



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 LINNAEUS) TO BE STABLE FEED

โดย

นายจกกล พรมยะ นายขจรเกียรติ ศรีนวลสม และนาย อนุภาพ วรรณคณาพล



รายงานผลการวิจัย มหาวิทยาลัยแม่โจ้

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

ได้รับการจัดสรรงบประมาณวิจัย ประจำปี ๒๕๕๑ จำนวนเงิน ๒๕๕,๐๐๐ บาท
ประจำปี ๒๕๕๒ จำนวนเงิน ๒๓๓,๐๐๐ บาท

หัวหน้าโครงการ นาย จงกล พรมยะ
ผู้ร่วมโครงการ นาย ขจรเกียรติ ศรีนวลสม
นาย อนุภาพ วรรณคนาพล

งานวิจัยเสร็จสิ้นสมบูรณ์

๓๐ กันยายน ๒๕๕๓

คำนิยม

รายงานผลงานวิจัยฉบับนี้สำเร็จลุล่วงเป็นอย่างดี คณะผู้จัดทำขอขอบพระคุณ สำนักวิจัย และส่งเสริมวิชาการเกษตร มหาวิทยาลัยแม่โจ้ เชียงใหม่ สภาวิจัยแห่งชาติ ที่ได้ให้การสนับสนุนทุนอุดหนุนการวิจัย ซึ่งได้รับการจัดสรรงบประมาณการวิจัยประจำปี 2551 และ 2552 ในการทำวิจัยในครั้งนี้ ขอขอบพระคุณ คณาจารย์ ข้าราชการ เจ้าหน้าที่และ นักศึกษา คณะเทคโนโลยีการประมง และทรัพยากรทางน้ำ มหาวิทยาลัยแม่โจ้ ที่ให้ความช่วยเหลือด้านอุปกรณ์ เครื่องมือ ตลอดจนสถานที่ทำการวิจัย ขอขอบพระคุณผู้ที่เกี่ยวข้อง และคณะผู้ร่วมทำงาน ที่ให้ความร่วมมือช่วยเหลือ ทำให้งานวิจัยสมบูรณ์ยิ่งขึ้น

คณะผู้วิจัย



สารบัญเรื่อง

เรื่อง	หน้า
สารบัญตาราง	ก
สารบัญภาพ	ข-จ
บทคัดย่อ	1
คำนำ	4
การตรวจเอกสาร	6
วัตถุประสงค์	10
วันเวลา และสถานที่ทำการวิจัย	11
ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	11
อุปกรณ์และวิธีดำเนินการ	11
ผลการวิจัย	18
สรุปผลการวิจัย	55
เอกสารอ้างอิง	56

(ก)

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
1. คุณค่าทางโภชนาการของ อาหารปลาก่อนการทอด (เทียบโดยน้ำหนักแห้ง)	15
2. คุณภาพน้ำ ของน้ำทิ้งจากโรงอาหาร ที่ผ่านการกรอง และพักไว้ 2 สัปดาห์	18
3. คุณค่าทางอาหารของสาหร่ายที่เพาะเลี้ยงในน้ำทิ้งจากโรงอาหาร	33
ความเข้มข้น 100%	



สารบัญภาพ

ภาพที่	หน้า
1 ปลาแฟนซีครีฟ	6
2 สาหร่าย <i>Spirulina platensis</i>	7
3 ความเป็นกรด-ด่าง (pH) ของการเพาะเลี้ยงสาหร่าย ด้วยสูตรอาหาร MZm และ น้ำจากโรงอาหารที่ระดับความเข้มข้นต่างๆ ในตู้กระจกเป็นเวลา 15 วัน	21
4 ค่าออกซิเจนที่ละลายน้ำ (DO) ในการเพาะเลี้ยงสาหร่าย ด้วยสูตรอาหาร MZm และ น้ำจากโรงอาหารที่ระดับความเข้มข้นต่างๆ ในตู้กระจก เป็นเวลา 15 วัน	21
5 ค่าแอมโมเนียม-ไนโตรเจน $\text{NH}_3\text{-N}$ ของน้ำใน การเพาะเลี้ยงสาหร่าย ด้วยสูตรอาหาร MZm และ น้ำจากโรงอาหารที่ระดับความเข้มข้นต่างๆ ในตู้กระจก เป็นเวลา 15 วัน	22
6 ค่าไนเตรท-ไนโตรเจน ($\text{NO}_3\text{-N}$) ของน้ำใน การเพาะเลี้ยงสาหร่าย ด้วยสูตรอาหาร MZm และ น้ำจากโรงอาหารที่ระดับความเข้มข้นต่างๆ ในตู้กระจก เป็นเวลา 15 วัน	22
7 ค่าไนเตรท-ไนโตรเจน ($\text{NO}_2\text{-N}$) ของน้ำใน การเพาะเลี้ยงสาหร่าย ด้วยสูตรอาหาร MZm และ น้ำจากโรงอาหารที่ระดับความเข้มข้นต่างๆ ในตู้กระจก เป็นเวลา 15 วัน	23
8 ค่า TKN ของน้ำใน การเพาะเลี้ยงสาหร่าย ด้วยสูตรอาหาร MZm และ น้ำจากโรงอาหารที่ระดับความเข้มข้นต่างๆ ในตู้กระจก เป็นเวลา 15 วัน	23
9. ค่า TN ของน้ำใน การเพาะเลี้ยงสาหร่าย ด้วยสูตรอาหาร MZm และ น้ำจากโรงอาหารที่ระดับความเข้มข้นต่างๆ ในตู้กระจก เป็นเวลา 15 วัน	24
10. ค่า TP ของน้ำใน การเพาะเลี้ยงสาหร่าย ด้วยสูตรอาหาร MZm และ น้ำจากโรงอาหารที่ระดับความเข้มข้นต่างๆ ในตู้กระจก เป็นเวลา 15 วัน	24
11. ผลผลิตของสาหร่าย ที่เพาะเลี้ยงในสูตรอาหาร MZm และ น้ำจากโรงอาหารที่ระดับ ความเข้มข้น ต่างๆ ในตู้กระจก เป็นเวลา 15 วัน	25
12. ค่า อุณหภูมิของน้ำ (water temperature), pH, DO และ BOD ของน้ำใน การเพาะเลี้ยงสาหร่าย ด้วยสูตรอาหาร MZm และน้ำทั้งจากโรงอาหารที่ระดับ ความเข้มข้น 100% และ 90% ในบ่อพลาสติกแบบ raceway pond เป็นเวลา 15 วัน	28

(ค)

สารบัญภาพ

ภาพที่	หน้า
13. 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	29
14. ค่า TKN, TN และ TP ของน้ำใน การเพาะเลี้ยงสาหร่ายด้วย สูตรอาหาร MZm และ น้ำทิ้ง จากโรงอาหารที่ระดับความเข้มข้น 100% และ 90% ในพลาสติกแบบ raceway pond เป็นเวลา 15 วัน	30
15. ค่า beta-carotene, C-phyococyanin และ γ -linoleic acid ของสาหร่าย ที่เลี้ยง ด้วยสูตรอาหารMZm และน้ำทิ้งจากโรงอาหารที่ระดับความเข้มข้น 100% และ 90% ในบ่อพลาสติก แบบ raceway pond ระยะเวลา 15 วัน	31
16. ค่า ผลผลิต แคโรทีนอยด์รวม และ คุณค่าทางโภชนาการ ของสาหร่าย ที่เลี้ยง ด้วยสูตรอาหารน้ำทิ้ง จากโรงอาหารที่ระดับความเข้มข้นต่างๆ ในบ่อซีเมนต์ เป็นเวลา 15 วัน	32
17. ค่าน้ำหนักเฉลี่ย (กรัม/ตัว) ของลูกปลาครีฟ ที่เลี้ยงด้วย อาหารผง 10% /น้ำหนักตัวปลา สไปรูลิน่าสด 100%/น้ำหนักตัวปลา และ สไปรูลิน่าผง 10%/น้ำหนักตัวปลา อนุบาลในบ่อซีเมนต์กลม ระยะเวลา 120 วัน	35
18. ความยาว (ซม. /ตัว) ของลูกปลาครีฟ ที่เลี้ยงด้วย อาหารผง 10% / น้ำหนักตัวปลา สไปรูลิน่าสด 100% น้ำหนักตัวปลา และ สไปรูลิน่าผง 10%/น้ำหนักตัวปลา อนุบาลในบ่อซีเมนต์กลม ระยะเวลา 120 วัน	35
19. อัตราการเจริญเติบโต อัตราการเจริญเติบโตจำเพาะ อัตราการแลกเนื้อ อัตราการรอด (%) และ ต้นทุนการผลิตลูกปลา (บาท/ ตัว) ของลูกปลาครีฟ ที่เลี้ยงด้วย อาหารผง 10% /น้ำหนักตัวปลา สไปรูลิน่าสด 100%/น้ำหนักตัวปลา และ สไปรูลิน่าผง 10%/น้ำหนักตัวปลา อนุบาลในบ่อซีเมนต์กลม ระยะเวลา 120 วัน	36

(ง)

สารบัญภาพ

ภาพที่	หน้า
20. ค่ารงควัตถุ ในรูป carotenoids (mg/kg fish) ก่อนและหลังการทดลองในลูกปลาครีฟ ที่เลี้ยงด้วย อาหารผง 10% / น้ำหนักตัวปลา สไปรูลินาสด 100% / น้ำหนักตัวปลา และ สไปรูลิน่าผง 10%/น้ำหนักตัวปลา อนุบาลในบ่อซีเมนต์กลม ระยะเวลา 120 วัน	37
21. อุณหภูมิน้ำ (° C) ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำ (TDS; mg/ L) และ ความนำไฟฟ้า (conductivity; $\mu\text{s/cm}$) ในบ่อซีเมนต์กลม อนุบาลลูกปลาแฟนซีครีฟ ที่เลี้ยงด้วย อาหารผง 10% / น้ำหนักตัวปลา สไปรูลินาสด 100%/น้ำหนักตัวปลา และ สไปรูลิน่าผง 10%/น้ำหนักตัวปลา ระยะเวลา 120 วัน	39
22. ค่า pH (Units) DO (mg /L) และ $\text{NH}_3\text{-N}$ (mg /L) ในบ่อซีเมนต์กลม อนุบาลลูกปลา แฟนซีครีฟ ที่เลี้ยงด้วย อาหารผง 10% / น้ำหนักตัวปลา สไปรูลินาสด 100%/น้ำหนักตัวปลา และ สไปรูลิน่าผง 10%/น้ำหนักตัวปลา ระยะเวลา 120 วัน	40
23. น้ำหนักเฉลี่ย (กรัม/ตัว) ของปลาแฟนซีครีฟ ในแต่ละหน่วยทดลอง ระยะเวลา 12 เดือน	41
24. อัตราการเจริญเติบโต ของปลาแฟนซีครีฟ ในแต่ละหน่วยทดลอง ระยะเวลา 12 เดือน	42
25. อัตราน้ำหนักปลาที่เพิ่มขึ้น (%) ของปลาแฟนซีครีฟ ในแต่ละหน่วยทดลอง ระยะเวลา 12 เดือน	42
26. อัตราการเจริญเติบโตจำเพาะ (%/วัน) ของปลาแฟนซีครีฟ ในแต่ละหน่วยทดลอง ระยะเวลา 12 เดือน	43
27. อัตราการรอด ของปลาแฟนซีครีฟ ในแต่ละหน่วยทดลอง ระยะเวลา 12 เดือน	43
28. อัตราการแลกเนื้อ ปลาแฟนซีครีฟ ในแต่ละหน่วยทดลอง ระยะเวลา 12 เดือน	43
29. ประสิทธิภาพการใช้โปรตีน ปลาแฟนซีครีฟ แต่ละหน่วยทดลอง ระยะเวลา12 เดือน	44
30. ต้นทุนการผลิตปลา แฟนซีครีฟ ในแต่ละหน่วยทดลอง ระยะเวลา12 เดือน	44
31. รงควัตถุ หรือ แคโรทีนอยด์บนตัวปลา ในแต่ละหน่วยทดลอง ระยะเวลา 12 เดือน	45

(จ)

สารบัญภาพ

ภาพที่	หน้า
32. สารสี บนตัวปลา ที่ให้อาหารผสมสาหร่ายสด และผง ในหน่วยทดลอง ที่ 2 และ 3 มีสีเข้มกว่า หน่วยทดลองที่ 1	45
33. ดัชนีการเจริญพันธุ์ ปลาแฟนซีครีฟเมย์ แต่ละหน่วยทดลอง ระยะเวลา 12 เดือน	46
34. ไข่ปลาแฟนซีครีฟที่ให้อาหารผสม สาหร่าย T1และT2 มีความดกมากกว่า T1	46
35. อังทะปลาแฟนซีครีฟที่ให้อาหารผสม สาหร่าย T1และT2 มีความดกมากกว่า T1	46
36. การศึกษาดัชนีการเจริญพันธุ์ (Gonadosomatic Index; %GSI) ของปลาแฟนซีครีฟเมย์ ในแต่ละหน่วยทดลอง ระยะเวลา 12 เดือน	47
37. การกระตุ้น ภูมิคุ้มกันแบบไม่จำเพาะ (lysozyme activity; Units/mL) ของแฟนซีครีฟ ในแต่ละหน่วยทดลอง ระยะเวลา 12 เดือน	47
38. อุณหภูมิของน้ำ ($^{\circ}\text{C}$) ใน กระชังเลี้ยงปลาแฟนซีครีฟ ในแต่ละหน่วยทดลอง ระยะเวลา 12 เดือน	48
39. ค่าความเป็นกรด-ด่าง ใน กระชังปลาแฟนซีครีฟ แต่ละหน่วยทดลอง ระยะเวลา 12 เดือน	49
40. ออกซิเจนที่ละลายน้ำ (mg/L) ในกระชังเลี้ยงปลาแฟนซีครีฟ แต่ละหน่วยทดลอง ระยะเวลา 12 เดือน	49
41. แอมโมเนีย-ไนโตรเจน (mg/L) ในกระชังเลี้ยงปลาแฟนซีครีฟ แต่ละหน่วยทดลอง ระยะเวลา 12 เดือน	49
42. ไนเตรต-ไนโตรเจน ในกระชังเลี้ยงปลาแฟนซีครีฟ แต่ละหน่วยทดลอง ระยะเวลา 12 เดือน	50
43. ออร์โทฟอสเฟต-ฟอสฟอรัส ในกระชังเลี้ยงปลา แต่ละหน่วยทดลอง ระยะเวลา12 เดือน	50
44. การอบรมเกษตรกรและผู้สนใจ	50
45. เกษตรกรและผู้สนใจ ปฏิบัติเรียนรู้ที่แท้จริง	50
46. สาธิตการผสมอาหาร ให้เกษตรกรและผู้สนใจ	51
47. เกษตรกรและผู้สนใจ พักรับประทานอาหาร	51

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

จงกล พรหมยะ ขจรเกียรติ ศรีนวลสม และอนุภาพ วรณคนาพล
JONGKON PROMYA KAJORNGIED SRINOUSAM AND ARNUPARP
WANKANAPOL

คณะเทคโนโลยีการประมง และทรัพยากรทางน้ำ
มหาวิทยาลัยแม่โจ้

บทคัดย่อ

การเพาะเลี้ยงสาหร่าย *Spirulina platensis* ในน้ำทิ้งจากโรงอาหาร เพื่อเป็นอาหารในการอนุบาล และเลี้ยงปลาแฟนซีครีฟ แบบยั่งยืน ได้ทำการวิจัย ณ คณะเทคโนโลยีการประมง และทรัพยากรทางน้ำ มหาวิทยาลัยแม่โจ้ เชียงใหม่ ระหว่าง เดือน มกราคม 2551 ถึง เดือน สิงหาคม 2553 มีการเพาะเลี้ยงสาหร่าย ในสูตรอาหาร Modified Zarrouk's medium (MZm) และใช้น้ำทิ้งจากโรงอาหาร (cafeteria water; Cw) ความเข้มข้น 10% ถึง 100% (10%Cw-100%Cw) ดังนี้ การเพาะเลี้ยงสาหร่าย ในตู้กระจก มีการศึกษาคุณภาพน้ำ ผลผลิตสาหร่ายแห้ง 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 ผลผลิตสาหร่ายแห้ง beta-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 beta-carotene 0.27-0.28 mg/g, C-phyococyanin 8.27-17.77 mg/g, γ -Linoleic acid 0.19-0.30 gm/g 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 ลดลง

จากวันแรกมากกว่า MZm คณะผู้วิจัยนำน้ำทิ้ง 100% Cw ไปเพาะเลี้ยงสาหร่าย ในบ่อซีเมนต์ แบบ raceway pond เพื่อนำผลผลิตไปอนุบาลลูกปลาแฟนซีคาร์ฟต่อไป

ผลของ สไปรูลินาสด 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 หน่วยทดลองๆละ 3 ซ้ำ ดังนี้ T₁-ให้อาหารผง (powder feed; PF) 10%PF/น้ำหนักตัวปลา/วัน T₂-100%RS/น้ำหนักตัวปลา/วัน T₃ - 10%PS/น้ำหนักตัวปลา/วัน เก็บข้อมูลทุกๆ 30 วัน ให้ออกซิเจนในเวลากลางคืน ระยะเวลา 120 วัน พบว่า ลูกปลาที่อนุบาลด้วย 10%PF และ 10%PS มีค่า น้ำหนักเฉลี่ยต่อตัว อัตราการเจริญเติบโต อัตราการเจริญเติบโตจำเพาะ และอัตราการรอด สูงกว่าลูกปลาที่อนุบาลด้วย 100%RS แคโรทีนอยด์ หลังการทดลอง ลูกปลาที่ได้รับอาหาร 100%RS และ 10%PS มีค่ามากกว่าปลาที่ได้รับอาหาร 10%PF อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) สรุปได้ว่า การใช้สไปรูลินาสด และแห้ง เป็นอาหารอนุบาลลูกปลาแฟนซีคาร์ฟ มีผลทำให้ การเจริญเติบโต และสารสีในรูป แคโรทีนอยด์เพิ่มขึ้น

การศึกษาผลของการใช้ สไปรูลินาสด (raw *Spirulina*; RS) และผง (powder *Spirulina*; PS) ต่อการเติบโต ดัชนีการเจริญพันธุ์ สารสีแคโรทีนอยด์ และการกระตุ้นการสร้างภูมิคุ้มกัน ปลาแฟนซีคาร์ฟ ในกระชังทดลองขนาด 2 x 2 x 1 เมตร น้ำหนักเฉลี่ย 10.33±1.53-11.33±1.16 กรัม/ตัว อัตราการปล่อย 30 ตัว/ตารางเมตร แบ่งการทดลอง เป็น 3 หน่วยทดลองๆละ 3 ซ้ำ ดังนี้ T₁ อาหารปลาทั่วไปโปรตีน 30% (Basal diets; BD) T₂ อาหารปลาทั่วไปโปรตีน 30% ผสม สไปรูลินาสด (BD+RS) T₃ อาหารปลาทั่วไปโปรตีน 30% ผสม สไปรูลินาผง (BD+PS) และให้อาหาร 5-10%/น้ำหนักตัวปลา/วัน และให้ออกซิเจนในเวลากลางคืน เก็บข้อมูลทุกๆ 15 วัน ระยะเวลา 12 เดือน พบว่า ปลาแฟนซีคาร์ฟที่เลี้ยงด้วย BD+RS และ BD+PS มีการอัตราการเจริญเติบโต น้ำหนักที่เพิ่มขึ้น อัตราการเจริญเติบโตจำเพาะ ประสิทธิภาพการใช้โปรตีน ดัชนีการเจริญพันธุ์ สารสีแคโรทีนอยด์ และภูมิคุ้มกัน สูงกว่าปลาที่เลี้ยงด้วย BD อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% สรุปได้ว่า การใช้สไปรูลินาสดและผง เป็นอาหารเลี้ยงปลาแฟนซีคาร์ฟ มีผลทำให้ การเติบโต ดัชนีการเจริญพันธุ์ สารสีแคโรทีนอยด์ และภูมิคุ้มกัน เพิ่มขึ้น

Abstract

Culture of *Spirulina platensis* as feed for the larval fancy carps (*Cyprinus carpio* Linnaeus) to be stable feed were researched at Faculty of Fisheries Technology and Aquatic Resources, Maejo University, Chiang Mai in January 2008 to August 2010. *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 and TP compared to MZm. *S. platensis* cultivated with MZm, 100%Cw and 90%Cw in the plastic raceway pond. Water quality, biomass production, beta-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, beta-carotene ($0.27\text{-}0.28 \text{ mg g}^{-1}$), C-phycocyanin ($8.27\text{-}17.77 \text{ mg/g}$), γ -Linoleic acid ($0.19\text{-}0.30 \text{ gm/g}$) 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.

The effects of raw and powder *Spirulina platensis* (RS;PS) feeding on growth and immunity stimulating capacity in fancy carps (*Cyprinus carpio*) were studied. The experiment was conducted in net pond ($2\text{x}2\text{x}1\text{m}$). Fancy carps initially stocked were $10.33\pm 1.53\text{-}11.33\pm 1.16 \text{ gm/fish}$ in weight and 30 fishes/m^2 . Third treatments with three replications each

CRD was applied including T₁ Basal diets (BD), T₂ Basal diets + raw *Spirulina* (BD+RS), T₃ Basal diets + powder *Spirulina* (BD+PS) and 5-10%RS/fish weight/day. Data was collected every 15 day for 120 month period, with oxygen supplied in night-time. It was found that fancy carps with BD+RS and BD+PS had significantly ($p<0.05$) higher average daily growth, weight gain, specific growth rate, protein efficiency ratio, gonadosomatic Index, carotenoid content and immunity than this reared with BD. It can be concluded that the raw and powder *S. platensis*, used as feed of fancy carps, enhanced in growth, gonadosomatic Index, carotenoid content and immunity increased of fancy carps.

คำนำ

การเพาะเลี้ยงปลาสวยงามเป็นแนวทางหนึ่งที่เกษตรกรและผู้สนใจสามารถนำไปประกอบอาชีพหลัก หรือเป็นอาชีพเสริมที่สามารถทำรายได้ให้กับเกษตรกรและผู้สนใจ ในการเพาะเลี้ยงปลาสวยงามที่มีสีสันสวยงามนั้น จำเป็นต้องมีอาหารในการเร่งสีปลา อาหารดังกล่าวที่มีในธรรมชาติและเพาะเลี้ยงง่าย เช่น สาหร่ายจัดเป็นแหล่งอาหารโปรตีนที่สำคัญอีกแหล่งหนึ่ง ในการนำมาผลิตเป็นอาหารของมนุษย์และสัตว์ เพื่อทดแทนอาหารโปรตีนที่ได้จากแหล่งอื่น ๆ ซึ่งนับวันจะมีปริมาณลดลงและไม่เพียงพอต่อความต้องการของประชากรที่เพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว ผลผลิตของสาหร่ายสามารถนำไปใช้ในอุตสาหกรรมการผลิตยา วิตามิน สารแต่งกลิ่น สี และ รส เนื่องด้วยกระบวนการเพาะเลี้ยง การเก็บเกี่ยว การนำมาทำผลิตภัณฑ์เพื่อจำหน่ายหรือบริโภค ไม่สลับซับซ้อนและใช้ต้นทุนต่ำ เมื่อเปรียบเทียบกับ การลงทุนผลิตจากวัตถุดิบอื่น ๆ 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 (จงกล, 2543) และมีส่วนประกอบของคาโรทีนอยด์ (Carotenoid) ซึ่งเป็นสารที่ทำให้เกิดสีเหลือง ส้ม แดง ในผิวหนังและเนื้อปลาอีกด้วย (Goodwin, 1984) สไปรูลินา มีบทบาทในการพัฒนาอวัยวะ และระบบภูมิคุ้มกันโรคมีการนำ สไปรูลินา มาใช้ในการรักษาโรค เช่นการลดปริมาณโคเลสเตอรอล ป้องกันมะเร็ง กระตุ้นระบบภูมิคุ้มกันโรค เพิ่มปริมาณจุลินทรีย์ที่เป็นประโยชน์

(*Lactobacillus*) ในลำไส้ และปรับปรุงระบบการย่อยและดูดซึมสารอาหาร เนื่องมาจากมีผนังเซลล์ที่ไม่หนา สัตว์สามารถย่อยได้ง่ายจึงเหมาะในการใช้เป็นอาหารลูกกุ้งและลูกปลาวัยอ่อน จะทำให้ปลา มีสีส้มสวยงาม อัตราการรอดตายสูงและมีอัตราการเจริญเติบโตดี (อมรรัตน์และบุษกร, 2543) สารคาโรทีนอยด์ทำหน้าที่ให้สีแก่สัตว์หลายชนิด มีประโยชน์ในการอำพรางกำบังตัว Astaxanthin และ β -carotene ยังเป็นสารตั้งต้นในการผลิตวิตามินเอ ในสัตว์ปีกและปลา จากการศึกษาพบว่า Astaxanthin สามารถป้องกันการเหม็นหืนของไขมันได้ดีกว่า เบตา-แคโรทีนถึง 10 เท่า และสูงกว่าวิตามินอี ถึง 100 เท่า นอกจากนี้ยังมีประโยชน์ในการกระตุ้นการสร้างภูมิคุ้มกันโรค และเป็นการเพิ่มสีของเนื้อปลา Salmon (กุลล, 2541)

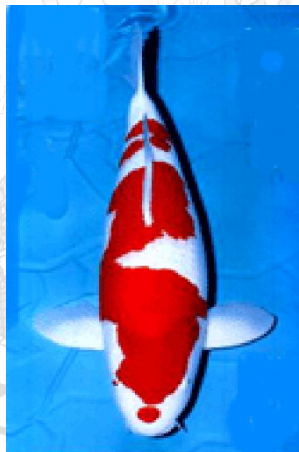
จากคุณสมบัติทางด้านสารอาหารต่าง ๆ ที่สำคัญของสาหร่ายเป็นส่วนหนึ่งที่ร่างกายของมนุษย์และสัตว์มีความต้องการ มีการนำสาหร่ายมาทำเป็นผลิตภัณฑ์ จึงเป็นอีกทางเลือกหนึ่งสำหรับการนำไปใช้เป็นอาหารของมนุษย์และสัตว์ ด้วยเหตุผลต่าง ๆ ดังกล่าวข้างต้น คณะวิจัยจึงมีแนวทางวิจัย เพาะเลี้ยงสาหร่าย *S. platensis* เพื่อนำมาทดลอง เป็นอาหารสัตว์น้ำทั้งในรูปสาหร่ายสดและแห้ง นำมาเป็นส่วนผสม ในอาหารปลาสวยงามโดยเฉพาะปลาแฟนซีคาร์พ ทดลองจนถึงวัยเจริญพันธุ์ ซึ่งปลาชนิดนี้มีความสำคัญทางเศรษฐกิจ และสามารถเพาะพันธุ์ได้ตลอดทั้งปี และเลี้ยงในพื้นที่จังหวัดเชียงใหม่ มีสีส้มสวยงาม การเพาะเลี้ยง *S. platensis* ในน้ำทิ้งจากหอพักนักศึกษา มหาวิทยาลัยแม่โจ้ 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 (จกกล, 2545) และการเพาะเลี้ยงสาหร่าย *Spirulina* ในน้ำทิ้งจากโรงอาหารที่ระดับความเข้มข้นของน้ำทิ้ง 100 % สาหร่ายเจริญเติบโตดีที่สุด ซึ่งได้ผลผลิตเท่ากับ 0.70 กรัม/ลิตร โดยน้ำหนักแห้ง (Promya et al., 2006)

การทดลองมุ่งหวังว่า น่าจะเป็นการเพิ่มคุณภาพของอาหารปลาแฟนซีคาร์พในระยะต่าง ๆ เพื่อเป็นแนวทางในการเพิ่มผลผลิตให้มีคุณภาพยิ่งขึ้น และอีกประการหนึ่งนั้นสาหร่าย *S. platensis* สามารถ ทดแทนปลาป่น ซึ่งเป็นส่วนผสมในอาหารสัตว์น้ำที่มีราคาแพงในปัจจุบันได้ เพราะในการทดลองเพาะเลี้ยงสาหร่าย *S. platensis* ในการวิจัยครั้งนี้ใช้น้ำทิ้งจากโรงอาหารมหาวิทยาลัยแม่โจ้ เพาะเลี้ยงจึงเป็นการลงทุนที่ต่ำ สามารถหมุนเวียนเอาธาตุอาหารและสารประกอบอื่นๆ ในน้ำทิ้งมาใช้ในการสร้างผลผลิตเบื้องต้น ให้ได้มวลของสาหร่ายในปริมาณมาก เพื่อเป็นแหล่งโปรตีนของสัตว์น้ำเร่งสีปลาสวยงาม และสร้างระบบภูมิคุ้มกันโรคให้แก่ปลา ทำให้อัตราการรอดสูง ฉะนั้น การวิจัยครั้งนี้

คณะนักวิจัยจึงใช้สาหร่าย *S. platensis* ในการช่วยกระตุ้นการเร่งสี เพิ่มการเจริญเติบโต เร่งดัชนีการเจริญพันธุ์ และ สร้างระบบภูมิคุ้มกันโรคให้แก่ ปลาแฟนซีครีฟ เพื่อเป็นข้อมูลพื้นฐานต่อไป

การตรวจเอกสาร (Literature review)

