

การใช้ประโยชน์จากมูลปลานิล (*Oreochromis niloticus*) สำหรับเลี้ยง
สาหร่ายสีเขียวขนาดเล็กสกุลคลอเรลลา (*Chlorella* sp.)

UTILIZATION OF FECES FROM NILE TILAPIA (*Oreochromis niloticus*)
FOR GREEN MICROALGAE (*Chlorella* sp.) CULTURE



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิทยาศาสตร์การประมง

คณะเทคโนโลยีการเกษตร

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ. 2552

KMUTL-2009-AG-M-081-021

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

การใช้ประโยชน์จากมูลปลานิล (*Oreochromis niloticus*) สำหรับเลี้ยง
สาหร่ายสีเขียวขนาดเล็กสกุลคลอเรลลา (*Chlorella* sp.)

UTILIZATION OF FECES FROM NILE TILAPIA (*Oreochromis niloticus*)
FOR GREEN MICROALGAE (*Chlorella* sp.) CULTURE

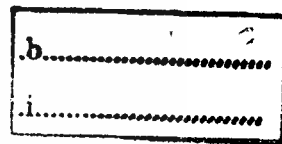


T105152

สุธาสิณี ภัยชนะ

SUTASINEE PHAICHANA

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน..... 105152
วัน,เดือน,ปี 1 6 พ.ย. 2552



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิทยาศาสตร์การประมง
คณะเทคโนโลยีการเกษตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบังไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา พ.ศ. 2552 จึงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

KMITL-2009-AG-M-081-021

**UTILIZATION OF FECES FROM NILE TILAPIA (*Oreochromis niloticus*)
FOR GREEN MICROALGAE (*Chlorella* sp.) CULTURE**



**A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT
OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF
MASTER OF SCIENCE IN FISHERIES SCIENCE
FACULTY OF AGRICULTURAL TECHNOLOGY**

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

2009

KMITL-2009-AG-M-081-021

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาด้านนี้ ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้เผยแพร่ลงเนื้อหา และต้องอยู่ใต้อาณัติของเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น หรือที่อื่นเป็นอันขาด และสงวนลิขสิทธิ์เจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

COPYRIGHT 2009

FACULTY OF AGRICULTURAL TECHNOLOGY

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

หัวข้อวิทยานิพนธ์

การใช้ประโยชน์จากมูลปลานิล (*Oreochromis niloticus*)
สำหรับเลี้ยงสาหร่ายสีเขียวขนาดเล็กสกุลคลอเรลลา
(*Chlorella* sp.)

นักศึกษา

นางสาวสุธาณี ภัยชนะ

รหัสประจำตัว

48065952

ปริญญา

วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชา

วิทยาศาสตร์การประมง

พ.ศ.

2552

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์

รศ.ดร.สมชาย หวังวิบูลย์กิจ

บทคัดย่อ

การเลี้ยงคลอเรลลานิยมใช้สารเคมีเป็นธาตุอาหาร ซึ่งสารเคมีจะมีราคาแพงและต้องนำเข้าจากต่างประเทศ ขณะเดียวกันมูลปลานิลซึ่งมีธาตุอาหารพวกไนโตรเจนและฟอสฟอรัสเหลืออยู่เป็นของเสียที่ต้องปล่อยทิ้งจากการเลี้ยง ดังนั้น การศึกษาครั้งนี้จึงมีวัตถุประสงค์ที่จะนำมูลปลานิล (*Oreochromis niloticus*) มาใช้ประโยชน์ในการเลี้ยงสาหร่ายสีเขียวขนาดเล็กสกุลคลอเรลลา (*Chlorella* sp.) เพื่อลดปริมาณการใช้สารเคมี โดยแบ่งเป็น 2 การทดลอง ได้แก่ การทดลองที่ 1 ศึกษาการเลี้ยงคลอเรลลาด้วยมูลปลานิลสดและมูลปลานิลแห้งน้ำหนัก 0.02, 0.06, 0.10, และ 0.14 กรัม น้ำหนักแห้งต่อลิตร เปรียบเทียบกับการเลี้ยงด้วยอาหารเลี้ยงคลอเรลลาสูตรคัดแปลง (ชุดควบคุม) เป็นระยะเวลา 12 วัน พบว่าการเลี้ยงคลอเรลลาด้วยอาหารเลี้ยงคลอเรลลาสูตรคัดแปลงมีความหนาแน่นของคลอเรลลาสูงสุด ส่วนการเลี้ยงด้วยมูลปลานิลสดและแห้ง พบว่ากลุ่มที่เลี้ยงด้วยมูลปลานิลสดและแห้งปริมาณ 0.14 กรัม น้ำหนักแห้งต่อลิตร มีความหนาแน่นของคลอเรลลาสูงกว่ากลุ่มที่เลี้ยงด้วยมูลปลานิลสดและแห้งระดับอื่นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) จากผลที่ได้จึงทำการทดลองที่ 2 โดยใช้มูลปลานิลสดและมูลปลานิลแห้งปริมาณ 0.14 กรัม น้ำหนักแห้งต่อลิตร ซึ่งเป็นปริมาณที่ทำให้คลอเรลลาเจริญเติบโตได้ดี และเพิ่มสารละลายโพแทสเซียมไนเตรท (KNO_3) ที่ใช้เป็นแหล่งของธาตุอาหารไนโตรเจน 4 ระดับ คือ 0, 4.33, 8.66 และ 17.33 มิลลิกรัมไนโตรเจนต่อลิตร ร่วมกับสารละลายโพแทสเซียมไดไฮโดรเจนฟอสเฟต (KH_2PO_4) เป็นแหล่งของฟอสฟอรัส 4 ระดับ คือ 0, 7.12, 14.25 และ 28.49 มิลลิกรัมฟอสฟอรัสต่อลิตร เลี้ยงคลอเรลลาเป็นระยะเวลา 12 วัน พบว่าการเติมสารละลายไนโตรเจนและฟอสฟอรัสร่วมกับมูลปลานิล มีผลทำให้การเจริญเติบโตของคลอเรลลาเพิ่มสูงขึ้นมากกว่าการใช้เฉพาะมูลปลานิล โดยกลุ่มที่เลี้ยงคลอเรลลาด้วยมูลปลานิลสดและมูลปลานิลแห้งที่เติมสารละลายไนโตรเจน 17.33 มิลลิกรัมต่อ

ลิตรเพียงอย่างเดียว ทำให้คลอเรลามีการเจริญเติบโตสูงสุดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) มีความหนาแน่นของเซลล์ $(27.14 \pm 0.91) \times 10^7$ และ $(27.31 \pm 0.32) \times 10^7$ เซลล์ต่อมิลลิลิตร และมีปริมาณโปรตีนในเซลล์ 42.13 ± 0.30 และ 36.46 ± 0.22 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ จากผลการศึกษา พบว่าการใช้ประโยชน์จากมูลปลานิลสำหรับเลี้ยงคลอเรลลาสามารถลดปริมาณการใช้สารเคมีและลดต้นทุนการเลี้ยงคลอเรลลาได้ประมาณ 2 – 3 เท่า เมื่อเปรียบเทียบกับการใช้อาหารเลี้ยงคลอเรลลาสูตรคัดแปลง



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Thesis	Utilization of Feces from Nile Tilapia (<i>Oreochromis niloticus</i>) for Green Microalgae (<i>Chlorella</i> sp.) Culture
Student	Miss Sutasinee Phaichana
Student ID.	48065952
Degree	Master of Science
Program	Fisheries Science
Year	2009
Thesis Advisor	Assoc. Prof. Dr. Somchai Wangwibulkit

ABSTRACT

Chemicals which were used for chlorella culture were expensive and had to be imported. At the same time tilapia feces which consist of nitrogen and phosphorus were abandoned from tilapia cultures. The aim of this study was utilization of feces from Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) for green microalgae (*Chlorella* sp.) culture to decrease quantity of chemicals. It had two experiments of the utilization of feces from Nile tilapia. The first one determined the utilization of fresh and dried feces from Nile tilapia at the level of 0.02, 0.06, 0.10, and 0.14 g dry weight l^{-1} contrast to modified chlorella medium (control) used for *Chlorella* sp. cultured for 12 days. *Chlorella* cultured from modified chlorella medium had the best growth and *Chlorella* densities from fresh and dried feces 0.14 g dry weight l^{-1} were significantly higher than other levels ($P < 0.05$). Afterwards, the second experiment was carried out to determine the utilization of fresh and dried feces 0.14 g dry weight l^{-1} added with potassium nitrate solution (KNO_3) as nitrogen source at 0, 4.33, 8.66 and 17.33 mg N l^{-1} cooperated with potassium dihydrogen phosphate solution (KH_2PO_4) as phosphorus source at 0, 7.12, 14.25 and 28.49 mg P l^{-1} for *Chlorella* cultured at the period of 12 days. Results showed that *Chlorella* densities from fresh and dried feces added 17.33 mg N l^{-1} were higher than feces used and they were significantly higher than other levels ($P < 0.05$). *Chlorella* densities from fresh and dried feces added 17.33 mg N l^{-1} were $(27.14 \pm 0.91) \times 10^7$ and $(27.31 \pm 0.32) \times 10^7$ cell ml^{-1} which consist of protein 42.13 ± 0.30 and 36.46 ± 0.22 percent respectively. Therefore, the utilization of fresh and dried feces from Nile tilapia could decrease quantity and cost of chemicals used for *Chlorella* culture about 2 – 3 folds when it compared with modified *Chlorella* medium used.

