๆ กัน โดยขึ้นกับปริมาณสารอาหาร (N, P) ว่ามีค่าเท่าใด เพื่อปรับให้น้ำทิ้งที่จะใช้ในการเพาะเลี้ยงสาหร่ายมีปริมาณสารอาหารที่ใกล้เคียงกับ สูตรอาหาร Modified Zarrouk 's medium (MZm) ปรับปรุง ของจงกล, 2548 หรือ ค่าอัตราส่วนของไนโตรเจนและฟอสฟอรัส (N:P) เท่ากับ 8:1 รวมทั้งให้ค่า $\text{NH}_3\text{-N}$ ที่สาหร่ายต้องการ อยู่ระหว่าง 1.3 – 6.5 mg /l (Chung, 1978) โดยใช้น้ำทิ้งความเข้มข้นต่างๆ กัน คือน้ำทิ้ง : น้ำประปาในอัตราส่วน 100 : 0, 90 : 10, 80 : 20, 70 : 30, 60 : 40, 50 : 50, 40 : 60, 30 : 70, 20 : 80, 10 : 90

2. ศึกษาการเพาะเลี้ยงสาหร่ายด้วยน้ำทิ้งจากโรงอาหาร และสูตรอาหาร

มาตรฐานในระดับห้องปฏิบัติการ และบ่อพลาสติก แบบ raceway pond

กลางแจ้ง

- 1) เตรียมหัวเชื้อ (inoculum) สาหร่าย
 - เพาะเลี้ยงเริ่มแรกในบีกเกอร์ ใช้อาหาร 2 ชนิด คือ น้ำทิ้งจากโรงอาหาร ในระดับความเข้มข้นต่างๆ กัน (ข้อ 1) และเพาะเลี้ยงในสูตรอาหาร MZm ปรับปรุง ของ

จกกล, 2548 ระยะเวลา ไม่น้อยกว่า 2 เดือน และย้ายสาหร่ายไปศึกษาการ เพาะเลี้ยงในตู้กระจกต่อไป

2) เพาะเลี้ยงสาหร่าย ในบ่อพลาสติก ระยะเวลา ไม่น้อยกว่า 1-2 เดือน

เพาะเลี้ยงสาหร่ายในสูตรอาหาร MZm และ ในน้ำทิ้งระดับความเข้มข้น 100 และ 90% ซึ่งเป็นสูตรอาหารที่ทำให้ผลผลิตของสาหร่ายสูง ที่ได้จากการเพาะเลี้ยงในข้อ 1 เพื่อ ศึกษาปริมาณสารอาหาร และหาระดับความเข้มข้นของน้ำทิ้งที่เหมาะสมต่อการเติบโตของ สาหร่ายโดยเพาะเลี้ยงในบ่อพลาสติก แบบ raceway pond ปริมาณน้ำ 100 ลิตร มีน้ำ ไหลเวียนตลอดเวลา

- วิเคราะห์คุณภาพน้ำทางกายภาพ-เคมี (APHA,1985) สัปดาห์ละครั้ง
- วัดมวลชีวภาพ และผลผลิตเบื้องต้นของสาหร่าย
- วัดอัตราการเติบโตของสาหร่าย
- วิเคราะห์คุณค่าทางโภชนาการ และปริมาณ β -carotene, C-phyococyanin และ γ -Linoleic acid (นิวุฒิ และสุฤทธิ, 2540 ;Simonne *et al.*, 1996)
- นำข้อมูลมาวิเคราะห์ทางสถิติ โดยใช้ ANOVA และ DMRT

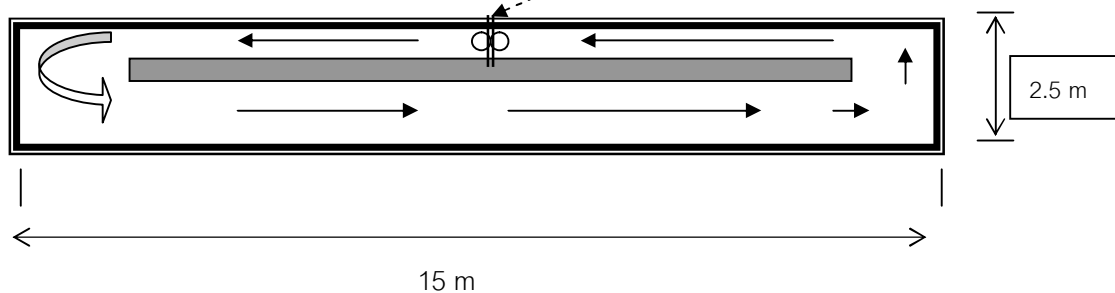
ระยะที่ 2

1. เพาะเลี้ยงสาหร่ายด้วยน้ำทิ้งจากโรงอาหารครัวเรือน แบบหมุนวนในบ่อ

ซีเมนต์

- เพาะเลี้ยงสาหร่ายด้วยน้ำทิ้ง 100% เลือกระดับความเข้มข้นของน้ำทิ้งที่เหมาะสม ต่อการเติบโตของ สาหร่ายใน ระยะที่ 1 (ข้อ 2) มาเพาะเลี้ยงในบ่อซีเมนต์แบบ raceway pond ขนาด กว้าง ยาว และสูง เท่ากับ 2.5 x 15 x .60 m มีน้ำ ไหลเวียนตลอดเวลา ดังรูปข้างล่าง การเพาะเลี้ยง เป็นเวลา 2 ปี

ระบบน้ำวน/ เครื่องตีน้ำ



เก็บผลผลิตมวลชีวภาพ ทุก 1 สัปดาห์ เพื่อหา อัตราการเติบโตของสาหร่าย และนำไปเป็นอาหารในการอนุบาลปลาต่อไป

2. ทดลองการใช้สาหร่าย มาเป็นอาหารปลา

2.1 ในปีที 1 เป็นช่วงอนุบาลแพลนซีคาร์ฟ

- การทดลองมี 3 ชุด ๆ ละ 3 ซ้ำ ในบ่อซีเมนต์กลมขนาด เส้นผ่าศูนย์กลาง 1 m. x สูง 0.5 m. จำนวน 9 บ่อ

- ใช้สาหร่ายสด และแห้ง ตามสัดส่วน ดังนี้

หน่วยทดลองที่ 1 ให้อาหารผง (powder feed; PF) 10% ต่อน้ำหนักตัวปลา/มื่อ (10%PF) มีโปรตีน 40%

หน่วยทดลองที่ 2 ให้สไปรูลิน่าสด (raw *Spirulina*; RS) 100% ต่อน้ำหนักตัวปลา/มื่อ (100%RS) มีโปรตีน 40%

หน่วยทดลองที่ 3 ให้สไปรูลิน่าผง (powder *Spirulina*; PS) 10% ต่อน้ำหนักตัวปลา/มื่อ (100%PS) มีโปรตีน 40%

หมายเหตุ ผลผลิตสาหร่ายสไปรูลิน่าสด 10 ส่วนจะได้ผลผลิต สไปรูลิน่าผง 1 ส่วน

- นำลูกปลาปล่อยตามแผนการทดลอง โดยอัตราการปล่อยปลาอายุ 7 วัน อัตราประมาณ 500 ตัว/ 1 ตารางเมตร ใช้ระยะเวลาในการอนุบาลทดลอง 4 เดือน
- ให้อาหารวันละ 2 มื่อ เช้า-เย็น จดบันทึกปริมาณอาหารที่ให้แต่ละวัน
- จดบันทึกน้ำหนักปลาและจำนวนปลาตั้งแต่ เริ่มการวิจัยจนถึงสิ้นสุดการวิจัย เพื่อคำนวณหาค่าต่าง ๆ ดังนี้

$$1. \text{ อัตราการเจริญเติบโต/วัน} = \frac{\text{น้ำหนักสุดท้าย} - \text{น้ำหนักเริ่มต้น}}{\text{จำนวนวัน}}$$

$$2. \text{ อัตราน้ำหนักเพิ่มขึ้น} = \frac{\text{น้ำหนักสุดท้าย} - \text{น้ำหนักเริ่มต้น}}{\text{น้ำหนักเริ่มต้น}} \times 100$$

3. Specific Growth Rate (SGR) % / day เท่ากับ

$$SGR = \frac{(\ln \text{ น้ำหนักปลาเมื่อสิ้นสุดการทดลอง} - \ln \text{ น้ำหนักปลาเมื่อเริ่มทดลอง})}{\text{จำนวนวันที่ทำการทดลอง}} \times 100$$

$$4. \text{ อัตราการรอดตาย} = \frac{\text{จำนวนปลาที่เหลือ}}{\text{จำนวนปลาเริ่มต้น}} \times 100$$

(การเก็บข้อมูลในข้อ 1- 4 จัดทำทุกๆ 1 เดือน)

2.2 วิเคราะห์คาร์บอนไดออกไซด์ และสปีบนตัวปลาก่อนและหลังการทดลอง

(Simonne *et al.*, 1996; Foss *et al.*, 1984)

การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

เปรียบเทียบ คุณภาพน้ำ ผลผลิต แครอทินอยด์ คุณค่าทางโภชนาการของสาหร่าย และการนำสาหร่ายไปอนุบาลลูกปลา เปรียบเทียบแต่ละหน่วยทดลอง โดยวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) เพื่อศึกษาความแตกต่างระหว่าง Treatment โดยวิธี Tukey 's Test ที่ระดับนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของ Treatment โดยวิธีของ Student T – Test โดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป Spss

ผลการวิจัย (Results) ในปี 2551

(จะกล่าวเฉพาะ การทดลองเลี้ยงสาหร่ายสไปรูลิน่าในตู้กระจก บ่อพลาสติกแบบ raceway pond และบ่อซีเมนต์ แบบ raceway pond รวมทั้งการนำสาหร่ายไปอนุบาลลูกปลา ในบ่อซีเมนต์กลม)

ผลการศึกษาจากการทำวิจัยเรื่อง การเพาะเลี้ยงสาหร่าย *S. platensis* ในน้ำทิ้งจากโรงอาหาร เพื่อเป็นอาหารในการอนุบาล และเลี้ยงปลาแฟนซีคาร์ฟ แบบยั่งยืน (The culture of *Spirulina platensis* in cafeteria effluent use to nursing and mass culture fancy carps (*Cyprinus carpio*) to be stable feed) ผู้วิจัยได้เสนอผลการศึกษาดังนี้เป็น 4 ผลการศึกษาคือ

1. การศึกษาองค์ประกอบทางกายภาพ-เคมี ของน้ำทิ้งจากโรงอาหาร มหาวิทยาลัยแม่โจ้
2. ศึกษาเนเวศวิทยาของสาหร่ายที่เพาะเลี้ยงด้วยน้ำทิ้งจากโรงอาหาร และสูตรอาหารมาตรฐานในระดับห้องปฏิบัติการ
3. เพาะเลี้ยงสาหร่ายด้วยน้ำทิ้งจากโรงอาหาร ในบ่อพลาสติกแบบ raceway pond และบ่อซีเมนต์แบบ raceway pond ผลิตสาหร่ายแบบมหมวล
4. ทดลองการใช้สาหร่ายสไปรูลิน่า เป็นอาหารอนุบาลลูกปลาแฟนซีคาร์ฟ

1. ผลการศึกษารายละเอียดองค์ประกอบทางกายภาพ-เคมีของน้ำทิ้งจากโรงอาหาร มหาวิทยาลัยแม่โจ้ ผลการศึกษาคูณภาพน้ำทางกายภาพและเคมีบางประการของน้ำทิ้งจากโรงอาหารที่ผ่านการกรองและพักไว้ 2 สัปดาห์ แสดงในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 คุณภาพน้ำทางกายภาพและเคมีบางประการของน้ำทิ้งจากโรงอาหาร มหาวิทยาลัยแม่โจ้ ที่ผ่านการกรองและพักไว้ 2 สัปดาห์

ปัจจัย	ผลการศึกษา	ปัจจัย	ผลการศึกษา
Air temperature	30°C	NO ₃ -N (mg L ⁻¹)	3.90
Water temperature	28°C	NO ₂ -N (mg L ⁻¹)	0.011
pH	9.2	NH ₃ -N (mg L ⁻¹)	6.571
Alkalinity (mg L ⁻¹)	148	TKN (mg L ⁻¹)	16.432
DO (mg L ⁻¹)	0.50	TN (mg L ⁻¹)	20.343
BOD (mg L ⁻¹)	350	TP (mg L ⁻¹)	5.123
COD (mg L ⁻¹)	525	N:P	4:1
BOD (mg L ⁻¹)	350		

ผลการศึกษาคูณภาพของน้ำทิ้งจากโรงอาหาร พักไว้ 2 สัปดาห์ ที่ผ่านการกรอง พบว่า

- น้ำมีความเป็นด่าง และมีความกระด้างมาก
- ไนโตรเจนจะอยู่ในรูปที่เป็นสารอินทรีย์ไนโตรเจน (organic nitrogen) เป็นส่วนใหญ่ ส่วนไนโตรเจนอนินทรีย์ไนโตรเจน จะมีปริมาณมากในรูปแอมโมเนียไนโตรเจน
- มีอัตราส่วนของ ไนโตรเจน ต่อ ฟอสฟอรัส เท่ากับ 4:1

2. การเพาะเลี้ยงสาหร่ายสไปรูลินาด้วยน้ำทิ้งจากโรงอาหาร และสูตรอาหารมาตรฐาน ในตู้กระจก ในระดับห้องปฏิบัติการ

การเพาะเลี้ยงสไปรูลินาในตู้กระจก ด้วยสูตรอาหาร Modified Zarrouk's medium (MZm) ปรับปรุง ของจงกล (2548) ซึ่งเป็นสูตรอาหารควบคุม และน้ำทิ้งจากโรงอาหารที่ระดับความเข้มข้น 10%, 20%, 30%, 40%, 50%, 60%, 70%, 80%, 90% และ 100% เป็นระยะเวลา 30 วัน การเปลี่ยนแปลงของคุณภาพน้ำ มีรายละเอียดดังนี้ (ภาพ 1-9)

สูตรอาหาร Modified Zarrouk ' s medium (MZm) ปรับปรุง ของจกกล (2548)

มีอุณหภูมิของน้ำ 21.00-26.10 °C, pH 8.67-9.51, DO 2.80-8.86 mg L⁻¹, NH₃-N 0.01-0.76 mg L⁻¹, NO₂-N 0.001-0.384 mg L⁻¹, NO₃-N 1.710-30.740 mg L⁻¹, TKN 0.060-8.930 mg L⁻¹, TN 1.760-30.813 mg L⁻¹ และ TP 1.450-4.74 mg L⁻¹

น้ำถึงความเข้มข้น 100% มีอุณหภูมิของน้ำ 21.00-26.10 °C, pH 8.53-9.63, DO 0.15-7.41 mg L⁻¹, NH₃-N 0.14-7.09 mg L⁻¹, NO₂-N 0.002-0.340 mg L⁻¹, NO₃-N 0.021-3.90 mg L⁻¹, TKN 0.66-16.43 mg L⁻¹, TN 0.695-20.241 mg L⁻¹ และ TP 1.480-4.380 mg L⁻¹

น้ำถึงความเข้มข้น 90% มีอุณหภูมิของน้ำ 21.9-26.00 °C, pH 8.72-9.12, DO 0.24-7.82 mg L⁻¹, NH₃-N 0.116-6.38 mg L⁻¹, NO₂-N 0.002-0.306 mg L⁻¹, NO₃-N 0.009-3.760 mg L⁻¹, TKN 0.594-14.790 mg L⁻¹, TN 0.626-18.218 mg L⁻¹ และ TP 1.320-3.940 mg L⁻¹