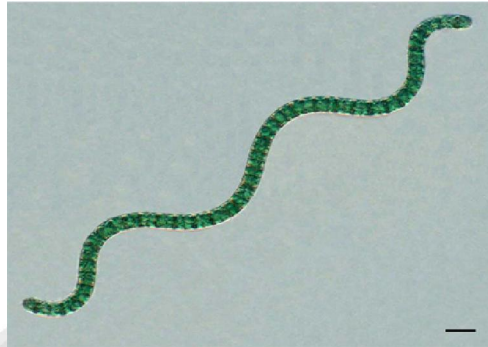
สุรศักดิ์ (2546) ปลาแฟนซีครีฟ (Fancy carp) ภาพที่ 1 ที่มีชื่อทางวิทยาศาสตร์ว่า *Cyprinus Carpio* (Linnaeus) อยู่ในสกุล (Genus) เดียวกับปลาไน (Crucian Carp) หรือเรียกว่าปลาไนแฟนซี ปลาไนสี หรือปลาไนทรงเครื่อง เป็นปลาน้ำจืด ในกลุ่มปลาตะเพียน (carp) ชาวญี่ปุ่นเรียกว่า โคอิ (Koi) หรือนิชิกิกอย (Nishikigoi) เดิมทีเป็นปลาไนชนิดธรรมดา ซึ่งเป็นปลาน้ำจืดที่ พบอยู่ทุกหนทุกแห่งในโลก บริเวณที่ถือว่าเป็นแหล่งดั้งเดิมจริงๆของปลาไนคือ ประเทศอิหร่านในปัจจุบันชาวจีนเป็นชนกลุ่มแรกที่ได้ทำการศึกษา เกี่ยวกับปลาไนเมื่อประมาณ 2,000 ปี สำหรับประเทศไทยได้เริ่มมีการเลี้ยงปลาแฟนซีครีฟ ซึ่งนำมาจากประเทศญี่ปุ่นเมื่อ พ.ศ. 2493 (สถาบันวิจัยสัตว์น้ำสวยงาม สถานแสดงพันธุ์สัตว์น้ำ กรมประมง, 2552)



ภาพที่ 1 ปลาแฟนซีครีฟสายพันธุ์โคฮาคุ

ตุลฮาบ (2550) กล่าวว่า การให้อาหารลูกปลาแฟนซีครีฟ อาหารที่ดีที่สุดสำหรับลูกปลา คือ สัตว์น้ำที่เล็กมาก เช่น ไรน้ำเค็ม (อาร์ทีเมีย) ที่เริ่มฟักตัว ลูกปลายังสามารถกินอาหารแห้งที่เป็นชิ้นเล็กๆ ได้ เช่น นมผง ไข่แดงต้มสุก และสาหร่าย พวกมันจะกินได้เรื่อยๆ ดังนั้นจำเป็นที่จะต้องให้อาหารมันตลอดทั้งวัน เมื่อลูกปลาโตขึ้นควรเพิ่มขนาดของอาหาร โดยดูจากขนาดของปลาตัวที่เล็กที่สุดในบ่อช่วงอายุ 3-4 สัปดาห์ ปลาจะยาวประมาณ 0.2-0.4 นิ้ว ถ้าลูกปลาฟักตัวในถังที่มีขนาดเล็ก ลูกปลาจะฟักตัวจากถุงไข่ที่ติดตัว (yolk sacs) และถุงนี้จะเป็นอาหารในช่วง 2-3 วันแรกของการฟักตัว การเรียกชื่อปลาแบบปัจจุบันจะเรียกชื่อปลาแฟนซีครีฟ ตามสายพันธุ์ อาศัยการดูลักษณะ และรูปร่างแถบสีของปลาเป็นหลัก

สาหร่าย สไปรูลินา *Spirulina platensis* ในแง่ของอนุกรมวิธานได้ยึดตามหลักของ Bold and Wynne (1978) และ Venkataraman (1983) ดังนี้



ภาพที่ 2 สาหร่าย *Spirulina platensis* (_ 25 ไมครอน) Venkataraman (1983)

สไปรูลินา (*Spirulina*) มีความหมายว่า “เกลียว” เนื่องจากมีเส้นสาย (Filament) ที่ขดเป็นเกลียว สไปรูลินาจัดอยู่ในกลุ่ม สาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงิน (Blue-green algae) เนื่องจากมีคลอโรฟิลล์ช่วยในการสังเคราะห์แสง หรือเรียกได้ว่าเป็นแบคทีเรีย ประเภท Cyanobacteria เนื่องจากเป็นสิ่งมีชีวิตพวก Prokaryote คือ นิวเคลียสไม่มีเยื่อหุ้ม เซลล์สไปรูลินามีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางประมาณ 1-12 ไมครอนเมตร เส้นผ่าศูนย์กลางของเกลียว (Helix) ตั้งแต่ 35-50 ไมครอนเมตร เซลล์สาหร่ายยังมีลักษณะที่ไม่มีเยื่อหุ้มนิวเคลียส (Prokaryote) กรดนิวคลีอิกกระจายอยู่ทั่วไปในเซลล์ ไม่มีพลาสติกหรือโครมาโตเฟออร์ ทำให้องค์ประกอบอยู่ทั่วไปในไซโตพลาสซึม ผนังเซลล์เป็นผนังหลายชั้น มีองค์ประกอบของสารมิวโคโปรตีน (Mucoprotein) และเพคติน (Pectin) โดยผนังเซลล์ประกอบด้วยเยื่อหุ้มชั้นนอก (Outer membrane) และเยื่อพลาสมา (Plasma membrane) ที่มีชั้นของ เปปติโดไกลแคน (Peptidoglycan) แทรกอยู่ระหว่างเยื่อทั้งสอง และมีเยื่อไทลาคอยด์ (Thylakoid membrane) ทำหน้าที่ในการสังเคราะห์แสง และเป็นแหล่งที่พบสารสี หรือ รงควัตถุสังเคราะห์แสงต่างๆ เช่น Chlorophyll – a, Carotenoids , Phycocyanin และ Allophycocyanin มี Gas vacuole ขนาดใหญ่อยู่ภายในไซโตพลาสซึม ทำให้สาหร่ายสามารถลอยตัวได้ดี (จกกล และขจรเกียรติ, 2548)

สไปรูลินา โปรตีน 65 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งมีระดับโปรตีนที่มากกว่าถั่วเหลือง ที่มีโปรตีนเพียง 37 เปอร์เซ็นต์ และโปรตีน สไปรูลินา มีปริมาณสูงกว่าเนื้อสัตว์ ประกอบด้วย GLA สูงกว่าพืชชนิดอื่นๆ ซึ่งกรดนี้มีคุณสมบัติช่วยลดไขมันในเลือด วิตามินเอ ซึ่งอยู่ในรูปของเบตาแคโรทีนมีบทบาทสำคัญในการลดอนุมูลอิสระ โดยเบตาแคโรทีนทำให้ร่างกายมีภูมิคุ้มกันโรคสูงเป็นสารต้านมะเร็งชนิดต่างๆเป็นแหล่งอาหารที่มีวิตามินอี วิตามินซี วิตามินบี 1, 6 และไนอาซินสูง โดยมีเกลียวแร่ที่จำเป็นต่อร่างกายอีกมากมาย นอกจากนี้เมล็ดสีในสาหร่าย สไปรูลินา ยังประกอบด้วยสีเขียวของคลอโรฟิลล์ สีน้ำเงินของไฟโคไซยานิน สีส้มของเบตาแคโรทีน และแซนโทฟิล มีรายงานวิจัยหลายเรื่องพิสูจน์ว่า คลอโรฟิลล์

หรืออนุพันธ์ มีผลต่อ การเจริญของแบคทีเรีย และสัตว์ การเผาผลาญอาหาร การหายใจ กระตุ้นการ สร้างเม็ดเลือดแดง การทำงานของฮอร์โมน และการกำจัดสารพิษออกจากร่างกาย (สุจินต์, 2547)

การเพาะเลี้ยงสาหร่าย *S. platensis* ในน้ำทิ้งจากบ่อหมักก๊าซชีวภาพมูลสุกร ที่ระดับความเข้มข้นของน้ำเสีย 50 % พบว่ามีโปรตีน 51 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักแห้ง , คาร์โบไฮเดรต 11.7 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักแห้ง และไขมัน 3.13 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักแห้ง และได้ผลผลิตของสาหร่าย โดยเฉลี่ยอยู่ระหว่าง 0.57 – 1 กรัมต่อลิตรโดยน้ำหนักแห้ง (จงกล, 2543) การเพาะเลี้ยง *Spirulina* sp. และ *Chlorella* sp. ในน้ำเสียจากโรงงานปุ๋ยเคมีในเมือง Nigeria ประเทศอังกฤษ คุณภาพน้ำทิ้งจากโรงงานปุ๋ยมี $\text{PO}_4\text{-P}$ 107 - 187 mg/l, $\text{NO}_2\text{-N}$ 3 mg/l, SO_4 146 mg/l, pH 7.4- 8.5 และ Conductivity 700 – 2,457 $\mu\text{S/cm}$ เพาะเลี้ยงในอัตราน้ำเสียต่อน้ำกลั่น 50 : 50 ทำการเพาะเลี้ยง 21 วัน ได้ผลดังนี้ *Chlorella* sp. และ *Spirulina* sp. เจริญได้ดีที่ pH 7.4 pH 8.3 ได้ผลผลิต 6.1 mg/ml., 2.7 mg/ml. ได้เปอร์เซ็นต์ของ Nitrogen 8.5 % และ 11 % ของน้ำหนักแห้งตามลำดับ *Chlorella* , มีไขมัน 9.5 % ของน้ำหนักแห้ง (Anaga et al., 1996)

ประโยชน์ของ *S. platensis* ไปใช้ในการเพาะเลี้ยงสัตว์มักใช้สาหร่ายที่มีกรดต่ำ โดยเฉพาะอย่างยิ่งสัตว์น้ำ เพื่อเร่งสัตว์ให้มีสีจัดและสวยงาม เนื่องจากมีสารสีเบต้าแคโรทีน (beta-carotene) ลูทีน (Lutein) และซีอาแซนทิน (Zeaxanthin) นอกจากนี้กรดไขมันที่มีประโยชน์และคาร์ทีนอยด์จากสาหร่ายจะใช้เป็นสารตั้งต้นในการสังเคราะห์วิตามินเอ และฮอร์โมนในประเทศญี่ปุ่น นิยมนำสาหร่าย *Spirulina* ไปเลี้ยงปลาคาร์ฟ ซึ่งเป็นปลากินพืชที่มีความสามารถในการเปลี่ยนแปลงสารสีลูทีน (Lutein) และซีอาแซนทิน (Zeaxanthin) จากอาหารให้เป็นแอสตาแซนทิน (Astaxanthin) ซึ่งมีผลทำให้ปลามีสีแดงสวยงาม ดังนั้นสาหร่าย *Spirulina* ที่มีสารเหล่านี้อยู่มาก จึงนิยมนำมาใช้ในการเร่งสีลำตัวของปลา นอกจากนี้ยังมีการใช้ *Spirulina* สดผสมอาหารเลี้ยงปลาตะเพียนขาว และปลาดุกอุย เพื่อเสริมโปรตีนมากกว่าเพื่อใช้ในการเร่งสี และมีการใช้เป็นอาหารสัตว์ เพราะจะไปเพิ่มสีของไข่แดง เนื้อไก่ และสัตว์อื่นได้ (Venkataraman , 1983) จากการวิจัยเลี้ยงปลาแพนซีคาร์ฟโดยสูตรอาหาร 3 ชนิด คือ อาหารเม็ดสำเร็จรูป , *S. platensis* ในรูปสาหร่ายแห้ง และ *S. platensis* ในรูปสาหร่ายสด พบว่า ปลาแพนซีคาร์ฟ ที่เลี้ยงโดยสาหร่ายแห้ง และสาหร่ายสดสามารถเพิ่มอัตราการเจริญเติบโตต่อวัน อัตราการรอดตาย อัตราน้ำหนักที่เพิ่มขึ้น และสารแคโรทีนอยด์ที่สะสมในเนื้อปลาได้ดีกว่าอาหารสำเร็จรูปอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 95% (จงกลและคณะ, 2546)

จากการศึกษาปลาในธรรมชาติพบว่า ปลาจะเริ่มมีการสะสมแคโรทีนอยด์มากในช่วงการวางไข่ ทั้งแอสตาแซนทิน และแคนตาแซนทิน จะมีการถ่ายทอดมาทางรังไข่ของเพศเมีย ส่วนในเพศผู้ก็จะมีการสะสมแคโรทีนอยด์ เพื่อเพิ่มสีที่ผิวในช่วงการสืบพันธุ์ เพื่อเป็นการดึงดูดความสนใจจากเพศเมีย และยังพบการสะสมแคโรทีนอยด์ที่เนื้อเยื่อและตับด้วย แคโรทีนอยด์ยังมีบทบาทสำคัญที่ทำให้การ

พัฒนาของปลาในระยะวัยอ่อนเป็นไปอย่างปกติ มีรายงานว่าแอสตาแซนทินที่พบในไข่จะทำหน้าที่คล้ายฮอร์โมนในการกระตุ้นให้เกิดการปฏิสนธิของปลา Rainbow Trout นอกจากนี้ยังทำให้เชื้ออสุจิของปลาเกิดพฤติกรรม Chemotaxis เพิ่มขึ้น มีรายงานว่าการใช้แอสตาแซนทินเสริมในอาหารจะสามารถเพิ่มการเจริญเติบโต อัตราการสมบูรณ์เพศ และความคงของไข่ในปลา Rainbow Trout และความสัมพันธ์ระหว่างเม็ดสีของไข่กับอัตราการตายในช่วงพัฒนาตัวอ่อน โดยจะทำให้ตัวอ่อนมีความทนทานต่อสภาพที่มีออกซิเจนต่ำ อุณหภูมิและแอมโมเนียในระดับสูง ๆ ได้ดี (ชลธิชา, 2541)

สารคาโรทีนอยด์ทำหน้าที่ให้สีแก่สัตว์หลายชนิด มีประโยชน์ในการอำพรางกำบังตัว Astaxanthin และ β -carotene ยังเป็นสารตั้งต้นในการผลิตวิตามินเอ ในสัตว์ปีกและปลา จากการศึกษาพบว่า Astaxanthin สามารถป้องกันการเหม็นหืนของไขมันได้ดีกว่า เบตา-คาโรทีนถึง 10 เท่า และสูงกว่า วิตามินอี ถึง 100 เท่า นอกจากนี้ยังมีประโยชน์ในการกระตุ้นการสร้างภูมิคุ้มกันโรค และเป็นการเพิ่มสีของเนื้อปลา Salmon (กุศล , 2541)

มีการใช้สาหร่าย *S. platensis* สดอนุบาล และเลี้ยงปลานิลแดงจนถึงระยะวางไข่ พบว่า ปลานิลมีอัตราการผสมพันธุ์ อัตราการฟักออกเป็นตัว และอัตราการรอดของลูกปลาสูงกว่า การใช้อาหารปลาทั่วไป และสาหร่าย *S. platensis* สดทำให้เนื้อปลา มีกรดไขมันจำพวก linoleic acid , Gamma-linolenic acid และ $\Sigma n - 6$ สูงกว่าเนื้อปลาที่เลี้ยงในอาหารทั่วไป (Lu and Toshio, 2003) คาโรทีนอยด์เป็นรงควัตถุเสริมซึ่งพบในสาหร่ายทั่วไป ประกอบด้วยคาโรทีน (carotene) และแซนโทฟิลล์ (xanthophyll) ซึ่งเป็นที่ยอมรับกันมาแล้วว่าคาโรทีนกลุ่มเบต้าคาโรทีน (β -carotene) จัดเป็นสารตั้งต้นของวิตามินเอ และเป็นสารต้านอนุมูลอิสระ (antioxidant) ป้องกันการเกิดโรคมะเร็ง ลดการเกิดต้อกระจกและการเสื่อมของเรตินา (retina) ในปัจจุบันมีการนำคาโรทีนอยด์มาใช้ผสมอาหารของสัตว์น้ำ กระตุ้นการเกิดสีในปลา การเกิดสีในไก่และไข่แดง ใช้ในอุตสาหกรรมเครื่องสำอาง และใช้เป็นสีผสมอาหารแทนสีสังเคราะห์ (Del Campo *et al.*, 2002)

การศึกษาลักษณะของการใช้ สไปรูลิน่าสด (raw *Spirulina*; RS) ต่อการเติบโต และการกระตุ้นการสร้างภูมิคุ้มกันในลูกปลานิลแดง ในบ่อดินขนาด 5 x 5 X 1 ตารางเมตร ใช้ลูกปลานิลแดงความยาว 0.60-0.70 เซนติเมตร/ตัว น้ำหนัก 0.02 ± 0.001 - 0.03 ± 0.001 กรัม/ตัว อัตราการปล่อย 500 ตัว/ตารางเมตร แบ่งการทดลอง เป็น 4 หน่วยทดลองๆละ 3 ซ้ำ ดังนี้ T_1 ให้อาหารผง (powder feed; PF) 10%/น้ำหนักตัวปลา/วัน T_2 60%RS/น้ำหนักตัวปลา/วัน T_3 80%RS/น้ำหนักตัวปลา/วันและ T_4 100%RS/น้ำหนักตัวปลา/วัน เก็บข้อมูลทุกๆ 15 วันให้ออกซิเจนในเวลากลางคืน ระยะเวลา 90 วัน พบว่า ลูกปลาที่อนุบาลด้วย 100%RS มีอัตราการรอด และภูมิคุ้มกัน สูงกว่าลูกปลาที่อนุบาลด้วย 80%RS, 60%RS และ 10%PF อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% สรุปได้ว่า การใช้ สไปรูลิน่าสด เป็น

อาหารอนุบาลลูกปลานิลแดงมีผลทำให้ อัตราการรอด ภูมิคุ้มกัน จำนวนเม็ดเลือดแดง เม็ดเลือดขาว เพิ่มขึ้น (จงกล และคณะ., 2551)

วัตถุประสงค์ของโครงการ

งานวิจัยประกอบด้วย 2 ระยะ (phase) โดยระยะที่ 1 ปีที่ 1 (งบประมาณปี 2551) การเพาะเลี้ยงสาหร่าย *S. platensis* ในระดับห้องปฏิบัติการ บ่อพลาสติกกลางแจ้ง แบบ raceway pond บ่อซีเมนต์ขนาดใหญ่แบบ raceway pond และการนำสาหร่าย *S. platensis* สด และแห้งใช้ในการอนุบาลลูกปลาแพนซีครีฟ ระยะที่ 2 ปีที่ 2 (งบประมาณปี 2552) การเพาะเลี้ยงสาหร่าย *S. platensis* ในบ่อซีเมนต์กลางแจ้งขนาดใหญ่แบบ raceway pond และ การนำสาหร่าย *S. platensis* สดและแห้งไปเลี้ยงปลาแพนซีครีฟ เพื่อทดแทนโปรตีนจากอาหารจากแหล่งอื่นๆ และเป็นการพยายามเพิ่มสปีลาและความดกของไข่ปลา แพนซีครีฟ โดยมีวัตถุประสงค์เฉพาะดังนี้

ระยะที่ 1 ปีที่ 1 (งบประมาณปี 2551)

1. ศึกษาองค์ประกอบทางเคมี และปัจจัยทางกายภาพของน้ำทิ้งจากโรงอาหาร ที่มีความเหมาะสมต่อการเติบโตของสาหร่ายในระดับห้องปฏิบัติการ
2. ศึกษาการเพาะเลี้ยงด้วยน้ำทิ้งจากโรงอาหาร และสูตรอาหารมาตรฐานในระดับห้องปฏิบัติการ
3. ศึกษาอัตราการเพิ่มของผลผลิตเบื้องต้นและมวลชีวภาพของสาหร่าย และ วิเคราะห์คุณค่าโภชนาการและคุณภาพน้ำทางกายภาพ-เคมี จากการเพาะเลี้ยงสาหร่ายด้วยน้ำทิ้งจากโรงอาหาร แบบ หมวมวลในบ่อซีเมนต์
4. เพื่อ ศึกษาอัตราการเพิ่มของผลผลิตเบื้องต้น และมวลชีวภาพ เพื่อเปรียบเทียบคุณค่าทางโภชนาการ และปริมาณ beta-carotene, C-phycoerythrin และ γ -Linolenic acid ของสาหร่าย
5. ศึกษาการใช้สาหร่าย เพื่อเป็นอาหารในการอนุบาลลูกปลาแพนซีครีฟ ในรูปสาหร่ายสดและแห้ง เปรียบเทียบกับอาหารที่เลี้ยงปลาในท้องตลาด และเปรียบเทียบการเจริญเติบโต (growth) ปริมาณ คาโรทีนอยด์ และ สีของปลา เมื่อใช้สาหร่าย
6. วิเคราะห์ปริมาณ คาโรทีนอยด์ และสี ของปลา เมื่อเลี้ยงด้วยสาหร่าย

ระยะที่ 2 ปีที่ 2

1. การเพาะเลี้ยงสาหร่าย *Spirulina* ด้วยน้ำทิ้งจากโรงอาหาร แบบ หมวมวลในบ่อซีเมนต์

2. ศึกษาการใช้สาหร่าย *Spirulina* ทั้งสดและแห้ง ในการเคลือบอาหารใช้เลี้ยงปลาแพนซีคาร์ฟ โดยหาสัดส่วนที่เหมาะสมของสาหร่าย ในอาหารเลี้ยงปลา และเปรียบเทียบอัตราการเติบโต (growth rate) ของปลาเมื่อใช้สาหร่ายทดแทน
3. วิเคราะห์ปริมาณ รงควัตถุ คาโรทีนอยด์ เพิ่มการเจริญเติบโต ดัชนีการเจริญพันธุ์ และสร้างระบบภูมิคุ้มกันโรค ให้แก่ ปลาแพนซีคาร์ฟ เมื่อเลี้ยงด้วยสาหร่าย
4. ประเมินต้นทุน
5. จัดทำเอกสารเผยแพร่สู่เกษตรกรและผู้สนใจทั่วไป
6. พ่อแม่ พันธุ์ปลาแพนซีคาร์ฟที่ได้ทำการเพาะเลี้ยงในการของบประมาณปีต่อไป

วันเวลา และสถานที่ทำการทดลอง

ระหว่าง เดือน มกราคม 2551 ถึง เดือน สิงหาคม 2553 คณะเทคโนโลยีการประมง และทรัพยากรทางน้ำ มหาวิทยาลัยแม่โจ้

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. มีการเผยแพร่วิชาการจากการวิจัย ในการประชุมวิชาการ และวารสารการต่างๆ
2. ทำการจดสิทธิบัตรสูตรอาหาร ในการเลี้ยงปลาสวยงาม
3. ได้องค์ความรู้ในการ เพาะเลี้ยงสาหร่าย แบบหมวมวลในบ่อซีเมนต์โดยใช้น้ำทิ้ง จากโรงอาหาร
4. ทราบประสิทธิภาพในการผลิตคาโรทีนอยด์และคุณค่าทางโภชนาการ ของสาหร่าย เมื่อเลี้ยงในสูตรอาหารต่างกัน
5. สามารถนำสาหร่ายไป อนุบาล และเลี้ยงปลาแพนซีคาร์ฟ ได้ผลดีต่ออัตราการเติบโต เพิ่มปริมาณคาโรทีนอยด์ และสีปลา ลดต้นทุน และเพิ่มประสิทธิภาพในการผลิต นำไปสู่การผลิตเชิงพาณิชย์ สร้างผลดีในทางเศรษฐกิจต่อประชาชน และภาคธุรกิจของประเทศต่อไป
6. เอกสาร ข้อมูล เผยแพร่สู่เกษตรกรและผู้สนใจทั่วไป

อุปกรณ์และวิธีการวิจัย (Materials and Methods)

อุปกรณ์ในการวิจัย

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

วิธีการวิจัย ระยะที่ 1 ปีที่ 1 (2551)

1. การศึกษาองค์ประกอบทางกายภาพ-เคมีของน้ำทิ้งจากโรงอาหาร ต่อการเติบโตของสาหร่ายระดับห้องปฏิบัติการ

- 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) ปรับปรุงของจงกล, 2548 หรือ ค่าอัตราส่วนของไนโตรเจน และฟอสฟอรัส (N:P) เท่ากับ 8:1 รวมทั้งให้ค่า $\text{NH}_3\text{-N}$ ที่สาหร่ายต้องการ อยู่ระหว่าง 1.3 – 6.5 mg / l (Chung, 1978) 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. ศึกษาการเพาะเลี้ยงสาหร่ายด้วยน้ำทิ้งจากโรงอาหาร และสูตรอาหารมาตรฐานในระดับห้องปฏิบัติการ และบ่อพลาสติก แบบ raceway pond กลางแจ้ง

1) เตรียมหัวเชื้อ (inoculum) สาหร่าย

- เพาะเลี้ยงเริ่มแรกในปิ๊งเกอร์ ใช้อาหาร 2 ชนิด คือ น้ำทิ้งจากโรงอาหาร ในระดับความเข้มข้นต่างๆ กัน (ข้อ 1) และเพาะเลี้ยงในสูตรอาหาร MZm ปรับปรุง ของจงกล, 2548 ระยะเวลา ไม่น้อยกว่า 2 เดือน และย้ายสาหร่ายไปเพาะเลี้ยงในตู้กระจกต่อไป

2) เพาะเลี้ยงสาหร่าย ในบ่อพลาสติก ระยะเวลา ไม่น้อยกว่า 1-2 เดือน

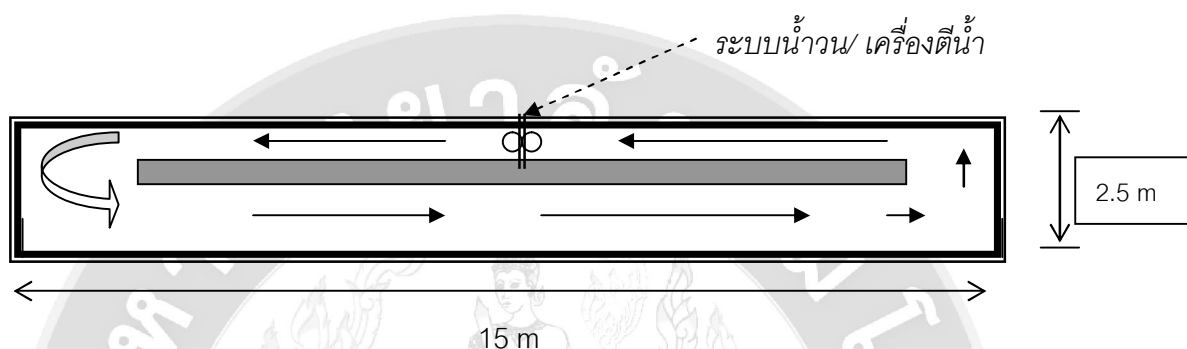
เพาะเลี้ยงสาหร่ายในสูตรอาหาร MZm และ ในน้ำทิ้งระดับความเข้มข้น 100 และ 90% ซึ่งเป็นสูตรอาหารที่ทำให้ผลผลิตของสาหร่ายสูง ที่ได้จากการเพาะเลี้ยงในข้อ 1 เพื่อศึกษาปริมาณสารอาหาร และหาระดับความเข้มข้นของน้ำทิ้งที่เหมาะสมต่อการเติบโตของสาหร่ายโดยเพาะเลี้ยงในบ่อพลาสติก แบบ raceway pond ปริมาตรน้ำ 100 ลิตร มีน้ำไหลเวียนตลอดเวลา

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

ระยะที่ 2 ปีที่ 1 (2551)

3. เพาะเลี้ยงสาหร่ายด้วยน้ำทิ้งจากโรงอาหารครัวเรือน แบบหมวมวลในบ่อซีเมนต์

- เพาะเลี้ยงสาหร่ายด้วยน้ำทิ้ง 100% เลือกระดับความเข้มข้นของน้ำทิ้งที่เหมาะสมต่อการเติบโตของ สาหร่ายใน ระยะที่ 1 (ข้อ 2) มาเพาะเลี้ยงในบ่อซีเมนต์แบบ raceway pond ขนาด กว้าง ยาว และสูง เท่ากับ $2.5 \times 15 \times .60$ m มีน้ำไหลเวียนตลอดเวลา ดังรูปข้างล่าง การเพาะเลี้ยง เป็นเวลา 2 ปี



เก็บผลผลิตมวลชีวภาพ ทุก 1 สัปดาห์ เพื่อหา อัตราการเติบโตของสาหร่าย และนำไปเป็นอาหารในการอนุบาลปลาต่อไป

4. การนำสาหร่าย มาอนุบาลลูกปลาแพนซีครีฟ ในปีที่ 1 (ปีงบประมาณ 2551)

การทดลองมี 3 ชุด ๆ ละ 3 ซ้ำ ในบ่อซีเมนต์กลมขนาด เส้นผ่าศูนย์กลาง 1 m. x สูง 0.5 m. จำนวน 9 บ่อใช้สาหร่าย สด และแห้ง ตามสัดส่วน ดังนี้

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

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

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

หมายเหตุ ผลผลิตสาหร่ายสไปรูลิน่าสด 10 ส่วนจะได้ผลผลิต สไปรูลิน่าผง 1 ส่วน

- นำลูกปลาลอยตามแผนการทดลอง โดยอัตราการปล่อยปลาอายุ 7 วัน อัตราประมาณ 500 ตัว/ 1 ตารางเมตร ใช้ระยะเวลาในการอนุบาลทดลอง 4 เดือน
- ให้อาหารวันละ 2 มื่อ เช้า-เย็น จดบันทึกปริมาณอาหารที่ให้แต่ละวัน

- จัดบันทึกน้ำหนักปลาและจำนวนปลาตั้งแต่ 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

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

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

(การเก็บข้อมูลในข้อ 1- 4 จัดทำทุกๆ 1 เดือน)

5. วิเคราะห์ค่าโรตินอยด์ และสืบพันธุ์ปลาก่อนและหลังการทดลอง (Simonne *et al.*, 1996)

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

5. การนำสาหร่าย มาเป็นอาหารเลี้ยงปลาแฟนซีแครฟ ปีที่ 2 (ปีงบประมาณ 2552)

1. การเตรียมอนุภรณ์ มีบ่อดินขนาด 25 x 30 x 1 เมตร จำนวน 1 บ่อ ทำความสะอาดบ่อและใส่ปูนขาว 50-100 กก./ไร่ ทิ้งไว้ประมาณ 7 วัน และเติมน้ำจากบ่อพักน้ำ ให้ระดับน้ำในบ่อสูง 1 เมตร ใส่ปุ๋ยคอก 250 กก./ไร่ เพื่อให้เกิดแพลงก์ตอนในบ่อ จากนั้นทำกระชังพลาสติก ขนาด 2 x 2 x 1 เมตร จำนวน 12 บ่อ ทำเปลยนน้ำในบ่อดินดังกล่าว ให้ก้นกระชังอยู่เหนือพื้นบ่อ ประมาณ 0.20 เมตร และให้พื้นที่กระชังอยู่ในน้ำประมาณ 0.80 เมตร และติดตั้งอุปกรณ์ให้อากาศ โดยให้อากาศตอนกลางวัน และวันที่อากาศปิด