กิตติกรรมประกาศ

ข้าพเจ้าขอกราบขอบพระคุณ รศ.ดร.สมชาย หวังวิบูลย์กิจ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ของข้าพเจ้า ที่ได้ให้โอกาส ให้ความรู้ ให้คำแนะนำ และส่งมอบหนังสือหลายอย่างแก่ข้าพเจ้า รวมถึงการให้กำลังใจในยามที่ท้อแท้

ขอกราบขอบพระคุณ บิดา มารดา และญาติพี่น้อง ที่เป็นกำลังใจอันสำคัญยิ่งและคอยให้คำปรึกษาในทุกๆ เรื่อง

ขอกราบขอบพระคุณ รศ.ดร.นงนุช เลาหะวิสุทธิ ผศ.ดร.อัญฉวี เรืองเดช ผศ.ดร.อุมา แสงศรีราม และ ดร.สมศรี งามวงศ์ชน ที่ให้คำแนะนำและตรวจแก้ไขวิทยานิพนธ์เล่มนี้ให้สมบูรณ์

ขอขอบคุณ คุณบุปผา จงพัฒน์ คุณนภพล เผ่าพนัส และคุณชัชชนก สวัสดิ์ศรี ที่อำนวยความสะดวกในการใช้อุปกรณ์และสารเคมีที่ใช้ในการทดลอง

ขอขอบคุณ คุณวรางคณา กาซิม คุณนำถม ตั้งคำ คุณฉวีรินทร์ ศิริรัตนันท์ และผู้ที่เกี่ยวข้องทุกท่านที่คอยช่วยเหลือและเป็นกำลังใจให้ตลอดเวลา

ท้ายที่สุด ขอขอบคุณสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่ให้ทุนสนับสนุนบางส่วนในการทำวิทยานิพนธ์ครั้งนี้

สุธาสิณี กัญชนะ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	III
กิตติกรรมประกาศ.....	IV
สารบัญ.....	V
สารบัญตาราง.....	VIII
สารบัญภาพ.....	XI
บทที่ 1 บทนำ.....	
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของการศึกษา.....	2
1.3 ผลที่คาดว่าจะได้รับ.....	2
บทที่ 2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	
2.1 ปลานิล (<i>Oreochromis niloticus</i>).....	3
2.2 สิ่งขับถ่ายจากปลานิล.....	3
2.3 ลักษณะของคลอเรลลา.....	4
2.4 ประโยชน์ของคลอเรลลาต่อการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ.....	5
2.5 ปัจจัยที่มีผลต่อการเจริญเติบโตของสาหร่าย.....	7
2.5.1 ธาตุอาหาร.....	7
2.5.2 แสง.....	8
2.5.3 ความเป็นกรด-ด่าง (pH).....	9
2.5.4 อุณหภูมิ.....	9
2.6 กลไกการใช้ธาตุอาหารของสาหร่าย.....	9
2.6.1 กลไกการใช้ไนโตรเจน.....	9
2.6.2 กลไกการใช้ฟอสฟอรัส.....	11
2.6.3 การใช้ไนโตรเจนและฟอสฟอรัสจากแหล่งต่างๆ ของคลอเรลลา.....	12
บทที่ 3 อุปกรณ์และวิธีการทดลอง.....	
3.1 สาหร่ายที่ใช้ในการทดลอง.....	14

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
3.2 ปลานิล.....	14
3.3 อุปกรณ์และสารเคมี.....	14
3.4 วิธีดำเนินการทดลอง.....	15
3.4.1 การทดลองที่ 1 การศึกษาการเจริญเติบโตของคลอเรลลาที่เลี้ยงด้วยมูลปลานิลสดและแห้ง.....	15
3.4.2 การทดลองที่ 2 การศึกษาการเจริญเติบโตของคลอเรลลาที่เลี้ยงด้วยมูลปลานิลสดและแห้ง โดยเพิ่มธาตุอาหารไนโตรเจนและฟอสฟอรัส.....	17
3.5 การวิเคราะห์ข้อมูล.....	20
3.6 สถานที่ทำการวิจัย.....	20
3.7 ระยะเวลาในการทำวิจัย.....	20
บทที่ 4 ผลการทดลอง.....	
4.1 การทดลองที่ 1 การศึกษาการเจริญเติบโตของคลอเรลลาที่เลี้ยงด้วยมูลปลานิลสดและแห้ง.....	21
4.1.1 การทดลองเบื้องต้น การเจริญเติบโตของคลอเรลลาที่เลี้ยงด้วยมูลปลานิลสด.....	21
4.1.2 การเจริญเติบโตของคลอเรลลาที่เลี้ยงด้วยมูลปลานิลสด.....	23
4.1.3 การเปลี่ยนแปลงปัจจัยคุณภาพน้ำในการเลี้ยงคลอเรลลาด้วยมูลปลานิลสด.....	25
4.1.4 การเจริญเติบโตของคลอเรลลาที่เลี้ยงด้วยมูลปลานิลแห้ง.....	29
4.1.5 การเปลี่ยนแปลงปัจจัยคุณภาพน้ำในการเลี้ยงคลอเรลลาด้วยมูลปลานิลแห้ง..	32
4.2 การทดลองที่ 2 การศึกษาการเจริญเติบโตของคลอเรลลาที่เลี้ยงด้วยมูลปลานิลสดและแห้ง โดยเพิ่มธาตุอาหารไนโตรเจนและฟอสฟอรัส.....	37
4.2.1 การเจริญเติบโตของคลอเรลลาที่เลี้ยงด้วยมูลปลานิลสด โดยเพิ่มธาตุอาหารไนโตรเจนและฟอสฟอรัส.....	37
4.2.2 การเปลี่ยนแปลงปัจจัยคุณภาพน้ำในการเลี้ยงคลอเรลลาด้วยมูลปลานิลสด โดยเพิ่มธาตุอาหารไนโตรเจนและฟอสฟอรัส.....	41
4.2.3 การเจริญเติบโตของคลอเรลลาที่เลี้ยงด้วยมูลปลานิลแห้ง โดยเพิ่มธาตุอาหารไนโตรเจนและฟอสฟอรัส.....	50

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
4.2.4 การเปลี่ยนแปลงปัจจัยคุณภาพน้ำในการเลี้ยงคลอเรลลาด้วยมูลปลานิล แห้ง โดยเพิ่มธาตุอาหารไนโตรเจนและฟอสฟอรัส.....	54
4.2.5 คุณค่าทางโภชนาของคลอเรลลาที่เลี้ยงด้วยมูลปลานิลสดและแห้ง เพิ่ม ธาตุอาหารไนโตรเจนและฟอสฟอรัสระดับที่ดีที่สุด เปรียบเทียบกับ อาหารเลี้ยงคลอเรลลาสูตรคัดแปลง และเปรียบเทียบต้นทุน.....	63
บทที่ 5 การวิจารณ์ผล.....	65
บทที่ 6 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ.....	70
บรรณานุกรม.....	71
ภาคผนวก.....	77
ภาคผนวก ก. อาหารเลี้ยงคลอเรลลาสูตรคัดแปลง และภาพการเลี้ยงคลอเรลลา.....	78
ภาคผนวก ข. สารเคมีวิเคราะห์คุณภาพน้ำ.....	81
ภาคผนวก ค. อุปกรณ์และสารเคมีวิเคราะห์โปรตีน ไนมัน เยื่อใย ความชื้น และถั่ว ในคลอเรลลา.....	83
ภาคผนวก ง. ภาพแสดงความเข้มแสงระหว่างการเลี้ยงคลอเรลลา.....	86
ประวัติผู้เขียน.....	89

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
4.1 การเจริญเติบโตของคลอเรลลา ($\times 10^7$ เซลล์ต่อมิลลิลิตร) ที่ใช้มูลปลานิลสดเป็นธาตุอาหารเปรียบเทียบกับอาหารเลี้ยงคลอเรลลาสูตรคัดแปลง ในการทดลองเบื้องต้น	22
4.2 การเจริญเติบโตของคลอเรลลา ($\times 10^7$ เซลล์ต่อมิลลิลิตร) ที่ใช้มูลปลานิลสดเป็นธาตุอาหารเปรียบเทียบกับอาหารเลี้ยงคลอเรลลาสูตรคัดแปลง.....	23
4.3 ปัจจัยคุณภาพน้ำในสารละลายเลี้ยงคลอเรลลาในช่วงที่คลอเรลลาเจริญเติบโตดีที่สุด...	24
4.4 การเจริญเติบโตของคลอเรลลา ($\times 10^7$ เซลล์ต่อมิลลิลิตร) ที่ใช้มูลปลานิลแห้งเป็นธาตุอาหารเปรียบเทียบกับอาหารเลี้ยงคลอเรลลาสูตรคัดแปลง.....	30
4.5 ปัจจัยคุณภาพน้ำในสารละลายเลี้ยงคลอเรลลาในช่วงที่คลอเรลลาเจริญเติบโตดีที่สุด...	31
4.6 การเจริญเติบโตของคลอเรลลา ($\times 10^7$ เซลล์ต่อมิลลิลิตร) ที่ใช้มูลปลานิลสด 0.14 กรัม น้ำหนักแห้งต่อลิตร เพิ่มธาตุอาหาร ในโตรเจนและฟอสฟอรัสระดับต่างๆ.....	38
4.7 ปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ ของคลอเรลลา (มิลลิกรัมต่อลิตร) ที่ใช้มูลปลานิลสด 0.14 กรัม น้ำหนักแห้งต่อลิตร เพิ่มธาตุอาหาร ในโตรเจนและฟอสฟอรัสระดับต่างๆ.....	39
4.8 อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส) ในอาหารเลี้ยงคลอเรลลาที่ใช้มูลปลานิลสด 0.14 กรัม น้ำหนักแห้งต่อลิตร เพิ่มธาตุอาหาร ในโตรเจนและฟอสฟอรัสระดับต่างๆ ในช่วงที่คลอเรลลาเจริญเติบโตดีที่สุด.....	42
4.9 ความเป็นกรด-ด่างในอาหารเลี้ยงคลอเรลลาที่ใช้มูลปลานิลสด 0.14 กรัม น้ำหนักแห้งต่อลิตร เพิ่มธาตุอาหาร ในโตรเจนและฟอสฟอรัสระดับต่างๆ ในช่วงที่คลอเรลลาเจริญเติบโตดีที่สุด.....	43
4.10 ความเป็นด่าง (มิลลิกรัมต่อลิตร) ในอาหารเลี้ยงคลอเรลลาที่ใช้มูลปลานิลสด 0.14 กรัม น้ำหนักแห้งต่อลิตร เพิ่มธาตุอาหาร ในโตรเจนและฟอสฟอรัสระดับต่างๆ ในช่วงที่คลอเรลลาเจริญเติบโตดีที่สุด.....	44
4.11 ปริมาณแอมโมเนีย-ในโตรเจน (มิลลิกรัมต่อลิตร) ในอาหารเลี้ยงคลอเรลลาที่ใช้มูลปลานิลสด 0.14 กรัม น้ำหนักแห้งต่อลิตร เพิ่มธาตุอาหาร ในโตรเจนและฟอสฟอรัสระดับต่างๆ ในช่วงที่คลอเรลลาเจริญเติบโตดีที่สุด.....	45
4.12 ปริมาณไนโตรท-ในโตรเจน (มิลลิกรัมต่อลิตร) ในอาหารเลี้ยงคลอเรลลาที่ใช้มูลปลานิลสด 0.14 กรัม น้ำหนักแห้งต่อลิตร เพิ่มธาตุอาหาร ในโตรเจนและฟอสฟอรัสระดับต่างๆ ในช่วงที่คลอเรลลาเจริญเติบโตดีที่สุด.....	47