น้ำถึงความเข้มข้น 80% มีอุณหภูมิของน้ำ 21.6-25.90 °C, pH 8.71-9.35, DO 0.25-7.83 mg L⁻¹, NH₃-N 0.112-5.670 mg L⁻¹, NO₂-N 0.002-0.272 mg L⁻¹, NO₃-N 0.017-3.500 mg L⁻¹, TKN 0.528-13.140 mg L⁻¹, TN 0.556-16.398 mg L⁻¹ และ TP 1.190-3.500 mg L⁻¹

น้ำถึงความเข้มข้น 70% มีอุณหภูมิของน้ำ 20.50-26.12 °C, pH 8.50-9.29, DO 0.26-7.84 mg L⁻¹, NH₃-N 0.098-4.960 mg L⁻¹, NO₂-N 0.001-0.238 mg L⁻¹, NO₃-N 0.015-2.660 mg L⁻¹, TKN 0.462-11.500 mg L⁻¹, TN 0.487-14.166 mg L⁻¹ และ TP 1.000-3.070 mg L⁻¹

น้ำถึงความเข้มข้น 60% มีอุณหภูมิของน้ำ 19.80-26.14 °C, pH 8.61-9.20, DO 0.28-7.85 mg L⁻¹, NH₃-N 0.084-4.250 mg L⁻¹, NO₂-N 0.001-0.204 mg L⁻¹, NO₃-N 0.013-2.280 mg L⁻¹, TKN 0.396-9.860 mg L⁻¹, TN 0.417-12.145 mg L⁻¹ และ TP 0.890-2.630 mg L⁻¹

น้ำถึงความเข้มข้น 50% มีอุณหภูมิของน้ำ 19.70-26.18 °C, pH 8.53-9.10, DO 0.29-7.87 mg L⁻¹, NH₃-N 0.070-3.550 mg L⁻¹, NO₂-N 0.001-0.170 mg L⁻¹, NO₃-N 0.011 -1.900 mg L⁻¹, TKN 0.330-8.220 mg L⁻¹, TN 0.348-10.124 mg L⁻¹ และ TP 0.740-2.190 mg L⁻¹

น้ำถึงความเข้มข้น 40% มีอุณหภูมิของน้ำ 19.60-26.25 °C, pH 8.40-8.90, DO 1.200-7.900 mg L⁻¹, NH₃-N 0.056-2.84 mg L⁻¹, NO₂-N 0.001-0.192 mg L⁻¹, NO₃-N 0.012-1.520 mg L⁻¹, TKN 0.264-1.520 mg L⁻¹, TN 0.278-8.094 mg L⁻¹ และ TP 0.580-1.750 mg L⁻¹

น้ำถึงความเข้มข้น 30% มีอุณหภูมิของน้ำ 19.40-26.31 °C, pH 8.32-8.93, DO 1.30-7.91 mg L⁻¹, NH₃-N 0.042-2.13 mg L⁻¹, NO₂-N 0.001-0.102 mg L⁻¹, NO₃-N 0.006-1.140 mg L⁻¹, TKN 0.198-4.930 mg L⁻¹, TN 0.208-6.073 mg L⁻¹ และ TP 0.450-1.310 mg L⁻¹

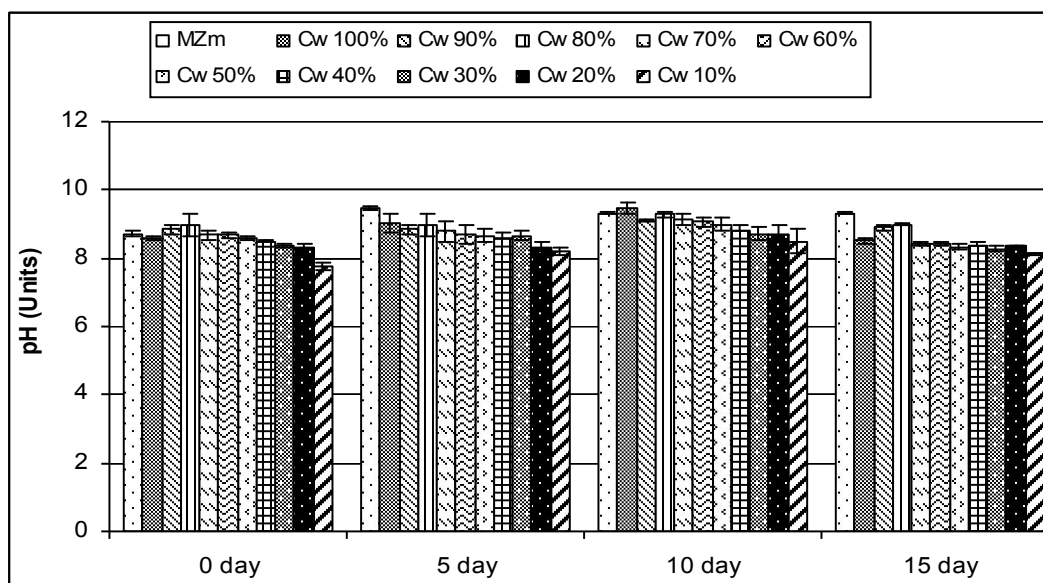
น้ำทิ้งความเข้มข้น 20% มีอุณหภูมิของน้ำ 19.20-26.32°C, pH 8.12-8.76, DO 1.40-7.93 mg L⁻¹, NH₃-N 0.028-1.420 mg L⁻¹, NO₂-N 0.001-0.068 mg L⁻¹, NO₃-N 0.004-0.760 mg L⁻¹, TKN 0.132-3.290 mg L⁻¹, TN 0.139-4.052 mg L⁻¹ และ TP 0.290-0.880 mg L⁻¹

น้ำทิ้งความเข้มข้น 10% มีอุณหภูมิของน้ำ 19.10-26.54°C, pH 7.75-8.92, DO 1.500-7.950 mg L⁻¹, NH₃-N 0.014-0.700 mg L⁻¹, NO₂-N 0.002-0.030 mg L⁻¹, NO₃-N 0.002-0.380 mg L⁻¹, TKN 0.070-1.640 mg L⁻¹, TN 0.069-2.021 mg L⁻¹ และ TP 0.160-0.440 mg L⁻¹

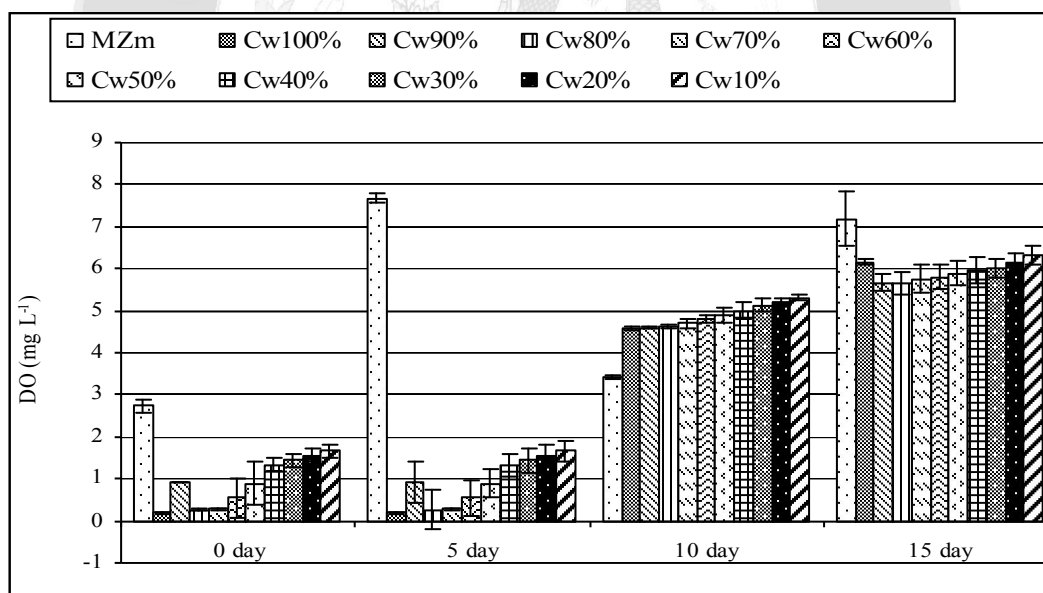
กล่าวโดยสรุปได้ว่า ในน้ำทิ้งทุกความเข้มข้นมีค่า pH ที่เป็นตัวต่าง และค่า DO แต่ละความเข้มข้นมีค่าที่ใกล้เคียงกัน จะสูงเฉพาะสูตรอาหาร MZm ค่า BOD และสารอาหาร ในน้ำมีค่าสูงขึ้นตามระดับความเข้มข้นของน้ำทิ้งจากโรงอาหาร และจะมีค่าลดลงเรื่อยๆ เมื่อมีการเลี้ยงสาหร่าย อาจกล่าวได้ว่า คุณภาพของน้ำทิ้งเริ่มต้นที่เหมาะสม ต่อการเจริญเติบโตของสาหร่ายเมื่อเพาะเลี้ยงในตู้กระจก

ผลผลิตของ สาหร่ายแห้ง

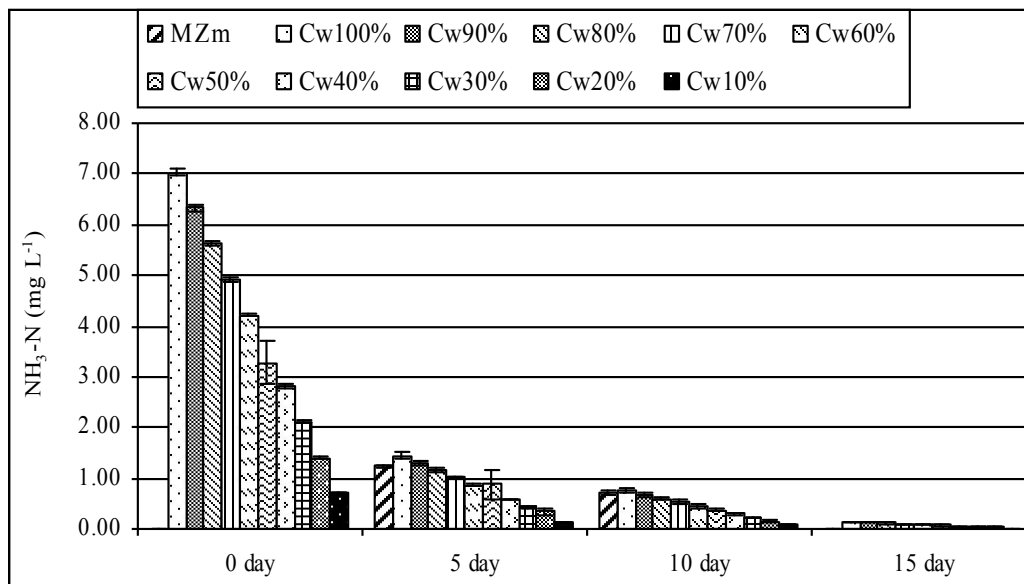
สาหร่ายที่เลี้ยงด้วย สูตรอาหาร MZm และน้ำทิ้งจากโรงอาหารที่ระดับความเข้มข้นต่างๆกัน ส่วนใหญ่มี การเจริญน้อยที่สุดในวันที่ 0 และวันที่ 15 ของการเลี้ยง จากการทดลองพบว่าสาหร่ายที่เลี้ยงด้วยสูตรอาหาร MZm, Cw100%, 90% และ Cw80% มีผลผลิตในรูปของสาหร่ายแห้ง อยู่ระหว่าง 0.55-0.85 กรัมต่อลิตร (ภาพที่ 9) ที่สูตรอาหาร MZm มีผลผลิตสาหร่ายโดยน้ำหนักแห้งสูงสุด รองลงมา คือ ที่ระดับความเข้มข้น Cw100%, 90% และ 80% จึงทำการเลือก สูตรอาหาร MZm, Cw100% และ 90% เพื่อใช้เพาะเลี้ยงสาหร่ายในบ่อพลาสติกขนาดเล็ก มีระบบน้ำแบบ raceway pond ต่อไป



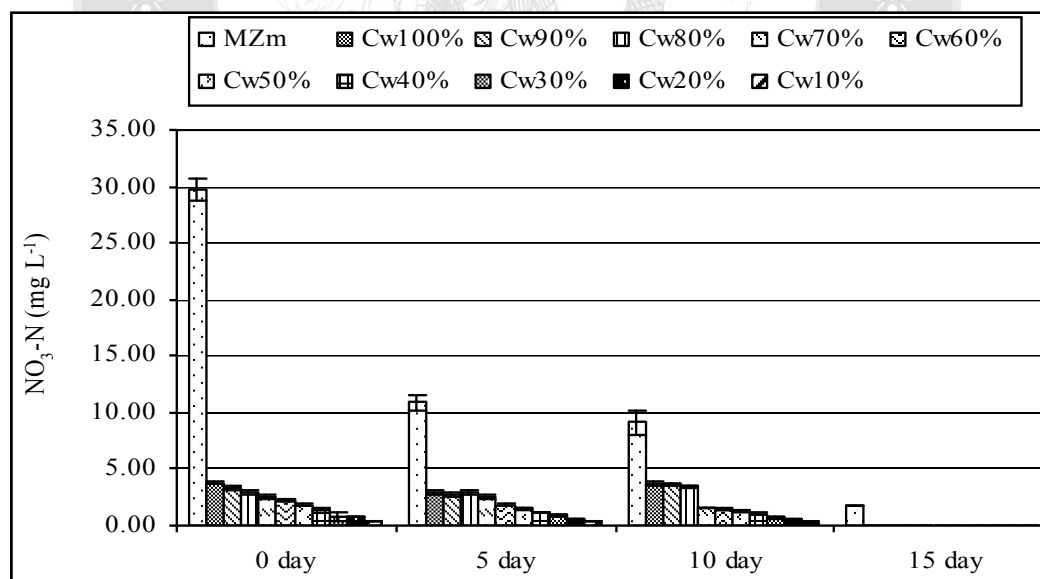
ภาพ 1 ความเป็นกรด-ด่าง (pH) ของการเพาะเลี้ยงสาหร่าย ด้วยสูตรอาหาร MZm และ น้ำจากโรงอาหารที่ระดับความเข้มข้นต่างๆ ในตู้กระจก เป็นเวลา 15 วัน



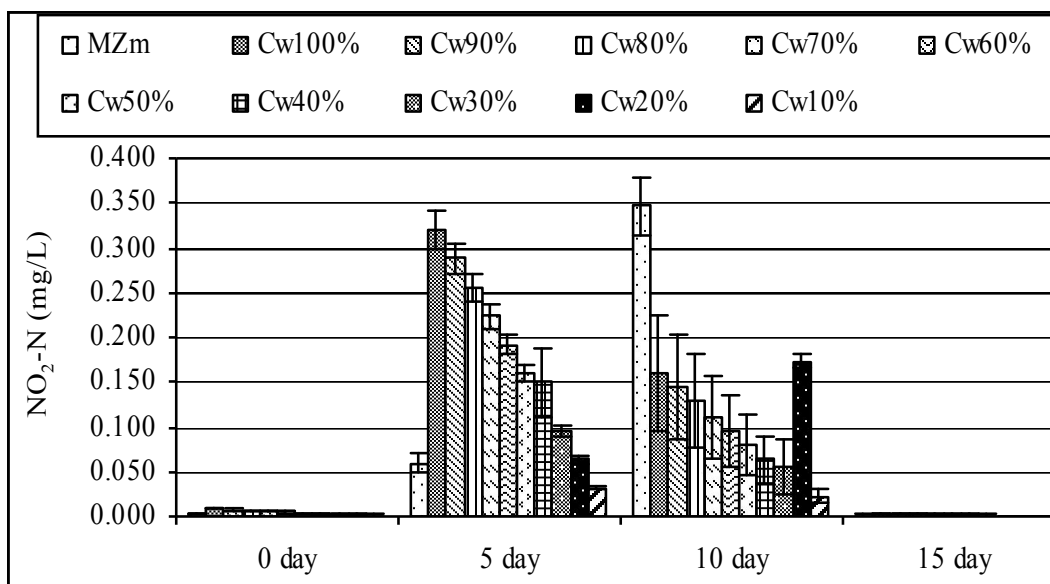
ภาพ 2 ค่าออกซิเจนที่ละลายน้ำ (DO) ในการเพาะเลี้ยงสาหร่าย ด้วยสูตรอาหาร MZm และ น้ำจากโรงอาหารที่ระดับความเข้มข้นต่างๆ ในตู้กระจก เป็นเวลา 15 วัน