2. การเตรียมสัตว์ทดลอง ลูกปลาแฟนซีแครฟ จำนวน 1,500 ตัว จากคณะเทคโนโลยีการประมงฯ มหาวิทยาลัยแม่โจ้ ใช้ปลาน้ำหนักเฉลี่ยต่อตัว 10-11 กรัม มาเลี้ยงในกระชังพื้นที่ 5 x 6 x 0.80 เมตร และให้อากาศ เพื่อให้ปลาคู่คุ้นเคยกับอาหารทดลอง 2 สัปดาห์ โดยใช้อาหารสูตรควบคุม ที่ใช้ใน

การทดลองนี้ (อาหารสูตรที่ 1) ให้อาหารวันละ 2 ครั้ง คือเวลา 8.30 น. และ 16.30 น. สังเกตพฤติกรรม การยอมรับอาหาร และนำลูกปลาตรวจสอบสุขภาพ ไม่มีโรคใดๆ จากนั้นจึงคัดขนาดให้ใกล้เคียงกัน และนำมาเลี้ยงในกระชังทดลอง (ข้อที่ 1) กระชังขนาด 2 x 2 x 1 เมตร จำนวน 120 ตัว/ กระชัง

3. การเตรียมสาหร่ายสไปรูลิน่า นำหัวเชื้อ สไปรูลิน่า เพาะเลี้ยงขยายในบ่อ raceway pond ขนาด 2.5 x 15 x 0.20 เมตร ความหนาแน่นของ เซลล์สาหร่ายเริ่มต้นที่ค่า OD เท่ากับ 0.30 โดยวัด จากเครื่อง Spectrophotometer รุ่น DR 2000 ที่ค่า optical density (OD) ที่ความยาวคลื่นแสง 560 นาโนเมตร เมื่อเพาะเลี้ยงประมาณ 10 วัน ค่า OD เท่ากับ 0.8-1 เก็บเกี่ยวผลผลิตของสาหร่ายในรูปสด และสาหร่ายแห้งทุกๆ 10 วัน นำไปเป็นอาหารปลา (จงกล และขจรเกียรติ, 2548)

4. การเตรียมอาหารทดลอง อาหารปลาทั่วไป ซึ่ง เป็นอาหารสำเร็จรูป โปรตีนในอาหาร 30 % ที่ซื้อ จากร้านขายอาหารสัตว์ และ สาหร่ายสไปรูลิน่าสด และแห้ง นำมาเตรียมสูตรอาหารดังนี้

หน่วยทดลองที่ 1 อาหารปลาทั่วไปโปรตีน 30%(Basal diets; BD) ไม่ผสมสาหร่าย ให้อาหาร 5-10%/น้ำหนักตัวปลา/วัน

หน่วยทดลองที่ 2 อาหารทั่วไปโปรตีน 30% (BD)+สาหร่ายสด (raw *Spirulina*; RS) ให้อาหาร 5-10%/น้ำหนักตัวปลา/วัน

หน่วยทดลองที่ 3 อาหารทั่วไปโปรตีน 30% (BD)+สาหร่ายผง (powder *Spirulina*; PS) ให้ อาหาร 5-10%/น้ำหนักตัวปลา/วัน

นำอาหารปลา มาวิเคราะห์องค์ประกอบทางอาหาร ได้แก่ โปรตีน ไขมัน เยื่อใย เถ้า ความชื้น คาร์โบไฮเดรต ปริมาณ C- phycocyanin และ ปริมาณแคโรทีนอยด์ ตามวิธีของ (AOAC, 1990; Jauncey and Ross, 1982 ; Berns *et al.*, 1963) ดังแสดงในตาราง 1

ตารางที่ 1 คุณค่าทางโภชนาการของ อาหารปลาก่อนการทดลอง (เทียบโดยน้ำหนักแห้ง)

หน่วยทดลอง	โปรตีน(%)	ไขมัน(%)	เยื่อใย (%)	ความชื้น (%)	เถ้า (%)	คาร์โบไฮเดรต (%)	phycocyanin (mg/g)	แคโรทีนอยด์ (ug/g)
อาหารปลา ทั่วไป โปรตีน 30%	30.00±0.27 ^{ns}	8.92±0.11 ^a	4.46±0.44 ^a	6.08±0.51 ^b	8.88±0.16 ^a	41.65±0.63 ^b	0.72±0.05 ^c	4.08±0.88 ^c
อาหารทั่วไป โปรตีน 30% + สาหร่ายสด	30.00±0.27 ^{ns}	6.96±0.29 ^b	3.48±0.27 ^b	11.35±1.09 ^a	7.59±0.3 ^b	40.72±0.33 ^b	2.21±0.08 ^b	29.00±1.00 ^b
อาหารทั่วไป โปรตีน 30% + สาหร่ายแห้ง	30.00±0.27 ^{ns}	6.75±0.25 ^b	2.83±0.16 ^c	5.11±0.68 ^b	6.44±0.17 ^c	48.90±0.79 ^a	3.19±0.16 ^a	31.70±0.90 ^a

หมายเหตุ ค่าเฉลี่ยแต่ละปัจจัยมีความแตกต่างทางสถิติ ($p < 0.05$) ใน แนวตั้ง (a มากกว่า b, c และ d) ส่วน ns ไม่แตกต่างกัน

5. แผนการทดลอง และการเก็บรวบรวมข้อมูล วางแผนการทดลองแบบสุ่มตลอด (Completely randomized design; CRD) โดยแบ่งการทดลองเป็น 3 ชุดการทดลองๆ ละ 3 ซ้ำ (ดังข้อ 4) เริ่มจากสุ่มปลาในกระชังที่ปักปลาไว้ (ในข้อ 2) ปลอยลงในกระชังทดลองขนาด $2 \times 2 \times 1$ เมตร จำนวน 12 กระชัง อัตราการปล่อย 120 ตัว/ กระชัง โดยที่มีน้ำหนักเฉลี่ย $10.33 \pm 1.53 - 11.33 \pm 1.16$ กรัม/ตัว ให้อาหารทดลอง วันละ 2 ครั้ง คือเวลา 8.30 น. และ 16.30 น. ให้ปลากินอาหารตามแผนการทดลองข้อ 4 บันทึกปริมาณอาหารที่ปลากินทุกวัน ตลอดการทดลอง 12 เดือน และตรวจคุณภาพน้ำ ทุก 30 วัน เพื่อควบคุมคุณภาพน้ำให้เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของปลา ตามวิธีของ Boyd and Tucker (1992) ได้แก่ อุณหภูมิของน้ำ ค่าความเป็นกรด - ด่าง (pH) ค่าออกซิเจนละลายน้ำ (dissolved oxygen ; DO) ค่าแอมโมเนีย-ไนโตรเจน ($\text{NH}_3\text{-N}$) ค่าไนเตรต-ไนโตรเจน ($\text{NO}_3\text{-N}$) และออร์โธฟอสเฟต-ฟอสฟอรัส ($\text{PO}_4\text{-P}$)

6. การเก็บรวบรวมข้อมูล และวิเคราะห์ข้อมูล

6.1 การตรวจสอบพฤติกรรม และลักษณะที่แสดงออกภายนอก ในขณะที่ทำการทดลอง สังเกตลักษณะภายนอกทั่วไปของปลาทุกชุดทดลอง เพื่อติดตามสุขภาพของปลา การกินอาหารของปลา และ ความสะอาดของน้ำ ในบ่อโดยเปลี่ยนถ่ายน้ำครั้งละ 20% ของปริมาตรน้ำทั้งหมด

6.2 การศึกษาการเติบโตของปลา ชั่งน้ำหนักปลาทุก 30 วัน เพื่อทราบน้ำหนักที่เพิ่มขึ้น โดยการสุ่มปลามา 20-30 ตัว แล้วหาค่าเฉลี่ย เก็บข้อมูลนำไปประเมินค่า อัตราการเจริญเติบโต (Average daily growth; ADG) น้ำหนักเพิ่มขึ้น (weight gain) อัตราการเจริญเติบโตจำเพาะ (specific growth rate; SGR) อัตราการรอด (survival rate) อัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อ (feed conversion ratio; FCR) ประสิทธิภาพการใช้โปรตีน (protein efficiency ratio; PER) ดัชนีการเจริญพันธุ์ และต้นทุนการผลิตลูกปลา นำข้อมูลที่ได้มาหาค่าเฉลี่ยใน แต่ละค่า ใช้ในการคำนวณ ดังนี้

1.1 อัตราการเจริญเติบโต (Average daily growth; ADG; กรัม/ตัว/วัน)

$$= \frac{\text{น้ำหนักปลาเมื่อสิ้นสุดการทดลอง} - \text{น้ำหนักปลาเมื่อเริ่มทดลอง}}{\text{จำนวนวันที่ทำการทดลอง}}$$

1.2 อัตราน้ำหนักเพิ่มขึ้น (%) = $\frac{\text{น้ำหนักสุดท้าย} - \text{น้ำหนักเริ่มต้น}}{\text{น้ำหนักเริ่มต้น}} \times 100$

1.3 อัตราการเจริญเติบโตจำเพาะ specific growth rate (SGR) %/วัน เท่ากับ

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

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

จำนวนปลาเริ่มต้น

1.5 อัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อ (feed conversion rate; FCR)

$$FCR = \frac{\text{น้ำหนักอาหารที่ให้ (g)}}{\text{น้ำหนักปลาที่เพิ่มขึ้น (g)}}$$

1.6 ประสิทธิภาพการใช้โปรตีน (protein Efficiency Ratio; PER)

$$PER = \frac{\text{น้ำหนักปลาที่เพิ่มขึ้น}}{\text{ปริมาณโปรตีนที่กิน}}$$

1.7 ดัชนีการเจริญพันธุ์ (%GSI) = $\frac{\text{น้ำหนักอวัยวะสืบพันธุ์}}{\text{น้ำหนักตัว}} \times 100$

1.8 ต้นทุนในการผลิตปลา = ราคาอาหารปลา + ต้นทุนพันธุ์ปลา

6.3 การวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของอาหารปลา

สุ่มตัวอย่างอาหารใน (ข้อที่ 4) ไปผ่านกระบวนการทำแห้ง โดยนำไปอบ ที่อุณหภูมิ 60 °C นาน 48 ชั่วโมง นำไปวิเคราะห์ โปรตีน ไขมัน เยื่อใย เถ้า ความชื้น คาร์โบไฮเดรต ปริมาณ C- phycocyanin และ ปริมาณแคโรทีนอยด์ ตามวิธีของ (AOAC, 1990; Jauncey and Ross, 1982 ;Berns *et al.*, 1963) ดังแสดงในตาราง 1

6.4 การกระตุ้น ภูมิคุ้มกันแบบไม่จำเพาะ

การศึกษาความสามารถในการกระตุ้นภูมิคุ้มกันแบบไม่จำเพาะ ทดสอบการทำงานของ lysozyme activity assay ตามวิธีของ Sarder *et al.* (2001) นำเลือดเพื่อ แยกซีรัม เปรียบเทียบกับ ซีรัมปลา ที่ไม่ได้รับอาหารผสมสำหรับ *S. platensis* (ชุดควบคุมที่เป็นลบ) และซีรัม ที่ได้รับการกระตุ้นโดยการให้วัคซีนเชื้อตาย (ชุดควบคุมที่เป็นบวก) โดยการใช้เชื้อที่ระเหิดแห้งของ *Micrococcus* (0.2 ม.ก./ม.ล.) ในน้ำเกลือความเข้มข้น 0.04 M (pH 5.75) เป็นสารตั้งต้น (substrate) แล้วเติมซีรัมของปลาจำนวน 40 ไมโครลิตรในเชื้อแบคทีเรีย 3 มิลลิตร วัดความขุ่น ที่ลดลงที่ 540 นาโนเมตร หลังจากมีการวางทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้อง 0.5 และ 5 นาที หนึ่งหน่วยของ lysozyme activity หมายถึงการลดลงของความขุ่น 0.001 ต่อนาที

7. การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

เปรียบเทียบผลของการใช้สารสำหรับสด ต่อ อัตราการเจริญเติบโต น้ำหนักเพิ่มขึ้น อัตราการเจริญเติบโตจำเพาะ ประสิทธิภาพการใช้โปรตีน อัตราการรอดตาย ดัชนีการเจริญพันธุ์ ต้นทุนอาหาร ในการผลิตลูกปลา ปริมาณแคโรทีนอยด์ ปริมาณ C-phycocyanin องค์ประกอบทางเคมีของอาหาร จำนวนเม็ดเลือดแดง เม็ดเลือดขาว และภูมิคุ้มกันแบบไม่จำเพาะของลูกปลา และ คุณภาพน้ำทางกายภาพ และเคมี แต่ละหน่วยทดลอง โดยการวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) เพื่อศึกษาความ

แตกต่างระหว่าง Treatment โดยวิธี Duncan's Test ที่ระดับนัยสำคัญทางสถิติ $p \leq 0.05$ โดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป SPSS

ผลการวิจัย (Results) ในปีที่ 1 (งบประมาณปี 2551)

การทดลองเลี้ยงสาหร่ายสไปรูลินาในตู้กระจก บ่อพลาสติกแบบ raceway pond และบ่อซีเมนต์ แบบ raceway pond รวมทั้งการนำสาหร่ายไปอนุบาลลูกปลา ในบ่อซีเมนต์กลม

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

1. การศึกษาองค์ประกอบทางกายภาพ-เคมี ของน้ำทิ้งจากโรงอาหาร มหาวิทยาลัยแม่โจ้
2. การศึกษาการเพาะเลี้ยงสาหร่าย ด้วยน้ำทิ้งจากโรงอาหาร และสูตรอาหารมาตรฐานในระดับห้องปฏิบัติการ
3. เพาะเลี้ยงสาหร่ายด้วยน้ำทิ้งจากโรงอาหาร ในบ่อพลาสติกแบบ raceway pond และ บ่อซีเมนต์แบบ raceway pond ผลิตสาหร่ายแบบมหมวล
4. ทดลองการใช้สาหร่ายสไปรูลินา เป็นอาหารอนุบาลลูกปลาแฟนซีครีฟ
5. ทดลองการใช้สาหร่ายสไปรูลินา เป็นอาหารเลี้ยงปลาแฟนซีครีฟ
6. การดำเนินงานวิจัยที่ได้ ไปถ่ายทอดให้เกษตรกร และผู้สนใจ

1. ผลการศึกษาองค์ประกอบทางกายภาพ-เคมีของน้ำทิ้งจากโรงอาหาร มหาวิทยาลัยแม่โจ้

ผลการศึกษาคุณภาพน้ำทางกายภาพ และเคมีบางประการของน้ำทิ้งจากโรงอาหารที่ผ่านการกรองและพักไว้ 2 สัปดาห์ แสดงใน ตารางที่ 2

ตารางที่ 2 คุณภาพน้ำ ของน้ำทิ้งจากโรงอาหาร ที่ผ่านการกรอง และพักไว้ 2 สัปดาห์

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

ผลการศึกษาคคุณภาพของน้ำทิ้งจากโรงอาหาร พักไว้ 2 สัปดาห์ ที่ผ่านการกรอง พบว่า

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

2. การเพาะเลี้ยงสาหร่ายสไปรูลิน่าด้วยน้ำทิ้งจากโรงอาหาร และสูตรอาหารมาตรฐาน ในตู้กระจก ในระดับห้องปฏิบัติการ

การเพาะเลี้ยงสไปรูลิน่าในตู้กระจก ด้วยสูตรอาหาร Modified Zarrouk 's medium (MZm) ปรับปรุง ของจกกล และขจรเกียรติ (2548) ซึ่งเป็นสูตรอาหารควบคุม และน้ำทิ้งจากโรงอาหารที่ระดับความเข้มข้น 10%, 20%, 30%, 40%, 50%, 60%, 70%, 80%, 90% และ 100% เป็นระยะเวลา 30 วัน การเปลี่ยนแปลงของคุณภาพน้ำ มีรายละเอียดดังนี้ (ภาพที่ 3-10)

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

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

น้ำทิ้งความเข้มข้น 100%

น้ำทิ้งจากโรงอาหาร Cw100% พบว่า มีอุณหภูมิของน้ำ 21.00-26.10 °C, pH 8.53-9.63, DO 0.15-7.41 mg/ L, NH₃-N 0.14-7.09 mg/ L, NO₂-N 0.002-0.340 mg/ L, NO₃-N 0.021-3.90 mg/ L, TKN 0.66-16.43 mg/ L, TN 0.695-20.241 mg/ L และ TP 1.480-4.380 mg/ L

น้ำทิ้งความเข้มข้น 90%

น้ำทิ้งจากโรงอาหาร Cw90% พบว่า มีอุณหภูมิของน้ำ 21.9-26.00 °C, pH 8.72-9.12, DO 0.24-7.82 mg /L, NH₃-N 0.116-6.38 mg/ L, NO₂-N 0.002-0.306 mg/ L, NO₃-N 0.009-3.760 mg/ L,TKN 0.594-14.790 mg/ L, TN 0.626-18.218 mg/ L และ TP 1.320-3.940 mg/ L

น้ำทิ้งความเข้มข้น 80%

น้ำทิ้งจากโรงอาหาร Cw80% พบว่า มีอุณหภูมิของน้ำ 21.6-25.90 °C, pH 8.71-9.35, DO 0.25-7.83 mg/ L, NH₃-N 0.112-5.670 mg /L, NO₂-N 0.002-0.272 mg/ L, NO₃-N 0.017-3.500 mg /L,TKN 0.528-13.140 mg/ L, TN 0.556-16.398 mg/ L และ TP 1.190-3.500 mg/ L

น้ำทิ้งความเข้มข้น 70%

น้ำทิ้งจากโรงอาหาร Cw70% พบว่า มีอุณหภูมิของน้ำ 20.50-26.12 °C, pH 8.50-9.29, DO 0.26-7.84 mg/ L, NH₃-N 0.098-4.960 mg/ L, NO₂-N 0.001-0.238 mg/ L, NO₃-N 0.015-2.660 mg/ L, TKN 0.462-11.500 mg/ L, TN 0.487-14.166 mg/ L และ TP 1.000-3.070 mg/ L

น้ำทิ้งความเข้มข้น 60%

น้ำทิ้งจากโรงอาหาร Cw60% พบว่า มีอุณหภูมิของน้ำ 19.80-26.14 °C, pH 8.61-9.20, DO 0.28-7.85 mg/ L, NH₃-N 0.084-4.250 mg/ L, NO₂-N 0.001-0.204 mg/ L, NO₃-N 0.013-2.280 mg/ L, TKN 0.396-9.860 mg/ L, TN 0.417-12.145 mg/ L และ TP 0.890-2.630 mg/ L

น้ำทิ้งความเข้มข้น 50%

น้ำทิ้งจากโรงอาหาร Cw50% พบว่า มีอุณหภูมิของน้ำ 19.70-26.18 °C, pH 8.53-9.10, DO 0.29-7.87 mg/ L, NH₃-N 0.070-3.550 mg/ L, NO₂-N 0.001-0.170 mg/ L, NO₃-N 0.011 -1.900 mg/ L, TKN 0.330-8.220 mg/ L, TN 0.348-10.124 mg/ L และ TP 0.740-2.190 mg/ L

น้ำทิ้งความเข้มข้น 40%

น้ำทิ้งจากโรงอาหาร Cw40% พบว่า มีอุณหภูมิของน้ำ 19.60-26.25 °C, pH 8.40-8.90, DO 1.200-7.900 mg/ L, NH₃-N 0.056-2.84 mg/ L, NO₂-N 0.001-0.192 mg/ L, NO₃-N 0.012-1.520 mg/ L, TKN 0.264-1.520 mg/ L, TN 0.278-8.094 mg/ L และ TP 0.580-1.750 mg/ L

น้ำทิ้งความเข้มข้น 30%

น้ำทิ้งจากโรงอาหาร Cw30% พบว่า มีอุณหภูมิของน้ำ 19.40-26.31 °C, pH 8.32-8.93, DO 1.30-7.91 mg/ L, NH₃-N 0.042-2.13 mg/ L, NO₂-N 0.001-0.102 mg/ L, NO₃-N 0.006-1.140 mg/ L, TKN 0.198-4.930 mg/ L, TN 0.208-6.073 mg/ L และ TP 0.450-1.310 mg/ L

น้ำทิ้งความเข้มข้น 20%

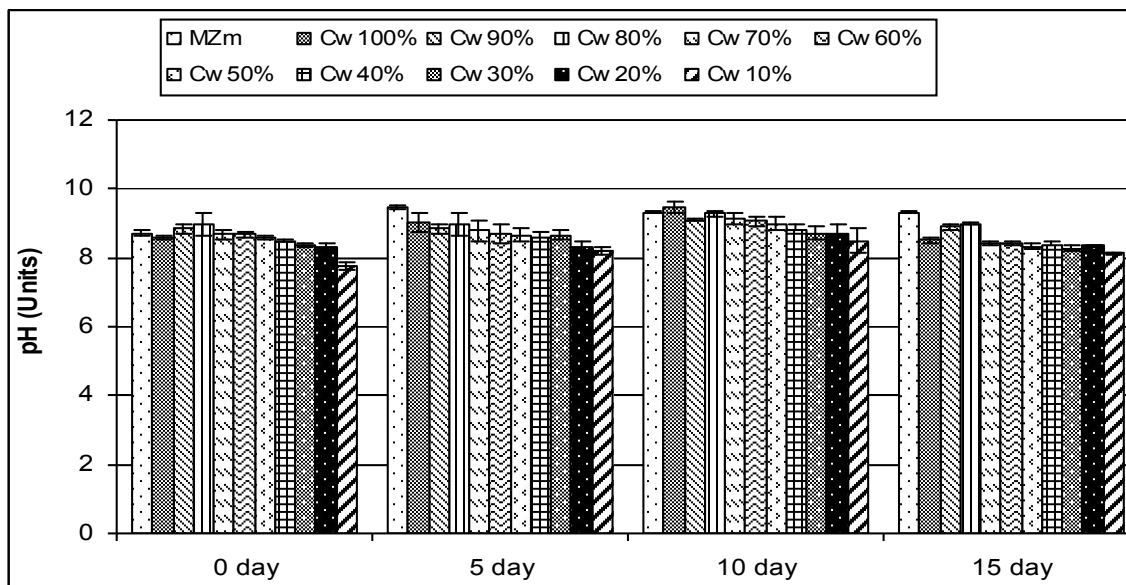
น้ำทิ้งจากโรงอาหาร Cw20% พบว่า มีอุณหภูมิของน้ำ 19.20-26.32 °C, pH 8.12-8.76, DO 1.40-7.93 mg/ L, NH₃-N 0.028-1.420 mg/ L, NO₂-N 0.001-0.068 mg/ L, NO₃-N 0.004-0.760 mg/ L, TKN 0.132-3.290 mg/ L, TN 0.139-4.052 mg/ L และ TP 0.290-0.880 mg/ L

น้ำทิ้งความเข้มข้น 10%

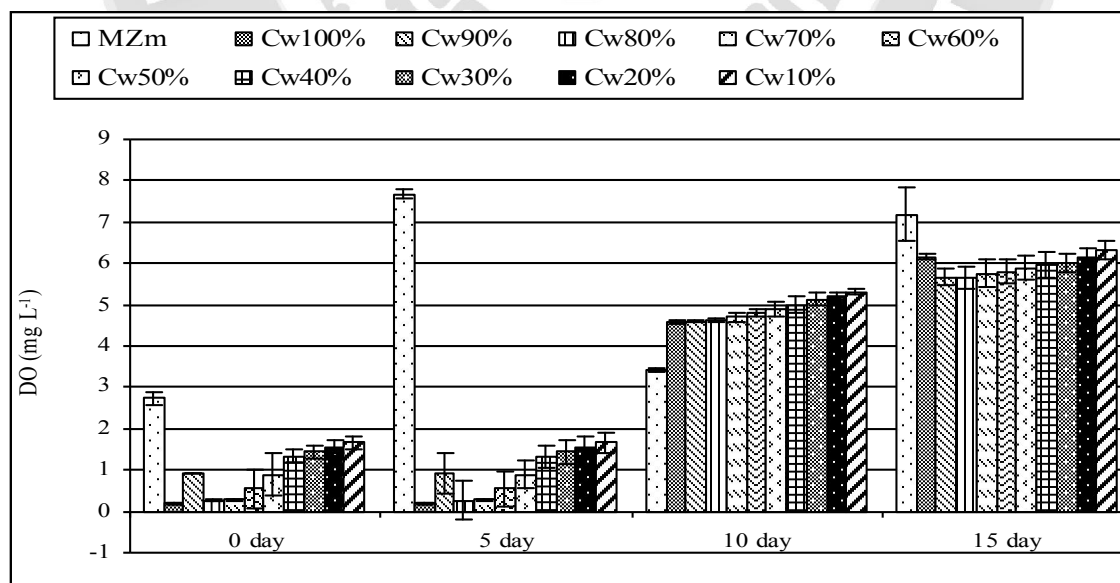
น้ำทิ้งจากโรงอาหาร Cw10% พบว่า มีอุณหภูมิของน้ำ 19.10-26.54 °C, pH 7.75-8.92, DO 1.500-7.950 mg/ L, NH₃-N 0.014-0.700 mg/ L, NO₂-N 0.002-0.030 mg/ L, NO₃-N 0.002-0.380 mg/ L, TKN 0.070-1.640 mg/ L, TN 0.069-2.021 mg/ L และ TP 0.160-0.440 mg/ L

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

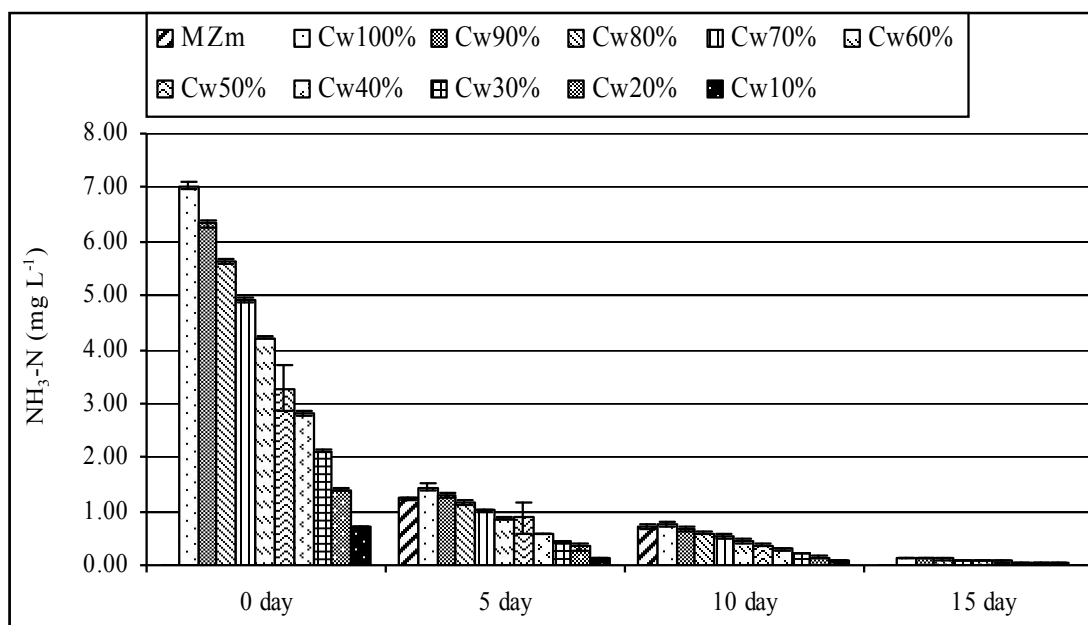
ผลผลิตของ สาหร่ายแห้ง สาหร่ายที่เลี้ยงด้วยอาหาร MZm และน้ำทิ้งจากโรงอาหารระดับความเข้มข้นต่างๆกัน ส่วนใหญ่มี การเจริญน้อยที่สุดในวันที่ 0 และวันที่ 15 ของการเลี้ยง จากการทดลองพบว่าสาหร่ายที่เลี้ยงด้วยสูตรอาหาร MZm, Cw100%, 90% และ Cw80% มีผลผลิตในรูปของสาหร่ายแห้ง อยู่ระหว่าง 0.55-0.85 g/L (ภาพที่ 11) ที่สูตรอาหาร MZm มีผลผลิตสาหร่ายโดยน้ำหนักแห้งสูงสุด คือ ที่ระดับความเข้มข้น Cw100%, 90% และ 80% ตามลำดับ จึงเลือก สูตรอาหาร MZm, Cw100% และ 90% เพื่อใช้เพาะเลี้ยงในบ่อพลาสติกขนาดเล็ก มีระบบน้ำแบบ raceway pond ต่อไป