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่	หน้า
4.13 ปริมาณไนเตรท-ไนโตรเจน (มิลลิกรัมต่อลิตร) ในอาหารเลี้ยงคลอเรลลาที่ใช้มูลปลานิลสด 0.14 กรัม น้ำหนักแห้งต่อลิตร เพิ่มธาตุอาหารไนโตรเจนและฟอสฟอรัสระดับต่างๆ ในช่วงที่คลอเรลลาเจริญเติบโตดีที่สุด.....	48
4.14 ปริมาณออร์โทเฟสเฟต (มิลลิกรัมต่อลิตร) ในอาหารเลี้ยงคลอเรลลาที่ใช้มูลปลานิลสด 0.14 กรัม น้ำหนักแห้งต่อลิตร เพิ่มธาตุอาหารไนโตรเจนและฟอสฟอรัสระดับต่างๆ ในช่วงที่คลอเรลลาเจริญเติบโตดีที่สุด.....	49
4.15 การเจริญเติบโตของคลอเรลลา ($\times 10^7$ เซลล์ต่อมิลลิลิตร) ที่ใช้มูลปลานิลแห้ง 0.14 กรัมต่อลิตร เพิ่มธาตุอาหารไนโตรเจนและฟอสฟอรัสระดับต่างๆ.....	51
4.16 ปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ ของคลอเรลลา (มิลลิกรัมต่อลิตร) ที่ใช้มูลปลานิลแห้ง 0.14 กรัมต่อลิตร เพิ่มธาตุอาหารไนโตรเจนและฟอสฟอรัสระดับต่างๆ.....	52
4.17 อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส) ในอาหารเลี้ยงคลอเรลลาที่ใช้มูลปลานิลแห้ง 0.14 กรัมต่อลิตร เพิ่มธาตุอาหารไนโตรเจนและฟอสฟอรัสที่ความเข้มข้นระดับต่างๆ ในช่วงที่คลอเรลลาเจริญเติบโตดีที่สุด.....	55
4.18 ความเป็นกรด-ด่างในอาหารเลี้ยงคลอเรลลาที่ใช้มูลปลานิลแห้ง 0.14 กรัมต่อลิตร เพิ่มธาตุอาหารไนโตรเจนและฟอสฟอรัสที่ความเข้มข้นระดับต่างๆ ในช่วงที่คลอเรลลาเจริญเติบโตดีที่สุด.....	56
4.19 ความเป็นด่าง (มิลลิกรัมต่อลิตร) ในอาหารเลี้ยงคลอเรลลาที่ใช้มูลปลานิลแห้ง 0.14 กรัมต่อลิตร เพิ่มธาตุอาหารไนโตรเจนและฟอสฟอรัสที่ความเข้มข้นระดับต่างๆ ในช่วงที่คลอเรลลาเจริญเติบโตดีที่สุด.....	57
4.20 ปริมาณแอมโมเนีย-ไนโตรเจน (มิลลิกรัมต่อลิตร) ในอาหารเลี้ยงคลอเรลลาที่ใช้มูลปลานิลแห้ง 0.14 กรัมต่อลิตร เพิ่มธาตุอาหารไนโตรเจนและฟอสฟอรัสที่ความเข้มข้นระดับต่างๆ ในช่วงที่คลอเรลลาเจริญเติบโตดีที่สุด.....	58
4.21 ปริมาณไนไตรท์-ไนโตรเจน (มิลลิกรัมต่อลิตร) ในอาหารเลี้ยงคลอเรลลาที่ใช้มูลปลานิลแห้ง 0.14 กรัมต่อลิตร เพิ่มธาตุอาหารไนโตรเจนและฟอสฟอรัสระดับต่างๆ ในช่วงที่คลอเรลลาเจริญเติบโตดีที่สุด.....	60
4.22 ปริมาณไนเตรท-ไนโตรเจน (มิลลิกรัมต่อลิตร) ในอาหารเลี้ยงคลอเรลลาที่ใช้มูลปลานิลแห้ง 0.14 กรัมต่อลิตร เพิ่มธาตุอาหารไนโตรเจนและฟอสฟอรัสระดับต่างๆ ในช่วงที่คลอเรลลาเจริญเติบโตดีที่สุด.....	61

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่	หน้า
4.23 ปริมาณออร์โทฟอสเฟต (มิลลิกรัมต่อลิตร) ในอาหารเลี้ยงคลอเรลลาที่ใช้มูลปลานิล แห้ง 0.14 กรัมต่อลิตร เพิ่มธาตุอาหารไนโตรเจนและฟอสฟอรัสระดับต่างๆ ในช่วงที่ คลอเรลลาเจริญเติบโตดีที่สุด.....	62
4.24 คุณค่าทางโภชนาการของอาหารเลี้ยงคลอเรลลาด้วยอาหารเลี้ยงคลอเรลลาสูตรคัดแปลง กับ การเลี้ยงด้วยมูลปลานิลสดและแห้ง เพิ่มธาตุอาหารไนโตรเจน 17.33 มิลลิกรัมต่อลิตร....	64
4.25 ต้นทุนการเลี้ยงคลอเรลลา (บาทต่อกรัมน้ำหนักแห้ง) ด้วยอาหารเลี้ยงคลอเรลลาสูตร คัดแปลง กับการเลี้ยงด้วยมูลปลานิลสดและแห้ง เพิ่มธาตุอาหารไนโตรเจน 17.33 มิลลิกรัมต่อลิตร.....	64



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญภาพ

ภาพที่	หน้า
2.1 ลักษณะของเซลล์คลอเรลลา.....	5
2.2 วัฏจักรไนโตรเจนในแหล่งน้ำ.....	10
2.3 กระบวนการสังเคราะห์กรดอะมิโน.....	11
2.4 วัฏจักรฟอสฟอรัสในแหล่งน้ำ.....	12
3.1 สรุปขั้นตอนการทดลอง.....	19
4.1 การเจริญเติบโตของคลอเรลลาที่ใช้มูลปลานิลสดเป็นธาตุอาหารเปรียบเทียบกับ อาหารเลี้ยงคลอเรลลาสูตรคัดแปลง ในการทดลองเบื้องต้น.....	21
4.2 การเจริญเติบโตของคลอเรลลาที่ใช้มูลปลานิลสดเป็นธาตุอาหารเปรียบเทียบกับ อาหารเลี้ยงคลอเรลลาสูตรคัดแปลง.....	24
4.3 อุณหภูมิในอาหารเลี้ยงคลอเรลลาที่ใช้มูลปลานิลสดเป็นธาตุอาหาร.....	26
4.4 ความเป็นกรด-ด่างในอาหารเลี้ยงคลอเรลลาที่ใช้มูลปลานิลสดเป็นธาตุอาหาร.....	26
4.5 ความเป็นด่างในอาหารเลี้ยงคลอเรลลาที่ใช้มูลปลานิลสดเป็นธาตุอาหาร.....	27
4.6 ปริมาณแอมโมเนีย-ไนโตรเจนในอาหารเลี้ยงคลอเรลลาที่ใช้มูลปลานิลสด เป็นธาตุอาหาร.....	27
4.7 ปริมาณไนโตรเจน-ไนโตรเจนในอาหารเลี้ยงคลอเรลลาที่ใช้มูลปลานิลสดเป็นธาตุอาหาร...	28
4.8 ปริมาณไนเตรต-ไนโตรเจนในอาหารเลี้ยงคลอเรลลาที่ใช้มูลปลานิลสดเป็นธาตุอาหาร	28
4.9 ปริมาณออร์โทฟอสเฟตในอาหารเลี้ยงคลอเรลลาที่ใช้มูลปลานิลสดเป็นธาตุอาหาร.....	30
4.10 การเจริญเติบโตของคลอเรลลาที่ใช้มูลปลานิลแห้งเป็นธาตุอาหารเปรียบเทียบกับ อาหารเลี้ยงคลอเรลลาสูตรคัดแปลง.....	31
4.11 อุณหภูมิในอาหารเลี้ยงคลอเรลลาที่ใช้มูลปลานิลแห้งเป็นธาตุอาหาร.....	33
4.12 ความเป็นกรด-ด่างในอาหารเลี้ยงคลอเรลลาที่ใช้มูลปลานิลแห้งเป็นธาตุอาหาร.....	33
4.13 ความเป็นด่างในอาหารเลี้ยงคลอเรลลาที่ใช้มูลปลานิลแห้งเป็นธาตุอาหาร.....	34
4.14 ปริมาณแอมโมเนีย-ไนโตรเจนในอาหารเลี้ยงคลอเรลลาที่ใช้มูลปลานิลแห้งเป็นธาตุ อาหาร.....	34
4.15 ปริมาณไนโตรเจน-ไนโตรเจนในอาหารเลี้ยงคลอเรลลาที่ใช้มูลปลานิลแห้งเป็นธาตุ อาหาร.....	35