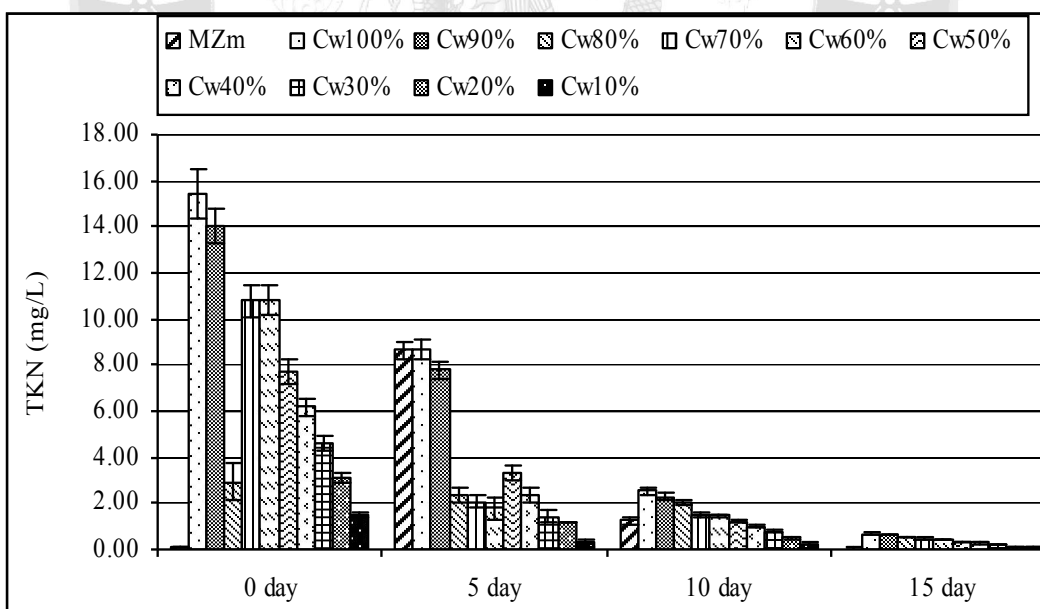
ภาพ 3 ค่าแอมโมเนียม-ไนโตรเจน $\text{NH}_3\text{-N}$ ของน้ำใน การเพาะเลี้ยงสาหร่าย ด้วยสูตรอาหาร MZm และ น้ำจากโรงอาหารที่ระดับความเข้มข้นต่างๆ ในตู้กระจก เป็นเวลา 15 วัน



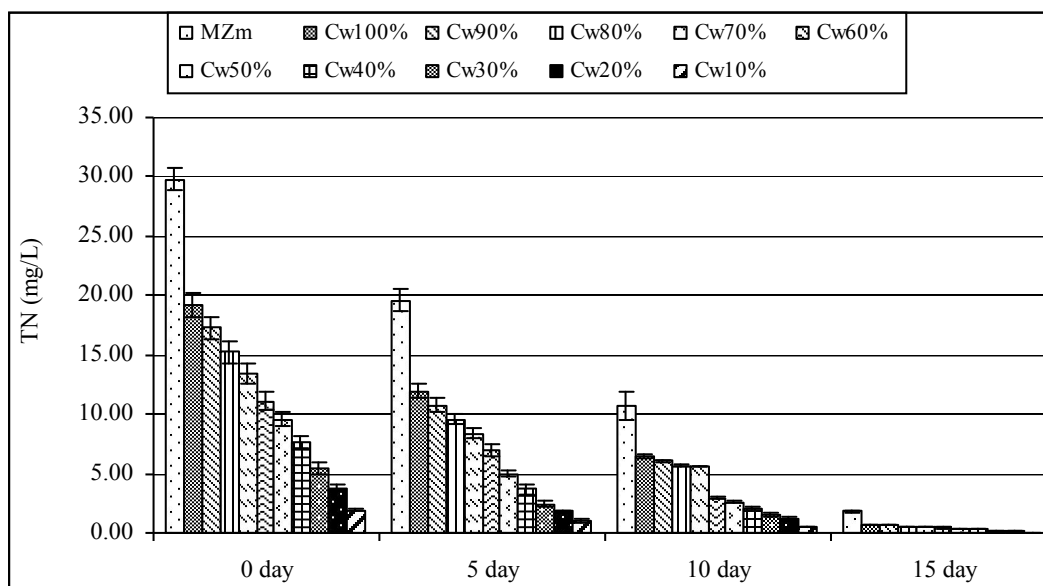
ภาพ 4 ค่าไนเตรท-ไนโตรเจน ($\text{NO}_3\text{-N}$) ของน้ำใน การเพาะเลี้ยงสาหร่าย ด้วยสูตรอาหาร MZm และ น้ำจากโรงอาหารที่ระดับความเข้มข้นต่างๆ ในตู้กระจก เป็นเวลา 15 วัน



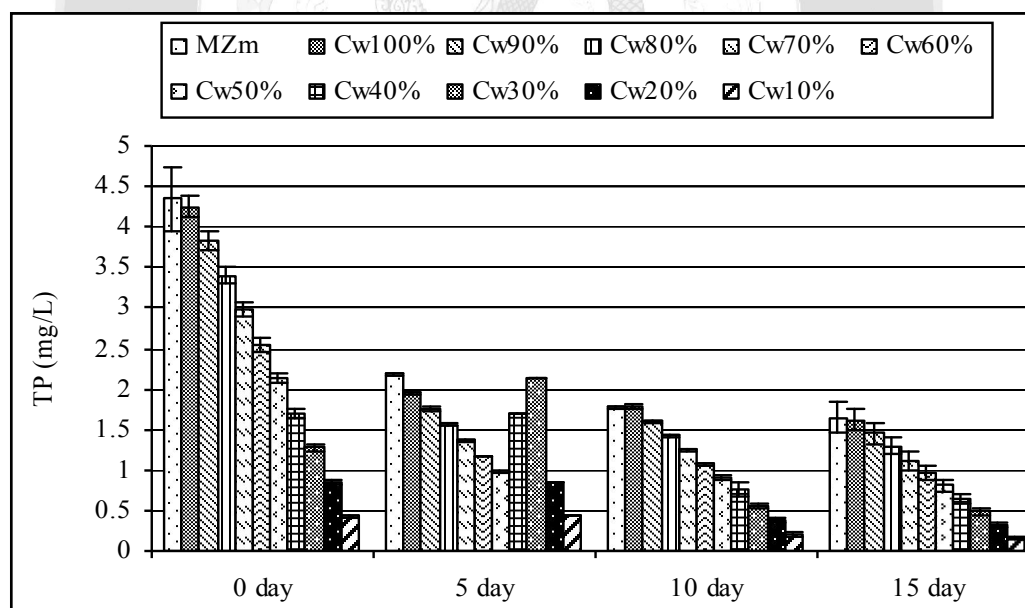
ภาพ 5 ค่าไนเตรท-ไนโตรเจน ($\text{NO}_2\text{-N}$) ของน้ำใน การเพาะเลี้ยงสาหร่าย ด้วยสูตรอาหาร MZm และ น้ำจากโรงอาหารที่ระดับความเข้มข้นต่างๆ ในตู้กระจก เป็นเวลา 15 วัน



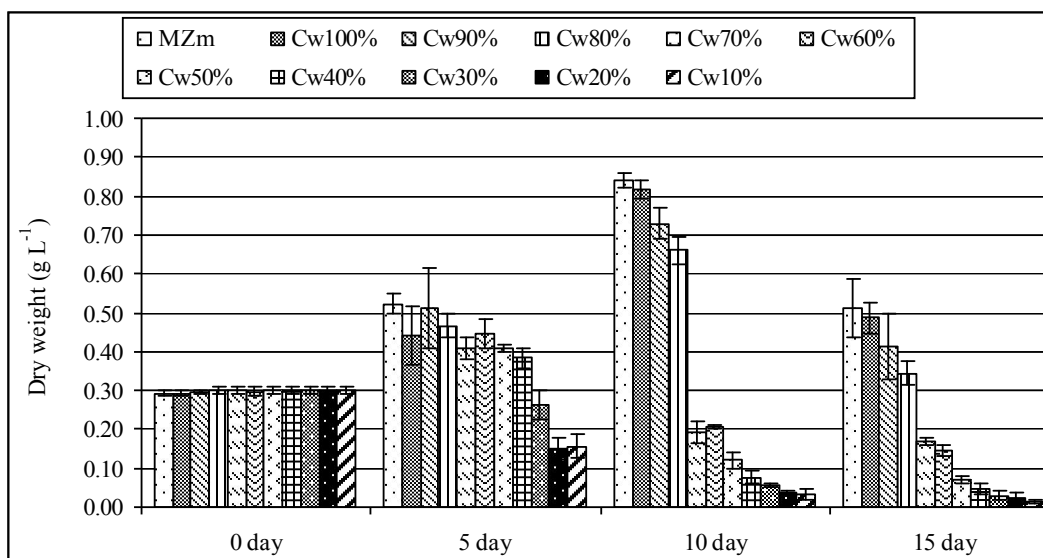
ภาพ 6 ค่า TKN ของน้ำใน การเพาะเลี้ยงสาหร่าย ด้วยสูตรอาหาร MZm และ น้ำจากโรงอาหาร ที่ระดับความเข้มข้นต่างๆ ในตู้กระจก เป็นเวลา 15 วัน



ภาพ 7 ค่า TN ของน้ำใน การเพาะเลี้ยงสาหร่าย ด้วยสูตรอาหาร MZm และ น้ำจากโรงอาหารที่ระดับความเข้มข้นต่างๆ ในตู้กระจก เป็นเวลา 15 วัน



ภาพ 8 ค่า TP ของน้ำใน การเพาะเลี้ยงสาหร่าย ด้วยสูตรอาหาร MZm และ น้ำจากโรงอาหารที่ระดับความเข้มข้นต่างๆ ในตู้กระจก เป็นเวลา 15 วัน



ภาพ 9 ผลผลิตของสาหร่าย ที่เพาะเลี้ยงในสูตรอาหาร MZm และ น้ำจากโรงอาหารที่ระดับความเข้มข้น ต่างๆ ในตู้กระจก เป็นเวลา 15 วัน

3. เพาะเลี้ยงสาหร่ายด้วยน้ำทิ้งจากโรงอาหาร ในบ่อพลาสติกแบบ raceway pond และ บ่อซีเมนต์แบบ raceway pond ผลิตสาหร่ายแบบมหมวล

3.1 ผลการเพาะเลี้ยงสาหร่ายในบ่อพลาสติกแบบ raceway pond

การเพาะเลี้ยงสาหร่ายในบ่อพลาสติกแบบ raceway pond ที่มีน้ำไหลเวียนตลอดเวลา มีสูตรอาหาร MZm และ น้ำทิ้งจากโรงอาหาร แบ่งเป็น 3 หน่วยการทดลองๆ ละ 3 ซ้ำ ดังนี้

หน่วยทดลองที่ 1 เป็นการเพาะเลี้ยงโดยใช้ สูตรอาหาร MZm

หน่วยทดลองที่ 2 เป็นการเพาะเลี้ยงโดยใช้น้ำทิ้งจากโรงอาหาร ความเข้มข้น 100%

หน่วยทดลองที่ 3 เป็นการเพาะเลี้ยงโดยใช้น้ำทิ้งจากโรงอาหาร ความเข้มข้น 90%

3.1.1 คุณภาพน้ำทางกายภาพและเคมี (ภาพ 10-12)

เมื่อเพาะเลี้ยงสาหร่าย โดยสูตรอาหาร MZm และ ใช้น้ำทิ้งจากโรงอาหารความเข้มข้น 100 และ 90% จะมีการเปลี่ยนแปลงของคุณภาพน้ำทางกายภาพและเคมี ดังนี้

สูตรอาหาร MZm (T_1 ; MZm) พบว่า มีอุณหภูมิของน้ำ 27.00-28.28°C, pH 8.66-11.37, DO 3.58-7.30 mg L⁻¹, BOD 3.96-11.26 mg L⁻¹, NH₃-N 0.004-1.240 mg L⁻¹, NO₃-N 1.20-30.79 mg L⁻¹, NO₂-N 0.001-0.070 mg L⁻¹, TKN 0.10-10.75 mg L⁻¹, TN 1.832-30.79 mg L⁻¹ และ TP 2.12-3.36 mg L⁻¹

น้ำทิ้งความเข้มข้นที่ 100% (T_2 ; 100% Cw) พบว่า มีอุณหภูมิของน้ำ 26.80-28.97°C, pH 9.58-12.00, DO 0.15-7.38 mg L⁻¹, BOD 4.70-18.97 mg L⁻¹, NH₃-N 0.134-7.180 mg L⁻¹, NO₃-N 0.020-3.000 mg L⁻¹, NO₂-N 0.002-0.300 mg L⁻¹, TKN 0.66-14.12 mg L⁻¹, TN 0.692-26.710 mg L⁻¹ และ TP 1.640-4.200 mg L⁻¹

น้ำทิ้งความเข้มข้นที่ 90% (T_3 ; 90% Cw)

น้ำทิ้งจากโรงอาหาร Cw90% พบว่า มีอุณหภูมิอากาศ และอุณหภูมิของน้ำเท่ากับ 26.80-28.90°C, pH 9.01-12.39, DO 0.21-7.67 mg L⁻¹, BOD 5.62-18.67 mg L⁻¹, NH₃-N 0.121-6.230 mg L⁻¹, NO₃-N 0.018-2.870 mg L⁻¹, NO₂-N 0.001-0.290 mg L⁻¹, TKN 0.59-20.80 mg L⁻¹, TN 0.618-24.04 mg L⁻¹ และ TP 1.480-3.850 mg L⁻¹

กล่าวโดยสรุปได้ว่า น้ำทิ้งทุกความเข้มข้นมีค่า pH ที่แตกต่างกัน ค่า DO แต่ละความเข้มข้นมีค่าที่ใกล้เคียงกัน ปริมาณสารอาหาร พบว่า NH₃-N, NO₃-N, TN, TKN และ TP จะมีค่าลดลงจากวันเริ่มต้น หรือวันที่ 0 เช่นเดียวกับค่า BOD

3.1.2 ผลผลิตของสาหร่าย β -carotene, C-phyocyanin, γ -Linoleic acid และคุณค่าทางโภชนาการ (ภาพ 13)

ผลผลิตสาหร่ายในรูปน้ำหนักแห้ง มีค่า อยู่ระหว่าง 0.68-0.83 g L⁻¹ มีค่าสูงสุดในสูตรอาหาร MZm (0.83 g L⁻¹) ต่ำสุดใน 90% Cw (0.68 g L⁻¹) ผลการวิเคราะห์ พบว่า สาหร่ายที่เลี้ยงในสูตรอาหาร MZm มีค่ามากกว่าสาหร่ายที่เลี้ยงใน น้ำทิ้งจากโรงอาหาร 100% Cw และ 90% Cw ตามลำดับ