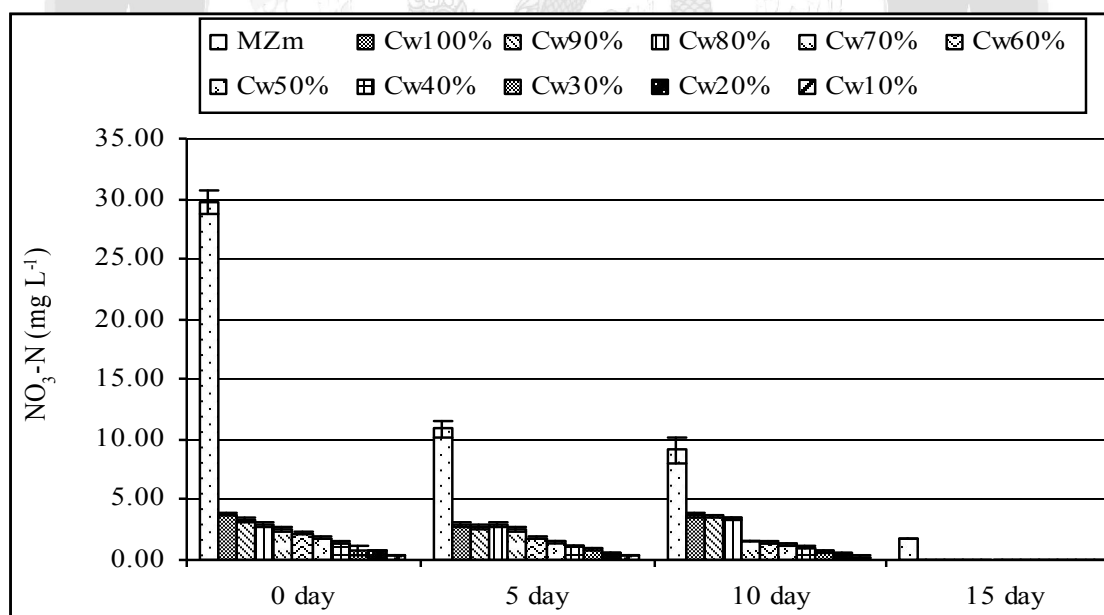
ภาพที่ 3 ความเป็นกรด-ด่าง (pH) ของการเพาะเลี้ยงสาหร่าย ด้วยสูตรอาหาร MZm และ น้ำจากโรงอาหารที่ระดับความเข้มข้นต่างๆ ในตู้กระจก เป็นเวลา 15 วัน



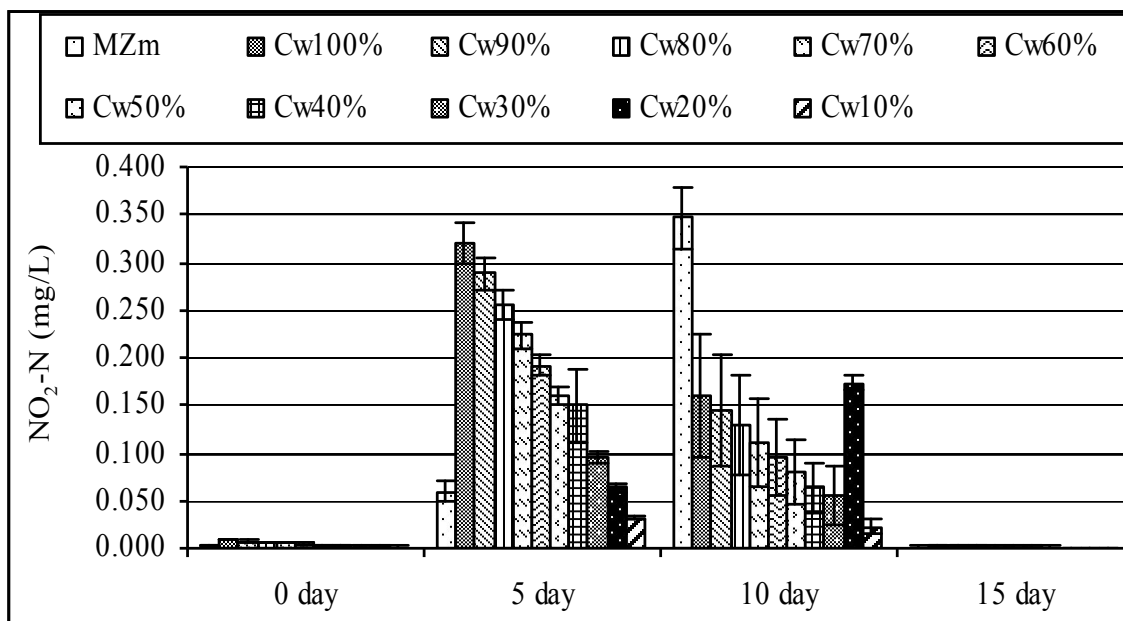
ภาพที่ 4 ค่าออกซิเจนที่ละลายน้ำ (DO) ในการเพาะเลี้ยงสาหร่าย ด้วยสูตรอาหาร MZm และ น้ำจากโรงอาหารที่ระดับความเข้มข้นต่างๆ ในตู้กระจก เป็นเวลา 15 วัน



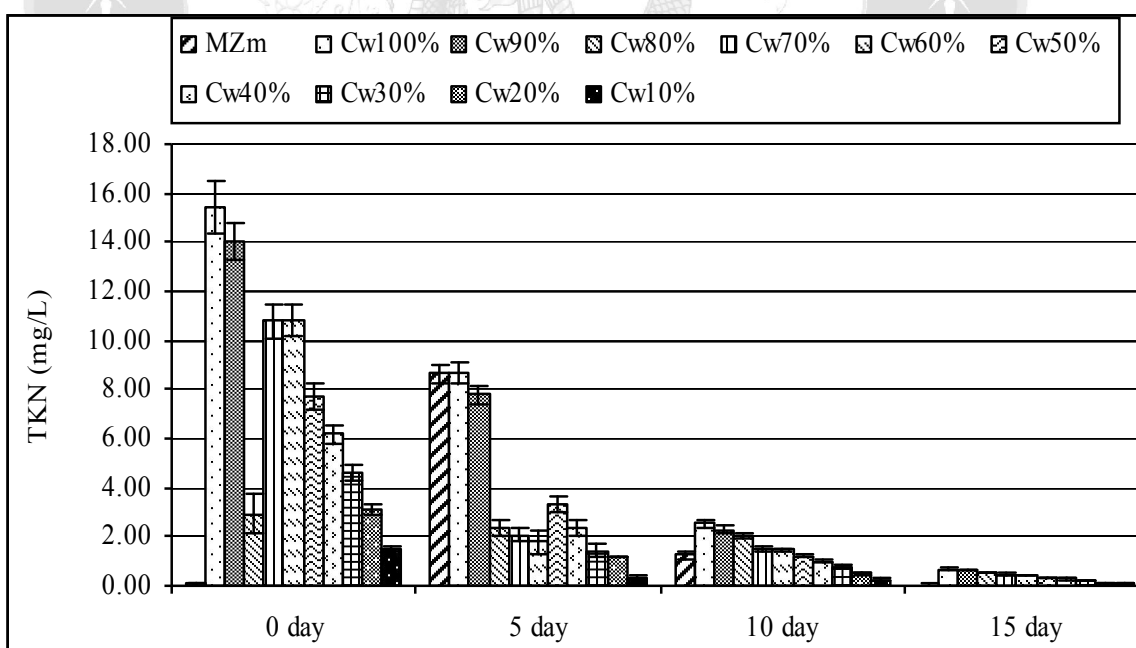
ภาพที่ 5 ค่าแอมโมเนียม-ไนโตรเจน $\text{NH}_3\text{-N}$ ของน้ำใน การเพาะเลี้ยงสาหร่าย ด้วยสูตรอาหาร MZm และ น้ำจากโรงอาหารที่ระดับความเข้มข้นต่างๆ ในตู้กระจก เป็นเวลา 15 วัน



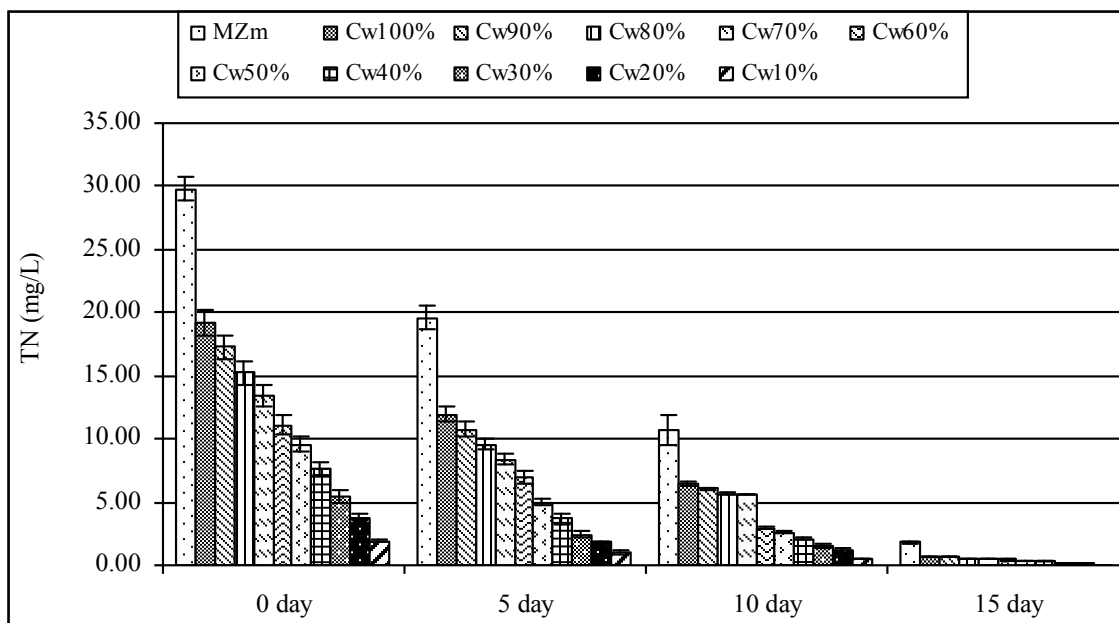
ภาพที่ 6 ค่าไนเตรท-ไนโตรเจน ($\text{NO}_3\text{-N}$) ของน้ำใน การเพาะเลี้ยงสาหร่าย ด้วยสูตรอาหาร MZm และ น้ำจากโรงอาหารที่ระดับความเข้มข้นต่างๆ ในตู้กระจก เป็นเวลา 15 วัน



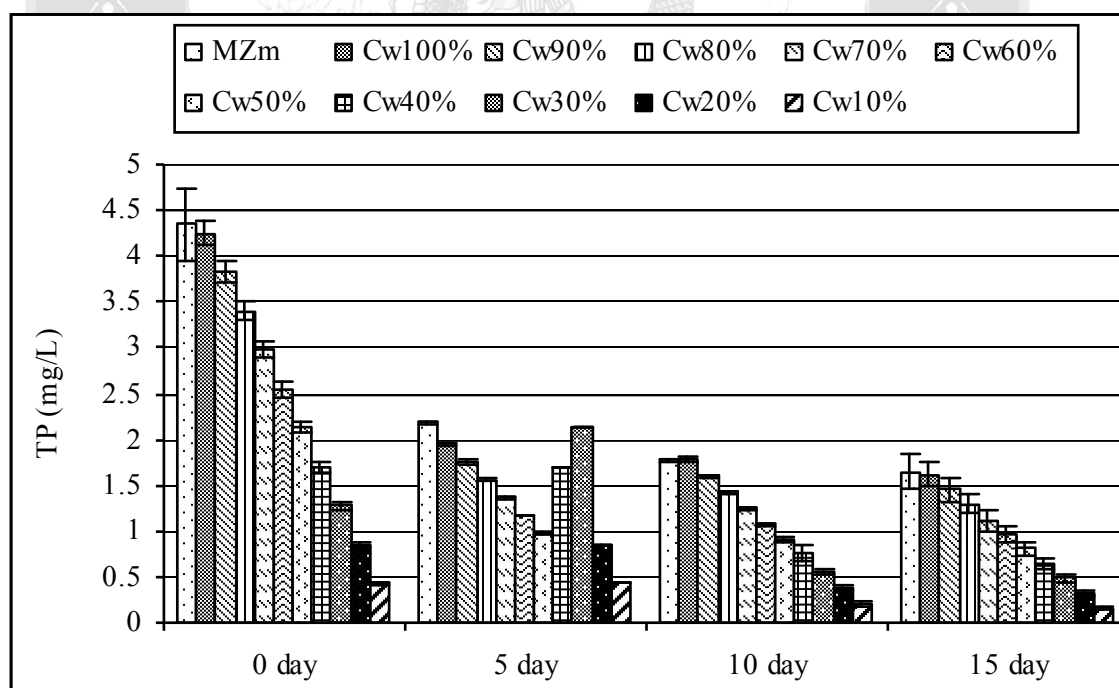
ภาพที่ 7 ค่าไนเตรท-ไนโตรเจน ($\text{NO}_2\text{-N}$) ของน้ำใน การเพาะเลี้ยงสาหร่าย ด้วยสูตรอาหาร MZm และ น้ำจากโรงอาหารที่ระดับความเข้มข้นต่างๆ ในตู้กระจก เป็นเวลา 15 วัน



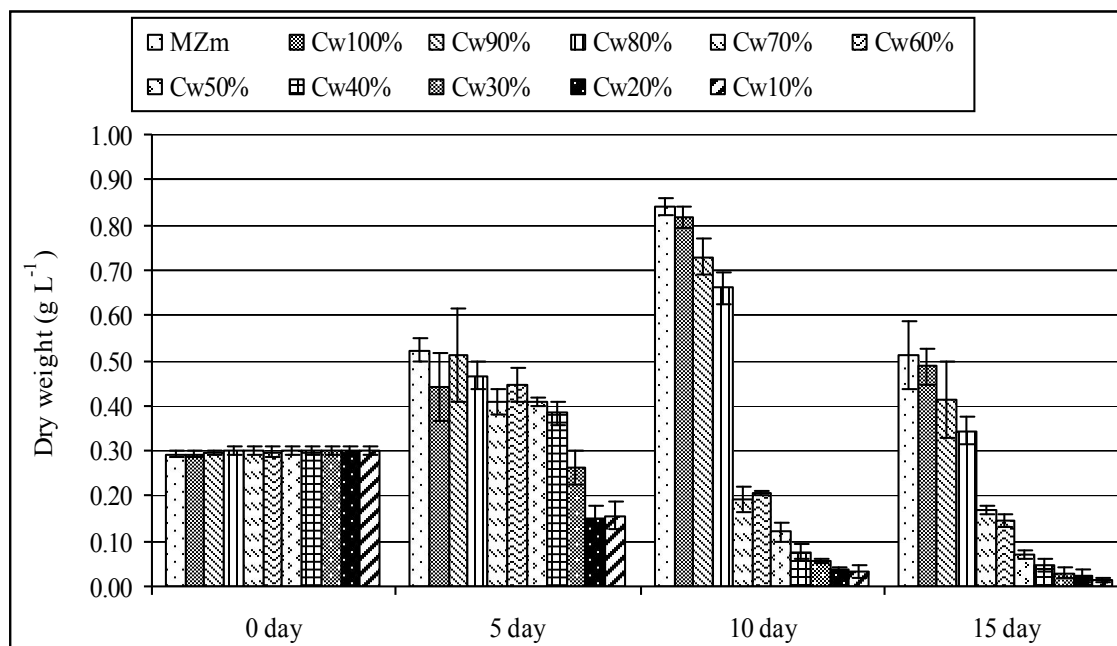
ภาพที่ 8 ค่า TKN ของน้ำใน การเพาะเลี้ยงสาหร่าย ด้วยสูตรอาหาร MZm และ น้ำจากโรงอาหาร ที่ระดับความเข้มข้นต่างๆ ในตู้กระจก เป็นเวลา 15 วัน



ภาพที่ 9 ค่า TN ของน้ำใน การเพาะเลี้ยงสาหร่าย ด้วยสูตรอาหาร MZm และ น้ำจากโรงอาหารที่ระดับความเข้มข้นต่างๆ ในตู้กระจก เป็นเวลา 15 วัน



ภาพที่ 10 ค่า TP ของน้ำใน การเพาะเลี้ยงสาหร่าย ด้วยสูตรอาหาร MZm และ น้ำจากโรงอาหารที่ระดับความเข้มข้นต่างๆ ในตู้กระจก เป็นเวลา 15 วัน



ภาพที่ 11 ผลผลิตของสาหร่าย ที่เพาะเลี้ยงในสูตรอาหาร MZm และ น้ำจากโรงอาหารที่ระดับความเข้มข้น ต่างๆ ในตู้กระจก เป็นเวลา 15 วัน

3. เพาะเลี้ยงสาหร่ายด้วยน้ำทิ้งจากโรงอาหาร ในบ่อพลาสติกแบบ raceway pond และ บ่อซีเมนต์แบบ raceway pond ผลิตสาหร่ายแบบหมวล

3.1 ผลการเพาะเลี้ยงสาหร่ายในบ่อพลาสติกแบบ raceway pond

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

หน่วยทดลองที่ 1 เป็นการเพาะเลี้ยงโดยใช้ สูตรอาหาร MZm มีทั้งหมด 3 ซ้ำ

หน่วยทดลองที่ 2 เป็นการเพาะเลี้ยงโดยใช้น้ำทิ้งจากโรงอาหาร ความเข้มข้น 100% ความเข้มข้นละ 3 ซ้ำ

หน่วยทดลองที่ 3 เป็นการเพาะเลี้ยงโดยใช้น้ำทิ้งจากโรงอาหาร ความเข้มข้น 90% ความเข้มข้นละ 3 ซ้ำ

3.1.1 คุณภาพน้ำทางกายภาพและเคมี (ภาพ 12-14) เมื่อเพาะเลี้ยงสาหร่าย โดยสูตรอาหาร MZm และใช้น้ำทิ้งจากโรงอาหารความเข้มข้น 100 และ 90% จะมีการเปลี่ยนแปลงของคุณภาพน้ำทางกายภาพและเคมี ดังนี้

สูตรอาหาร MZm (T_1) พบว่า มีอุณหภูมิของน้ำ 27.00-28.28°C, pH 8.66-11.37, DO 3.58-7.30 mg/ L, BOD 3.96-11.26 mg/ L, $\text{NH}_3\text{-N}$ 0.004-1.240 mg/ L, $\text{NO}_3\text{-N}$ 1.20-30.79 mg/ L, $\text{NO}_2\text{-N}$ 0.001-0.070 mg/ L, TKN 0.10-10.75 mg/ L, TN 1.832-30.79 mg/ L และ TP 2.12-3.36 mg/ L

น้ำทิ้งความเข้มข้นที่ 100% (T_2)

น้ำทิ้งจากโรงอาหาร Cw100 พบว่า มีอุณหภูมิของน้ำ 26.80-28.97 °C, pH 9.58-12.00, DO 0.15-7.38 mg/ L, BOD 4.70-18.97 mg/ L, $\text{NH}_3\text{-N}$ 0.134-7.180 mg/ L, $\text{NO}_3\text{-N}$ 0.020-3.000 mg/ L, $\text{NO}_2\text{-N}$ 0.002-0.300 mg/ L, TKN 0.66-14.12 mg/ L, TN 0.692-26.710 mg/ L และ TP 1.640-4.200 mg/ L

น้ำทิ้งความเข้มข้นที่ 90% (T_3)

น้ำทิ้งจากโรงอาหาร Cw90% พบว่า มีอุณหภูมิอากาศ และอุณหภูมิของน้ำเท่ากับ 26.80-28.90 °C, pH 9.01-12.39, DO 0.21-7.67 mg/ L, BOD 5.62-18.67 mg/ L, $\text{NH}_3\text{-N}$ 0.121-6.230 mg/ L, $\text{NO}_3\text{-N}$ 0.018-2.870 mg/ L, $\text{NO}_2\text{-N}$ 0.001-0.290 mg/ L, TKN 0.59-20.80 mg/ L, TN 0.618-24.04 mg/ L และ TP 1.480-3.850 mg/ L

กล่าวโดยสรุปได้ว่า น้ำทิ้งทุกความเข้มข้นมีค่า pH ที่ต่างกัน ค่า DO แต่ละความเข้มข้นมีค่าที่ใกล้เคียงกัน ปริมาณสารอาหาร พบว่า $\text{NH}_3\text{-N}$, $\text{NO}_3\text{-N}$, TN, TKN และ TP จะมีค่าลดลงจากวันเริ่มต้น หรือวันที่ 0 เช่นเดียวกับค่า BOD

3.1.2 ผลผลิตของสาหร่าย beta-carotene, C-phycocyanin, γ -Linoleic acid และคุณค่าทางโภชนาการ (ภาพ 15)

ผลผลิตสาหร่ายในรูปน้ำหนักรวม มีค่า อยู่ระหว่าง 0.68-0.83 g/ L มีค่าสูงสุดใน สูตรอาหาร MZm (0.83 g/ L) ต่ำสุดใน 90%Cw (0.68 g/ L) ผลการวิเคราะห์ พบว่า สาหร่ายที่เลี้ยงในสูตรอาหาร MZm มีค่ามากกว่าสาหร่ายที่เลี้ยงใน น้ำทิ้งจากโรงอาหาร 100%Cw และ 90%Cw ตามลำดับ

beta-carotene, C-phycocyanin, γ -Linoleic acid ของสาหร่ายแห้ง โดยมีค่า beta-carotene อยู่ระหว่าง 0.26-0.28 mg /g โดยมีปริมาณสูงสุดใน สูตรอาหาร MZm (0.28 mg /g) แต่ต่ำสุดเมื่อเพาะเลี้ยงใน 90%Cw (0.26 mg/ g) ค่า C-phycocyanin อยู่ระหว่าง 8.27-17.77 mg/g โดยมีปริมาณสูงสุดในเพาะเลี้ยงใน 100%Cw (17.77 mg/g) แต่ต่ำสุดเมื่อเพาะเลี้ยงใน สูตรอาหาร MZm (8.27

mg /g) ค่า γ -Linoleic acid อยู่ระหว่าง 0.15-0.30 mg /g โดยมีปริมาณสูงสุดใน สูตรอาหาร MZm (0.30 mg /g) แต่ต่ำสุดเมื่อเพาะเลี้ยงใน 90%Cw (0.15 mg /g) (ภาพที่ 15)

3.1.3 ต้นทุนการผลิตสาหร่าย และคุณค่าทางโภชนาการของสาหร่าย (ภาพที่ 16)

ต้นทุนการผลิตสาหร่ายโก แท่ง อยู่ระหว่าง 267.73–311.98 บาท/กิโลกรัม สูงสุดที่สูตรอาหาร MZm มีค่า 311.98 บาท ต่อ กิโลกรัม ต่ำสุดที่น้ำทิ้งจากโรงอาหาร 100%Cw มีค่า 267.73 บาท ต่อ กิโลกรัม

เปอร์เซ็นต์โปรตีนโดยน้ำหนักแห้ง อยู่ระหว่าง 31.94–55.44% สูงสุดที่ สูตรอาหาร MZm มีค่า 55.41% ต่ำสุดที่น้ำทิ้งจากโรงอาหาร 90%Cw มีค่า 31.94%

เปอร์เซ็นต์คาร์โบไฮเดรต โดยน้ำหนักแห้ง อยู่ระหว่าง 15.82–25.24% สูงสุดที่สูตรอาหาร MZm มีค่า 25.24% ต่ำสุดที่น้ำทิ้งจากโรงอาหาร 100%Cw มีค่า 15.82%

เปอร์เซ็นต์ไขมัน โดยน้ำหนักแห้ง อยู่ระหว่าง 1.79–3.57% สูงสุดที่ น้ำทิ้งจากโรงอาหาร 100%Cw มีค่า 3.57% ต่ำสุดที่สูตรอาหาร MZm มีค่า 1.79%

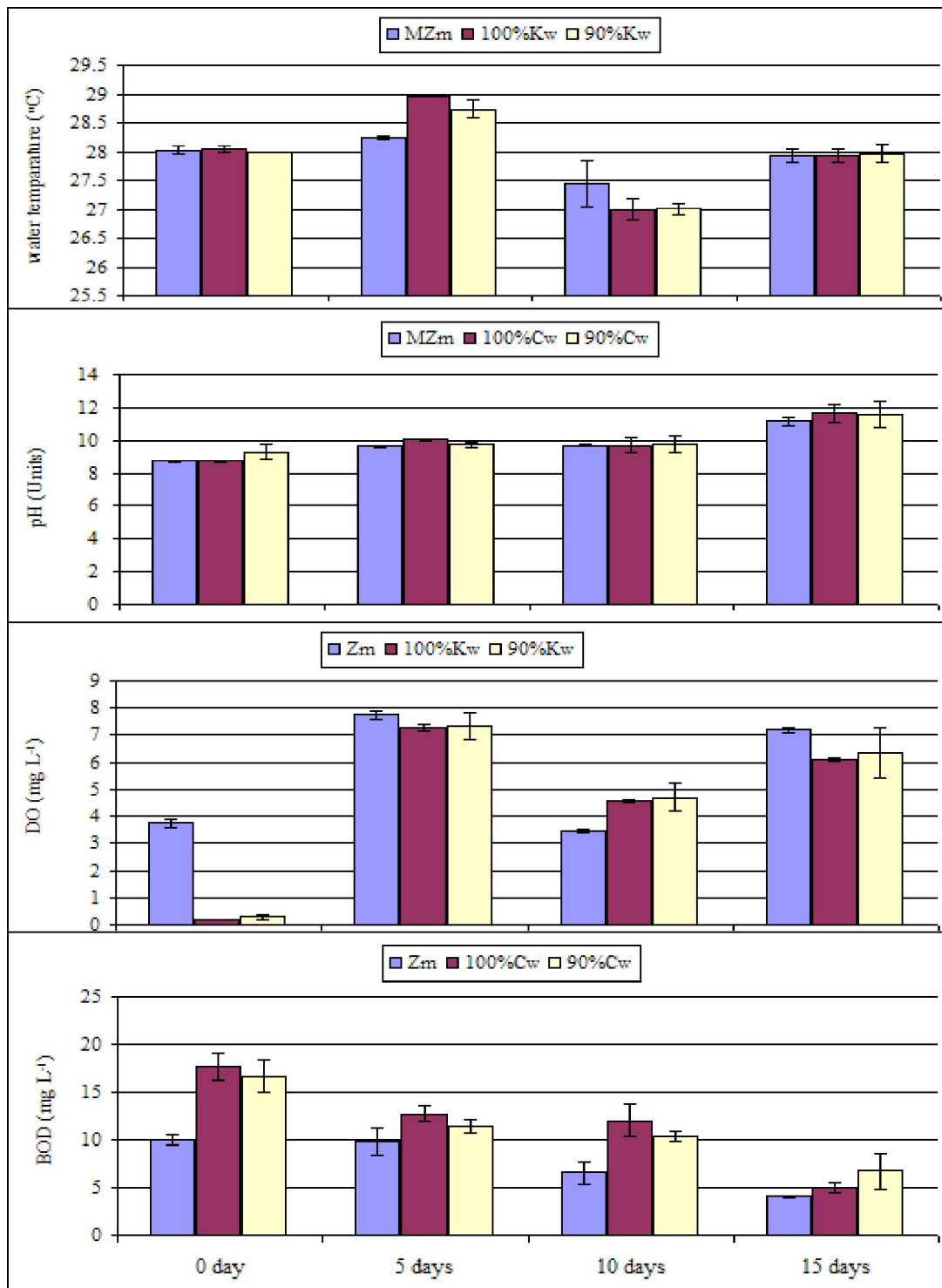
เปอร์เซ็นต์ เยื่อใย โดยน้ำหนักแห้ง อยู่ระหว่าง 2.12–10.11% สูงสุดที่ น้ำทิ้งจากโรงอาหาร 100%Cw มีค่า 10.11% ต่ำสุดที่ สูตรอาหาร MZm มีค่า 2.12%

เปอร์เซ็นต์ ความชื้นโดยน้ำหนักแห้ง อยู่ระหว่าง 6.65–11.15% สูงสุดที่ สูตรอาหาร MZm มีค่า 11.15% ต่ำสุดที่น้ำทิ้งจากโรงอาหาร 90%Cw มีค่า 6.65%

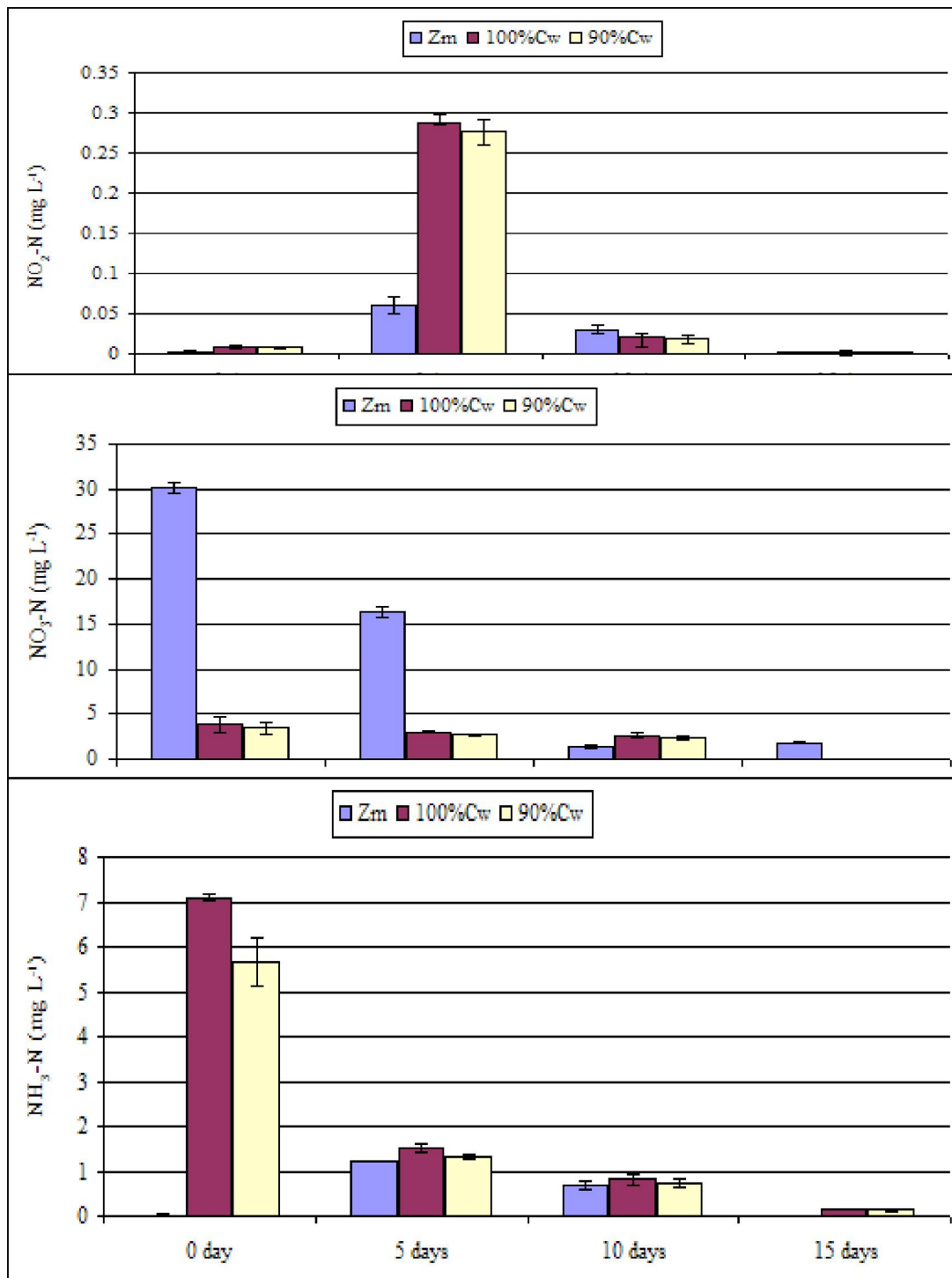
เปอร์เซ็นต์ เกล็ดโดยน้ำหนักแห้ง อยู่ระหว่าง 4.25–26.58% สูงสุดที่ น้ำทิ้งจากโรงอาหาร 100% Cw มีค่า 26.58% ต่ำสุดที่สูตรอาหาร MZm มีค่า 4.25%