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ของโรงเรียนวิทยาศาสตร์จุฬาภรณราชวิทยาลัยสุโขทัย
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญญภาพ (ต่อ)

ภาพที่	หน้า
4.16 ปริมาณไนเตรท-ไนโตรเจนในอาหารเลี้ยงคลอเรลลาที่ใช้มูลปลานิลแห้งเป็นธาตุอาหาร.....	35
4.17 ปริมาณออร์โทฟอสเฟตในอาหารเลี้ยงคลอเรลลาที่ใช้มูลปลานิลแห้งเป็นธาตุอาหาร...	36
4.18 การเจริญเติบโตของคลอเรลลาที่ใช้มูลปลานิลสด 0.14 กรัม/น้ำหนักแห้งต่อลิตร เพิ่มธาตุอาหารไนโตรเจนและฟอสฟอรัส ในช่วงที่คลอเรลลาเจริญเติบโตดีที่สุด.....	40
4.19 ปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ ของคลอเรลลาที่ใช้มูลปลานิลสด 0.14 กรัม/น้ำหนักแห้งต่อลิตร เพิ่มธาตุอาหารไนโตรเจนและฟอสฟอรัส ในช่วงที่คลอเรลลาเจริญเติบโตดีที่สุด.....	40
4.20 อุณหภูมิในอาหารเลี้ยงคลอเรลลาที่ใช้มูลปลานิลสด 0.14 กรัม/น้ำหนักแห้งต่อลิตร เพิ่มธาตุอาหารไนโตรเจนและฟอสฟอรัส ในช่วงที่คลอเรลลาเจริญเติบโตดีที่สุด.....	42
4.21 ความเป็นกรด-ด่างในอาหารเลี้ยงคลอเรลลาที่ใช้มูลปลานิลสด 0.14 กรัม/น้ำหนักแห้งต่อลิตร เพิ่มธาตุอาหารไนโตรเจนและฟอสฟอรัส ในช่วงที่คลอเรลลาเจริญเติบโตดีที่สุด.....	43
4.22 ความเป็นด่างในอาหารเลี้ยงคลอเรลลาที่ใช้มูลปลานิลสด 0.14 กรัม/น้ำหนักแห้งต่อลิตร เพิ่มธาตุอาหารไนโตรเจนและฟอสฟอรัส ในช่วงที่คลอเรลลาเจริญเติบโตดีที่สุด.....	44
4.23 ปริมาณแอมโมเนีย-ไนโตรเจนในอาหารเลี้ยงคลอเรลลาที่ใช้มูลปลานิลสด 0.14 กรัม/น้ำหนักแห้งต่อลิตร เพิ่มธาตุอาหารไนโตรเจนและฟอสฟอรัส ในช่วงที่คลอเรลลาเจริญเติบโตดีที่สุด.....	45
4.24 ปริมาณไนโตรท-ไนโตรเจนในอาหารเลี้ยงคลอเรลลาที่ใช้มูลปลานิลสด 0.14 กรัม/น้ำหนักแห้งต่อลิตร เพิ่มธาตุอาหารไนโตรเจนและฟอสฟอรัส ในช่วงที่คลอเรลลาเจริญเติบโตดีที่สุด.....	47
4.25 ปริมาณไนเตรท-ไนโตรเจนในอาหารเลี้ยงคลอเรลลาที่ใช้มูลปลานิลสด 0.14 กรัม/น้ำหนักแห้งต่อลิตร เพิ่มธาตุอาหารไนโตรเจนและฟอสฟอรัส ในช่วงที่คลอเรลลาเจริญเติบโตดีที่สุด.....	48
4.26 ปริมาณออร์โทฟอสเฟตในอาหารเลี้ยงคลอเรลลาที่ใช้มูลปลานิลสด 0.14 กรัม/น้ำหนักแห้งต่อลิตร เพิ่มธาตุอาหารไนโตรเจนและฟอสฟอรัส ในช่วงที่คลอเรลลาเจริญเติบโตดีที่สุด.....	49

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ของกรมส่งเสริมการค้าระหว่างประเทศ กระทรวงพาณิชย์
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญญภาพ (ต่อ)

ภาพที่	หน้า
4.27 การเจริญเติบโตของคลอเรลลาที่ใช้มูลปลานิลแห้ง 0.14 กรัมต่อลิตร เพิ่มธาตุอาหารไนโตรเจนและฟอสฟอรัส ในช่วงที่คลอเรลลาเจริญเติบโตดีที่สุด.....	53
4.28 ปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ ของคลอเรลลาที่ใช้มูลปลานิลแห้ง 0.14 กรัมต่อลิตร เพิ่มธาตุอาหารไนโตรเจนและฟอสฟอรัส ในช่วงที่คลอเรลลาเจริญเติบโตดีที่สุด.....	53
4.29 อุณหภูมิในอาหารเลี้ยงคลอเรลลาที่ใช้มูลปลานิลแห้ง 0.14 กรัมต่อลิตร เพิ่มธาตุอาหารไนโตรเจนและฟอสฟอรัส ในช่วงที่คลอเรลลาเจริญเติบโตดีที่สุด.....	55
4.30 ความเป็นกรด-ด่างในอาหารเลี้ยงคลอเรลลาที่ใช้มูลปลานิลแห้ง 0.14 กรัมต่อลิตร เพิ่มธาตุอาหารไนโตรเจนและฟอสฟอรัส ในช่วงที่คลอเรลลาเจริญเติบโตดีที่สุด.....	56
4.31 ความเป็นด่างในอาหารเลี้ยงคลอเรลลาที่ใช้มูลปลานิลแห้ง 0.14 กรัมต่อลิตร เพิ่มธาตุอาหารไนโตรเจนและฟอสฟอรัส ในช่วงที่คลอเรลลาเจริญเติบโตดีที่สุด.....	57
4.32 ปริมาณแอมโมเนีย-ไนโตรเจนในอาหารเลี้ยงคลอเรลลาที่ใช้มูลปลานิลแห้ง 0.14 กรัมต่อลิตร เพิ่มธาตุอาหารไนโตรเจนและฟอสฟอรัส ในช่วงที่คลอเรลลาเจริญเติบโตดีที่สุด.....	58
4.33 ปริมาณไนไตรท์-ไนโตรเจนในอาหารเลี้ยงคลอเรลลาที่ใช้มูลปลานิลแห้ง 0.14 กรัมต่อลิตร เพิ่มธาตุอาหารไนโตรเจนและฟอสฟอรัส ในช่วงที่คลอเรลลาเจริญเติบโตดีที่สุด.....	60
4.34 ปริมาณไนเตรท-ไนโตรเจนในอาหารเลี้ยงคลอเรลลาที่ใช้มูลปลานิลแห้ง 0.14 กรัมต่อลิตร เพิ่มธาตุอาหารไนโตรเจนและฟอสฟอรัส ในช่วงที่คลอเรลลาเจริญเติบโตดีที่สุด.....	61
4.35 ปริมาณออร์โทฟอสเฟตในอาหารเลี้ยงคลอเรลลาที่ใช้มูลปลานิลแห้ง 0.14 กรัมต่อลิตร เพิ่มธาตุอาหารไนโตรเจนและฟอสฟอรัส ในช่วงที่คลอเรลลาเจริญเติบโตดีที่สุด.....	62