β -carotene, C-phyocyanin, γ -Linoleic acid ของสาหร่าย โดยมีค่า β -carotene อยู่ระหว่าง 0.26-0.28 mg g⁻¹ (DW) มีปริมาณสูงสุดใน สูตรอาหาร MZm (0.28 mg g⁻¹ DW) แต่ต่ำสุดเมื่อเพาะเลี้ยงใน 90% Cw (0.26 mg g⁻¹ DW) ค่า C-phyocyanin อยู่ระหว่าง 8.27-17.77 mg g⁻¹ (DW) โดยมีปริมาณสูงสุดในเพาะเลี้ยงใน 100% Cw (17.77 mg g⁻¹ DW) แต่ต่ำสุดเมื่อ

เพาะเลี้ยงใน สูตรอาหาร MZm ($8.27 \text{ mg g}^{-1} \text{ DW}$) ค่า γ -Linoleic acid อยู่ระหว่าง $0.15\text{--}0.30 \text{ mg g}^{-1}(\text{DW})$ โดยมีปริมาณสูงสุดใน สูตรอาหาร MZm ($0.30 \text{ mg g}^{-1} \text{ DW}$) แต่ต่ำสุดเมื่อเพาะเลี้ยงใน $90\% \text{Cw}$ ($0.15 \text{ mg g}^{-1} \text{ DW}$) (ภาพ 13)

ต้นทุนการผลิตสาหร่าย และคุณค่าทางโภชนาการของสาหร่าย (ภาพ 14)

ต้นทุนการผลิตสาหร่ายโก แท่ง อยู่ระหว่าง $267.73\text{--}311.98$ บาท/กิโลกรัม สูงสุดที่สูตรอาหาร MZm มีค่า 311.98 บาท ต่อ กิโลกรัม ต่ำสุดที่น้ำทิ้งจากโรงอาหาร $100\% \text{Cw}$ มีค่า 267.73 บาท ต่อกิโลกรัม

เปอร์เซ็นต์โปรตีนโดยน้ำหนักแห้ง อยู่ระหว่าง $31.94\text{--}55.44\%$ สูงสุดที่ สูตรอาหาร MZm มีค่า 55.41% ต่ำสุดที่น้ำทิ้งจากโรงอาหาร $90\% \text{Cw}$ มีค่า 31.94%

เปอร์เซ็นต์คาร์โบไฮเดรต โดยน้ำหนักแห้ง อยู่ระหว่าง $15.82\text{--}25.24\%$ สูงสุดที่สูตรอาหาร MZm มีค่า 25.24% ต่ำสุดที่น้ำทิ้งจากโรงอาหาร $100\% \text{Cw}$ มีค่า 15.82%

เปอร์เซ็นต์ไขมัน โดยน้ำหนักแห้ง อยู่ระหว่าง $1.79\text{--}3.57\%$ สูงสุดที่ น้ำทิ้งจากโรงอาหาร $100\% \text{Cw}$ มีค่า 3.57% ต่ำสุดที่สูตรอาหาร MZm มีค่า 1.79%

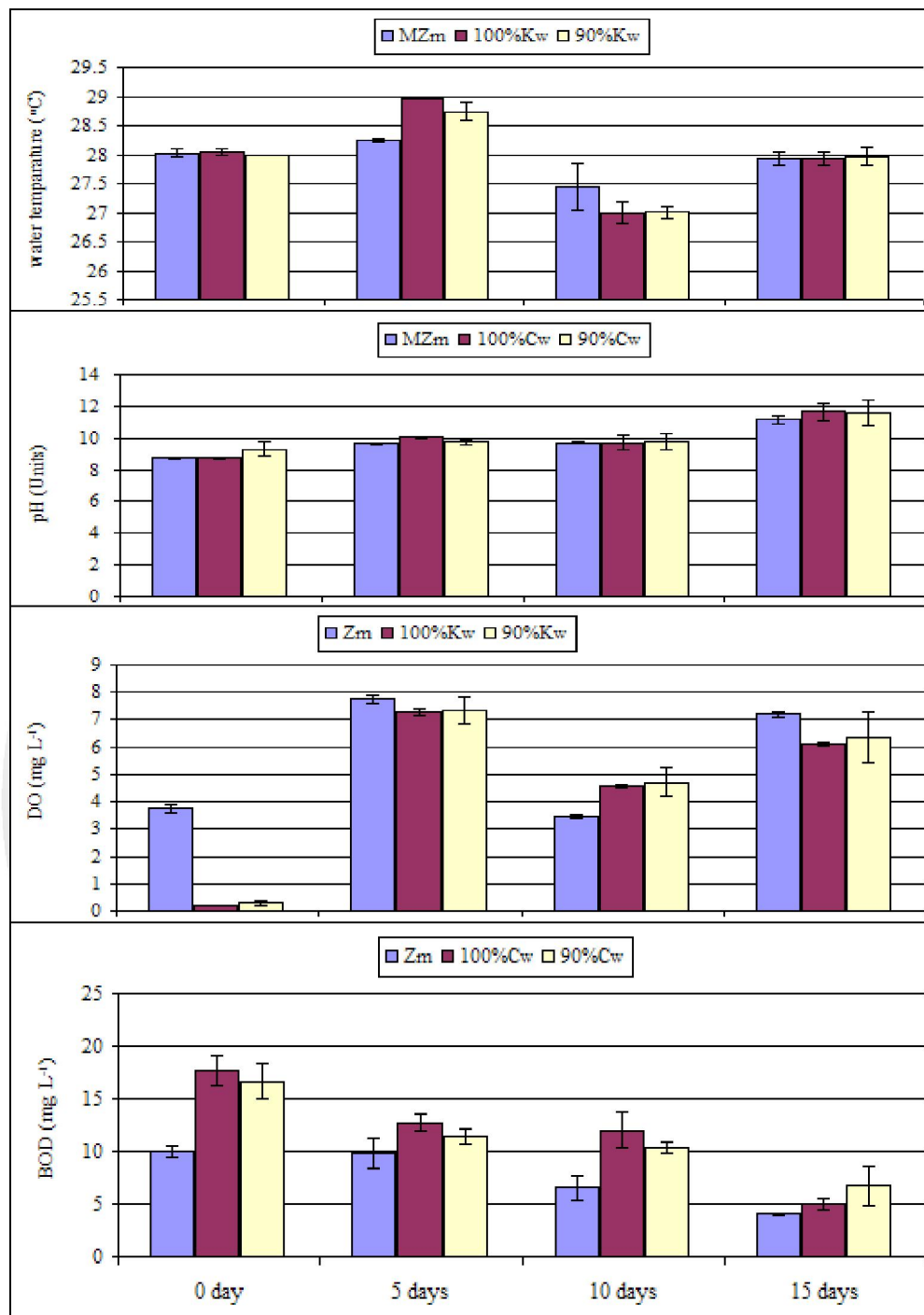
เปอร์เซ็นต์ เยื่อใย โดยน้ำหนักแห้ง อยู่ระหว่าง $2.12\text{--}10.11\%$ สูงสุดที่ น้ำทิ้งจากโรงอาหาร $100\% \text{Cw}$ มีค่า 10.11% ต่ำสุดที่ สูตรอาหาร MZm มีค่า 2.12%

เปอร์เซ็นต์ ความชื้นโดยน้ำหนักแห้ง อยู่ระหว่าง $6.65\text{--}11.15\%$ สูงสุดที่ สูตรอาหาร MZm มีค่า 11.15% ต่ำสุดที่น้ำทิ้งจากโรงอาหาร $90\% \text{Cw}$ มีค่า 6.65%

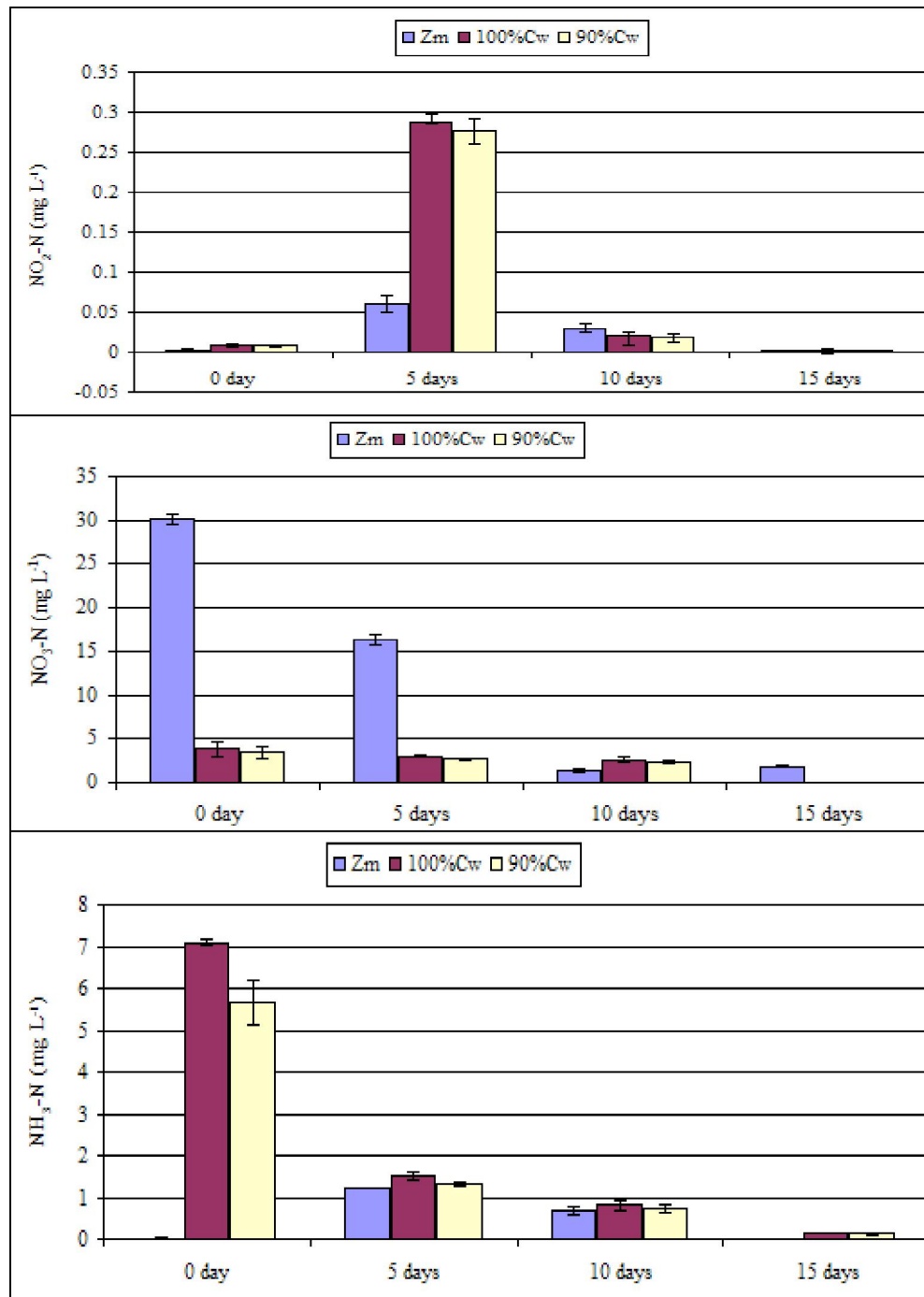
เปอร์เซ็นต์ เถ้าโดยน้ำหนักแห้ง อยู่ระหว่าง $4.25\text{--}26.58\%$ สูงสุดที่ น้ำทิ้งจากโรงอาหาร $100\% \text{Cw}$ มีค่า 26.58% ต่ำสุดที่สูตรอาหาร MZm มีค่า 4.25%

กล่าวโดยสรุปได้ว่า สูตรอาหาร MZm และน้ำทิ้งจากโรงอาหารที่ความเข้มข้น $100\% \text{Cw}$ มีการ

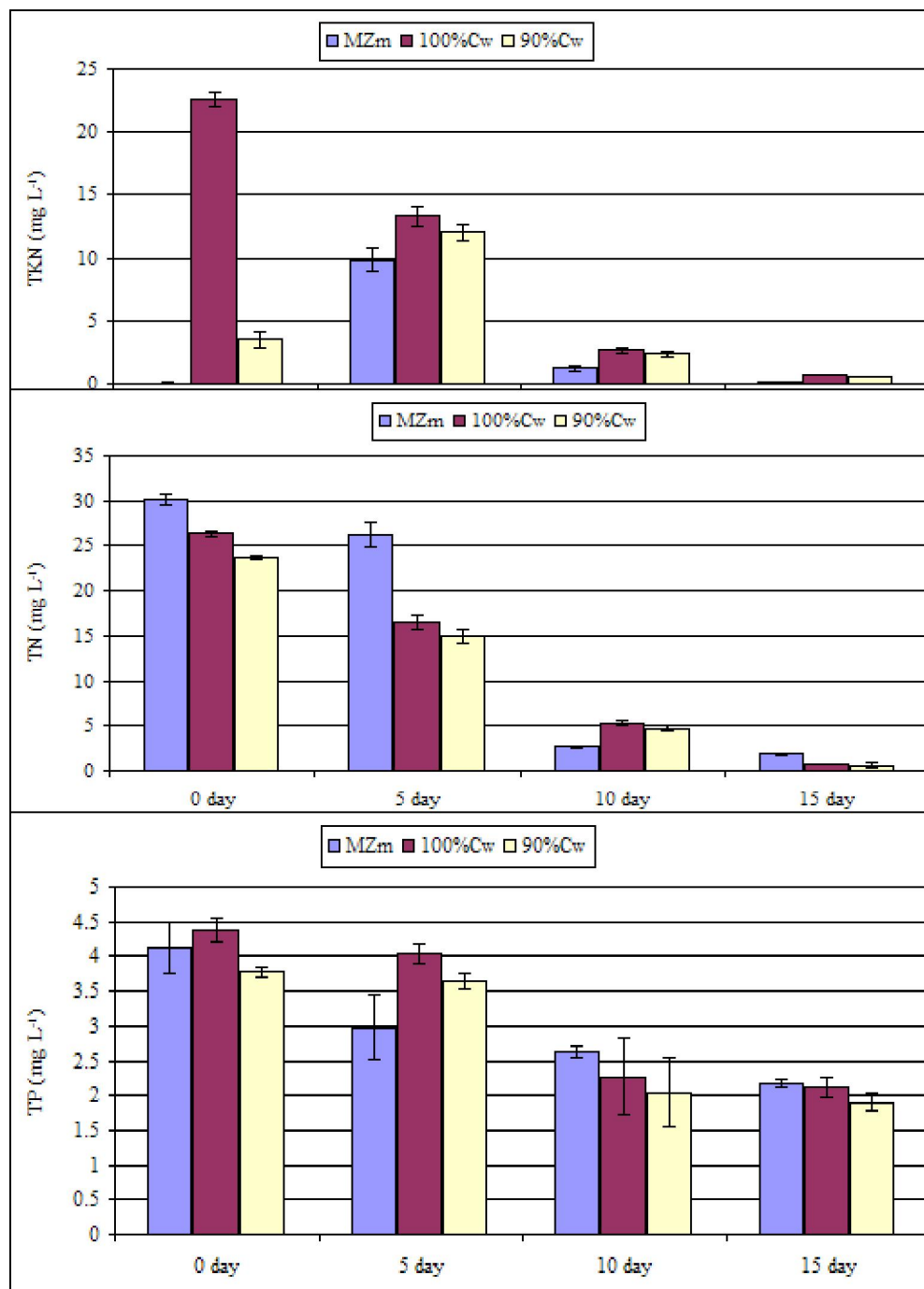
เจริญที่ดี ได้ผลผลิตสาหร่ายค่อนข้างสูง สาหร่ายมี β -carotene, C-phycoerythrin, γ -Linoleic acid และ คุณค่าทางโภชนาการสูงกว่า $90\% \text{Cw}$ คณะผู้วิจัยจะนำน้ำทิ้งจากโรงอาหารความเข้มข้น $100\% \text{Cw}$ ไปเลี้ยงในบ่อซีเมนต์ แบบ raceway pond ขนาดใหญ่ต่อไป เพื่อ biomass production นำผลผลิตสาหร่ายมาอนุบาลปลาครีฟต่อไป