กล่าวโดยสรุปได้ว่า สูตรอาหาร MZm และน้ำทิ้งจากโรงอาหารที่ความเข้มข้น 100%Cw มีการเจริญที่

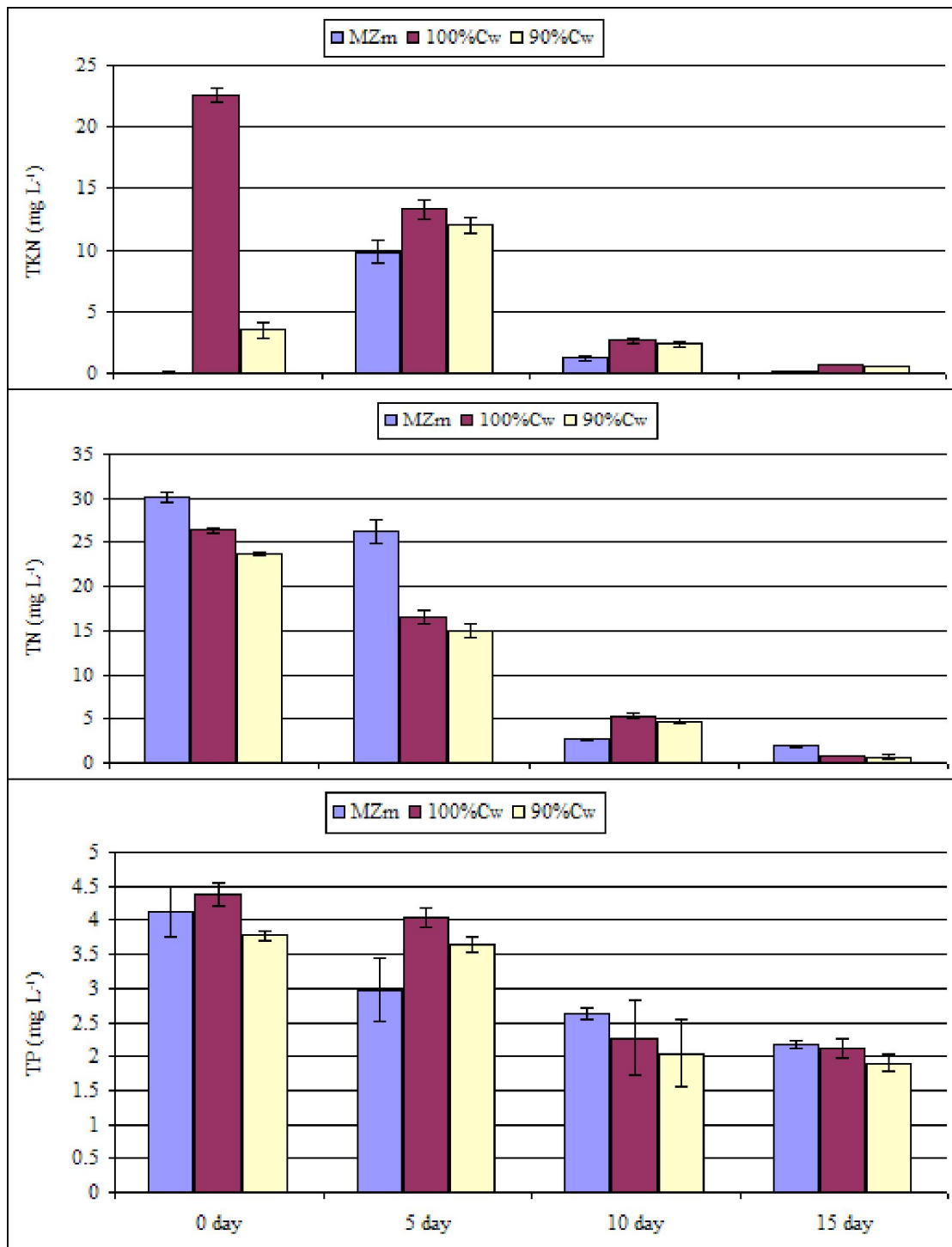
ดี ได้ผลผลิตสาหร่ายค่อนข้างสูง สาหร่ายมี beta-carotene, C-phycoerythrin, γ -Linoleic acid และ คุณค่าทางโภชนาการสูงกว่า 90%Cw คณะผู้วิจัยจะนำน้ำทิ้งจากโรงอาหารความเข้มข้น 100%Cw ไปเลี้ยงในบ่อซีเมนต์ แบบ raceway pond ขนาดใหญ่ต่อไป เพื่อ biomass production นำผลผลิตสาหร่ายมาอนุบาลปลาครีฟ ต่อไป



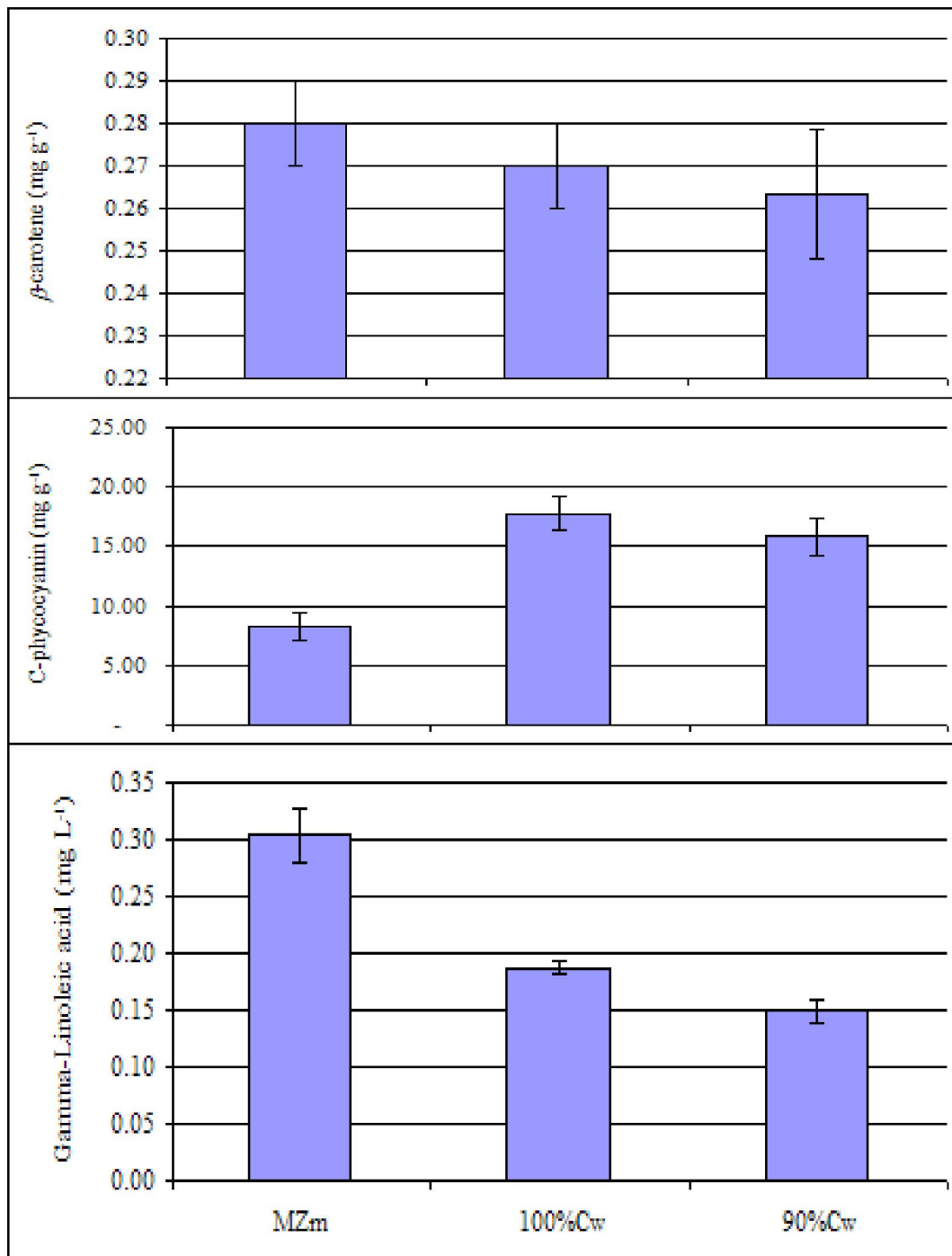
ภาพที่ 12 ค่า อุณหภูมิของน้ำ (water temperature), pH, DO และ BOD ของน้ำใน การเพาะเลี้ยงสาหร่าย ด้วยสูตรอาหาร MZm และน้ำทิ้งจากโรงอาหารที่ระดับความเข้มข้น 100% และ 90% ในบ่อพลาสติกแบบ raceway pond เป็นเวลา 15 วัน



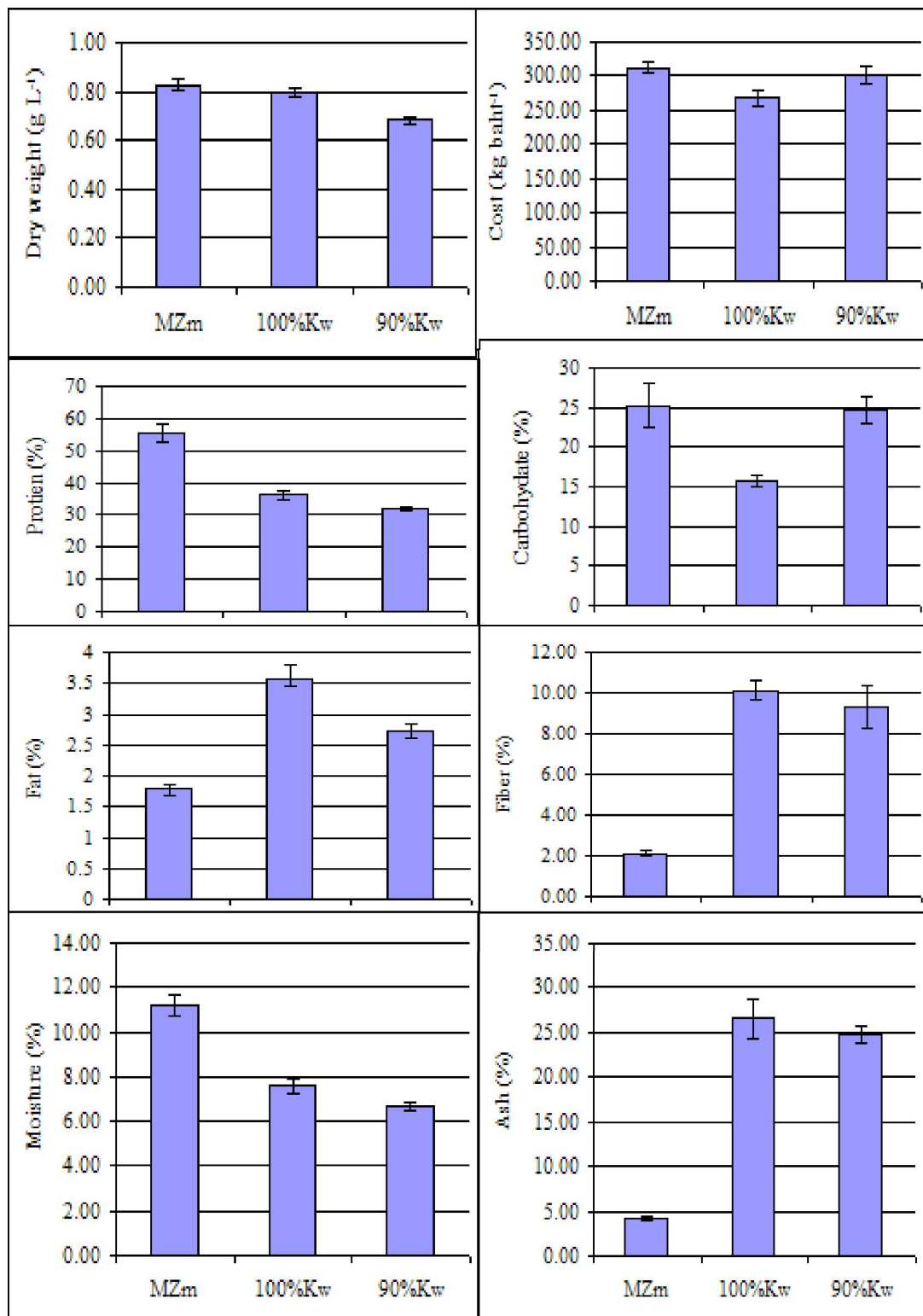
ภาพที่ 13 ค่า NO₂-N, NO₃-N และ NH₃-N ของน้ำใน การเพาะเลี้ยงสาหร่ายด้วย สูตรอาหาร MZm และน้ำทิ้ง จากโรงอาหารที่ระดับความเข้มข้น 100% และ 90% ในพลาสติกแบบ raceway pond เป็นเวลา 15 วัน



ภาพที่ 14 ค่า TKN, TN และ TP ของน้ำใน การเพาะเลี้ยงสาหร่ายด้วย สูตรอาหารMZm และน้ำทิ้ง จากโรงอาหารที่ระดับความเข้มข้น 100% และ 90% ในพลาสติกแบบ raceway pond เป็นเวลา 15 วัน



ภาพที่ 15 ค่า β -carotene, C-phycoerythrin และ γ -linolenic acid ของสาหร่าย ที่เลี้ยง ด้วย
 สูตรอาหาร MZm และน้ำทิ้งจากโรงอาหารที่ระดับความเข้มข้น 100% และ 90% ใน
 บ่อพลาสติก แบบ raceway pond ระยะเวลา 15 วัน



ภาพที่ 16 ค่า ผลผลิต แครอทอินทรีย์รวม และ คุณค่าทางโภชนาการ ของสารร่าย ที่เลี้ยง ด้วยสูตรอาหารน้ำทั้ง จากโรงอาหารที่ระดับความเข้มข้นต่างๆ ในบ่อซีเมนต์ เป็นเวลา 15 วัน

3.2 เพาะเลี้ยงสาหร่ายด้วยน้ำทิ้งจากโรงอาหาร 100%Cw ในบ่อซีเมนต์แบบ raceway pond ผลิตสาหร่าย แบบหมวมวล ได้ผลตามตารางที่ 3

ตารางที่ 3 คุณค่าทางอาหารของสาหร่ายที่เพาะเลี้ยงในน้ำทิ้งจากโรงอาหาร ความเข้มข้น 100%

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

กล่าวโดยสรุปได้ว่า น้ำทิ้งจากโรงอาหารที่ความเข้มข้น 100%Cw มีการเจริญที่ดี ได้ผลผลิตสาหร่ายแห้ง 0.60± 0.07 g/ L มีต้นทุนผันแปรในการผลิต 218.60 บาท/กิโลกรัม และสาหร่ายมี คุณค่าทางโภชนาการค่อนข้างสูงโดยเฉพาะโปรตีนประมาณ 41.45 ± 2.80% ได้นำผลผลิตสาหร่ายไปอนุบาลปลาคาร์ฟ ต่อไป

4. การทดลองใช้สาหร่าย สไปรูลิน่า เป็นอาหารอนุบาลลูกปลาแฟนซีคาร์ฟ

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/day) มีน้ำหนักเฉลี่ยน้อยกว่า ปลาที่ได้รับอาหารสไปรูลินาผง 10%/น้ำหนักตัว/วัน (10%PS/ fish weight/day) และปลาที่ได้รับอาหารผง 10% /น้ำหนักตัว/วัน(10%PF/ fish weight/day) ภาพที่ 17

3.1.2 **ความยาวเฉลี่ยต่อตัว** เมื่อเริ่มต้นทดลองความยาวเฉลี่ยของลูกปลาเท่ากับ 1.00 ซม./ตัว ความยาวของ ลูกปลาเพิ่มขึ้นตามเวลาที่ อนุบาลและเริ่มมีความแตกต่างทางสถิติตั้งแต่เดือนที่ 1($p < 0.05$) ของการอนุบาล โดยในเดือนที่ 1, 2, 3 และ 4 ปลาที่ได้รับอาหาร สไปรูลินาสด 100%/น้ำหนักตัว/วัน มีความยาวของลูกปลาน้อยกว่า ปลาที่ได้รับอาหารสไปรูลินาผง 10% /น้ำหนักตัว/วัน และปลาที่ได้รับอาหารผง 10% /น้ำหนักตัว/วัน (ภาพที่ 18)

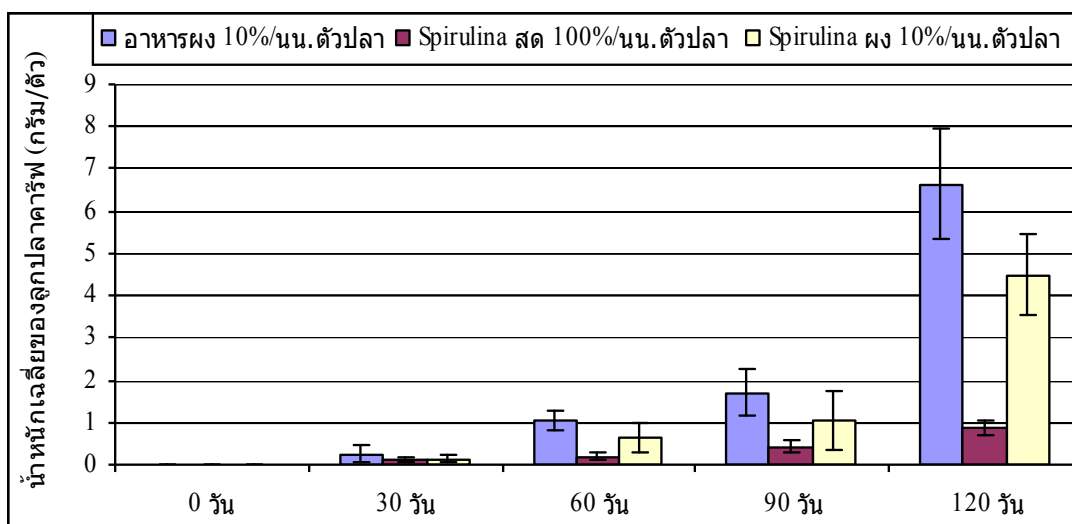
3.1.3 อัตราการเจริญเติบโตเฉลี่ย (กรัม/ตัว/วัน) ลูกปลาที่ได้รับอาหารผง 10% /น้ำหนักตัว/วัน และลูกปลาที่ได้รับอาหารสไปรูลินาผง 10% /น้ำหนักตัว/วัน มีอัตราการเจริญเติบโต 0.06 ± 0.01 กรัม/ตัว/วัน และ 0.04 ± 0.01 กรัม/ตัว/วัน ซึ่งมีความมากกว่าปลาที่กินอาหารสไปรูลินาสด 100% /น้ำหนักตัว/วัน และมีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p < 0.05$) ภาพที่ 19

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 ($p < 0.05$) ภาพที่ 19

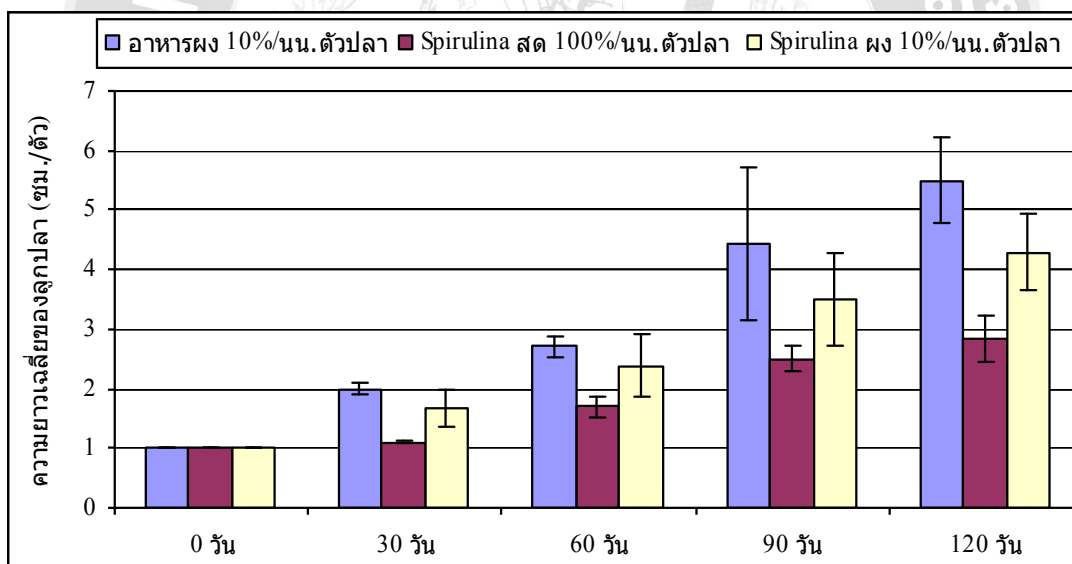
3.1.5 อัตราการแลกเนื้อ ลูกปลาที่ได้รับ อาหาร สไปรูลินาผง 10%/น้ำหนักตัว/วัน มีอัตราการแลกเนื้อ 5.13 ± 1.73 ซึ่งมีค่าดีกว่าลูกปลาที่กินอาหารผง 10% /น้ำหนักตัว/วัน และอาหารสไปรูลินาสด 100%/น้ำหนักตัว/วัน และมีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p < 0.05$) ภาพที่ 19

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 ($p < 0.05$) ภาพที่ 19

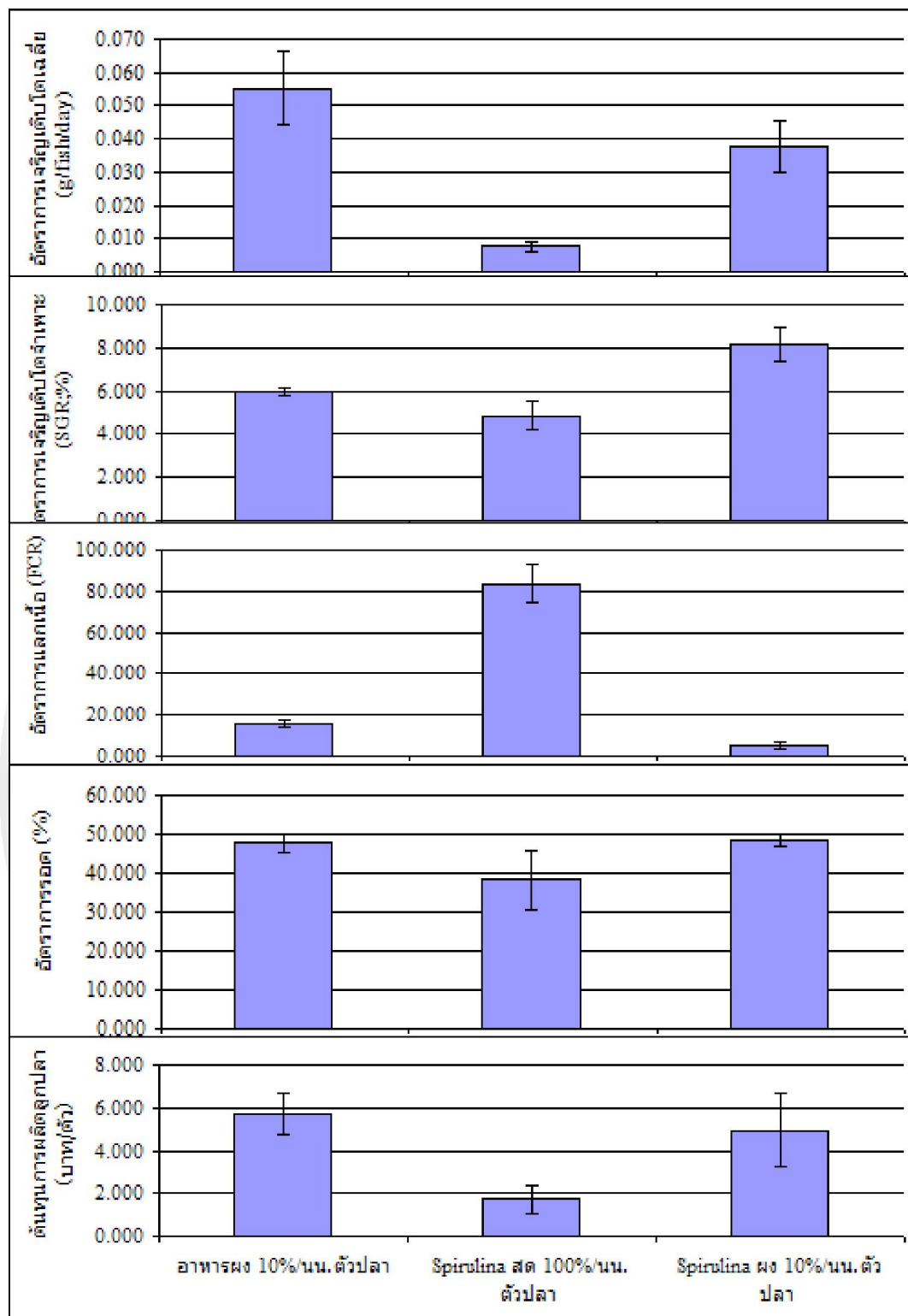
3.1.7 ต้นทุนการผลิตลูกปลา (บาท/ตัว) ลูกปลาที่ได้รับอาหารผง 10% /น้ำหนักตัว/วัน และลูกปลาที่ได้รับอาหารสไปรูลินาผง 10% /น้ำหนักตัว/วัน มีต้นทุนการผลิต 5.74 ± 0.96 บาท/ตัว และ 4.95 ± 1.73 บาท/ตัว ซึ่งมีความมากกว่าปลาที่กินอาหารสไปรูลินาสด 100% /น้ำหนักตัว/วัน และมีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p < 0.05$) ภาพที่ 19



ภาพที่ 17 ค่าน้ำหนักเฉลี่ย (กรัม/ตัว) ของลูกปลาครีฟ ที่เลี้ยงด้วย อาหารผง 10% /น้ำหนักตัวปลา สไปรูลินาสด 100%/น้ำหนักตัวปลา และ สไปรูลินาผง 10%/น้ำหนักตัวปลา อนุบาลใน บ่อซีเมนต์กกลม ระยะเวลา 120 วัน



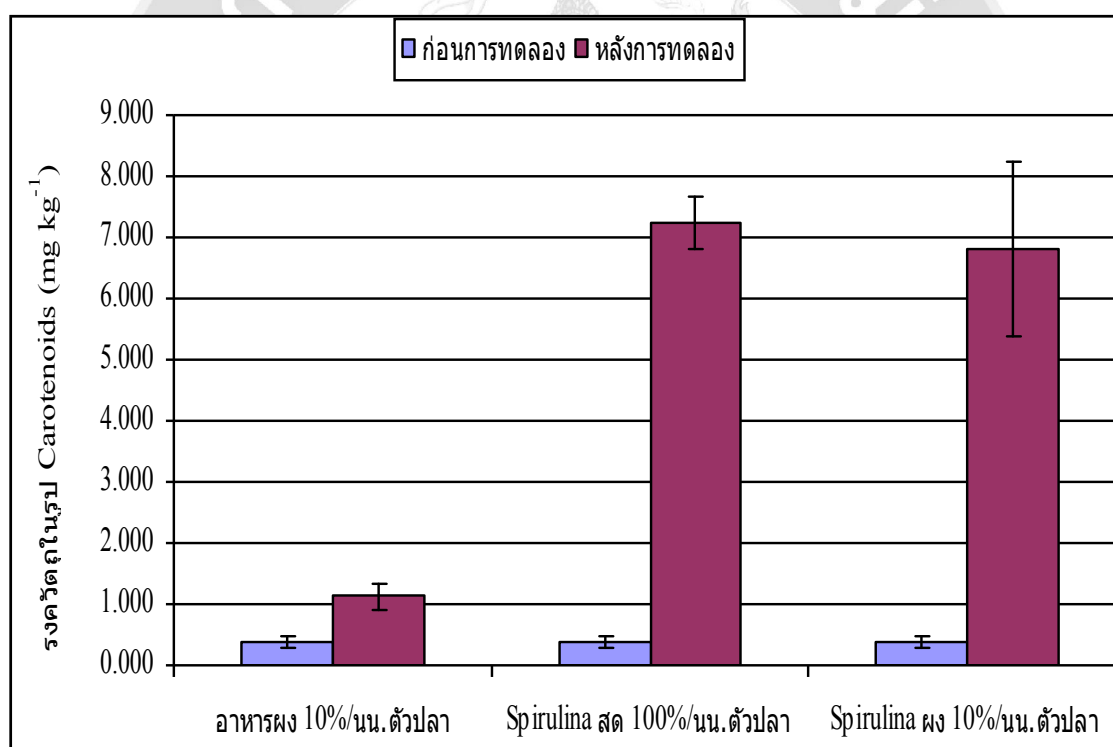
ภาพที่ 18 ความยาว (ชม. /ตัว) ของลูกปลาครีฟ ที่เลี้ยงด้วย อาหารผง 10% /น้ำหนักตัวปลา สไปรูลินาสด 100% น้ำหนักตัวปลา และ สไปรูลินาผง 10%/น้ำหนักตัวปลา อนุบาล ในบ่อซีเมนต์กลม ระยะเวลา 120 วัน