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ปลานิลเป็นสัตว์น้ำเศรษฐกิจที่สำคัญเนื่องจากเป็นปลาที่เลี้ยงง่าย เจริญเติบโตเร็ว มีผู้นิยมบริโภค และสามารถส่งออกไปสู่ตลาดต่างประเทศได้ การเลี้ยงปลานิลในสภาพแวดล้อมที่เหมาะสมจะใช้เวลาประมาณ 6 เดือน โดยเลี้ยงในบ่อที่ไม่มีการถ่ายน้ำ จะได้ผลผลิต 907 – 1,270 กิโลกรัมต่อไร่ และถ้ามีการถ่ายน้ำวันละ 20 เปอร์เซ็นต์ จะได้ผลผลิต 3,265 – 3,630 กิโลกรัมต่อไร่ (Popma and Masser. 1999) การเลี้ยงปลานิลในบ่อคอนกรีตเป็นวิธีการเลี้ยงที่ง่ายต่อการจัดการและสามารถควบคุมสภาพแวดล้อมในบ่อได้ดี เช่น อุณหภูมิของน้ำ (temperature) ปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำ (dissolved oxygen ; DO) ความเป็นกรด-ด่าง (pH) และของเสีย (waste) ในการเลี้ยงปลานิลที่ความหนาแน่นสูงเพื่อให้ได้ผลผลิตสูงจะมีของเสียที่เกิดจากสิ่งขับถ่ายและอาหารที่เหลือซึ่งมีสารประกอบของคาร์บอน ไนโตรเจน และฟอสฟอรัส เป็นธาตุอาหารหลักที่พืชน้ำและสาหร่ายนำไปใช้เพื่อการเจริญเติบโต (Iwama. 1991) หากปล่อยของเสียลงสู่สิ่งแวดล้อมโดยตรงอาจทำให้เกิดปัญหาต่อคุณภาพน้ำและสัตว์น้ำในธรรมชาติ โดยธาตุอาหารเหล่านั้นจะทำให้สาหร่ายในแหล่งน้ำเจริญเติบโตอย่างรวดเร็วและมีการตายของสาหร่ายบางส่วน เป็นสาเหตุทำให้ปริมาณออกซิเจนในน้ำลดลงและเป็นอันตรายต่อสิ่งมีชีวิตในน้ำ

สาหร่ายสีเขียวขนาดเล็กสกุลคลอเรลลา (*Chlorella* sp.) เป็นสาหร่ายที่นิยมใช้เป็นอาหารสำหรับแพลงก์ตอนสัตว์ (zooplankton) สัตว์น้ำวัยอ่อนพวกหอย (mollusks) โดยเฉพาะหอยสองฝา (bivalve mollusks) และกลุ่มครัสเตเชียน (crustaceans) (Wikfors and Ohno. 2001 ; Fisheries and Aquaculture Department. 2008) ทั้งนี้เพราะคลอเรลลาเป็นสาหร่ายสีเขียวที่มีโปรตีนสูง มีกรดอะมิโนที่จำเป็น วิตามินและแร่ธาตุเหมาะสมต่อสัตว์น้ำ นอกจากนี้คลอเรลลายังสามารถใช้เป็นอาหารเสริมสำหรับเพิ่มสีในเนื้อปลาเนื่องจากมีคลอโรฟิลล์และสารสีพวกแคนตาแซนทิน (canthaxanthin) และแอสตาแซนทิน (astaxanthin) (Guavia *et al.* 2002)

ในปัจจุบันการเลี้ยงคลอเรลลาจะใช้สารเคมีเป็นแหล่งธาตุอาหาร ซึ่งต้องนำเข้าจากต่างประเทศและมีราคาแพง การนำมูลปลามาเป็นธาตุอาหารทดแทนการใช้สารเคมีเพื่อเพิ่มผลผลิตคลอเรลลาจะเป็นวิธีการลดปริมาณของเสียจากการเลี้ยงปลานิล ลดปริมาณการใช้และการนำเข้าสารเคมีเพื่อลดต้นทุนการเลี้ยงคลอเรลลา ดังนั้นจึงได้ทำศึกษานำมูลปลามาใช้เลี้ยงคลอเรลลา โดยใช้มูลปลานิลในรูปของมูลสดซึ่งอาจจะไม่สะดวกในการเก็บรักษา และในรูปของ

มูลปลานิลแห้ง ซึ่งสะดวกต่อการเก็บรักษาและการนำมาใช้ โดยการศึกษาปริมาณมูลปลานิลสด และแห้งที่เหมาะสมสามารถนำไปใช้ในการเลี้ยงคลอเรลลาได้

1.2 ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของการศึกษา

1. เพื่อศึกษาปริมาณมูลปลานิลสดและแห้งที่เหมาะสมสำหรับเลี้ยงสาหร่ายสีเขียวขนาดเล็กสกุลคลอเรลลา
2. เพื่อลดปริมาณการใช้สารเคมีในการเลี้ยงสาหร่ายสีเขียวขนาดเล็กสกุลคลอเรลลา
3. เพื่อศึกษาคุณค่าทางโภชนาของสาหร่ายสีเขียวขนาดเล็กสกุลคลอเรลลาที่เลี้ยงด้วยมูลปลานิลสดและแห้ง เปรียบเทียบกับการเลี้ยงด้วยอาหารเลี้ยงคลอเรลลาสูตรคิดแปลง
4. เพื่อศึกษาดัชนีทุนการผลิตสาหร่ายสีเขียวขนาดเล็กสกุลคลอเรลลาด้วยมูลปลานิลเปรียบเทียบกับ การเลี้ยงด้วยอาหารเลี้ยงคลอเรลลาสูตรคิดแปลง

1.3 ผลที่คาดว่าจะได้รับ

1. สามารถนำมูลปลานิลจากการเลี้ยงมาใช้ประโยชน์สำหรับเลี้ยงสาหร่ายสีเขียวขนาดเล็กสกุลคลอเรลลา
2. สามารถลดปริมาณการใช้สารเคมีในการเลี้ยงสาหร่ายสีเขียวขนาดเล็กสกุลคลอเรลลา
3. สามารถลดต้นทุนการผลิตสาหร่ายสีเขียวขนาดเล็กสกุลคลอเรลลาและการนำเข้าสารเคมีจากต่างประเทศ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ปลานิล (*Oreochromis niloticus*)

ปลานิลเป็นปลาน้ำจืดที่อยู่ในวงศ์ Cichlidae สกุล *Oreochromis* (Nandlal and Pickering, 2004) เจริญเติบโตได้ดี ให้ลูกตก กินอาหารได้หลากหลาย ทนต่อโรคที่เกิดจากเชื้อไวรัส แบคทีเรีย หรือปรสิต ได้มากกว่าปลาน้ำจืดชนิดอื่น และทนต่อการเปลี่ยนแปลงของสภาพแวดล้อมได้ดี (Popma and Masser, 1999) โดย *Oreochromis mossambicus* เจริญเติบโตได้ดีในช่วงอุณหภูมิ 28 – 30 องศาเซลเซียส (El-Sayed and Kawanna, 2008) ซึ่งสอดคล้องกับ Nandlal and Pickering (2004) ที่รายงานว่าปลานิลชอบอาศัยอยู่ที่อุณหภูมิประมาณ 25 – 32 องศาเซลเซียส และจะหยุดการเจริญเติบโตเมื่ออุณหภูมิต่ำกว่า 22 องศาเซลเซียส และถ้าอุณหภูมิต่ำกว่า 20 องศาเซลเซียส จะทำให้กิจกรรมและการกินอาหารลดลง ส่วนปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำควรมากกว่า 2 มิลลิกรัมต่อลิตร และทนอยู่ได้ที่ระดับ 0.01 มิลลิกรัมต่อลิตร ช่วงความเป็นกรด-ด่างที่เหมาะสมอยู่ประมาณ 6.5 – 9.0 นอกจากนี้ปลานิลยังเป็นปลาน้ำจืดที่ทนต่อความเค็มได้มากกว่าปลาน้ำจืดชนิดอื่น โดยตัวเต็มวัยสามารถทนความเค็มได้มากกว่า 30 ส่วนในพัน ส่วนตัวอ่อนทนความเค็มได้น้อยกว่า 10 ส่วนในพัน และจะตายเมื่อความเค็มมากกว่า 14 ส่วนในพัน ซึ่งใกล้เคียงกับรายงานของ Popma and Masser (1999) ที่กล่าวว่าปลานิลสามารถเจริญเติบโตได้ในน้ำที่มีปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำมากกว่า 2.0 – 2.5 มิลลิกรัมต่อลิตร และมีความเป็นกรด-ด่าง 6 – 9 ปลานิลสามารถอยู่ได้ที่ความเค็มมากกว่า 10 – 15 ส่วนในพัน แต่ระดับที่เหมาะสมคือ 5 ส่วนในพัน นอกจากนี้ในน้ำควรมีค่าแอมโมเนียต่ำกว่า 0.2 มิลลิกรัมต่อลิตร เพราะถ้ามากกว่า 2 มิลลิกรัมต่อลิตร จะทำให้ปลานิลตายภายในเวลาไม่กี่วัน ส่วนไนไตรท์ควรมีค่าต่ำกว่า 1 มิลลิกรัมต่อลิตร

2.2 สิ่งขับถ่ายจากปลานิล

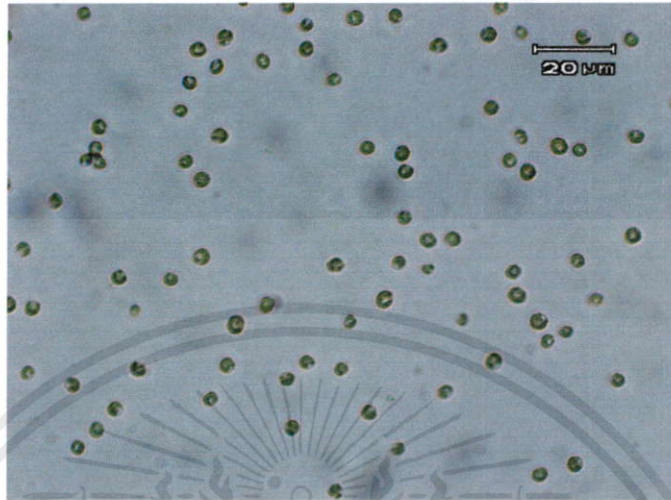
ในช่วงสองทศวรรษที่ผ่านมา การเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำค่อนข้างมีบทบาทสำคัญในด้านเศรษฐกิจของประเทศ จึงมีการขยายตัวอย่างรวดเร็ว โดยในปี พ.ศ. 2546 มีการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำในประเทศไทยทั้งหมด 361.1 พันตัน เพิ่มขึ้นจากปี พ.ศ. 2029 ที่มีการเพาะเลี้ยงเพียง 89.8 พันตัน ปลานิลมีผลผลิตสูงสุดถึง 123.6 พันตัน หรือคิดเป็น 34.2 เปอร์เซ็นต์ของการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำจืดทั้งหมด ซึ่งทำให้ปริมาณสิ่งขับถ่ายเพิ่มขึ้น โดยปลาจะขับถ่ายของเสียในรูปของแข็งและของเหลว สิ่งขับถ่ายที่เป็นของแข็งประกอบด้วยตะกอนและสารแขวนลอย ส่วนในรูปของเหลว เช่น แอมโมเนียและฟอสฟอรัส ปลาจะขับถ่ายผ่านทางเหงือกและช่องขับถ่าย ในบ่อที่เลี้ยงปลานิลอย่างหนาแน่นจะมี