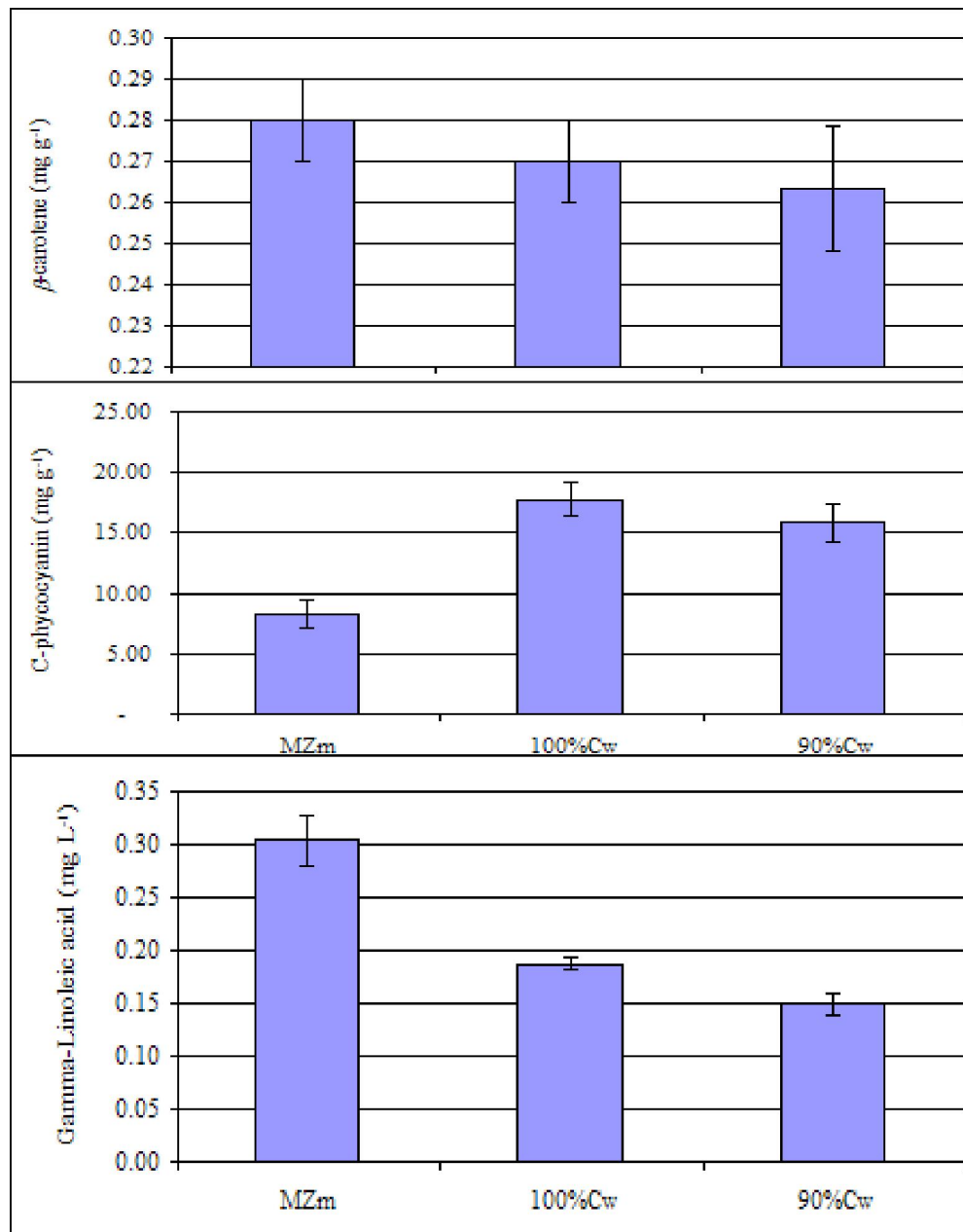
ภาพ 10 ค่า คุณภูมิของน้ำ (water temperature), pH, DO และ BOD ของน้ำใน การเพาะเลี้ยงสาหร่าย ด้วยสูตรอาหาร MZm และน้ำทิ้งจากโรงอาหารที่ระดับความเข้มข้น 100% และ 90% ในบ่อพลาสติกแบบ raceway pond เป็นเวลา 15 วัน



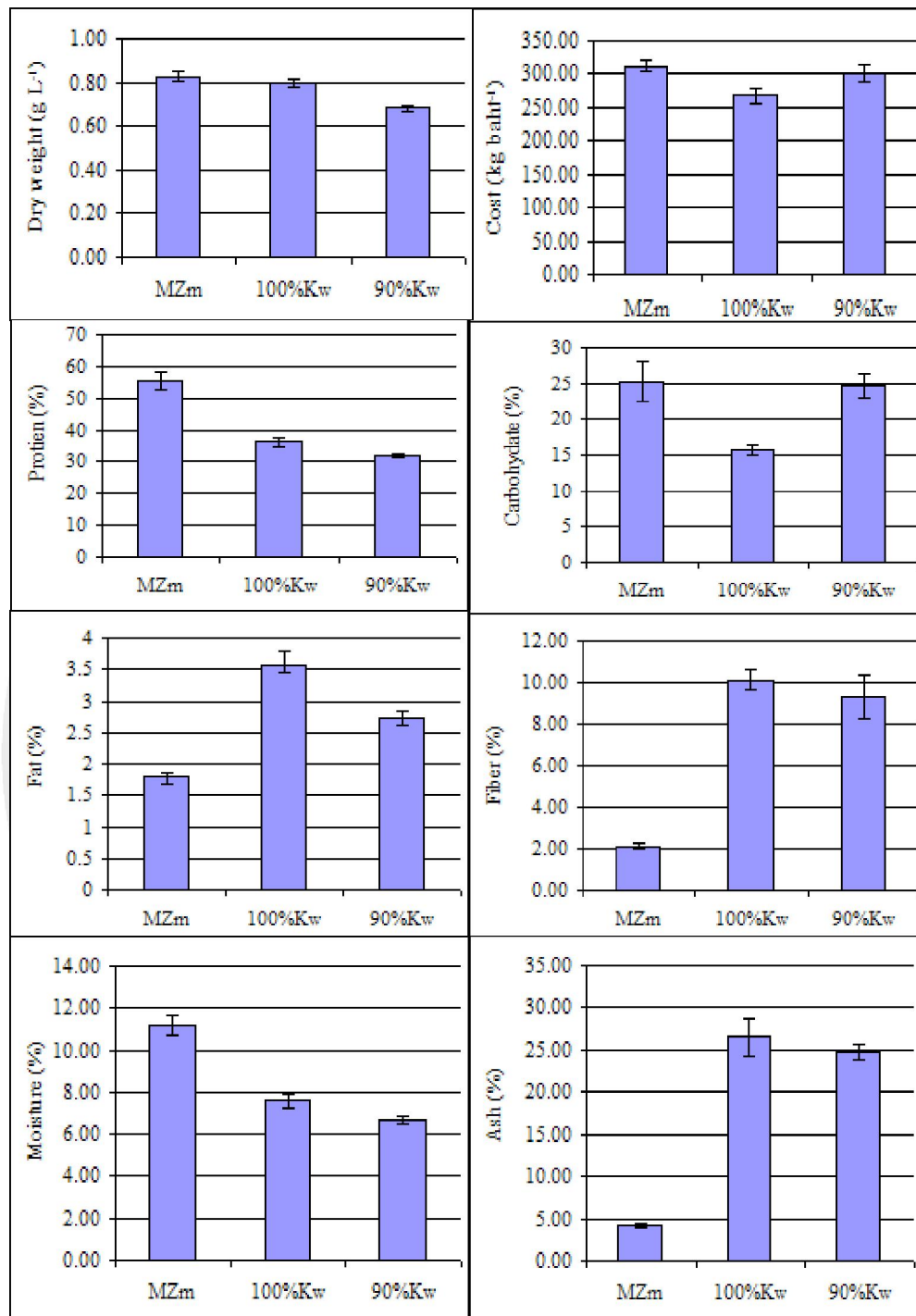
ภาพ 11 ค่า NO₂-N, NO₃-N และ NH₃-N ของน้ำใน การเพาะเลี้ยงสาหร่ายด้วย สูตรอาหาร MZm และน้ำทิ้ง จากโรงอาหารที่ระดับความเข้มข้น 100% และ 90% ในพลาสติก แบบ raceway pond เป็นเวลา 15 วัน



ภาพ 12 ค่า TKN, TN และ TP ของน้ำใน การเพาะเลี้ยงสาหร่ายด้วย สูตรอาหารMZm และ น้ำทิ้ง จากโรงอาหารที่ระดับความเข้มข้น 100% และ 90% ในพลาสติกแบบ raceway pond เป็นเวลา 15 วัน



ภาพ 13 ค่า β -carotene, C-phycoerythrin และ γ -linolenic acid ของสาหร่าย ที่เลี้ยง ด้วยสูตรอาหาร MZm และน้ำที่จากโรงอาหารที่ระดับความเข้มข้น 100% และ 90% ในบ่อพลาสติก แบบ raceway pond ระยะเวลา 15 วัน



ภาพ 14 ค่า ผลผลิต แครไทีนอยด์รวม และ คุณค่าทางโภชนาการ ของสารถ่ายไก่ ที่เลี้ยง ด้วยสูตรอาหารน้ำทิ้ง จากโรงอาหารที่ระดับความเข้มข้นต่างๆ ในบ่อซีเมนต์ เป็นเวลา 15 วัน

3.2 ตารางที่ 2 ผลการเพาะเลี้ยงสาหร่ายด้วยน้ำทิ้งจากโรงอาหาร 100%Cw ในบ่อซีเมนต์แบบ raceway pond ผลิตสาหร่าย แบบมหวมวล

ปัจจัยในการศึกษา	100%Cw in raceway pond
ผลผลิตของสาหร่าย (dry weight; g L ⁻¹)	0.60± 0.07 ^{ns}
ต้นทุนผันแปร (baht/kg)	218.60 ± 12.80 ^{ns}
Protein (%)	41.45 ± 2.80 ^{ns}
Carbohydrate (%)	15.90 ± 1.78 ^{ns}
Fat (%)	1.80 ± 0.20 ^{ns}
Fiber (%)	8.80 ± 0.76 ^{ns}
Moisture (%)	8.48 ± 1.18 ^{ns}
Ash (%)	24.60 ± 2.45 ^{ns}

กล่าวโดยสรุปได้ว่า น้ำทิ้งจากโรงอาหารที่ความเข้มข้น 100%Cw มีการเจริญที่ดี ได้ผลผลิตสาหร่าย 0.60± 0.07 g L⁻¹ DW มีต้นทุนผันแปรในการผลิต 218.60 บาท/กิโลกรัม และ สาหร่ายมี คุณค่าทางโภชนาการค่อนข้างสูงโดยเฉพาะโปรตีนประมาณ 41.45 ± 2.80% ได้ นำผลผลิตสาหร่ายไปอนุบาลปลาครีฟ ต่อไป

1. การทดลองใช้สาหร่าย สไปรูลิน่า เป็นอาหารอนุบาลลูกปลาแฟนซีคาร์พ

3.1 การเจริญเติบโต

3.1.1 น้ำหนักเฉลี่ยต่อตัว เมื่อเริ่มต้นทดลองน้ำหนักเฉลี่ยของลูกปลาเท่ากับ 0.005 กรัม/ตัว น้ำหนักเฉลี่ยของลูกปลาเพิ่มขึ้นตามเวลาที่อนุบาล และเริ่มมีความแตกต่างทางสถิติ ตั้งแต่เดือนที่ 2 ($p < 0.05$) ของการอนุบาล โดยในเดือนที่ 2, 3 และ 4 ปลาที่ได้รับอาหารสไปรูลินาสด 100% /น้ำหนักตัว/วัน (100%RS/fish weight/time) มีน้ำหนักเฉลี่ยน้อยกว่า ปลาที่ได้รับอาหารสไปรูลินาผง 10%/น้ำหนักตัว/วัน (10%PS/ fish weight/time) และปลาที่ได้รับอาหารผง 10% /น้ำหนักตัว/วัน(10%PF/ fish weight/time) ภาพ 15

3.1.2 ความยาวเฉลี่ยต่อตัว เมื่อเริ่มต้นทดลองความยาวเฉลี่ยของลูกปลาเท่ากับ 1.00 ซม./ตัว ความยาวของ ลูกปลาเพิ่มขึ้นตามเวลาที่ อนุบาลและเริ่มมีความแตกต่างทางสถิติตั้งแต่เดือนที่ 1($p < 0.05$) ของการอนุบาล โดยในเดือนที่ 1, 2, 3 และ 4 ปลาที่ได้รับ

อาหาร สไปรูลินาสด 100%/น้ำหนักตัว/วัน มีความยาวของลูกปลาน้อยกว่า ปลาที่ได้รับอาหารสไปรูลินาผง 10% /น้ำหนักตัว/วัน และปลาที่ได้รับอาหารผง 10% /น้ำหนักตัว/วัน (ภาพ 16)

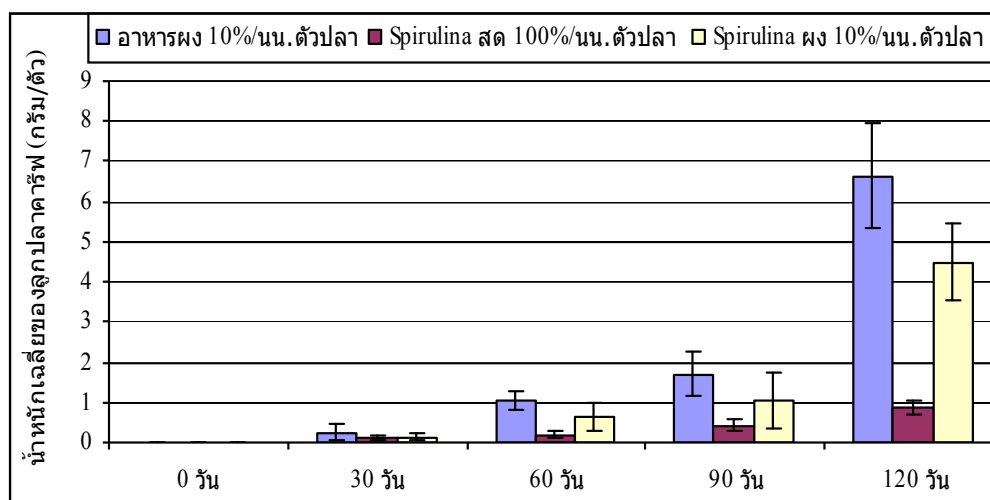
3.1.3 อัตราการเจริญเติบโตเฉลี่ย (กรัม/ตัว/วัน) ลูกปลาที่ได้รับอาหารผง 10% /น้ำหนักตัว/วัน และลูกปลาที่ได้รับอาหารสไปรูลินาผง 10% /น้ำหนักตัว/วัน มีอัตราการเจริญเติบโต 0.06 ± 0.01 กรัม/ตัว/วัน และ 0.04 ± 0.01 กรัม/ตัว/วัน ซึ่งมีความมากกว่าปลาที่กินอาหารสไปรูลินาสด 100%/น้ำหนักตัว/วัน และมีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p < 0.05$) ภาพ 17

3.1.4 อัตราการเจริญเติบโตจำเพาะ (%) ลูกปลาที่ได้รับอาหารผง 10% /น้ำหนักตัว/วัน และลูกปลาที่ได้รับอาหารสไปรูลินาผง 10% /น้ำหนักตัว/วัน มีอัตราการเจริญเติบโตจำเพาะ $5.99 \pm 0.17\%$ และ $8.15 \pm 0.81\%$ ซึ่งมีความมากกว่าปลาที่กินอาหารสไปรูลินาสด 100%/น้ำหนักตัว/วัน และมีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p < 0.05$) ภาพ 17