ภาพที่ 19 อัตราการเจริญเติบโต อัตราการเจริญเติบโตจำเพาะ อัตราการแลกเนื้อ อัตราการรอด (%) และ ต้นทุนการผลิตลูกปลา (บาท/ ตัว) ของลูกปลาคาร์ฟ ที่เลี้ยงด้วยอาหารผง 10% /น้ำหนักตัวปลา สไปรูลินาสด 100%/น้ำหนักตัวปลา และ สไปรูลินาผง 10%/น้ำหนักตัวปลา อนุบาลในบ่อซีเมนต์กลม ระยะเวลา 120 วัน

3.2 รงควัตถุ หรือสารสี (pigment) วิเคราะห์ในรูปแบบแคโรทีนอยด์

แคโรทีนอยด์รวมทั้งใน เกล็ด หนัง และเนื้อปลาก่อนการทดลองของลูกปลา หน่วยทดลองที่ 1 โดยให้อาหารปลาชนิดผง 10% ต่อน้ำหนักตัวปลา/มื้อ หน่วยทดลองที่ 2 ให้ สไปรูลิน่าสด 100% ต่อน้ำหนักตัวปลา/มื้อ และหน่วยทดลองที่ 3 ให้ สไปรูลิน่าผง 10% ต่อน้ำหนักตัวปลา/มื้อ อาหารทั้ง 3 สูตร มีค่าแคโรทีนอยด์ 0.40 ± 0.10 mg/kg fish และ ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ส่วน แคโรทีนอยด์หลังการทดลองของลูกปลา ที่ได้รับอาหารสไปรูลิน่าสด 100% /น้ำหนักตัว มี 7.23 ± 0.44 mg/kg fish และ ลูกปลา ที่ได้รับสไปรูลิน่าผง 10% /น้ำหนักตัว มี 6.80 ± 1.90 mg/kg fish ซึ่งมีค่ามากกว่าปลาที่กินอาหารผง 10%/น้ำหนักตัว/วัน และมีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p < 0.05$) ภาพที่ 20



ภาพที่ 20 ค่ารงควัตถุ ในรูป carotenoids (mg/kg fish) ก่อนและหลังการทดลองในลูกปลาค้าวฟ ที่เลี้ยงด้วย อาหารผง 10% /น้ำหนักตัวปลา สไปรูลิน่าสด 100%/น้ำหนักตัวปลา และ สไปรูลิน่าผง 10%/น้ำหนักตัวปลา อนุบาลในบ่อซีเมนต์กลม ระยะเวลา 120 วัน

3.3 คุณภาพน้ำทางกายภาพและเคมีในบ่ออนุบาลลูกปลาครีฟ

จากภาพที่ 21-22 พบว่า

อุณหภูมิของน้ำ ในบ่อที่ปลากินอาหารผง 10% ต่อน้ำหนักตัวปลา/มือ (10% powder feed; PF) สไปรูลิน่าสด 100% ต่อน้ำหนักตัวปลา/มือ (100% raw *Spirulina*; RS) และ สไปรูลิน่าผง 10% ต่อน้ำหนักตัวปลา/มือ (10% powder *Spirulina*; PS) ทั้ง 3 หน่วยทดลองมีอุณหภูมิอยู่ระหว่าง $18.50 \pm 0.25 - 27.00 \pm 0.00$ °C และไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ (ภาพที่ 21)

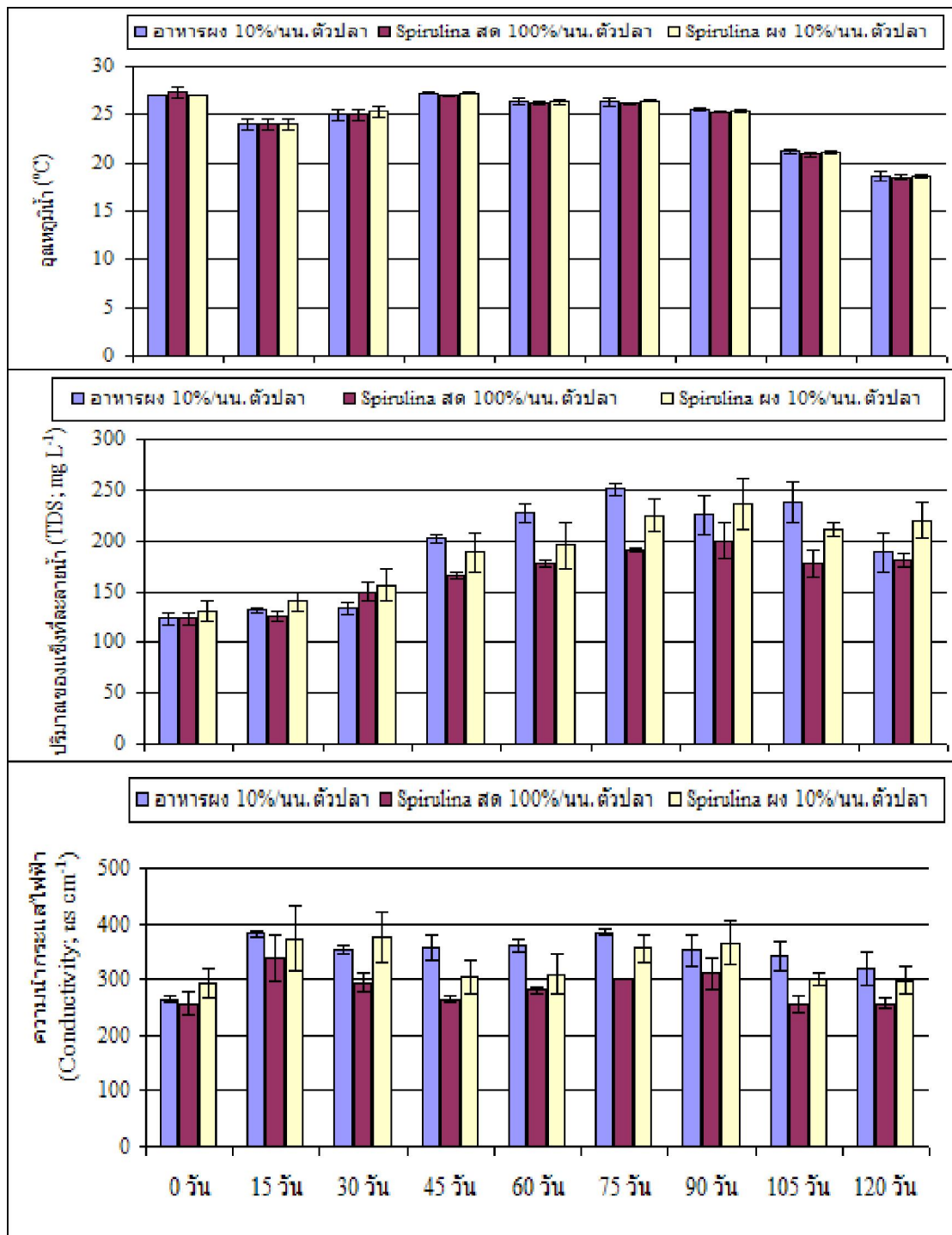
ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำ (total dissolved solid; TDS ; mg/L) ทั้ง 3 หน่วยทดลอง มีปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำ อยู่ระหว่าง $123.33 \pm 5.77 - 250.67 \pm 6.35$ mg/L และเริ่มมีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p < 0.05$) ตั้งแต่ 45 วันของการอนุบาลลูกปลา โดย 10%PF และ 10%PS มีปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำมากกว่า 100%RS (ภาพที่ 21)

ความนำไฟฟ้า (conductivity ; $\mu\text{S}/\text{cm}$) ทั้ง 3 หน่วยทดลอง มีความนำไฟฟ้า อยู่ระหว่าง $255.67 \pm 14.98 - 385.00 \pm 5.20$ $\mu\text{S}/\text{cm}$ และเริ่มมีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p < 0.05$) ตั้งแต่ 45 วันของการอนุบาลลูกปลา โดย 10%PF และ 10%PS มีปริมาณความนำไฟฟ้า มากกว่า 100%RS (ภาพที่ 21)

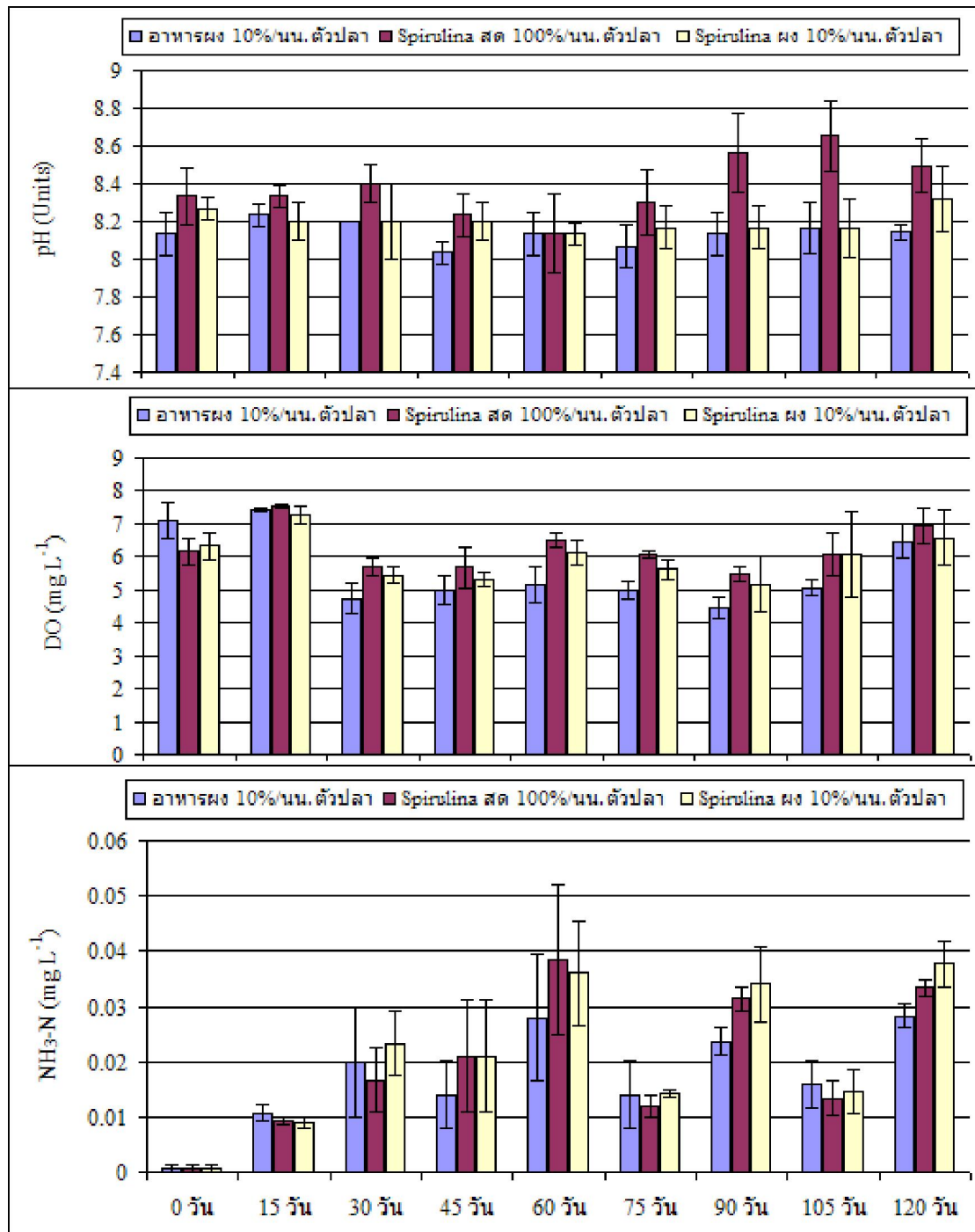
ค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH; Units) ทั้ง 3 หน่วยทดลอง มีค่า pH อยู่ระหว่าง $8.13 \pm 0.12 - 8.57 \pm 0.21$ Units และมีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p < 0.05$) ในวันที่ 90 และ 105 ของการอนุบาลลูกปลา โดย 100%RS มากกว่า 10%PF และ 10%PS (ภาพที่ 22)

ค่าออกซิเจนละลายน้ำ (dissolved oxygen; DO; mg/L) ทั้ง 3 หน่วยทดลอง มีค่า DO อยู่ระหว่าง $5.17 \pm 0.85 - 7.53 \pm 0.06$ mg/L และมีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p < 0.05$) ในวันที่ 60 และ 75 ของการอนุบาลลูกปลา โดย 100%RS และ 10%PS มีค่าออกซิเจนละลายน้ำ มากกว่า 10%PF (ภาพที่ 22)

แอมโมเนีย (ammonia; $\text{NH}_3 - \text{N}$; mg/L) ทั้ง 3 หน่วยทดลอง มีค่า $\text{NH}_3 - \text{N}$ อยู่ระหว่าง $0.001 \pm 0.0006 - 0.038 \pm 0.004$ mg/L 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 22)



ภาพที่ 21 อุณหภูมิน้ำ ($^{\circ}\text{C}$) ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำ (TDS; mg/L) และ ความนำไฟฟ้า (conductivity; $\mu\text{S/cm}$) ในบ่อซีเมนต์กลม อนุบาลลูกปลาแพนซีคิร่าฟ ที่เลี้ยงด้วย อาหารผง 10% / น้ำหนักตัวปลา สไปรูลินาสด 100%/น้ำหนักตัวปลา และ สไปรูลินาผง 10%/น้ำหนักตัวปลา ระยะเวลา 120 วัน

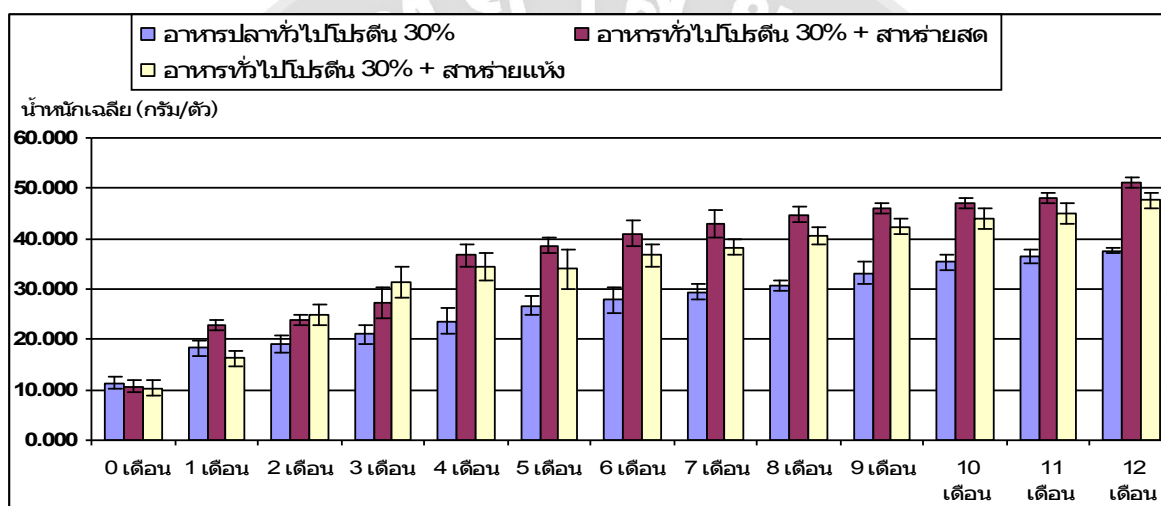


ภาพที่ 22 ค่า pH (Units) DO (mg /L) และ NH₃-N (mg /L) ในบ่อซีเมนต์กลม อนุบาลลูกปลา
 แพนซีครีฟ ที่เลี้ยงด้วย อาหารผง 10% /น้ำหนักตัวปลา สไปรูลิน่าสด 100%/น้ำหนัก
 ตัวปลา และ สไปรูลิน่าผง 10%/น้ำหนักตัวปลา ระยะเวลา 120 วัน

4. การทดลองใช้สหาร่าย สไปรูลิน่า เป็นอาหารเลี้ยงปลาแพนซีครีฟ ขนาดประมาณ ปี 2552

4.1. การเติบโต

1.1 น้ำหนักเฉลี่ย (กรัม/ตัว) เมื่อเริ่มต้นทดลองน้ำหนักเฉลี่ย ของปลาอยู่ระหว่าง 10.33 ± 1.53 - 11.33 ± 1.16 กรัม/ตัว น้ำหนักของปลาเพิ่มขึ้น ตามระยะเวลาที่เลี้ยง และเริ่มมีความแตกต่างทางสถิติ ($p < 0.05$) ตั้งแต่ 2 เดือน ของการเลี้ยง เป็นต้นไป โดยลูกปลาที่ได้รับอาหารทั่วไปโปรตีน 30% + สหาร่ายสด และ อาหารทั่วไปโปรตีน 30% + สหาร่ายแห้ง มีน้ำหนักเฉลี่ย ดีกว่า อาหารปลาทั่วไปโปรตีน 30% และ มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p < 0.05$) ดังภาพที่ 23



ภาพที่ 23 น้ำหนักเฉลี่ย (กรัม/ตัว) ของปลาแพนซีครีฟ ในแต่ละหน่วยทดลอง ระยะเวลา 12 เดือน

1.2 อัตราการเจริญเติบโต (กรัม/ตัว/วัน) ของปลาที่ได้รับอาหารทั่วไปโปรตีน 30% + สหาร่ายสด มีค่าอยู่ในช่วง 0.11 ± 0.006 กรัม/ตัว/วัน และปลาที่กินอาหารทั่วไปโปรตีน 30% + สหาร่ายแห้ง มีค่าอยู่ในช่วง 0.10 ± 0.006 กรัม/ตัว/วัน ซึ่งมากกว่าปลาที่กินอาหารทั่วไปโปรตีน 30% และ มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p < 0.05$) ดังภาพที่ 24

1.3 น้ำหนักเพิ่มขึ้น (%) ปลาที่ได้รับอาหารทั่วไปโปรตีน 30% + สหาร่ายแห้ง มีค่าอยู่ในช่วง 468.15 ± 72.56 % ซึ่งมากกว่าปลาที่กินอาหารอาหารทั่วไปโปรตีน 30% + สหาร่ายสด และ อาหารปลาทั่วไปโปรตีน 30% ตามลำดับ และ มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p < 0.05$) ดังภาพที่ 25

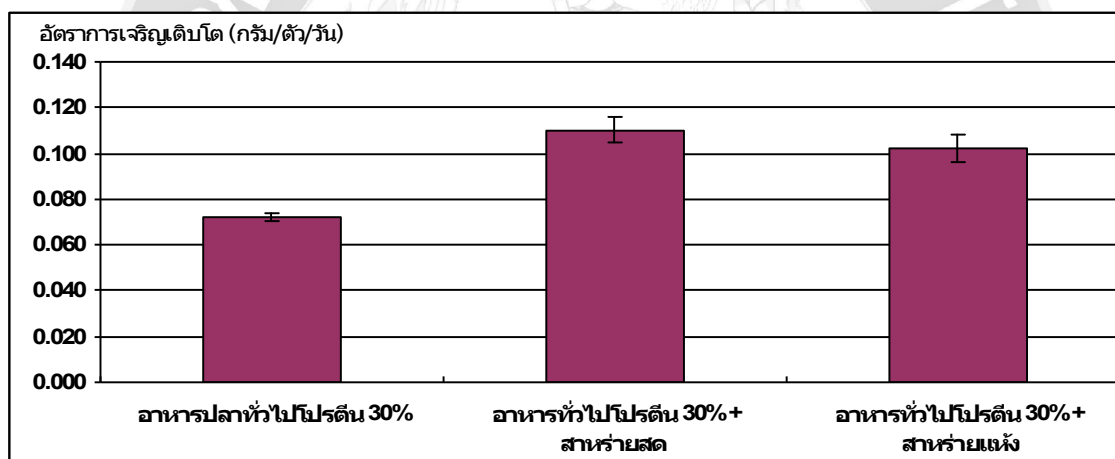
1.4 อัตราการเจริญเติบโตจำเพาะ (%/วัน) ปลาที่ได้รับอาหารทั่วไปโปรตีน 30% + สหาร่ายสดและ ปลาที่กินอาหารอาหารทั่วไปโปรตีน 30% + สหาร่ายแห้ง มีค่าอยู่ในช่วง 0.42 ± 0.06 และ 0.42 ± 0.04 %/วัน ซึ่งมากกว่าปลาที่กินอาหารทั่วไปโปรตีน 30% และ มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p < 0.05$) ดังภาพที่ 26

1.5 อัตราการรอดตาย (%) ปลาที่ได้รับอาหารทั้ง 3 สูตร มีค่าอยู่ระหว่าง $54.72 \pm 16.44 - 60.56 \pm 10.18$ % และไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ดังภาพที่ 27

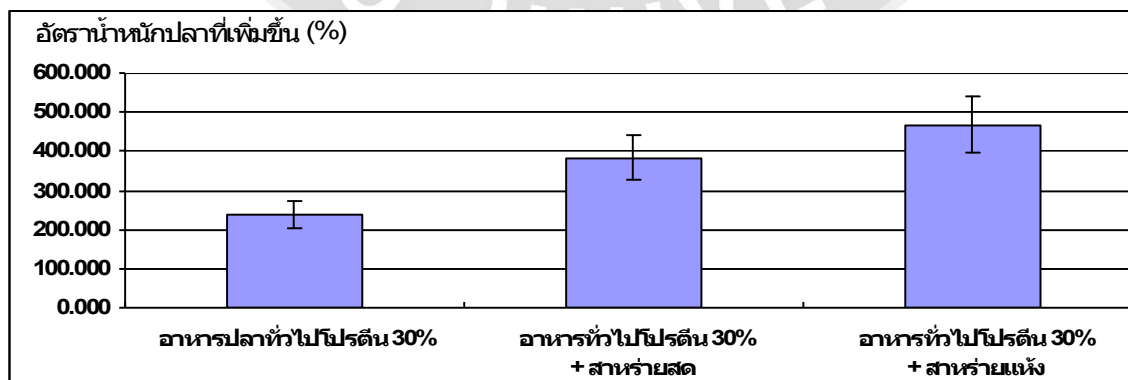
1.6 อัตราการแลกเนื้อ ปลาที่ได้รับอาหารทั้ง 3 สูตร มีค่าอยู่ระหว่าง $1.49 \pm 0.02 - 1.50 \pm 0.02$ และไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ดังภาพที่ 28

1.7 ประสิทธิภาพการใช้โปรตีน ประสิทธิภาพการใช้โปรตีนของปลาที่ได้รับอาหารทั่วไปโปรตีน 30% + สาหร่ายสด มีค่าอยู่ในช่วง 0.16 ± 0.01 หน่วย ซึ่งมากกว่า ปลาที่กินอาหารทั่วไปโปรตีน 30% + สาหร่ายแห้ง และปลาที่กินอาหารปลาทั่วไปโปรตีน 30% ตามลำดับ และ มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p < 0.05$) ดังภาพที่ 29

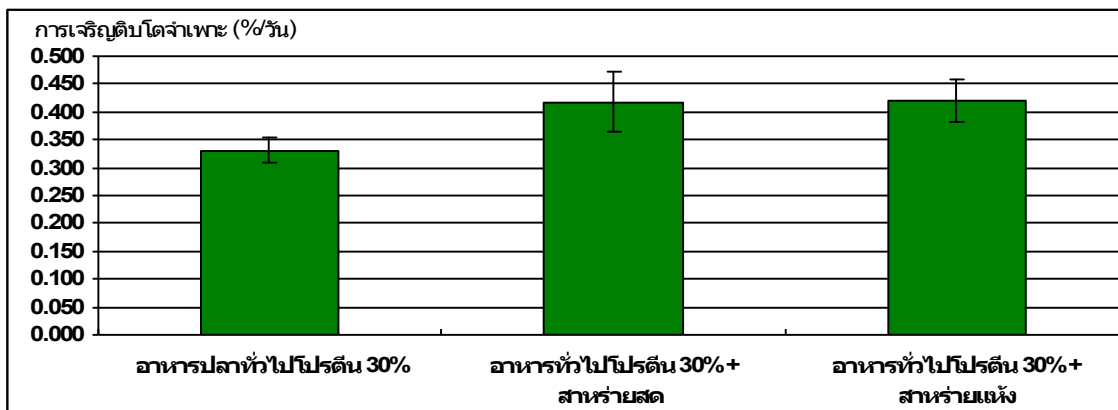
1.8 ต้นทุนการผลิตปลา (บาท/ตัว) ปลาที่ได้รับอาหารทั่วไปโปรตีน 30% + สาหร่ายแห้ง มีค่าอยู่ในช่วง 14.05 ± 0.75 บาท/ตัว ซึ่งมากกว่า ปลาที่กินอาหารทั่วไปโปรตีน 30% + สาหร่ายสด และปลาที่กินอาหารปลาทั่วไปโปรตีน 30% ตามลำดับ และ มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p < 0.05$) ดังภาพที่ 30



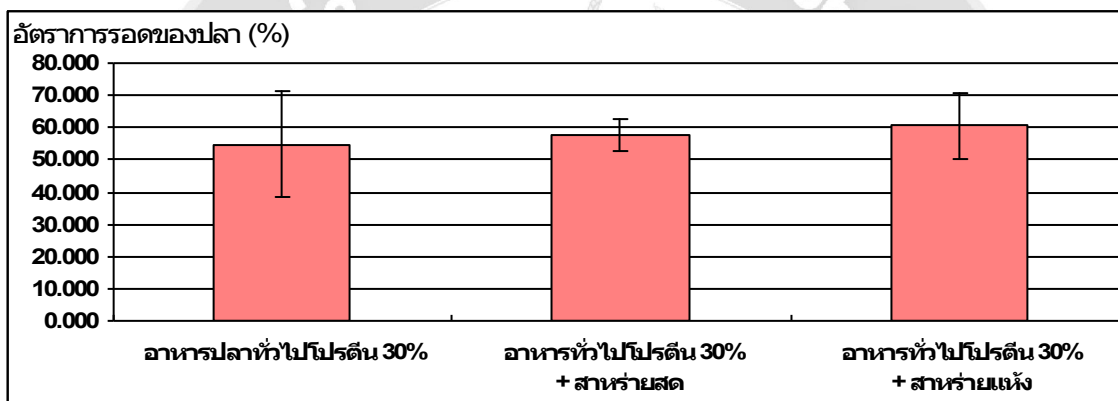
ภาพที่ 24 อัตราการเจริญเติบโต ของปลาแฟนซีคาร์ป ในแต่ละหน่วยทดลอง ระยะเวลา 12 เดือน



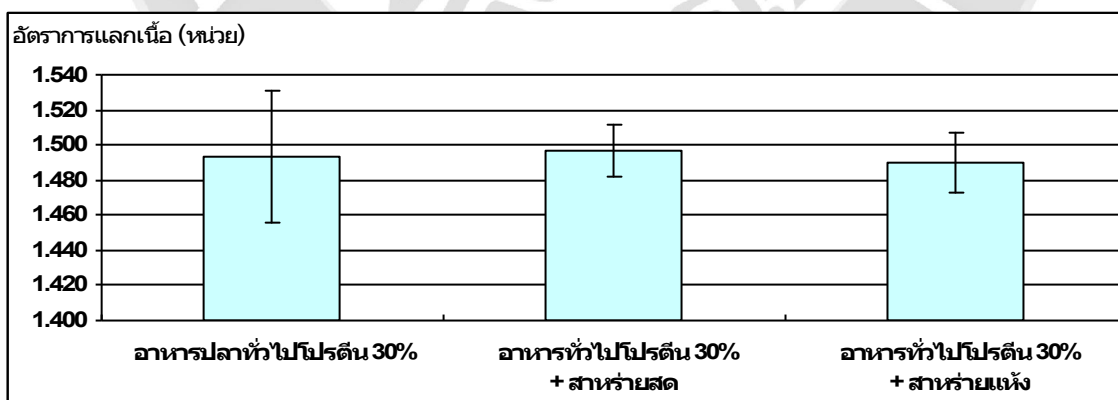
ภาพที่ 25 อัตราน้ำหนักปลาที่เพิ่มขึ้น (%) ของปลาแฟนซีคาร์ป ในแต่ละหน่วยทดลอง ระยะเวลา 12 เดือน



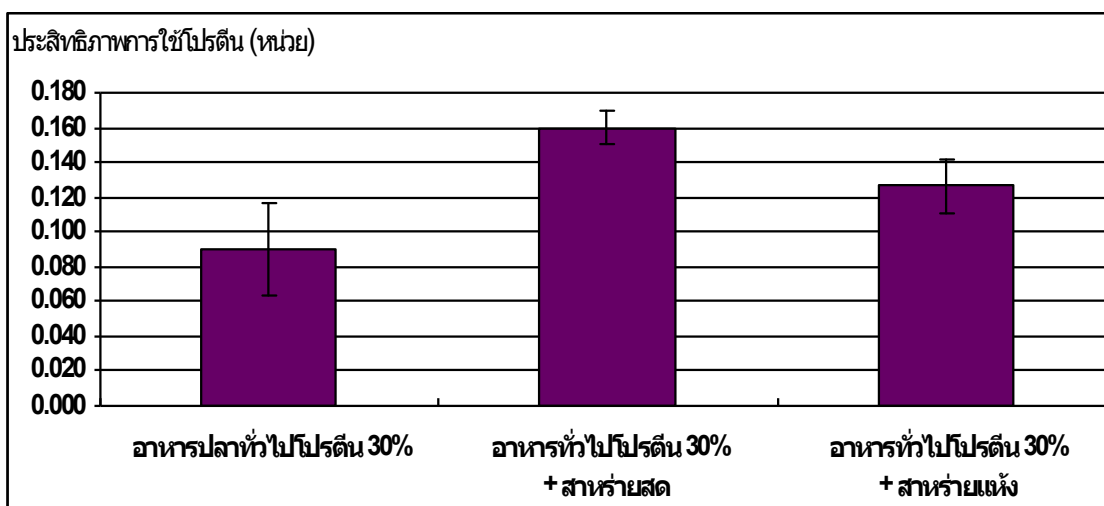
ภาพที่ 26 อัตราการเจริญเติบโตจำเพาะ (%/วัน) ของปลาแฟนซีคาร์ฟ ในแต่ละหน่วยทดลอง ระยะเวลา 12 เดือน