ไนโตรเจนรวม 78 – 79 เปอร์เซ็นต์ (Tabthipwon, 2006) โดยปริมาณการขับถ่ายของเสียของปลาขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายประการ เช่น การกินอาหาร อุณหภูมิของน้ำ และส่วนประกอบของอาหาร โดยปริมาณการขับถ่ายของปลานิลมีประมาณ 0.20 – 0.50 กิโลกรัมน้ำหนักแห้งต่อกิโลกรัมอาหารที่ปลากิน (Amirkolaie, 2005) ซึ่งจะแตกต่างกันไปตามขนาดของปลา โดยปลานิลน้ำหนัก 100 – 500 กรัม จะขับถ่ายของเสียประมาณ 0.53 – 1.18 กรัมต่อวัน มีปริมาณไนโตรเจนรวม 16.20 – 18.20 กรัมต่อกิโลกรัมมูลปลา และปริมาณฟอสฟอรัส 22.20 – 25.80 กรัมต่อกิโลกรัมมูลปลา (Mungkarndee *et al.* 2005) จากการเลี้ยงปลานิลในประเทศไทยในปี พ.ศ. 2546 พบว่ามีปริมาณไนโตรเจนรวม 8.2 กิโลกรัมต่อไร่ต่อปี ฟอสฟอรัสรวม 2 กิโลกรัมต่อไร่ต่อปี และสารแขวนลอยในน้ำ 590 กิโลกรัมต่อไร่ต่อปี ถูกปล่อยลงสู่สิ่งแวดล้อม (กรมควบคุมมลพิษ, 2550)

2.3 ลักษณะของคลอเรลลา

คลอเรลลา (ภาพที่ 2.1) เป็นสาหร่ายสีเขียวขนาดเล็กที่มีชื่อเรียกมาจากภาษากรีก คือ *chloros* หมายถึง สีเขียว และ *ella* หมายถึง ขนาดเล็ก คลอเรลลาเป็นสาหร่ายเซลล์เดียวมีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางประมาณ 2 – 8 ไมครอน จัดอยู่ในสาหร่ายประเภท eukaryotic cell เป็นพืชชนิดแรกที่มีนิวเคลียส คลอเรลลามีโปรตีนสูง 50 – 60 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งมีประโยชน์ในการช่วยเสริมสร้างและซ่อมแซมเนื้อเยื่อ ไขมัน 11 เปอร์เซ็นต์ คาร์โบไฮเดรต 20 เปอร์เซ็นต์ คลอโรฟิลล์เอ (chlorophyll a) 4 – 7 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งเป็นสาหร่ายสีเขียวที่มีคลอโรฟิลล์มากที่สุด และในนิวเคลียสมีสาร *chlorella growth factor* (CGF) ซึ่งพบเฉพาะในคลอเรลลาเท่านั้น ประกอบด้วยกรดอะมิโน โปรตีน และกรดนิวคลีอิก ช่วยสร้างความแข็งแรงให้กับเซลล์ ซ่อมแซมส่วนที่สึกหรอ เสริมสร้างระบบภูมิคุ้มกันโรค และช่วยขจัดพิษในร่างกาย นอกจากนี้คลอเรลลา ยังอุดมไปด้วยวิตามินบี 12 เบตา-แคโรทีน (beta-carotene) RNA และ DNA ในปริมาณมาก ส่วนแร่ธาตุและวิตามินอื่นๆ มีมากกว่า 28 ชนิด รวมถึง เหล็ก แคลเซียม โพแทสเซียม แมกนีเซียม ฟอสฟอรัส โปรวิตามินเอ วิตามินบี 1 วิตามินบี 2 วิตามินบี 3 วิตามินบี 5 วิตามินบี 6 วิตามินซี วิตามินอี วิตามินเค ไบโอดีน (biotin) และกรดโฟลิก (folic acid) ซึ่งทั้งหมดนี้เป็นสิ่งที่ร่างกายต้องการเพื่อปรับสมดุลของฮอร์โมนและกระบวนการทางชีวเคมีต่างๆ ในร่างกาย ส่วนผนังเซลล์ของคลอเรลลาช่วยสร้างระบบภูมิคุ้มกัน และมีคุณลักษณะพิเศษในการกำจัดสารไฮโดรคาร์บอนและสารโลหะที่เป็นพิษได้ (Heuer, 2007) โดยผนังเซลล์ของ *Chlorella pyrenoidosa* มีความหนาประมาณ 210 อังสตรอม มีโปรตีนเป็นองค์ประกอบถึง 27 เปอร์เซ็นต์ ไขมัน 9.2 เปอร์เซ็นต์ เถ้า 5.2 เปอร์เซ็นต์ α -cellulose 15.4 เปอร์เซ็นต์ hemicellulose 31.0 เปอร์เซ็นต์ และ glucosamine 3.3 เปอร์เซ็นต์ (Northcote and Goulding, 1958) นอกจากนี้ คลอเรลลา ยังเป็นแหล่งที่สำคัญของกรดไขมันไม่อิ่มตัว

(polyunsaturated fatty acids : PUFAs) โดยเฉพาะ docosahexaenoic acid (DHA) (Behrens and Kyle. 1996)



ภาพที่ 2.1 ลักษณะของเซลล์คลอเรลลา

2.4 ประโยชน์ของคลอเรลลาต่อการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ

คลอเรลลาเป็นสาหร่ายสีเขียวขนาดเล็กที่มีโปรตีน วิตามินและแร่ธาตุต่างๆ ปริมาณมาก ทำให้คลอเรลลาเป็นที่นิยมในการนำมาเป็นอาหารสำหรับอนุบาลสัตว์น้ำวัยอ่อนชนิดต่างๆ ซึ่งสถาพรดิเรกบุษราคม และคณะ (2542) ศึกษาการอนุบาลลูกกุ้งกุลาดำระยะโพสต์ลารวา (P5 – P15) โดยใช้คลอเรลลาผสมกับไข่ตุ๋นเป็นอาหาร พบว่าลูกกุ้งจะมีอัตราการเจริญเติบโตและอัตราการรอดมากกว่าไม่ให้คลอเรลลา ซึ่งสอดคล้องกับ ชาญุเดช วงศ์วิบูลย์ (2543) ที่อนุบาลลูกกุ้งกุลาดำระยะโพสต์ลารวา (P5 – P15) โดยใช้อาร์ทีเมียเป็นอาหารร่วมกับการให้คลอเรลลา พบว่าลูกกุ้งจะมีความยาวเฉลี่ย 1.230 ± 0.001 เซนติเมตร เจริญเติบโตมากกว่าลูกกุ้งที่ไม่ให้คลอเรลลาซึ่งมีความยาวเฉลี่ย 0.019 ± 0.014 เซนติเมตร ส่วนลูกกุ้งที่อนุบาลด้วยไข่ขาวร่วมกับการให้คลอเรลลาจะมีความยาวเฉลี่ย 1.420 ± 0.023 เซนติเมตร เจริญเติบโตมากกว่าลูกกุ้งที่ไม่ให้คลอเรลลาซึ่งมีความยาวเฉลี่ย 1.183 ± 0.047 เซนติเมตร และลูกกุ้งที่อนุบาลด้วยคลอเรลลาจะมีอัตราการรอดสูงกว่าที่ไม่ให้คลอเรลลา นอกจากนี้ Mostary *et al.* (2007) ได้ศึกษาการเลี้ยงโรติเฟอร์ (*Brachionus angularis*) โดยใช้คลอเรลลาแห้งเปรียบเทียบกับการใช้คลอเรลลาสดและยีสต์จากการทำขนมปัง พบว่าการให้คลอเรลลาสดให้ผลดีกว่าการใช้คลอเรลลาแห้งและการใช้ยีสต์ โดยโรติเฟอร์มีความหนาแน่นเฉลี่ยเท่ากับ 37.4 ± 14.6 , 30.1 ± 12.2 และ 21.1 ± 6.1 ตัวต่อมิลลิลิตร ตามลำดับ ซึ่งเป็นไปในทางเดียวกับ Lucia-Pavon *et al.* (2001) ที่เลี้ยงโรติเฟอร์ (*Brachionus calyciflorus*) ด้วยคลอเรลลามีชีวิต