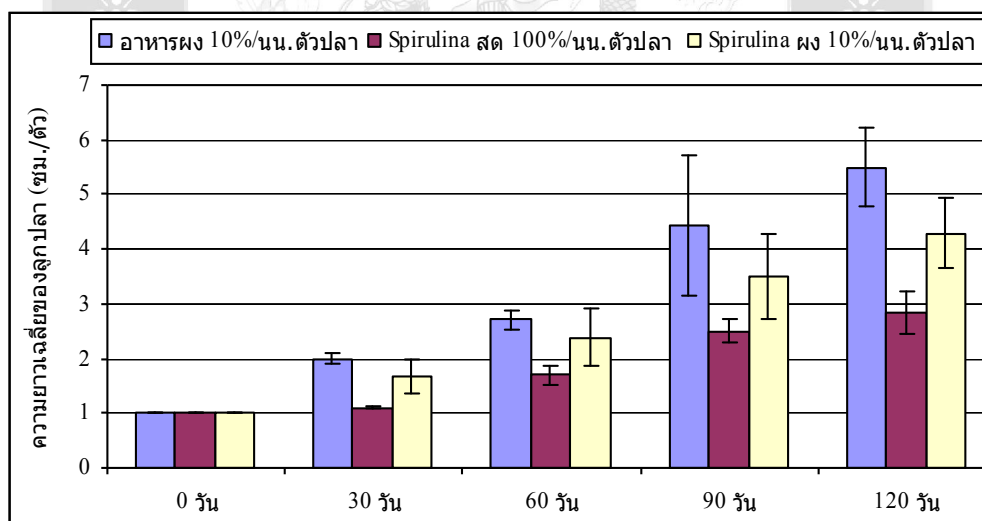
3.1.5 อัตราการแลกเนื้อ ลูกปลาที่ได้รับ อาหาร สไปรูลินาผง 10%/น้ำหนักตัว/วัน มีอัตราการแลกเนื้อ 5.13 ± 1.73 ซึ่งมีความดีกว่าลูกปลาที่กินอาหารผง 10% /น้ำหนักตัว/วัน และอาหารสไปรูลินาสด 100%/น้ำหนักตัว/วัน และมีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p < 0.05$) ภาพ 17

3.1.6 อัตราการรอดตาย (%) ลูกปลาที่ได้รับอาหารผง 10% /น้ำหนักตัว/วัน และลูกปลาที่ได้รับอาหารสไปรูลินาผง 10% /น้ำหนักตัว/วัน มีอัตราการรอดตาย $47.67 \pm 2.52\%$ และ $48.33 \pm 1.73\%$ ซึ่งมีความมากกว่าปลาที่กินอาหารสไปรูลินาสด 100%/น้ำหนักตัว/วัน และมีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p < 0.05$) ภาพ 17

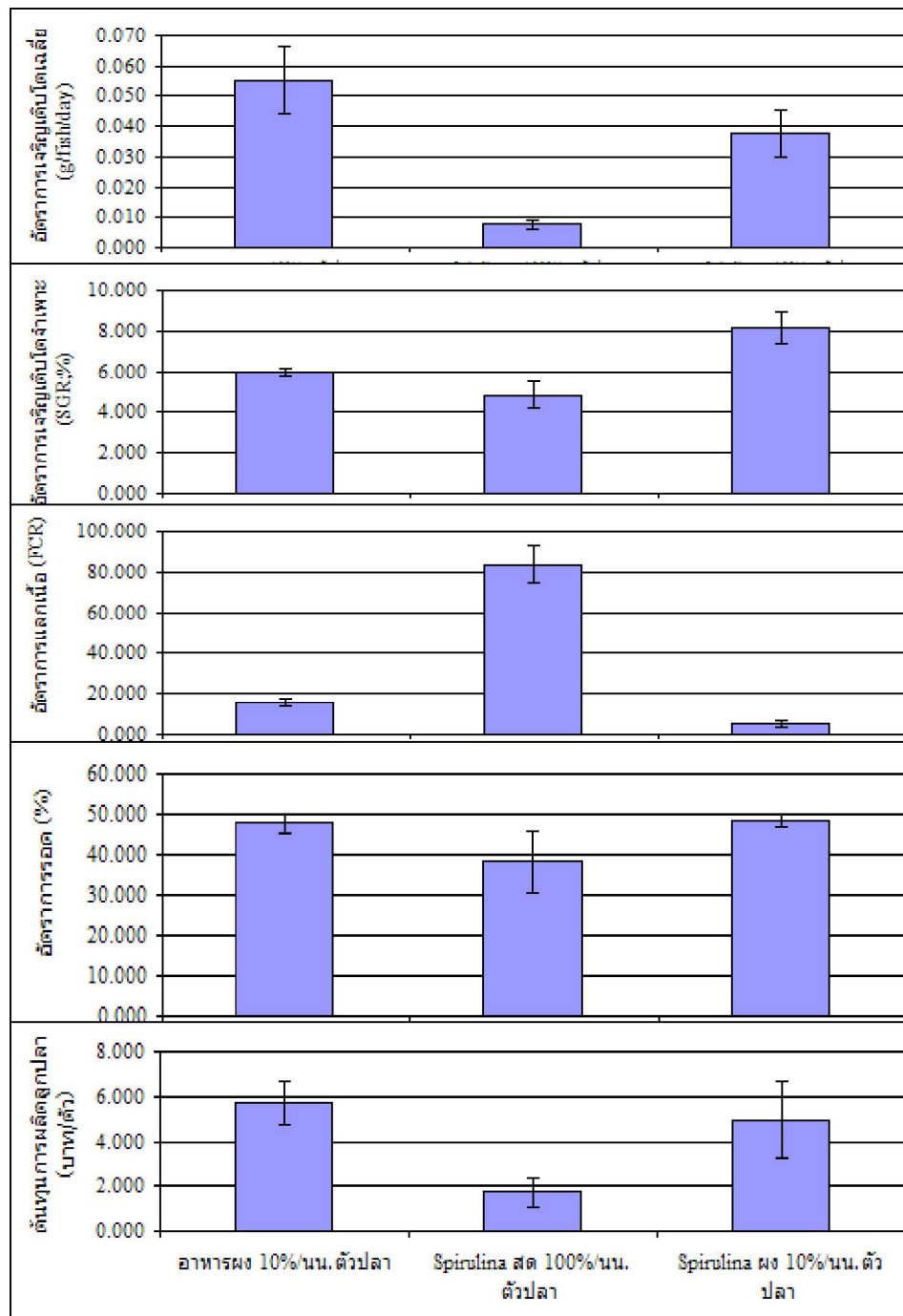
3.1.7 ต้นทุนการผลิตลูกปลา (บาท/ตัว) ลูกปลาที่ได้รับอาหารผง 10% /น้ำหนักตัว/วัน และลูกปลาที่ได้รับอาหารสไปรูลินาผง 10% /น้ำหนักตัว/วัน มีต้นทุนการผลิต 5.74 ± 0.96 บาท/ตัว และ 4.95 ± 1.73 บาท/ตัว ซึ่งมีความมากกว่าปลาที่กินอาหารสไปรูลินาสด 100%/น้ำหนักตัว/วัน และมีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p < 0.05$) ภาพ 17



ภาพ 15 ค่าน้ำหนักเฉลี่ย (กรัม/ตัว) ของลูกปลาครีฟ ที่เลี้ยงด้วย อาหารผง 10% /น้ำหนักตัวปลา สไปรูลินาสด 100%/น้ำหนักตัวปลา และ สไปรูลินาผง 10%/น้ำหนักตัวปลา อนุบาลในบ่อซีเมนต์กลม ระยะเวลา 120 วัน



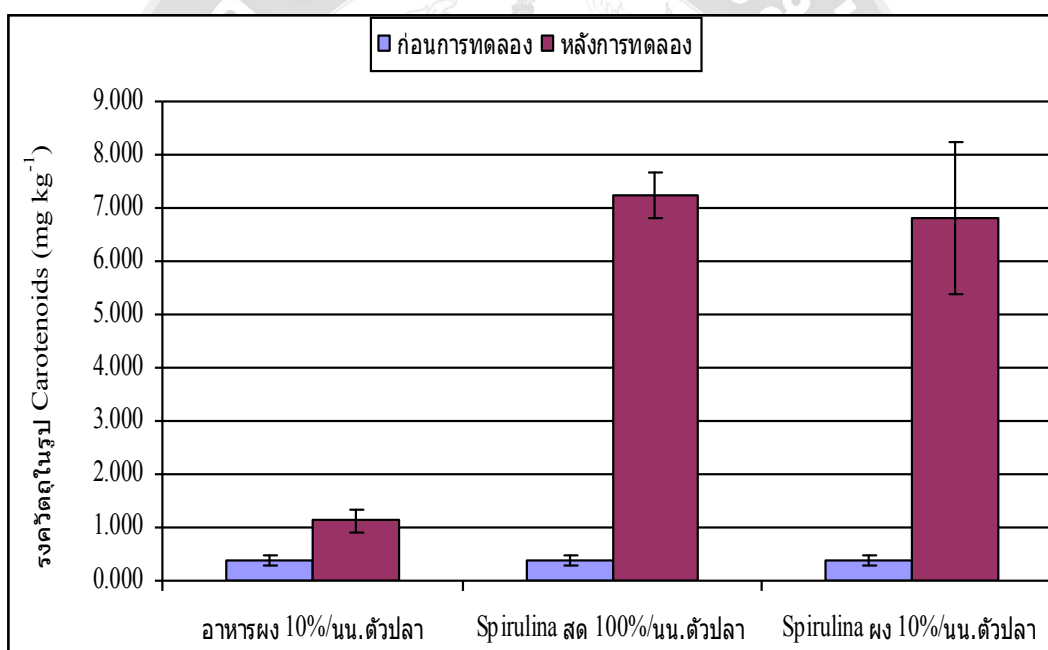
ภาพ 16 ความยาว (ชม./ตัว) ของลูกปลาครีฟ ที่เลี้ยงด้วย อาหารผง 10% /น้ำหนักตัวปลา สไปรูลินาสด 100%/น้ำหนักตัวปลา และ สไปรูลินาผง 10%/น้ำหนักตัวปลา อนุบาลในบ่อซีเมนต์กลม ระยะเวลา 120 วัน



ภาพ 17 อัตราการเจริญเติบโต (g/fish/day) อัตราการเจริญเติบโตจำเพาะ (SGR %) อัตราการแลกเนื้อ (FCR) อัตราการรอด (%) และ ต้นทุนการผลิตลูกปลา (บาท/ ตัว) ของลูกปลาดร๊าฟ ที่เลี้ยงด้วย อาหารผง 10% /น้ำหนักตัวปลา สไปรูลินาสด 100%/น้ำหนักตัวปลา และ สไปรูลินาผง 10%/น้ำหนักตัวปลา อนุบาลในบ่อซีเมนต์กกลม ระยะเวลา 120 วัน

3.2 รงควัตถุ หรือสารสี (pigment) วิเคราะห์ในรูปแคโรทีนอยด์

แคโรทีนอยด์รวมทั้งใน เกล็ด หนัง และเนื้อปลาก่อนการทดลองของลูกปลา หน่วยทดลอง ที่ 1 โดยให้อาหารปลาชนิดผง 10% ต่อน้ำหนักตัวปลา/มื้อ หน่วยทดลองที่ 2 ให้ สไปรูลินาสด 100% ต่อน้ำหนักตัวปลา/มื้อ และหน่วยทดลองที่ 3 ให้ สไปรูลินาผง 10% ต่อน้ำหนักตัวปลา/มื้อ อาหารทั้ง 3 สูตรมีค่าแคโรทีนอยด์ 0.40 ± 0.10 mg/kg fish และ ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ส่วน แคโรทีนอยด์หลังการทดลองของลูกปลา ที่ได้รับอาหารสไปรูลินาสด 100% /น้ำหนักตัว มี 7.23 ± 0.44 mg/kg fish และลูกปลา ที่ได้รับสไปรูลินาผง 10% /น้ำหนักตัว มี 6.80 ± 1.90 mg/kg fish ซึ่งมีค่ามากกว่าปลาที่กินอาหารผง 10%/น้ำหนักตัว/วัน และมีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p < 0.05$) ภาพ 18



ภาพ 18 ค่ารงควัตถุ ในรูป carotenoids (mg/kg fish) ก่อนและหลังการทดลองในลูกปลาครีฟ ที่เลี้ยงด้วย อาหารผง 10% /น้ำหนักตัวปลา สไปรูลินาสด 100%/น้ำหนักตัวปลา และ สไปรูลินาผง 10%/น้ำหนักตัวปลา อนุบาลในบ่อซีเมนต์กลม ระยะเวลา 120 วัน

คุณภาพน้ำทางกายภาพและเคมีในบ่ออนุบาลลูกปลาคาร์ฟ จากภาพที่ 19-20 พบว่า

อุณหภูมิของน้ำ ในบ่อที่ปลากินอาหารผง 10% ต่อน้ำหนักตัวปลา/มื้อ (10% powder feed; PF) สไปรูลิน่าสด 100% ต่อน้ำหนักตัวปลา/มื้อ (100% raw *Spirulina*; RS) และ สไปรูลิน่าผง 10% ต่อน้ำหนักตัวปลา/มื้อ (10% powder *Spirulina*; PS) ทั้ง 3 หน่วยทดลองมี อุณหภูมิอยู่ระหว่าง $18.50 \pm 0.25 - 27.00 \pm 0.00$ °C และไม่มีมีความแตกต่างกันทางสถิติ (ภาพ ที่ 19)