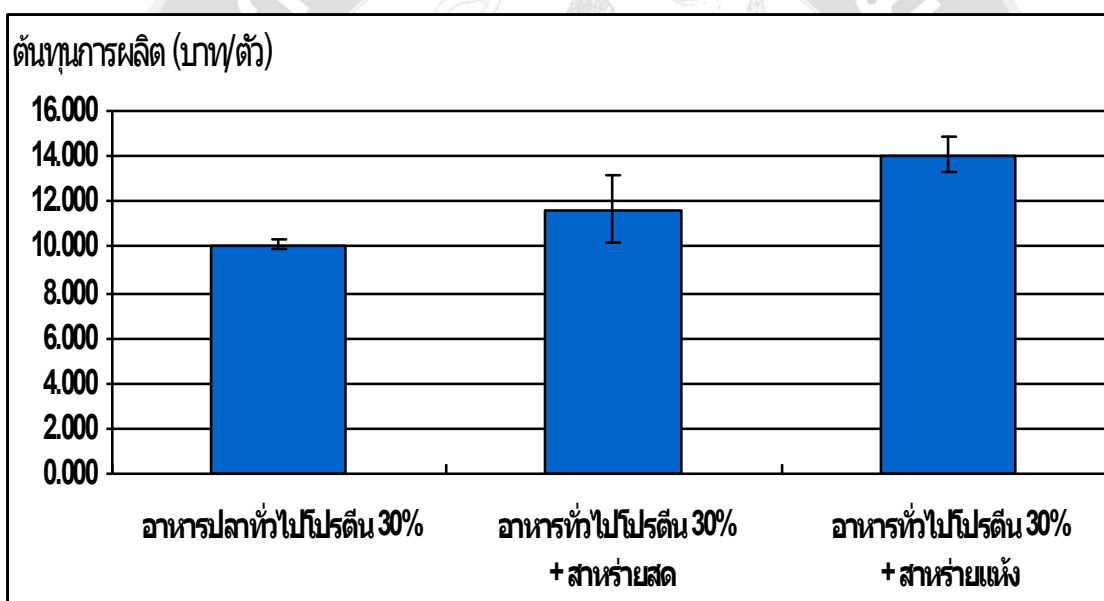
ภาพที่ 27 อัตราการรอด (%) ของปลาแฟนซีคาร์ฟ ในแต่ละหน่วยทดลอง ระยะเวลา 12 เดือน



ภาพที่ 28 อัตราการแลกเนื้อ ของปลาแฟนซีคาร์ฟ ในแต่ละหน่วยทดลอง ระยะเวลา 12 เดือน

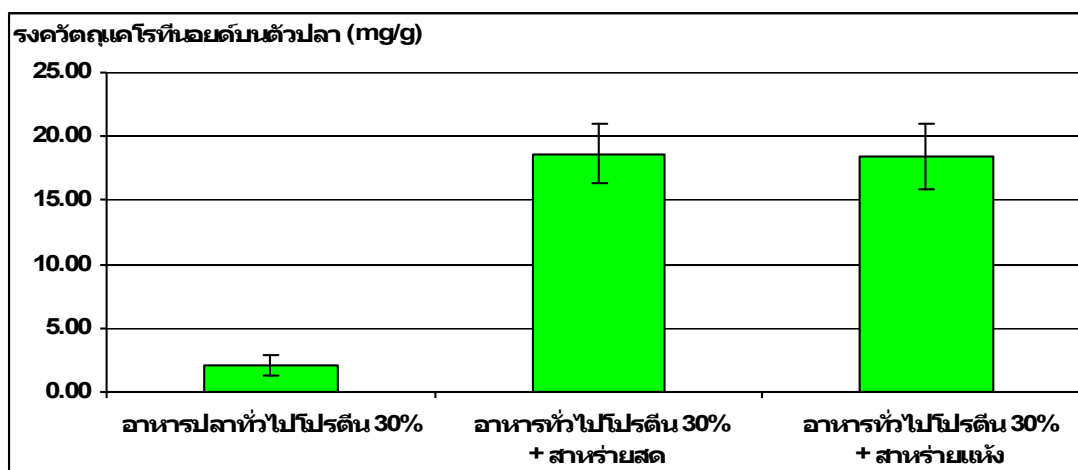


ภาพที่ 29 ประสิทธิภาพการใช้โปรตีน ปลาแฟนซีครีฟ ในแต่ละหน่วยทดลอง ระยะเวลา 12 เดือน



ภาพที่ 30 ต้นทุนการผลิตปลา แฟนซีครีฟ (บาท/ตัว) ในแต่ละหน่วยทดลอง ระยะเวลา 12 เดือน

4. 2 รังควัตถุ หรือ แคโรทีนอยด์ บนตัวปลา (mg/g fish) ปลาที่ได้รับอาหารทั่วไปโปรตีน 30% + สาหร่ายแห้ง และปลาที่ได้รับอาหารทั่วไปโปรตีน 30% + สาหร่ายสด มีค่าอยู่ในช่วง 18.37 ± 2.58 - 18.67 ± 2.31 14.05 ± 0.75 mg/L ซึ่งมากกว่า ปลาที่กินอาหารทั่วไปโปรตีน 30% และ มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p < 0.05$) ดังภาพที่ 31 และ 32



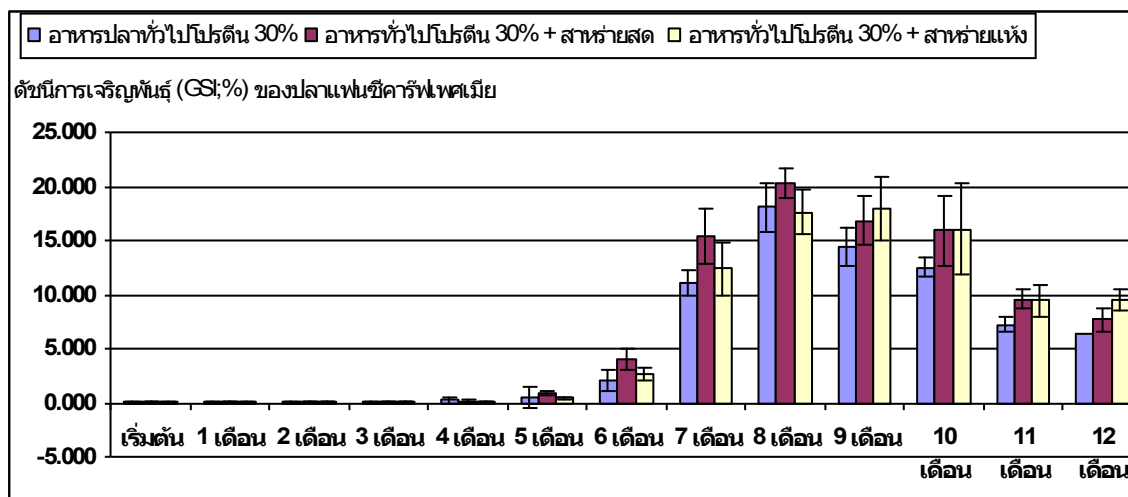
ภาพที่ 31 รูปวงกลม หรือ แคโรทีนอยด์ในปลา ในแต่ละหน่วยทดลอง ระยะเวลา 12 เดือน



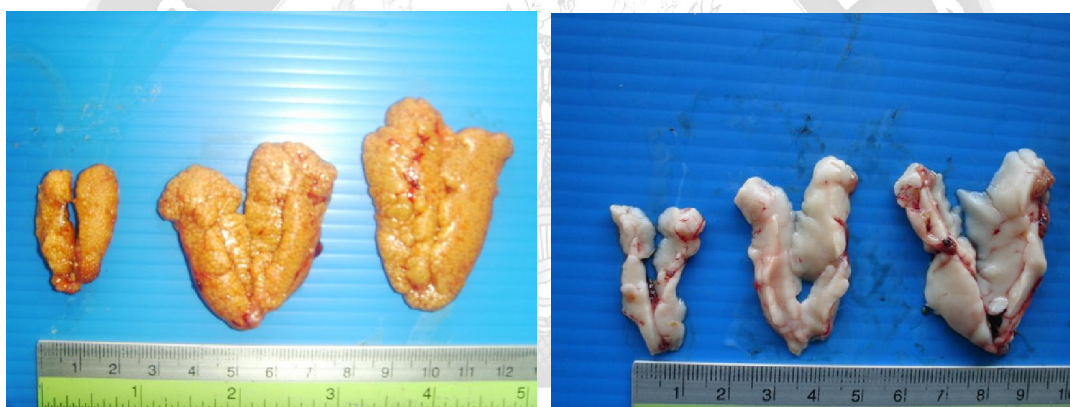
ภาพที่ 32 สารสี บนตัวปลา ที่ให้อาหารผสมสาหร่ายสด และผง ในหน่วยทดลอง ที่ 2 และ 3 มีสีเข้มกว่า หน่วยทดลองที่ 1

4.3 ดัชนีการเจริญพันธุ์ (Gonadosomatic Index; %GSI) ของปลาแพนซีคาร์ฟ

2.1 ดัชนีการเจริญพันธุ์ (Gonadosomatic Index; %GSI) ของปลาแพนซีคาร์ฟเพศเมีย เมื่อเริ่มต้นดัชนีการเจริญพันธุ์ (GSI;%) ของปลาอยู่ระหว่าง 0.000 ± 0.001 - 0.001 ± 0.001 % ดัชนีการเจริญพันธุ์ ของปลาเพิ่มขึ้น ตามระยะเวลาที่เลี้ยง และเริ่มมีความแตกต่างทางสถิติ ($p < 0.05$) ตั้งแต่ เดือนที่ 6 ของการเลี้ยง เป็นต้นไป โดยปลาที่ได้รับอาหารทั่วไปโปรตีน 30% + สาหร่ายสด และอาหารทั่วไปโปรตีน 30% + สาหร่ายแห้ง มีดัชนีการเจริญพันธุ์ ดีกว่า อาหารปลาทั่วไปโปรตีน 30% และ มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p < 0.05$) ดังภาพที่ 33 และ 34



ภาพที่ 33 ดัชนีการเจริญพันธุ์ ของปลาแพนซีคาร์ฟเทศเมย์ ในแต่ละหน่วยทดลอง ระยะเวลา 12 เดือน

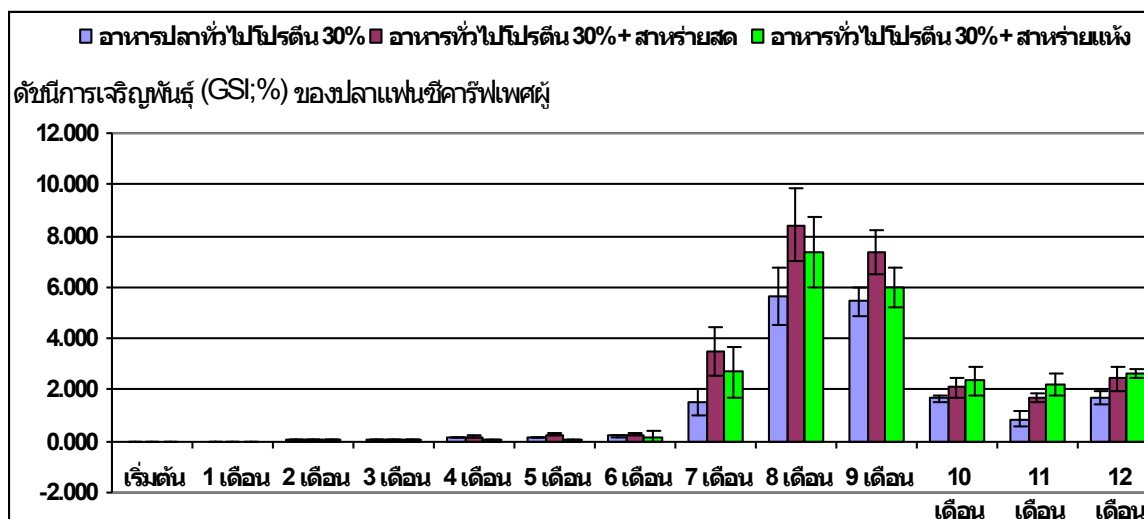


T1 (BD), T2 (BD+RS) และ T3 (BD+PS)

T1 (BD), T2 (BD+RS) และ T3 (BD+PS)

ภาพที่ 34 ไข่ปลาแพนซีคาร์ฟที่ให้อาหารผสม ภาพที่ 35 อวัยวะปลาแพนซีคาร์ฟที่ให้อาหารผสม
สาหร่าย T1 และ T2 มีความคมมากกว่า T1 สาหร่าย T2 และ T3 มี ขนาด ใหญ่กว่า T1

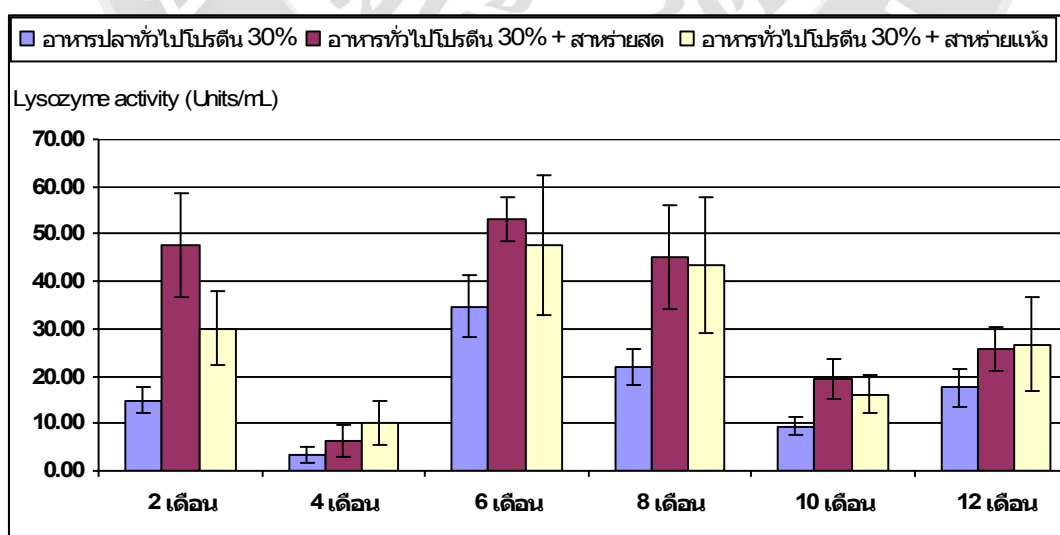
2.2 ดัชนีการเจริญพันธุ์ (Gonadosomatic Index; %GSI) ของปลาแพนซีคาร์ฟเทศเมย์ เมื่อเริ่มต้นดัชนีการเจริญพันธุ์ (GSI,%) ของปลาอยู่ระหว่าง 0.000 ± 0.001 - 0.001 ± 0.001 % ดัชนีการเจริญพันธุ์ ของปลาเพิ่มขึ้น ตามระยะเวลาที่เลี้ยง และเริ่มมีความแตกต่างทางสถิติ ($p < 0.05$) ตั้งแต่เดือนที่ 7 ของการเลี้ยง เป็นต้นไป โดยปลาที่ได้รับอาหารทั่วไปโปรตีน 30% + สาหร่ายสด และ อาหารทั่วไปโปรตีน 30% + สาหร่ายแห้ง มีดัชนีการเจริญพันธุ์ ดีกว่า อาหารปลาทั่วไปโปรตีน 30% และ มีความแตกต่างทางสถิติ ($p < 0.05$) ดังภาพที่ 35 และ 36



ภาพที่ 36 การศึกษาดัชนีการเจริญพันธุ์ (Gonadosomatic Index; %GSI) ของปลาแพนซีครีฟเมียร์ ในแต่ละหน่วยทดลอง ระยะเวลา 12 เดือน

4.4. การกระตุ้น ภูมิคุ้มกันแบบไม่จำเพาะ (lysozyme activity assay)

การกระตุ้น ภูมิคุ้มกันแบบไม่จำเพาะ (lysozyme activity assay) ของปลาแพนซีครีฟ เพิ่มขึ้นตามระยะเวลาที่เลี้ยง และเริ่มมีความแตกต่างทางสถิติ ($p < 0.05$) ตั้งแต่ 2 เดือน ของการเลี้ยง เป็นต้นไป โดยลูกปลาที่ได้รับอาหารทั่วไปโปรตีน 30% + สาหร่ายสด และ อาหารทั่วไปโปรตีน 30% + สาหร่ายแห้ง มีภูมิคุ้มกัน ดีกว่า อาหารปลาทั่วไปโปรตีน 30% และ มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p < 0.05$) ดังภาพที่ 37



ภาพที่ 37 การกระตุ้น ภูมิคุ้มกันแบบไม่จำเพาะ (lysozyme activity; Units/mL) ของปลาแพนซีครีฟ ในแต่ละหน่วยทดลอง ระยะเวลา 12 เดือน

4.5. คุณภาพน้ำทางกายภาพและเคมีในกระชังเลี้ยงปลาแพนซีครีฟ

อุณหภูมิของน้ำ ($^{\circ}\text{C}$) ในกระชังเลี้ยงปลาแพนซีครีฟ ในแต่ละเดือน ปลาที่ได้รับอาหารทั้ง 3 สูตร มีค่าอยู่ระหว่าง $21.80 \pm 0.06 - 31.30 \pm 0.44$ $^{\circ}\text{C}$ และแต่ละเดือน ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ดังภาพที่ 38

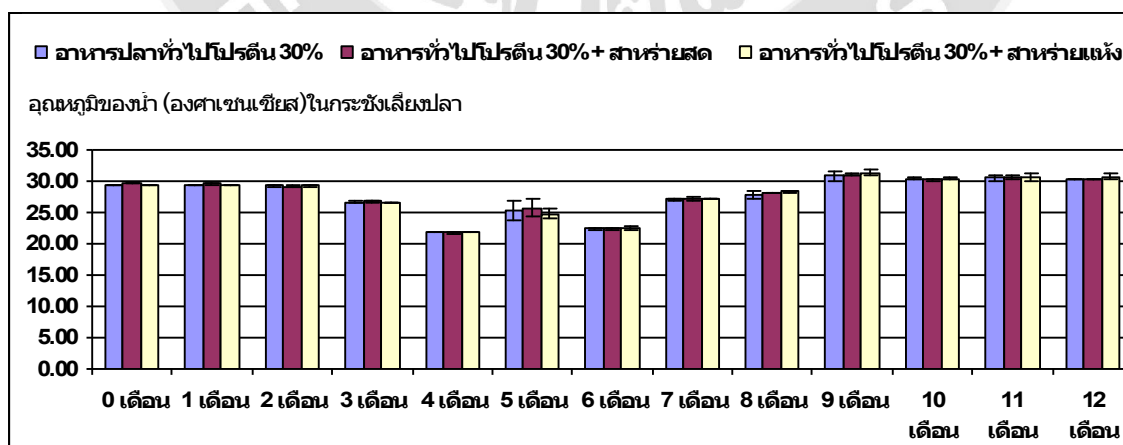
ค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) ในกระชังเลี้ยงปลาแพนซีครีฟ ปลาที่ได้รับอาหารทั้ง 3 สูตร มีค่าอยู่ระหว่าง $5.75 \pm 0.34 - 8.33 \pm 0.86$ หน่วย และแต่ละเดือน ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ดังภาพที่ 39

ออกซิเจนที่ละลายน้ำ (Dissolved oxygen) ในกระชังเลี้ยงปลาแพนซีครีฟ ปลาที่ได้รับอาหารทั้ง 3 สูตร มีค่าอยู่ระหว่าง $4.10 \pm 0.10 - 5.47 \pm 0.06$ mg/L และแต่ละเดือน ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ดังภาพที่ 40

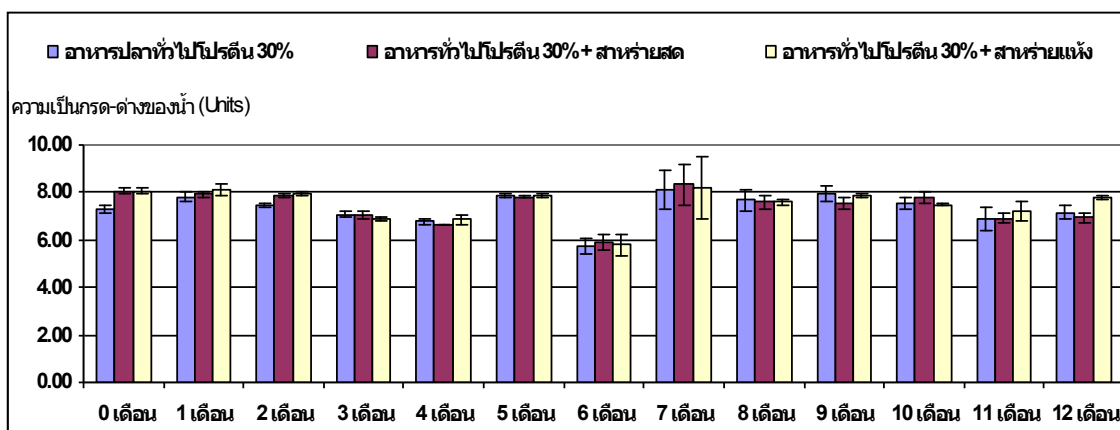
แอมโมเนีย-ไนโตรเจน (Ammonia-nitrogen ; $\text{NH}_3 - \text{N}$) ในกระชังเลี้ยงปลาแพนซีครีฟ ปลาที่ได้รับอาหารทั้ง 3 สูตร มีค่าอยู่ระหว่าง $0.02 \pm 0.01 - 0.12 \pm 0.01$ mg/L และแต่ละเดือน ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ดังภาพที่ 41

ไนเตรท-ไนโตรเจน (Nitrate-nitrogen ; $\text{NO}_3 - \text{N}$) ในกระชังเลี้ยงปลาแพนซีครีฟ ปลาที่ได้รับอาหารทั้ง 3 สูตร มีค่าอยู่ระหว่าง $0.00 \pm 0.00 - 0.10 \pm 0.02$ mg/L และแต่ละเดือน ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ดังภาพที่ 42

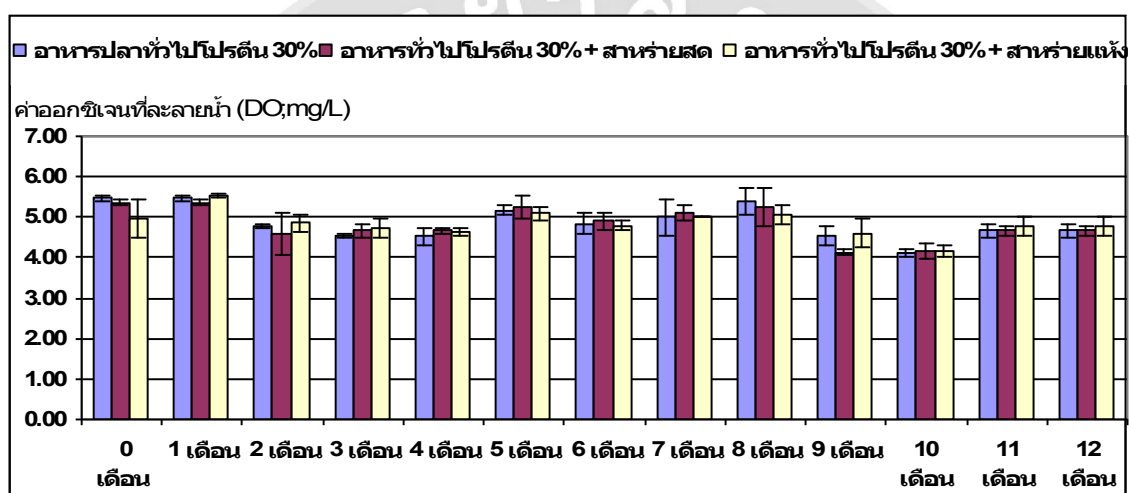
ออร์โธฟอสเฟต-ฟอสฟอรัส (Orthophosphates-phosphorus) ในกระชังเลี้ยงปลาแพนซีครีฟ ปลาที่ได้รับอาหารทั้ง 3 สูตร มีค่าอยู่ระหว่าง $0.05 \pm 0.01 - 0.25 \pm 0.06$ mg/L และแต่ละเดือน ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ดังภาพที่ 43



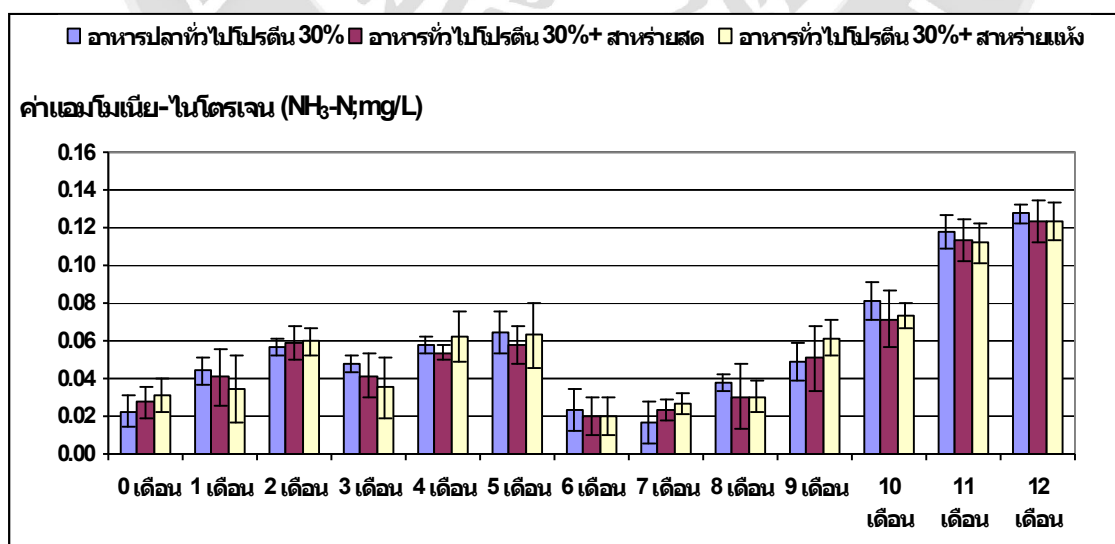
ภาพที่ 38 อุณหภูมิของน้ำ ($^{\circ}\text{C}$) ใน กระชังเลี้ยงปลาแพนซีครีฟ ในแต่ละหน่วยทดลอง ระยะเวลา 12 เดือน



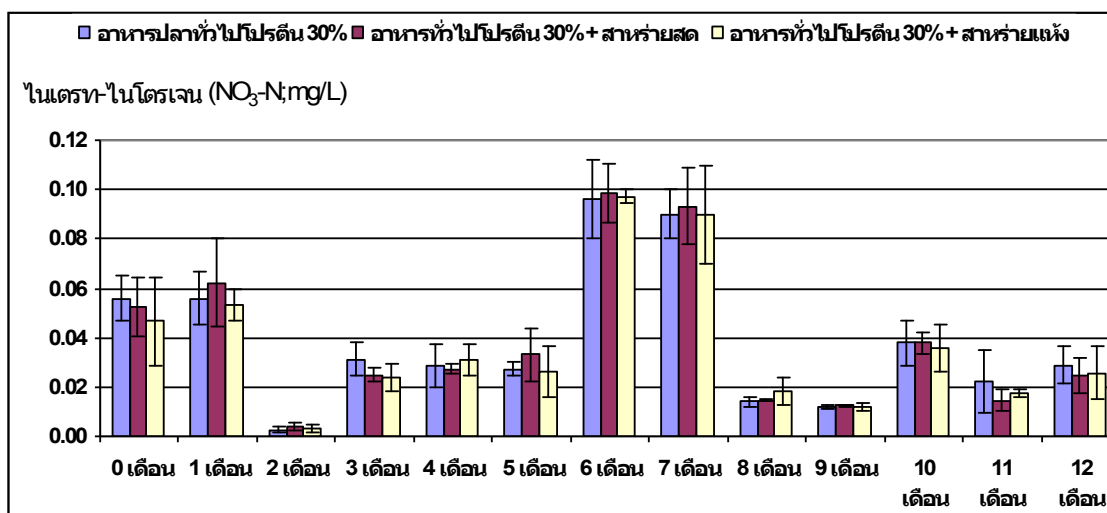
ภาพที่ 39 ค่าความเป็นกรด-ด่าง ใน กระชังปลาแพนซีคัวฟ แต่ละหน่วยทดลอง ระยะเวลา 12 เดือน



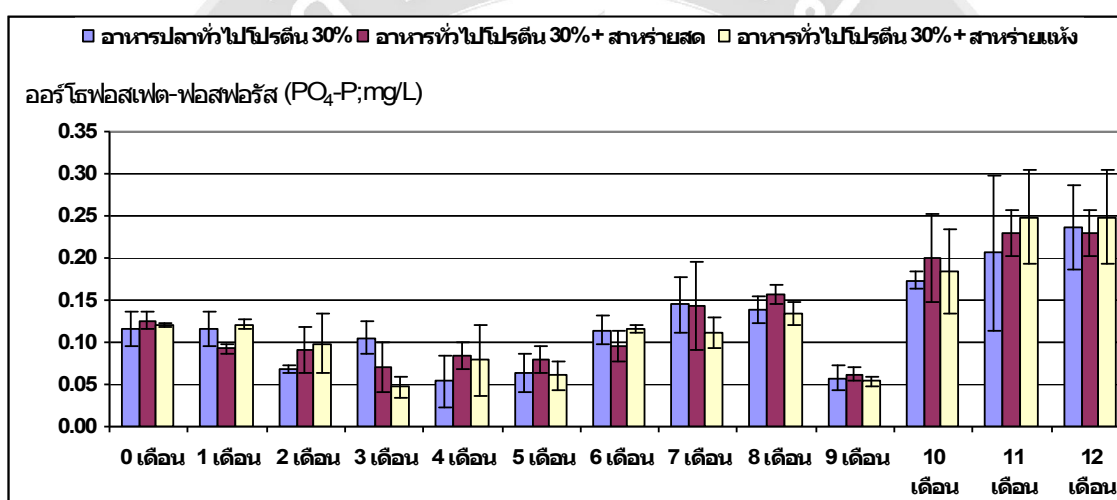
ภาพที่ 40 ออกซิเจนที่ละลายน้ำ (mg/L) ในกระชังเลี้ยงปลาแพนซีคัวฟ แต่ละหน่วยทดลอง ระยะเวลา 12 เดือน



ภาพที่ 41 แอมโมเนีย-ไนโตรเจน (mg/L) ในกระชังเลี้ยงปลาแพนซีคัวฟ แต่ละหน่วยทดลอง ระยะเวลา 12 เดือน



ภาพที่ 42 ไนเตรต-ไนโตรเจน ในกระชังเลี้ยงปลาแพนซีครีฟ แต่ละหน่วยทดลอง ระยะเวลา 12 เดือน



ภาพที่ 43 ออร์โธฟอสเฟต-ฟอสฟอรัส ในกระชังเลี้ยงปลา แต่ละหน่วยทดลอง ระยะเวลา 12 เดือน

5. การเผยแพร่งานวิจัย โดยฝึกอบรมเกษตรกร และผู้สนใจ ในวันที่ 17 พฤษภาคม 2553 ในการ การเพาะเลี้ยงสาหร่าย *Spirulina platensis* ในน้ำทิ้งจากโรงอาหาร เพื่อเป็นอาหารปลา สวยงาม อย่างยั่งยืน มีเกษตรกรอบรมจำนวน 30 คน ในภาพที่ 44 -47 (รายชื่อแนบในภาคผนวก ก.)