คลอเรลลาแซ่แข็ง และคลอเรลลาอบ โดยให้ที่ความหนาแน่น 3 ระดับ คือ 0.5×10^6 , 1.5×10^6 และ 4.5×10^6 เซลล์ต่อมิลลิลิตร พบว่าการให้คลอเรลลามีชีวิตทำให้โรติเฟอร์มีความหนาแน่นสูงกว่า การให้คลอเรลลาที่ไม่มีชีวิตทั้งสองแบบ นอกจากนี้ Maruyama *et al.* (1997) ได้ใช้ *Chlorella vulgaris* เป็นอาหารโรติเฟอร์ (*Brachionus plicatilis* และ *Brachionus rotundiformis*) แทนการใช้ *Nannochloropsis oculata* เนื่องจากส่วนประกอบของเซลล์ *Chlorella vulgaris* มีโปรตีน กรดอะมิโน แร่ธาตุ และวิตามิน คล้ายกับ *Nannochloropsis oculata* ซึ่งทำให้โรติเฟอร์เจริญเติบโตได้ดี นอกจากนี้ *Chlorella vulgaris* ยังเลี้ยงง่ายและสามารถมีชีวิตอยู่ได้นานกว่า *Nannochloropsis oculata* และ Nasrolahi *et al.* (2007) ได้ศึกษาการเลี้ยงเพรียง (*Amphibalanus improvisus*) ระยะเวลา โดยใช้ *Chaetoceros calcitrans*, *Chlorella vulgaris* และ *Scenedesmus quadricauda* พบว่าการใช้ *Chaetoceros calcitrans* ทำให้เพรียงมีการพัฒนาเข้าสู่ระยะ nauplius II ประมาณ 70 เปอร์เซ็นต์ และการให้ *Chlorella vulgaris* เพรียงมีการพัฒนาไปสู่ระยะ cyprids ภายใน 7 วัน ขณะที่การให้ *Scenedesmus quadricauda* เพรียงยังคงอยู่ที่ stage II และเพรียงที่ให้ *Chlorella vulgaris* มีระยะเวลาการพัฒนาจาก stage II ไปสู่ stage III เร็วกว่าการเลี้ยงด้วย *Chaetoceros calcitrans* นอกจากนี้ความเข้มข้นในการให้คลอเรลลาก็มีผลต่อการเจริญเติบโตของสัตว์น้ำวัยอ่อนด้วยเช่นกัน โดย Koo *et al.* (2001) ทำการเลี้ยง olive flounder (*Paralichthya olivaceus*) โดยใช้คลอเรลลาความเข้มข้น 4 ระดับ คือ 0, 1, 2 และ 4 เปอร์เซ็นต์น้ำหนักแห้ง พบว่าการให้คลอเรลลาที่ 2 เปอร์เซ็นต์ ถูกปลาเมียน้ำหนักสูงกว่าการให้คลอเรลลา 4, 1 และ 0 เปอร์เซ็นต์

นอกจากการใช้คลอเรลลาเป็นอาหารของสัตว์น้ำวัยอ่อนเพื่อการเจริญเติบโตแล้ว ยังสามารถนำคลอเรลลาไปใช้เป็นอาหารเสริมสำหรับเพิ่มสีในเนื้อปลาได้ โดย Gouveia *et al.* (1997) ได้ใช้ *Chlorella vulgaris* ซึ่งมีแคโรทีนอยด์ 2 เปอร์เซ็นต์น้ำหนักแห้ง (ประกอบด้วยแคโรทีนและแอสตาแซนทิน) เป็นส่วนประกอบในอาหารสำหรับเพิ่มสีในเนื้อปลา rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) ปรากฏว่าสีของเนื้อปลาเทราท์มีคุณภาพใกล้เคียงกับการให้อาหารที่ผสมกันระหว่างแคโรทีนกับแอสตาแซนทินสังเคราะห์ ถึงแม้ว่าในเนื้อปลาเทราท์ที่ให้คลอเรลลาจะมีแคโรทีนอยด์รวม 11.9 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมน้ำหนักแห้ง น้อยกว่าในเนื้อปลาที่ให้อาหารผสมที่เป็นแคโรทีนอยด์สังเคราะห์ 13.3 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมน้ำหนักแห้ง ต่อมาได้ทดลองใช้ *Chlorella vulgaris*, แอสตาแซนทินสังเคราะห์ และ *Chlorella vulgaris* ผสมกับแอสตาแซนทินสังเคราะห์อัตราส่วน 1 : 1 เพื่อเพิ่มสีในเนื้อปลา gilthead seabream (*Sparus aurata*) เมื่อวิเคราะห์แคโรทีนอยด์ในผิวหนังและกล้ามเนื้อ พบว่าการใช้ *Chlorella vulgaris* เป็นอาหารสำหรับเพิ่มสีในเนื้อปลาให้ผลไม่ต่างจากการใช้แอสตาแซนทินสังเคราะห์ (Gouveia *et al.* 2002)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.5 ปัจจัยที่มีผลต่อการเจริญเติบโตของสาหร่าย

2.5.1 ธาตุอาหาร

การเลี้ยงสาหร่ายสีเขียว (green algae) โดยใช้สูตรอาหารที่แตกต่างกันนั้นมีผลต่อการเจริญเติบโตของสาหร่ายซึ่งขึ้นอยู่กับปริมาณธาตุอาหารที่มีอยู่ในอาหารแต่ละสูตร โดยการเลี้ยง *Chlorella* sp. ด้วยสูตรอาหาร Conway's medium, Sato & Serikawa's medium และ Guillard's medium พบว่าการใช้สูตรอาหาร Guillard's medium ทำให้ *Chlorella* sp. เจริญเติบโตดีที่สุด รองลงมาคือการใช้ Sato & Serikawa's medium และ Conway's medium โดยจำนวนเซลล์คลอเรลลาเพิ่มขึ้น 2 เท่าในเวลา 33.6, 36.0 และ 50.4 ชั่วโมง ตามลำดับ (มาวิทย์ อัสวารีชัย และธิดาเพชรมณี. 2534) ส่วน Tam and Wong (1996) ทดสอบการเลี้ยง *Chlorella vulgaris* ที่ความเข้มข้นของแอมโมเนีย 10 – 1,000 มิลลิกรัมในโตรเจนต่อลิตร พบว่าปริมาณแอมโมเนียที่ความเข้มข้น 40 – 80 มิลลิกรัมในโตรเจนต่อลิตร คลอเรลลามีการใช้แอมโมเนียมากกว่า 95 เปอร์เซ็นต์ และประสิทธิภาพการใช้ในโตรเจนจะลดลงเมื่อมีความเข้มข้นมากกว่า 80 มิลลิกรัมในโตรเจนต่อลิตร แสดงให้เห็นว่าในโตรเจนเป็นธาตุอาหารหลักที่จำเป็นต่อการเจริญเติบโตของสาหร่าย Berman and Chava (1999) จึงได้ทำการเลี้ยงสาหร่ายโดยใช้แหล่งไนโตรเจนที่ต่างกันคือ ammonium, nitrate, urea, hypoxanthin, guanine, ornithine, glucosamine และ lysine พบว่า สาหร่าย *Pediastrum duplex*, *Cyclotella* sp. และ *Aphanizomenon ovalisporum* เจริญเติบโตได้ดีในการใช้แหล่งไนโตรเจนทุกแหล่ง แต่พวก cyanobacterial เจริญเติบโตดีที่สุดในการใช้ urea เป็นแหล่งไนโตรเจนเท่านั้น นอกจากนี้ ฟอสฟอรัสยังเป็นธาตุอาหารหลักที่สาหร่ายใช้ในการเจริญเติบโต ซึ่งทั้งไนโตรเจนและฟอสฟอรัสทำให้การเจริญเติบโตของสาหร่ายแต่ละชนิดแตกต่างกัน โดย Mohapatra et al. (2002) ทำการเลี้ยง *Chlorella vulgaris* และ *Scenedesmus dimorphus* ในสูตรอาหารที่มีระดับไนโตรเจนและฟอสฟอรัสต่างกัน พบว่าการขาดไนโตรเจนปริมาณมากจะทำให้การเจริญเติบโตของสาหร่ายทั้งสองชนิดหยุดชะงัก แต่เมื่อเลี้ยงด้วยสูตรอาหารที่มีไนโตรเจนพบว่าการเจริญเติบโต ปริมาณคลอโรฟิลล์ และปริมาณโปรตีนมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น แต่เมื่อเลี้ยงด้วยสูตรอาหารฟอสฟอรัส สาหร่ายทั้งสองชนิดกลับไม่มีการเจริญเติบโตเพิ่มขึ้น แต่การศึกษาของ Goldman et al. (1990) ที่ทดสอบผลการเพิ่มไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และไนโตรเจนร่วมกับฟอสฟอรัสต่อการเจริญเติบโตของสาหร่าย ทำให้เห็นว่าการเติมไนโตรเจนร่วมกับฟอสฟอรัสทำให้สาหร่ายเจริญเติบโตได้ดีกว่าการให้ไนโตรเจนหรือฟอสฟอรัสเพียงอย่างเดียว

นอกจากธาตุอาหารหลักแล้ว ธาตุอาหารรองก็มีส่วนสนับสนุนการเจริญเติบโตของสาหร่ายด้วยเช่นกัน โดยเมื่อมีปริมาณของแคลเซียมและแมกนีเซียมสูง จะทำให้การเจริญเติบโตของสาหร่ายเพิ่มขึ้น (Tubea et al. 1981) นอกจากนี้ สมชาย หวังวิบูลย์กิจ และคณะ (2548) ได้ทำการศึกษาการเลี้ยงคลอเรลลา (*Chlorella* sp.) ด้วยอาหารเลี้ยงคลอเรลลาสูตรดัดแปลงเพิ่มวิตามิน