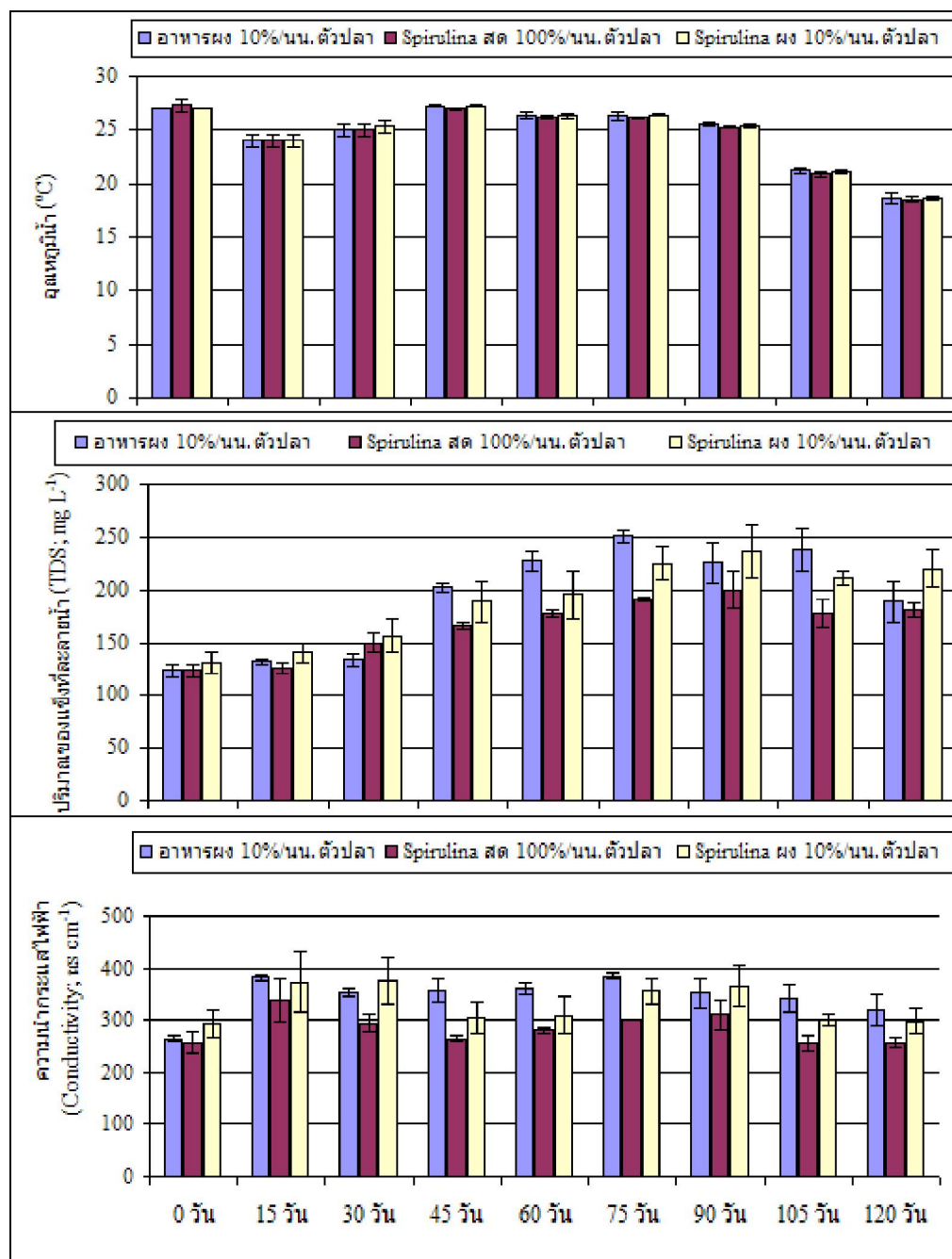
ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำ (total dissolved solid; TDS ; mg L^{-1}) ทั้ง 3 หน่วยทดลอง มีปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำ อยู่ระหว่าง $123.33 \pm 5.77 - 250.67 \pm 6.35$ mg L^{-1} และเริ่มมีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p < 0.05$) ตั้งแต่ 45 วันของการอนุบาลลูกปลา โดย 10%PF และ 10%PS มีปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำมากกว่า 100%RS (ภาพที่ 19)

ความนำไฟฟ้า (conductivity ; $\mu\text{S cm}^{-1}$) ทั้ง 3 หน่วยทดลอง มีความนำไฟฟ้า อยู่ระหว่าง $255.67 \pm 14.98 - 385.00 \pm 5.20$ $\mu\text{S cm}^{-1}$ และเริ่มมีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p < 0.05$) ตั้งแต่ 45 วันของการอนุบาลลูกปลา โดย 10%PF และ 10%PS มีปริมาณความนำไฟฟ้า มากกว่า 100%RS (ภาพที่ 19)

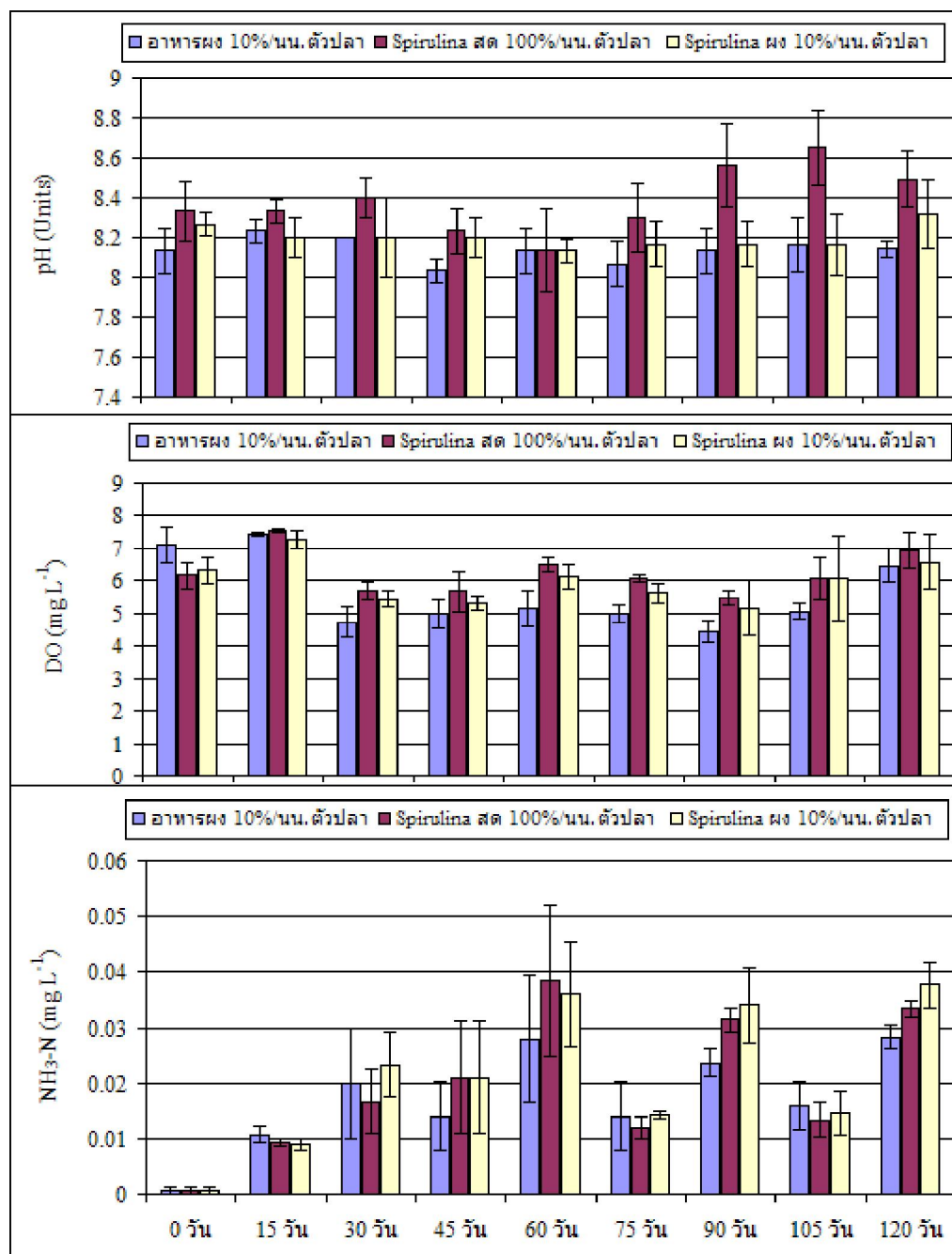
ค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH; Units) ทั้ง 3 หน่วยทดลอง มีค่า pH อยู่ระหว่าง $8.13 \pm 0.12 - 8.57 \pm 0.21$ Units และมีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p < 0.05$) ในวันที่ 90 และ 105 ของการอนุบาลลูกปลา โดย 100%RS มากกว่า 10%PF และ 10%PS (ภาพที่ 20)

ค่าออกซิเจนละลายน้ำ (dissolved oxygen; DO; mg L^{-1}) ทั้ง 3 หน่วยทดลอง มีค่า DO อยู่ระหว่าง $5.17 \pm 0.85 - 7.53 \pm 0.06$ mg L^{-1} และมีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p < 0.05$) ในวันที่ 60 และ 75 ของการอนุบาลลูกปลา โดย 100%RS และ 10%PS มีค่า ออกซิเจนละลายน้ำ มากกว่า 10%PF (ภาพที่ 20)

แอมโมเนีย (ammonia; $\text{NH}_3 - \text{N}$; mg L^{-1}) ทั้ง 3 หน่วยทดลอง มีค่า $\text{NH}_3 - \text{N}$ อยู่ระหว่าง $0.001 \pm 0.0006 - 0.038 \pm 0.004$ mg L^{-1} และมีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p < 0.05$) ในวันที่ 90 และ 120 ของการอนุบาลลูกปลา โดย 100%RS และ 10%PS มีค่า $\text{NH}_3 - \text{N}$ มากกว่า 10%PF (ภาพที่ 20)



ภาพ 19 อุณหภูมิน้ำ (°C) ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำ (TDS; mg L⁻¹) และ ความนำไฟฟ้า (conductivity; $\mu\text{s cm}^{-1}$) ในบ่อซีเมนต์กลม อนุบาลลูกปลาแพนซีครีฟ ที่เลี้ยงด้วย อาหารผง 10% /น้ำหนักตัวปลา สไปรูลินาสด 100%/น้ำหนักตัวปลา และ สไปรูลินา ผง 10%/น้ำหนักตัวปลา ระยะเวลา 120 วัน



ภาพ 20 ค่า pH (Units) DO (mg L⁻¹) และ NH₃-N (mg L⁻¹) ในบ่อซีเมนต์กลม อนุบาลลูกปลาแพนซีคิราฟ ที่เลี้ยงด้วย อาหารผง 10% /น้ำหนักตัวปลา สไปรูลิน่าสด 100% / น้ำหนักตัวปลา และ สไปรูลิน่าผง 10%/น้ำหนักตัวปลา ระยะเวลา 120 วัน

วิจารณ์ผลการวิจัย (Discussion)

คุณภาพน้ำของน้ำทิ้งจากโรงอาหาร

คุณภาพน้ำของน้ำทิ้งจากโรงอาหาร มหาวิทยาลัยแม่โจ้ ที่ผ่านการกรองและพักทิ้งไว้ 2 สัปดาห์ พบว่า น้ำทิ้งจากโรงอาหารมีความเป็นด่างสูง มีสารอาหารแอมโมเนียไนโตรเจนสูง ซึ่งเป็นไนโตรเจนที่สาหร่ายสามารถนำไปใช้ได้ (Sze, 1998) อีกทั้งพบว่าน้ำทิ้งจากโรงอาหารมีความเข้มข้นของไนโตรเจนและออร์โธฟอสเฟต-ฟอสฟอรัสที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตในการเพาะเลี้ยงสาหร่าย (Jerald, 1996) จากการพิจารณาอัตราส่วนของ N:P ซึ่งเป็นสารอาหารที่จำเป็นต่อการเจริญของสาหร่าย *S. platensis* (Stauffer, 2006) พบว่า น้ำทิ้งจากโรงอาหารมีอัตราส่วนของ N:P เท่ากับ 4:1 ถึง 6:1 ซึ่งจัดได้ว่ามีไนโตรเจนเป็นปัจจัยจำกัดต่อการเจริญเติบโต (จงกล, 2543)

การเพาะเลี้ยงสาหร่าย *S. platensis* ในตู้กระจก

คุณภาพน้ำของการเพาะเลี้ยงสาหร่าย *S. platensis* ในตู้กระจก พบว่ามีค่า pH ที่เป็นด่าง มีค่า DO สูง เนื่องจากการให้ออกซิเจน ปริมาณสารอาหารจะลดลงโดยเฉพาะไนโตรเจน ซึ่งน่าจะเกิดจากสาหร่ายนำสารอาหารไปใช้ในการเจริญ ปริมาณแอมโมเนียในรูปแอมโมเนียไนโตรเจน อีกทั้งการเพาะเลี้ยงสาหร่าย *S. platensis* สามารถปรับปรุงคุณภาพน้ำได้ระดับหนึ่ง โดยสามารถลดค่า BOD ความเป็นด่าง และปริมาณสารอาหารได้เช่นเดียวกับการเพาะเลี้ยงสาหร่าย *S. platensis* ในน้ำเสีย (จงกล, 2543) การเจริญของสาหร่าย *S. platensis* ที่เพาะเลี้ยงในตู้กระจก โดยใช้ น้ำทิ้งจากโรงอาหารที่ระดับความเข้มข้นต่างๆ พบว่า สาหร่ายที่เพาะเลี้ยงในน้ำทิ้งจากโรงอาหารที่ระดับความเข้มข้น 80% ถึง 100% มีการเจริญดีกว่าสาหร่ายที่เลี้ยงในน้ำทิ้งจากโรงอาหารที่ระดับความเข้มข้น 10% ถึง 70% อย่างชัดเจน อาจเนื่องจากน้ำทิ้งจากโรงอาหารที่ระดับความเข้มข้น 80% ถึง 100% มีคุณภาพน้ำที่เหมาะสมต่อการเจริญของสาหร่าย *S. platensis*

การเพาะเลี้ยงสาหร่าย *S. platensis* ใน บ่อพลาสติกแบบ raceway pond

การเพาะเลี้ยง *S. platensis* ในบ่อพลาสติก แบบ raceway pond ขนาด 0.5-1 ตารางเมตร พบว่า สูตรอาหาร MZm น้ำทิ้งความเข้มข้นที่ 100% และน้ำทิ้งความเข้มข้นที่ 90% มีค่า pH ที่เป็นด่าง ค่า DO แต่ละความเข้มข้นมีค่าที่ใกล้เคียงกัน ปริมาณสารอาหาร พบว่า $\text{NH}_3\text{-N}$, $\text{NO}_3\text{-N}$, TN, TKN และ TP จะมีค่าลดลงจากวันเริ่มต้น หรือวันที่ 0 เช่นเดียวกับค่า BOD คล้ายกับ

การเพาะเลี้ยง *S. platensis* ในน้ำทิ้งจากหอพักนักศึกษามหาวิทยาลัยแม่โจ้ พบว่าที่ความเข้มข้นของน้ำทิ้งหอพักนักศึกษาที่ความเข้มข้น 70% มี $\text{NH}_3\text{-N}$ 1.44 mg/l, $\text{NO}_3\text{-N}$ 0.68 mg/l, $\text{PO}_4\text{-P}$ 0.49 mg/l (จงกล, 2545) อีกทั้งการเพาะเลี้ยงสาหร่าย *S. platensis* ยังช่วยปรับปรุงคุณภาพน้ำได้ระดับหนึ่ง โดยสามารถลดค่า BOD ความกระด้าง ความเป็นด่าง และปริมาณสารอาหารได้เช่นเดียวกับการเพาะเลี้ยงสาหร่าย *S. platensis* ในน้ำเสีย (จงกล, 2543) สูตรอาหาร MZm และน้ำทิ้งจากโรงอาหารที่ความเข้มข้น 100% Cw มีการเจริญที่ดี ได้ผลผลิตสาหร่ายค่อนข้างสูง คุณค่าทางโภชนาการโดยเฉพาะโปรตีน ของสาหร่าย ที่เลี้ยงโดยใช้น้ำทิ้งจากโรงอาหาร 100% มีค่าโปรตีน 40.86% โดยน้ำหนักแห้ง ใกล้เคียงกับ การเพาะเลี้ยง *S. platensis* ในน้ำหมักมูลวัวมีโปรตีนประมาณ 42–63 เปอร์เซ็นต์ (Tamayo *et al.*, 1987) สาหร่ายมี β -carotene, C-phycoerythrin, γ -Linoleic acid และคุณค่าทางโภชนาการสูงกว่า 90% Cw คณะผู้วิจัยนำน้ำทิ้งจากโรงอาหารความเข้มข้น 100% Cw ไปเลี้ยงในบ่อซีเมนต์ แบบ raceway pond ขนาดใหญ่ต่อไป เพื่อ biomass production นำผลผลิตสาหร่ายมาอนุบาลปลาแพนซีคาร์ฟต่อไป

การเพาะเลี้ยง *S. platensis* ด้วยน้ำทิ้งจากโรงอาหาร 100% Cw ในบ่อซีเมนต์แบบ raceway pond แบบมหมวล เพื่อนำไป อนุบาลลูกปลาแพนซีคาร์ฟ

น้ำทิ้งจากโรงอาหารที่ความเข้มข้น 100% Cw ได้ผลผลิตสาหร่าย $0.60 \pm 0.07 \text{ g L}^{-1} \text{ DW}$ มีต้นทุนผันแปรในการผลิต 218.60 บาท/กิโลกรัม และ สาหร่ายมี โปรตีนประมาณ $41.45 \pm 2.80\%$ และ นำผลผลิตสาหร่ายไปอนุบาลปลาแพนซีคาร์ฟ ต่อไป