ภาพที่ 44 การอบรมเกษตรกรและผู้สนใจ



ภาพที่ 45 เกษตรกรและผู้สนใจ ปฏิบัติเรียนรู้ที่แท้จริง



ภาพที่ 46 สาธิตการผสมอาหาร ภาพที่ 47 เกษตรกรและผู้สนใจ พักรับประทานอาหาร
ให้เกษตรกรและผู้สนใจ

จากการอบรมเกษตรกรและผู้สนใจ เพาะเลี้ยงสาหร่าย *Spirulina platensis* ในน้ำทิ้งจากโรงอาหาร เพื่อเป็นอาหาร ปลาสวยงาม อย่างยั่งยืน ณ คณะเทคโนโลยีการประมง และทรัพยากรทางน้ำ มหาวิทยาลัยแม่โจ้ มีการดำเนินงานด้านประชาสัมพันธ์ และการเตรียมเอกสาร และถ่ายทอดผลงานวิจัยให้เกษตรกร และผู้สนใจ จำนวน 1 รุ่น โดยมีเกษตรกร และผู้สนใจ จำนวน 30 คน ใช้เวลาฝึกอบรมจำนวน 1 วัน หลังการฝึกอบรม และถ่ายทอดเทคโนโลยี พบว่า ผู้เข้ารับการฝึกอบรมทั้ง 1 รุ่น จำนวน 30 คน ได้ทำการเพาะเลี้ยงสาหร่าย จำนวน 5 คน คิดเป็นร้อยละ 16.67 และทำการเพาะเลี้ยงสาหร่าย และนำสาหร่ายไปเลี้ยงปลาแฟนซีแครีฟ จำนวน 4 คน คิดเป็นร้อยละ 13.33

วิจารณ์ผลการทดลอง

คุณภาพน้ำของน้ำทิ้งจากโรงอาหาร คุณภาพน้ำของน้ำทิ้งจากโรงอาหาร มหาวิทยาลัยแม่โจ้ ที่ผ่านการกรองและพักทิ้งไว้ 2 สัปดาห์ พบว่า น้ำทิ้งจากโรงอาหารมีความเป็นด่างสูง มีสารอาหารแอมโมเนียไนโตรเจนสูง ซึ่งเป็นไนโตรเจนที่สาหร่ายสามารถนำไปใช้ได้ (Sze, 1998) อีกทั้งพบว่าน้ำทิ้งจากโรงอาหารมีความเข้มข้นของไนโตรเจนและออร์โธฟอสเฟต-ฟอสฟอรัสที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตในการเพาะเลี้ยงสาหร่าย (Jerald, 1996) จากการพิจารณาอัตราส่วนของ N:P ซึ่งเป็นสารอาหารที่จำเป็นต่อการเจริญของสาหร่าย *S. platensis* 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 เนื่องจากมีการให้ออกซิเจน ปริมาณสารอาหารจะลดลงโดยเฉพาะไนโตรเจน ซึ่งน่าจะเกิดจากสาหร่ายนำสารอาหารไปใช้ในการเจริญ ปริมาณแอมโมเนียในรูปแอมโมเนียไนโตรเจน อีกทั้งการเพาะเลี้ยงสาหร่าย *S. platensis* สามารถปรับปรุงคุณภาพน้ำได้ระดับหนึ่ง โดยสามารถลดค่า BOD ความเป็นด่าง และปริมาณสารอาหารได้

เช่นเดียวกับการเพาะเลี้ยงสาหร่าย *S. platensis* ในน้ำเสีย (จงกล, 2543) การเจริญของสาหร่าย *S. platensis* ที่เพาะเลี้ยงในตู้กระจก โดยใช้น้ำทิ้งจากโรงอาหารที่ระดับความเข้มข้นต่างๆ 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 ที่ต่างกัน ค่า DO แต่ละความเข้มข้นมีค่าที่ใกล้เคียงกัน ปริมาณสารอาหาร พบว่า $\text{NH}_3\text{-N}$, $\text{NO}_3\text{-N}$, TN, TKN และ TP จะมีค่าลดลงจากวันเริ่มต้น หรือวันที่ 0 เช่นเดียวกับค่า BOD คล้ายกับการเพาะเลี้ยง *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 อ้างโดย จงกล, 2543) สาหร่ายมี beta-carotene, C-phyocyanin, γ -Linoleic acid และ คุณค่าทางโภชนาการสูงกว่า 90% Cw คณะผู้วิจัยนำน้ำทิ้งจากโรงอาหารความเข้มข้น 100% Cw ไปเลี้ยงในบ่อซีเมนต์ แบบ raceway pond ขนาดใหญ่ต่อไป เพื่อ biomass production นำผลผลิตสาหร่ายมาอนุบาลปลาแพนซีครีฟต่อไป

การเพาะเลี้ยง *S. platensis* ด้วยน้ำทิ้งจากโรงอาหาร 100% Cw ในบ่อซีเมนต์แบบ raceway pond แบบหมวมวล เพื่อนำไป อนุบาลลูกปลาแพนซีครีฟ น้ำทิ้งจากโรงอาหารที่ความเข้มข้น 100% Cw ได้ผลผลิตสาหร่ายแห้ง 0.60 ± 0.07 g/L มีต้นทุนผันแปรในการผลิต 218.60 บาท/กิโลกรัม และมี โปรตีนประมาณ $41.45 \pm 2.80\%$ และ นำผลผลิตสาหร่ายไปอนุบาลปลาครีฟ ต่อไป

การทดลองใช้สาหร่าย สไปรูลิน่า เป็นอาหารอนุบาลลูกปลาแพนซีครีฟ น้ำหนักเฉลี่ยต่อตัว ความยาวเฉลี่ยต่อตัว อัตราการเจริญเติบโต อัตราการเจริญเติบโตจำเพาะ อัตราการรอดตาย พบว่า ปลาที่ได้รับอาหารสไปรูลินาผง 10%/น้ำหนักตัว/มื้อ และปลาที่ได้รับอาหารผง 10%/น้ำหนักตัว/มื้อ มีค่ามากกว่า ปลาที่ได้รับ อาหารสไปรูลินาสด 100%/น้ำหนักตัว/มื้อส่วนอัตราการแลกเนื้อ ลูกปลา

ที่ได้รับ 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% ผสมในอาหารปลาทดแทนปลาป่น เพื่อให้โปรตีนในอาหารปลาเท่ากับ 30% มีผลให้ปลา มีอัตราน้ำหนักที่เพิ่มขึ้น และอัตราการเจริญเติบโตจำเพาะดีที่สุด (จงกล และคณะ, 2546) ซึ่ง Duncan and Klesius (1996) กล่าวว่า สไปรูลินาเป็นแหล่งโปรตีนที่มีศักยภาพในอาหารสัตว์ เนื่องจากมีโปรตีนสูงอีกทั้งยังประกอบด้วยวิตามินและเกลือแร่ในปริมาณสูง นอกจากนี้ผนังเซลล์ ยังมีองค์ประกอบที่ง่ายต่อการย่อย เนื่องจากไม่มีเซลลูโลส อย่างไรก็ตามระดับการผสม สไปรูลินาในอาหารปลาแต่ละชนิดมีระดับแตกต่างกัน ขึ้นอยู่กับพฤติกรรมการกินอาหารของปลา และการย่อยโปรตีนจากพืชของปลาแต่ละชนิดต่างกัน

รงควัตถุ หรือสารสี (pigment) วิเคราะห์ในรูปแคโรทีนอยด์ บนตัวลูกปลาแฟนซีครีฟ แคโรทีนอยด์รวมทั้งใน เกล็ด หนัง และเนื้อปลาก่อนการทดลองของลูกปลา อยู่ระหว่าง 0.40 ± 0.10 mg /kg และไม่มีมีความแตกต่างกันทางสถิติ ส่วน แคโรทีนอยด์หลังการทดลองของลูกปลา ที่ได้รับอาหารสไปรูลินาสด 100% /น้ำหนักตัว/มื้อ มีค่า 7.23 ± 0.44 mg /kg และลูกปลา ที่ได้รับ สไปรูลินาผง 10% /น้ำหนักตัว/มื้อ มีค่า 6.80 ± 1.90 mg/ kg ซึ่งมีค่ามากกว่าปลาที่กินอาหารผง 10%/น้ำหนักตัว/มื้อ สาหร่ายสไปรูลินา มีผลต่อการเกิดสีในหนังและเนื้อของสัตว์น้ำ โดยขึ้นอยู่กับปริมาณ และระยะเวลา รวมทั้ง ค่าโรทีนอยด์ มีผลต่อสุขภาพของปลา โดยสามารถลดความเครียด ทำให้ปลามีสุขภาพดี สามารถทนต่อเชื้อก่อโรคต่าง ๆ ได้ดีขึ้น (Nakano *et al.*, 2003)

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

การทดลองใช้สาหร่าย สไปรูลินา เป็นอาหารเลี้ยงปลาแฟนซีครีฟ จากผลการศึกษาการเลี้ยงปลาครีฟ โดยใช้สาหร่ายสไปรูลินา ทั้งรูปแบบสด และแห้ง ในครั้งนี้พบว่า ปลา ที่เลี้ยงด้วยอาหารที่ผสม ด้วย สไปรูลินาสด และแห้ง ส่งผลให้ อัตราการเจริญเติบโต น้ำหนักที่เพิ่มขึ้น อัตราการเจริญเติบโตจำเพาะ ประสิทธิภาพการใช้โปรตีน สารสีแคโรทีนอยด์ ดัชนีการเจริญพันธุ์ และภูมิคุ้มกันดีกว่า การเลี้ยงปลาแฟนซีครีฟ ที่ได้รับ อาหารเม็ดทั่วไป ที่ไม่ผสม สาหร่ายสไปรูลินา (สูตรควบคุม) ซึ่ง

มีปลาปนเป็นแหล่งโปรตีน (positive control) ส่วน ต้นทุนการผลิตปลาแพนซีครีฟ พบว่า อาหารทั่วไป ผสม สไปรูลินาสด และแห้ง มีต้นทุนที่สูงกว่า สูตรอาหารทั่วไปไม่ผสมสาหร่าย สไปรูลินา ซึ่งอัตราการเจริญเติบโต น้ำหนักที่เพิ่มขึ้นคล้าย การทดลองใช้ สาหร่ายสไปรูลินาสด 100% อนุบาล และเลี้ยงปลานิลทำให้ปลา มีอัตราการเจริญเติบโต น้ำหนักที่เพิ่มขึ้น สูงกว่าสูตรอาหารควบคุม (Lu *et al.*, 2004) และ มารศรี (2549) และ Yamaguchi (1980) กล่าวว่า ในสาหร่ายสไปรูลินา มีวิตามิน แร่ธาตุ กรดไขมัน ซึ่งเป็นต้นกำเนิดของ Gamma Linolenic Acid (GLA) ที่เป็นอนุพันธ์ ของกรดไขมัน ที่มีหน้าที่ในการควบคุมระบบสืบพันธุ์ สมศักดิ์ (2547) กล่าวว่า การเสริม สาหร่ายสไปรูลินาในสูตรอาหาร ในการเลี้ยงปลาน้ำจืด จะมีผลต่อการเจริญเติบโต การพัฒนาของอวัยวะสืบพันธุ์ และการ เจริญพันธุ์

คล้ายกับการทดลอง วุฒิพร และอัญชลี (2548) มีการทดลองใช้สาหร่ายสไปรูลินา 10% ผสม ในอาหารปลาตุ๊ก มีผลให้ปลาตุ๊กมี ประสิทธิภาพการใช้โปรตีนดีที่สุด และปลาตุ๊กมีปริมาณของ คาร์โบไฮเดรตในเนื้อเพิ่มขึ้น และมีการทดลองใช้สาหร่ายสไปรูลินาผง 10-15 % ผสมในอาหารปลานิล แดง ทดแทนปลาปนเพื่อให้โปรตีนในอาหารปลาเท่ากับ 30% มีผลให้ปลานิลแดง มีอัตราน้ำหนักที่ เพิ่มขึ้น และอัตราการเจริญเติบโตจำเพาะดีที่สุด และปลานิลแดง มีปริมาณของคาร์โบไฮเดรตในเนื้อ เพิ่มขึ้น (จงกล และคณะ, 2546) คล้ายกับ การนำสาหร่าย *S. platensis* และ *Cladophora* อนุบาล ปลาแพนซีครีฟ พบว่า ปลาแพนซีครีฟ ที่ให้สาหร่าย *S. platensis* ผง มีอัตราการเจริญเติบโตต่อวัน อัตราน้ำหนักที่เพิ่มขึ้น อัตราการรอดตาย และคาร์โบไฮเดรตที่สะสมในเนื้อปลาหลังการทดลอง มากกว่า อาหารผงทั่วไป และ สาหร่าย *Cladophora* ผง (จงกล และ เพ็ญรัตน์, 2546) ซึ่ง Duncan and Klesius (1996) กล่าวว่า สาหร่าย สไปรูลินาเป็นแหล่งโปรตีนที่มีศักยภาพในอาหารสัตว์ เนื่องจากมี โปรตีนสูงอีกทั้งยังประกอบด้วยวิตามินและเกลือแร่ในปริมาณสูง นอกจากนี้ผนังเซลล์ยังมีองค์ประกอบ ที่ง่ายต่อการย่อย เนื่องจากไม่มีเซลลูโลส อย่างไรก็ตามระดับการผสมสาหร่ายสไปรูลินา ในอาหาร ปลาแต่ละชนิดมีระดับแตกต่างกัน ขึ้นอยู่กับพฤติกรรมการกินอาหารของปลา และการย่อยโปรตีนจาก พืชของปลาแต่ละชนิดแตกต่างกัน

จากการทดลองครั้งนี้ ปลา มีภูมิคุ้มกันแบบไม่จำเพาะ (lysozyme activity assay) คือ ปลาที่ ได้รับอาหารทั่วไปผสมกับสาหร่าย สไปรูลินาสด และแห้ง มีค่าสูงกว่าการทดลองอื่นๆ การเพิ่มขึ้นของ ภูมิคุ้มกัน อาจมาจากสารสีจำพวก phycocyanin ในสาหร่าย สไปรูลินา ซึ่งเป็นสารช่วยสร้างระบบ ภูมิคุ้มกัน Vonshak (1997) และ สไปรูลินามีสารสีที่เรียกว่า คาร์โรทีนอยด์ ทำให้มีผลต่อสุขภาพของปลา โดยสามารถลดความเครียด ทำให้ปลามีสุขภาพดี สามารถทนต่อเชื้อก่อโรคต่างๆ ได้ดีขึ้น (Nakano *et al.*, 2003) ด้านคุณภาพน้ำ ในการเลี้ยงปลาแพนซีครีฟ ที่ได้รับ อาหารผสม สไปรูลินาสด และแห้ง จะ มีค่า pH และสารอาหาร โดยเฉพาะ $\text{NH}_3\text{-N}$ มากกว่า บ่อที่ลูกปลาได้ที่รับอาหารสไปรูลินา สารอาหาร ค่อนข้างสูง อาจเกิดจากการสะสมของๆ เสีย เช่นจากอาหารปลาที่มีสาหร่ายสด แต่ได้มีการเปลี่ยนน้ำ

ในบ่อจัน ค่าต่างๆ อยู่ในเกณฑ์มาตรฐานการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ ซึ่งมีค่า pH อยู่ระหว่าง 6.5-9 ค่า DO ไม่ต่ำกว่า 5 mg/l, alkalinity อยู่ระหว่าง 100-120 mg/l as CaCO_3 ค่า $\text{PO}_4\text{-P}$ อยู่ระหว่าง 0.1-0.5 mg/l และ $\text{NH}_3\text{-N}$ ไม่เกิน 0.05 mg/l (Boyd and Tucker, 1992)

สรุปผล (Summary)

การการเพาะเลี้ยงสาหร่าย *S. platensis* โดยใช้สูตรอาหาร MZm และน้ำทิ้งจากโรงอาหาร โดยคุณภาพน้ำ มีค่า BOD, $\text{NH}_3\text{-N}$, $\text{NO}_3\text{-N}$, TP และ TKN ลดลงจากรวันแรก สูตรอาหาร MZm และน้ำทิ้งจากโรงอาหารที่ความเข้มข้น 100%Cw สาหร่ายมีการเจริญดี ได้ผลผลิตสาหร่ายค่อนข้างสูง สาหร่ายมี beta-carotene, C-phycoerythrin, γ -Linoleic acid และ คุณค่าทางโภชนาการสูง น้ำทิ้งจากโรงอาหารความเข้มข้น 100%Cw ไปเลี้ยงในบ่อซีเมนต์ แบบ raceway pond ได้ผลผลิตสาหร่ายแห้ง 0.60 ± 0.07 g/L มีต้นทุนการผลิต 218.60 บาท/กก. และ สาหร่ายมี โปรตีนประมาณ $41.45 \pm 2.80\%$

การนำสไปรูลินา อนุบาลปลาแพนซีครีฟ มีน้ำหนักเฉลี่ยต่อตัว ความยาวเฉลี่ยต่อตัว อัตราการเจริญเติบโต อัตราการเจริญเติบโตจำเพาะ อัตราการรอดตาย ในการอนุบาลพบว่า ปลาที่ได้รับอาหาร 10%PS และ 10%PF มีค่ามากกว่าปลาที่ได้รับอาหาร 100%RS ส่วนอัตราการแลกเนื้อ ลูกปลาที่ได้รับ อาหาร 10%PS มีอัตราการแลกเนื้อ ดีที่สุด แต่ต้นทุนการผลิตลูกปลาคือ ปลาที่ได้รับอาหาร 100%RS มีต้นทุนต่ำที่สุด และสารสี (pigment) วิเคราะห์ในรูป แคโรทีนอยด์ ลูกปลา ที่ได้รับอาหารผสมสาหร่าย 100%RS และ 10%PS มีค่ามากกว่าปลาที่ได้รับอาหารผงทั่วไป

การเลี้ยงปลาครีฟ โดยใช้สาหร่ายสไปรูลินา ทั้งรูปแบบแห้ง และสด ทำให้ ปลาแพนซีครีฟ มีการอัตราการเจริญเติบโต น้ำหนักที่เพิ่มขึ้น อัตราการเจริญเติบโตจำเพาะ ประสิทธิภาพการใช้โปรตีน และดัชนีการเจริญพันธุ์ รังควาณสารสี แคโรทีนอยด์ และปลาไม่มีภูมิคุ้มกันแบบไม่จำเพาะ (lysozyme activity assay) ดีกว่าการเลี้ยงปลาแพนซีครีฟ ที่ได้รับ อาหารเม็ดทั่วไป ที่ไม่ผสมสาหร่ายสไปรูลินา (สูตรควบคุม)

ด้านคุณภาพน้ำ ในกระชัง อนุบาล และเลี้ยง ปลาแพนซีครีฟ อยู่ในเกณฑ์มาตรฐานการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ ซึ่งมีค่า pH อยู่ระหว่าง 6.5-9 ค่า DO ไม่ต่ำกว่า 5 mg/l, alkalinity อยู่ระหว่าง 100-120 mg/l as CaCO_3 ค่า $\text{PO}_4\text{-P}$ อยู่ระหว่าง 0.1-0.5 mg/l และ $\text{NH}_3\text{-N}$ ไม่เกิน 0.05 mg/l

การอบรมเกษตรกรและผู้สนใจ เพาะเลี้ยงสาหร่าย *Spirulina platensis* ในน้ำทิ้งจากโรงอาหาร เพื่อเป็นอาหาร ปลาสวยงาม อย่างยั่งยืน พบว่า ผู้เข้ารับการฝึกอบรม จำนวน 30 คน ได้ทำการเพาะเลี้ยงสาหร่าย จำนวน 5 คน คิดเป็นร้อยละ 16.67 และทำการเพาะเลี้ยงสาหร่าย และ นำสาหร่ายไปเลี้ยงปลาแพนซีครีฟ จำนวน 4 คน คิดเป็นร้อยละ 13.33

คำขอบคุณ

ทุนสนับสนุนการวิจัย จาก สำนักวิจัยและส่งเสริมการเกษตร มหาวิทยาลัยแม่โจ้ สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ (วช.) และ คณะเทคโนโลยีการประมงฯ มหาวิทยาลัยแม่โจ้

เอกสารอ้างอิง (References of Literature cited)

- กุศล คำเพราะ. (2541). สารให้สี Aataxanthin ที่มีศักยภาพในอาหารสัตว์ปีก. สัตว์เศรษฐกิจ. 16(348):41-44
- จงกล พรมยะ. (2543). การเพาะเลี้ยงสาหร่าย *Spirulina platensis* ในน้ำทิ้งจากบ่อหมักก๊าซชีวภาพมูลสุกร. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต, ภาควิชาชีววิทยา, คณะวิทยาศาสตร์, มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.
- จงกล พรมยะ . (2545) . การเพาะเลี้ยงสาหร่าย *Spirulina platensis* เพื่อปรับปรุงคุณภาพน้ำหอพัก นักศึกษามหาวิทยาลัยแม่โจ้. รายงานผลการวิจัย มหาวิทยาลัยแม่โจ้ เชียงใหม่
- จงกล พรมยะ และขจรเกียรติ แซ่ตัน.(2548). การเพาะเลี้ยงสาหร่ายสไปรูลินาเพื่อสุขภาพ. ภาควิชาเทคโนโลยีการประมง คณะผลิตกรรมการเกษตร มหาวิทยาลัยแม่โจ้ เชียงใหม่
- จงกล พรมยะ และเพ็ญรัตน์ หงษ์วิทยากร. (2546). การใช้สาหร่าย *Spirulina platensis* เพื่อเร่งสีปลาแพนซีคาร์ฟ , การประชุมวิชาการสาหร่ายและแพลงก์ตอนแห่งชาติครั้งที่ 1 20 – 21 มีนาคม 2546 ห้องประชุม 10 อาคารสารนิเทศ 50 ปี มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ กรุงเทพฯ.
- จงกล พรมยะ, เพ็ญรัตน์ หงษ์วิทยากร และชนกันต์ จิตมนัส .(2546). การพัฒนา สาหร่าย *Spirulina platensis* ระดับพื้นฐานเพื่อเป็นอาหารเร่งสีเนื้อปลานิลแดง. การประชุมสัมมนาวิชาการ งานวันเกษตรและเทคโนโลยี ครั้งที่3 ระหว่างวันที่ 5-6 ธันวาคม 2546 ณ คณะเทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยมหาสารคาม.
- จงกล พรมยะและ ศิริเพ็ญ ตริยไชยาพร. (2548). การเพาะเลี้ยงสาหร่าย สไปรูลินาในน้ำทิ้งจากโรงอาหารและ น้ำหมักกากถั่วเหลือง. การประชุมวิชาการวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 31 วันที่ 18-20 ตุลาคม 2548 ณ มหาวิทยาลัยสุรนารี จังหวัดนครราชสีมา
- ชลธิชา โชติสิทธิพงษ์. (2541). ผลของแอสตาแซนทีนต่อสี การเจริญเติบโต อัตราการรอดตายและความทนทานต่อเชื้อแบคทีเรีย *Streptococcus* sp. ของปลานิลสีแดง. วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต ภาควิชาเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ คณะประมง มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ กรุงเทพฯ. 104 หน้า.

- ตุลฮาบ หวังสุข. (2550). ลองมาเพาะปลาคาร์ฟกันเล่นๆเถอะ. PET – MAG นิตยสารสัตว์เลี้ยง 9(98): 99 – 101.
- นิวุฒิ หวังชัย และ สุฤทธิ์ สมบูรณ์ชัย. (2540). อาหารปลา. เชียงใหม่: ภาควิชาเทคโนโลยีการประมง, คณะผลิตกรรมการเกษตร, มหาวิทยาลัยแม่โจ้.
- मारศรี เรื่องจิตชะวาล. (2549). สำหรับสไปรูลินา. สายวิชาเทคโนโลยีชีวภาพ. กรุงเทพฯ: คณะทรัพยากรชีวภาพและเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี. 35 น.
- วุฒิพร พรหมขุนทอง และอัญชลี พิพัฒน์วัฒนากุล . (2548). ผลของสำหรับสไปรูไลนาต่อการเจริญเติบโต และระดับแอนติบอดี ในปลาอุกพันธุ์ผสม (*Clarias macrocephalus* x *Clarias gariepinus* (Burchell) วารสาร สงขลานครินทร์ วิทยาศาสตร์เทคโนโลยี ปีที่ 27 (ฉบับพิเศษ 1) 115-132.
- สถาบันวิจัยสัตว์น้ำสวยงาม สถานแสดงพันธุ์สัตว์น้ำ กรมประมง (2552). การเลี้ยงปลาคาร์ฟ. การเพาะเลี้ยงปลาแฟนซีคาร์ฟ. แหล่งที่มา: <http://www.nicaonline.com/new-71.htm> 15 ธันวาคม 2552
- สมศักดิ์ วรคามิน. (2547). สำหรับอาหารของอนาคต. กรุงเทพฯ: มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ 62 น.
- สุจินต์ สมใจ (2547). สำหรับสไปรูลินา. สำหรับเกลียวทอง. แหล่งที่มา: <http://www.gpo.or.th/news/interest/inter4.htm>. 17 เมษายน 2552
- สุรศักดิ์ วงศ์กิตติเวช. (2546). คู่มือเลี้ยงปลาคาร์ฟ. พิมพ์ครั้งที่ 2. เอ็ม ซีฟฟลาย. กรุงเทพฯ. 421 น.
- อมรรัตน์ เสริมวัฒนากุลและบุษกร บำรุงธรรม. (2543). อาหารปลาสวยงาม. สถาบันวิจัยสัตว์น้ำสวยงามและสถานที่แสดงพันธุ์สัตว์น้ำ. กรุงเทพฯ. 16 - 19 หน้า.
- Anaga A., Abu G.O. (1996). A laboratory-scale cultivation of *Chlorella* and *Spirulina* using waste effluent from a fertilizer company in Nigeria. Bioresour-techol., 58, 93-95.
- AOAC (Association of Official Analytical Chemists). (1990). Official Methods of Analysis. Washington DC.
- Berns, D.S., Crespi H.L. and Katz J.J. (1963). Isolation, amino acid composition and some physico-chemical properties of the protein deuterio-phycoerythrin. J. Am. Chem. Soc. 85, 8-14
- Bold, H.C. and M.J. Wynne. (1978). Introduction of the Algae. Structure and Reproduction. Prentice Hall of India Private Limited, New Delhi.
- Boyd, C. E. and Tucker, C. S. (1992). Water Quality and Pond Soil Analysis for Aquacult. Auburn University, Alabama.

- Chung P. (1978). Production and Nutritive Value of *Arthospira platensis* Aspsival 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.
- Jauncey, K and Ross B. (1982) A guide to Tilapia feeds and feeding, Institute of Aquaculture, University of Stirling, Stirling
- Lu, J. and T. Takeuchi, (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.
- Lu, J ., Toshio T. and Hiroo S. 2004. Ingestion and assimilation of three species of freshwater algae by larval Nile tilapia *Oreochromis niloticus*. Aquaculture Article in press, corrected Proof-Not to users.
- Nandeesh, M. C., Gangadhara, B., Varghese, T.J. and keshavanath, P. (1998). Effect of Feeding *Spirulina platensis* on the growth , proximate composition and organoleptic quality of common carp , L. Aquacult. Res., 29 : 305 – 312.
- Nakamura, H. (1982). *Spirulina* : Food for Hungry World. University of the Tress. Prss, Boulder Creek., California.
- 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.
- Sardar, M.R., Thompson K.D., Penman D.J. and McAndrew B. J. (2001). Immune responses of Nile tilapia clones developmental and comparative. Immunology. 25, 37-46.
- 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.
- Yamaguchi M. (1980). Utilization of *Spirulina*. New Food Ind. 21 (2): 34 – 41.
- Venkataraman, L.V. (1983). A monograph on *Spirulina platensis*. Central Food Technological Research Institute, Mysore .
- Vonshak, A. (1997). *Spirulina platensis* (*Arthospira*): Physiology, cell biology and biotechnology. Taylor & Francis, London. 540 p.