การทดลองใช้สาหร่าย สไปรูลิน่า เป็นอาหารอนุบาลลูกปลาแพนซีคาร์ฟ

น้ำหนักเฉลี่ยต่อตัว ความยาวเฉลี่ยต่อตัว อัตราการเจริญเติบโต อัตราการเจริญเติบโตจำเพาะ อัตราการรอดตาย พบว่า ปลาที่ได้รับอาหารสไปรูลินาผง 10%/น้ำหนักตัว/มื้อ และปลาที่ได้รับอาหารผง 10%/น้ำหนักตัว/มื้อ มีค่ามากกว่า ปลาที่ได้รับ อาหารสไปรูลินาสด 100%/น้ำหนักตัว/มื้อส่วนอัตราการแลกเนื้อ ลูกปลาที่ได้รับ อาหารสไปรูลินาผง 10%/น้ำหนักตัว/มื้อ มีอัตราการแลกเนื้อ ดีที่สุด แต่ต้นทุนการผลิตของลูกปลา ปลาที่กินอาหาร สไปรูลินาสด 100%/น้ำหนักตัว/มื้อ มีต้นทุนการผลิต/ตัว ต่ำที่สุด การทดลองครั้งนี้คล้ายกับ การใช้สาหร่าย สไปรูลินา 10% ผสมในอาหารปลานิลแดง มีผลให้ อัตราการเจริญเติบโต และประสิทธิภาพการใช้โปรตีนของปลาดีที่สุด และการใช้ สไปรูลินาผง 10-15% ผสมในอาหารปลา ทดแทนปลาป่น เพื่อให้โปรตีนในอาหารปลาเท่ากับ 30% มีผลให้ปลา มีอัตราน้ำหนักที่เพิ่มขึ้น และอัตราการเจริญเติบโต

จำเพาะที่ดีที่สุด (จงกล และคณะ, 2546) ซึ่ง Duncan and Klesius (1996) กล่าวว่า สไปรูลิना เป็นแหล่งโปรตีนที่มีศักยภาพในอาหารสัตว์ เนื่องจากมีโปรตีนสูงอีกทั้งยังประกอบด้วยวิตามิน และเกลือแร่ในปริมาณสูง นอกจากนี้ผนังเซลล์ ยังมีองค์ประกอบที่ง่ายต่อการย่อย เนื่องจากไม่มี เซลลูโลส อย่างไรก็ตามระดับการผสม สไปรูลินาในอาหารปลาแต่ละชนิดมีระดับแตกต่างกัน ขึ้นอยู่กับพฤติกรรมการกินอาหารของปลา และการย่อยโปรตีนจากพืชของปลาแต่ละชนิด แตกต่างกันไป

รงควัตถุ หรือสารสี (pigment) วิเคราะห์ในรูปแคโรทีนอยด์

แคโรทีนอยด์รวมทั้งใน เกล็ด หนัง และเนื้อปลาก่อนการทดลองของลูกปลา อยู่ระหว่าง $0.40 \pm 0.10 \text{ mg kg}^{-1}$ และไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ส่วน แคโรทีนอยด์หลังการทดลองของ ลูกปลา ที่ได้รับอาหารสไปรูลินาสด 100% / น้ำหนักตัว/มื้อ มีค่า $7.23 \pm 0.44 \text{ mg kg}^{-1}$ และลูกปลา ที่ได้รับ สไปรูลินาผง 10% / น้ำหนักตัว/มื้อ มีค่า $6.80 \pm 1.90 \text{ mg kg}^{-1}$ ซึ่งมีค่ามากกว่าปลาที่กิน อาหารผง 10% / น้ำหนักตัว/มื้อ สาหร่ายสไปรูลิना มีผลต่อการเกิดสีในหนังและเนื้อของสัตว์น้ำ โดยขึ้นอยู่กับปริมาณ และระยะเวลา รวมทั้ง แคโรทีนอยด์ มีผลต่อสุขภาพของปลา โดยสามารถ ลดความเครียด ทำให้ปลามีสุขภาพดี สามารถทนต่อเชื้อก่อโรคต่าง ๆ ได้ดีขึ้น (Nakano *et al.*, 2003)

คุณภาพน้ำทางกายภาพและเคมีในบ่ออนุบาลลูกปลาคาร์ฟ

อุณหภูมิของน้ำอยู่ระหว่าง $18.50 \pm 0.25 - 27.00 \pm 0.00 ^\circ\text{C}$ ปริมาณของแข็งที่ละลาย น้ำ อยู่ระหว่าง $123.33 \pm 5.77 - 250.67 \pm 6.35 \text{ mg L}^{-1}$ ความนำไฟฟ้า อยู่ระหว่าง $255.67 \pm 14.98 - 385.00 \pm 5.20 \text{ } \mu\text{S cm}^{-1}$ ค่าความเป็นกรด-ด่าง อยู่ระหว่าง $8.13 \pm 0.12 - 8.57 \pm 0.21$ ซึ่งค่าคุณภาพน้ำที่กล่าวมามีค่าสูงที่ 100%RS ส่วนค่า DO อยู่ระหว่าง $5.17 \pm 0.85 - 7.53 \pm 0.06 \text{ mg L}^{-1}$ และค่า $\text{NH}_3 - \text{N}$ อยู่ระหว่าง $0.001 \pm 0.0006 - 0.038 \pm 0.004 \text{ mg L}^{-1}$ โดยลูกปลา ที่ได้รับอาหาร 100%RS และ 10%PS มีค่า DO และ $\text{NH}_3 - \text{N}$ สูงกว่า 10%PF

สรุปผล (Summary)

การเพาะเลี้ยงสาหร่าย *S. platensis* โดยใช้สูตรอาหาร MZm และน้ำทิ้งจากโรงอาหาร ผลจากการเลี้ยงสาหร่าย *S. platensis* พบว่า มีค่า BOD, $\text{NH}_3\text{-N}$, $\text{NO}_3\text{-N}$, TP และ TKN ลดลงจากวันแรก สูตรอาหาร MZm และน้ำทิ้งจากโรงอาหารที่ความเข้มข้น 100% Cw มีการเจริญที่ดี ได้ผลผลิตสาหร่ายค่อนข้างสูง สาหร่ายมี β -carotene, C-phycocyanin, γ -Linoleic acid และ คุณค่าทางโภชนาการสูง น้ำทิ้งจากโรงอาหารความเข้มข้น 100% Cw ไปเลี้ยงในบ่อซีเมนต์ ขนาดใหญ่ แบบ raceway pond ได้ผลผลิตสาหร่าย $0.60 \pm 0.07 \text{ g L}^{-1} \text{ DW}$ มีต้นทุนการผลิต 218.60 บาท/กิโลกรัม และ สาหร่ายมี โปรตีนประมาณ $41.45 \pm 2.80\%$

การนำสปูลิน่า อนุบาลลูกปลาแพนซีคาร์ฟ คำนำนักเฉลี่ยต่อตัว ความยาวเฉลี่ยต่อตัว อัตราการเจริญเติบโต อัตราการเจริญเติบโตจำเพาะ อัตราการรอดตาย พบว่า ปลาที่ได้รับอาหาร 10%PS และ 10%PF มีค่ามากกว่าปลาที่ได้รับอาหาร 100%RS ส่วนอัตราการแลกเนื้อ ลูกปลาที่ได้รับ อาหาร 10%PS มีอัตราการแลกเนื้อ ดีที่สุด แต่ต้นทุนการผลิตลูกปลาพบว่า ปลาที่ได้รับอาหาร 100%RS มีต้นทุนต่ำที่สุด และสารสี (pigment) วิเคราะห์ในรูปแบบแคโรทีนอยด์ หลังการทดลองของลูกปลา ที่ได้รับอาหาร 100%RS และ 10%PS มีค่ามากกว่าปลาที่ได้รับอาหาร 10%PF คุณภาพน้ำทางกายภาพ และเคมีในบ่ออนุบาล พบว่า อุณหภูมิของน้ำ ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำ ความนำไฟฟ้า pH มีค่าสูงที่ลูกปลาได้รับอาหาร 100%RS ค่า $\text{NH}_3\text{-N}$ ลูกปลาที่ได้รับอาหาร 100%RS และ 10%PS มีค่า $\text{NH}_3\text{-N}$ สูงกว่า ลูกปลาที่ได้รับอาหาร 10%PF

เอกสารอ้างอิง (References of Literature cited)

- จงกล พรมยะ. 2543. การเพาะเลี้ยงสาหร่าย *Spirulina platensis* ในน้ำทิ้งจากบ่อหมักก๊าซชีวภาพมูลสุกร. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต, ภาควิชาชีววิทยา, คณะวิทยาศาสตร์, มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.
- จงกล พรมยะ. 2545 . การเพาะเลี้ยงสาหร่าย *Spirulina platensis* เพื่อปรับปรุงคุณภาพน้ำหอพักนักศึกษามหาวิทยาลัยแม่โจ้. รายงานผลการวิจัย มหาวิทยาลัยแม่โจ้ เชียงใหม่
- จงกล พรมยะ จารุวรรณ แผงนาง ธาณินทร์ ทรัพย์รัตน์ จุฑามัณเฑาะว์ ศาลางาม และ ศิริเพ็ญ ทรัพย์ไชยาพร. 2545. Carotenoids Content and Nutritional Value of Some Edible Algae. (In press)

- จกกล พรมยะ และเพ็ญรัตน์ หงษ์วิทยากร. 2546. รายงานผลการวิจัย มหาวิทยาลัยแม่โจ้ เชียงใหม่. การใช้สาหร่าย *Spirulina platensis* เพื่อเร่งสีปลาแฟนซีคาร์พ , การประชุมวิชาการสาหร่ายและแพลงก์ตอนแห่งชาติ ครั้งที่ 1 20 – 21 มีนาคม 2546 ห้องประชุม 10 อาคารสารนิเทศ 50 ปี มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ กรุงเทพฯ.
- จกกล พรมยะ และ ศิริเพ็ญ ตรีชัยยาพร. 2548a. การเพาะเลี้ยงสาหร่าย สไปรูลินาในน้ำทิ้งจาก โรงอาหารและน้ำหมักกากถั่วเหลือง. การประชุมวิชาการวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 31 ระหว่างวันที่ 18-20 ตุลาคม 2548 ณ มหาวิทยาลัยสุรนารี จังหวัดนครราชสีมา
- จกกล พรมยะ ศิริเพ็ญ ตรีชัยยาพร และสมโภชน์ จันทร์ลอย .2548b. Meat Quality Improvement of Sharp Tooth African Catfish (*Clarias gariepinus*) Using *Spirulina platensis* and *Cladophora* sp. การประชุมสัมมนาวิชาการ ครั้งที่ 6 ระหว่าง วันที่ 19-20 พฤษภาคม 2548 ณ มหาวิทยาลัยแม่โจ้ เชียงใหม่
- ชลธิชา โชติสิทธิพงษ์. 2541. ผลของแอสตาแซนทีนต่อสี การเจริญเติบโต อัตราการรอดตาย และความทนทานต่อเชื้อแบคทีเรีย *Streptococcus* sp. ของปลานิลสีแดง. วิทยาศาสตร์ มหาลัณชิต ภาควิชาเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ คณะประมง มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ กรุงเทพฯ. 104 หน้า.
- ธุรกิจค้าปลาสวยงาม. 2545. การเร่งแก้ปัญหาการผลิตพิชิตตลาดส่งออก. วารสารกระแสนธรศน์ ฉบับที่ 20 กุมภาพันธ์ 2541.
- นิวุฒิ หวังชัย และ สุทธิ สมบูรณ์ชัย. 2540. อาหารปลา. เชียงใหม่: ภาควิชาเทคโนโลยีการประมง, คณะผลิต กรรมการเกษตร, มหาวิทยาลัยแม่โจ้.
- ศิริเพ็ญ ตรีชัยยาพร. 2543. การวิเคราะห์คุณภาพน้ำ. พิมพ์ครั้งที่ 2. เชียงใหม่: ภาควิชา ชีววิทยา, คณะวิทยาศาสตร์, มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.
- วุฒิพร พรหมขุนทอง และอัญชลี พิพัฒน์วัฒนากุล . 2548. ผลของสาหร่ายสไปรูลินาต่อการ เจริญเติบโต และระดับแอนติบอดี ในปลาดุกพันธุ์ผสม (*Clarias macrocephalus* x *Clarias gariepinus* (Burchell) วารสาร สงขลานครินทร์ วิทยาศาสตร์เทคโนโลยี ปีที่ 27 (ฉบับพิเศษ 1) 115-132.
- สรวิศ เผ่าทองสุข. 2543. “สาหร่าย: ศักยภาพการวิจัยและพัฒนาเพื่อการใช้ประโยชน์จาก สาหร่ายในประเทศไทย.” เอกสารเผยแพร่ชุดโครงการ “อุตสาหกรรมสัตว์น้ำ” สกว. ชุดที่ 2. กรุงเทพฯ: โรงพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- อมรรัตน์ เสริมวัฒนากุลและบุษกร บำรุงธรรม. 2543. อาหารปลาสวยงาม. สถาบันวิจัยสัตว์น้ำ

สวยงามและสถานที่แสดงพันธุ์สัตว์น้ำ. กรุงเทพฯ. 16 - 19 หน้า.

อวยชัย ทาเวชัย พัทธี นันเต และภาวิณี พิทักษ์. 2544. การสำรวจตลาดปลาสวยงามในตลาดค้าปลีกและสวนนกหวาด ในเขตจังหวัดเชียงใหม่. รายงานวิชาเศรษฐศาสตร์การประมง ภาคเรียนที่ 2 ปีการศึกษา 2544 คณะผลิตกรรมการเกษตร มหาวิทยาลัยแม่โจ้ เชียงใหม่.

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

Chung P. 1978. Production and Nutritive Value of *Arthospira platensis* Aspsil Blue green Algae Grown on Swine Wastes. Journal of Animal Science 47(2):319 – 330.

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 *Muriellops* sp. (Chlorophyta).” Biotechnology. 76: 51–59.

Duncan P. L. and Klesius P. H. 1996. Effects of feeding *Spirulina* on specific and non – specific immune responses of channel catfish. J. of Aquat. Anim. Heal., 8: 308 –313.

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

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.

Lu J. and Takeuchi T. 2003. Taste of Tilapia *Oreochromis niloticus* fed solely on raw *Spirulina*. Fisheries science 68 (supp. 1), The Japanese Society of Fisheries Science Tokyo JAPAN, P. 987 – 988.

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

Nakono T., Yamaguchi T., Sato M. and Iwama, G. K. 2003. Biological effects of carotenoids infish. International Seminar “Effective Utilization of Marine Food Resource”. Songkhla, Thailand. 18 December. Pp. 1 – 15.

- Promya j., S. Traichaiyaporn and R. L. Deming. 2006. Phytoremediation of domestic and industrial wastewater by *Spirulina platensis* (Nordstedt) Geiteler, 40th Western Regional Meeting American Chemical Society, 22-25 January 2006 Double Tree Hotel Anaheim/ Orange, CA, USA.
- Richmond A.E. 1986. Microalga culture. CRC Critical Reviews in Biotechnology 4 : 369 – 438. Stanley, J.G. and J.B. Jones. 1976. Feeding algae to fish. Aquaculture 7 : 219 – 223.
- Simonne A .H., Green, N. R., and Bransby D.I. 1996 . Consumer acceptability and β -carotene content of beef as related to cattle finishing diets. Journal. of Food Science, 61, 1254-1256.
- Sze, P. 1998. A Biology of the Algae. Georgetown University, USA.
- Venkataraman L.V. 1983. A Monograph on *Spirulina platensis*. Central Food Technological Research Institute, Mysore 100 p.