บี 1 ร่วมกับวิตามินบี 12 พบว่าการเพิ่มวิตามินบี 12 ความเข้มข้น 5 ไมโครกรัมต่อลิตรเพียงอย่างเดียวในอาหารเลี้ยงคลอเรลลาสูตรดัดแปลงทำให้ปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ และจำนวนเซลล์ของคลอเรลลาสูงสุด ซึ่งคลอเรลลามีการเจริญเติบโตสูงสุด (exponential phase) ในวันที่ 7 ของการทดลอง และมีช่วงการเจริญเติบโต (growth curve) 19 วัน

2.5.2 แสง

แสงเป็นปัจจัยที่สำคัญต่อการเจริญเติบโตของสาหร่าย ความเข้มแสงและระยะเวลาที่ได้รับแสงมีอิทธิพลต่อการเจริญเติบโตของสาหร่าย (Deas and Orlob, 1999) การเลี้ยง *Chlorella* sp. โดยใช้แสงธรรมชาติ พบว่าที่เวลา 200 ชั่วโมง เซลล์มีการเจริญเติบโตสูงสุดถึง 150 มิลลิกรัม น้ำหนักเซลล์แห้งต่อลูกบาศก์เซนติเมตร (Satoshi *et al.* 1996) ส่วน Sreesai and Pakpain (2007) ศึกษาการเลี้ยง *Chlorella vulgaris* โดยได้รับแสงจากธรรมชาติที่ความเข้มแสง 2,500 – 9,000 ลักซ์ และได้รับแสงจากหลอดไฟฟลูออเรสเซนต์ที่ความเข้มแสง 3,000 5,000 และ 8,000 ลักซ์ พบว่าคลอเรลลาที่เลี้ยงโดยได้รับแสงจากธรรมชาติมีการเจริญเติบโตและมีปริมาณคลอโรฟิลล์สูงสุด ส่วนการเลี้ยงที่ได้รับแสงจากหลอดไฟฟลูออเรสเซนต์ความเข้มแสง 8,000 ลักซ์ คลอเรลลามีการเจริญดีกว่าที่ความเข้มแสง 5,000 และ 3,000 ลักซ์ ตามลำดับ สอดคล้องกับ ขนิษฐา ไช้เจริญ และคณะ (2547) ที่ทดลองเลี้ยงสาหร่าย *Chlorella* sp., *Kirchneriella* sp., *Navicula* sp. และ *Coccomyxa* sp. ที่ให้แสงฟลูออเรสเซนต์ความเข้มแสง 8000 ลักซ์ นาน 16 ชั่วโมงต่อวัน พบว่า *Coccomyxa* sp. มีจำนวนเซลล์สูงสุด รองลงมาได้แก่ *Chlorella* sp., *Kirchneriella* sp. และ *Navicula* sp. มีความหนาแน่น 240.27×10^6 , 239.35×10^6 , 68.98×10^6 , 1.09×10^6 เซลล์ต่อมิลลิลิตร ตามลำดับ เช่นเดียวกับ มาวิทย์ อัสวารีย์ และธิดา เพชรรมณี (2534) ซึ่งทดลองเลี้ยง *Chlorella* sp. ที่ระดับความเข้มแสง 1,000 3,000 และ 5,000 ลักซ์ พบว่าความเข้มแสง 3,000 และ 5,000 ลักซ์ ให้ผลดีที่สุด โดยจำนวนเซลล์ของคลอเรลลาเพิ่มขึ้นเป็น 2 เท่าในเวลา 28.8 ชั่วโมง รองลงมาคือที่ระดับความเข้มแสง 1,000 ลักซ์ จำนวนเซลล์ของคลอเรลลาเพิ่มขึ้นเป็น 2 เท่าในเวลา 48 ชั่วโมง ตามลำดับ สอดคล้องกับ Djokosetiyanto (2005) ซึ่งศึกษาการเจริญเติบโตของ *Chlorella* sp. ที่ความเข้มแสง 1,000 2,000 3,000 4,000 และ 5,000 ลักซ์ พบว่า คลอเรลลามีความหนาแน่นสูงสุดที่ความเข้มแสง 5,000 ลักซ์ โดยการเลี้ยงที่ใช้แสงสีขาวและสีฟ้าทำให้คลอเรลลามีการเจริญเติบโตดีที่สุด

จากการศึกษาอัตราส่วนของระยะเวลาที่ได้รับแสงต่อระยะเวลาที่ไม่ได้รับแสง (light/dark ratio ; L/D ratio) ในการเลี้ยงคลอเรลลาโดยใช้น้ำจากบ่อกึ่ง พบว่าการใช้แอมโมเนียของคลอเรลลามีค่าสูงขึ้นเมื่อ L/D ratio สูงขึ้น แต่จะลดลงถ้า L/D ratio มีค่าสูงเกินไป โดย L/D ratio ที่เหมาะสมที่สุดคือ 1/3 (กาญจนวดี คงขิม, 2546) ส่วน Qin (2005) รายงานว่าอัตราส่วนของแสงที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของสาหร่ายสีเขียว *Batryococcus braunii* โดยทั่วไปคือให้แสง 12 ชั่วโมงและไม่ให้แสง 12 ชั่วโมง โดยมีความเข้มแสงอยู่ระหว่าง 30 – 60 วัตต์ต่อตารางเมตร

2.5.3 ความเป็นกรด-ด่าง (pH)

การเจริญเติบโตของสาหร่ายแต่ละชนิดมีความแตกต่างกัน ส่วนหนึ่งเนื่องจากความเป็นกรด-ด่างของน้ำ โดยสาหร่ายสีเขียวจะเจริญเติบโตได้ดีในน้ำที่มีความเป็นกรด-ด่างประมาณ 7.4 – 8.5 ส่วน siliceous algae หรือไดอะตอม (diatoms) จะอยู่ในน้ำที่มีความเป็นกรด-ด่างต่ำ ซึ่งไดอะตอมจะเจริญเติบโตได้อย่างรวดเร็วในน้ำที่มีความเป็นกรด-ด่างประมาณ 5.5 – 6.5 แต่ถ้าความเป็นกรด-ด่างน้อยกว่า 5 จะไม่มีสาหร่ายชนิดไดอะตอม (Werner, 2008) นอกจากนี้สาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงิน (blue-green algae) จะเจริญเติบโตได้ในช่วงความเป็นกรด-ด่าง 6.6 – 10.0 และเจริญเติบโตได้ดีที่ความเป็นกรด-ด่าง 7.1 – 8.6 (Singh, 1974)

2.5.4 อุณหภูมิ

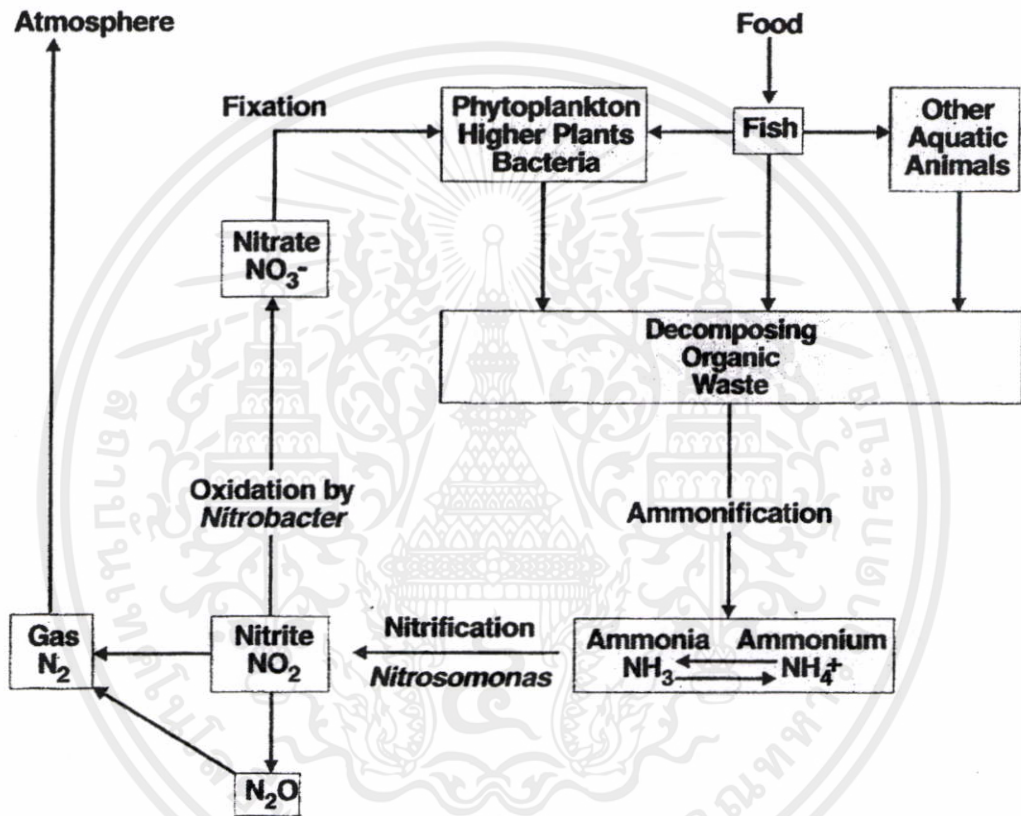
อุณหภูมิของน้ำมีความสัมพันธ์เพียงเล็กน้อยต่อการเจริญเติบโตของสาหร่าย ซึ่งสาหร่ายแต่ละชนิดเจริญเติบโตได้ดีในช่วงอุณหภูมิที่ต่างกัน (Deas and Orlob, 1999) โดยอุณหภูมิที่สาหร่ายสีเขียว *Batryococcus braunii* สามารถเจริญเติบโตได้อยู่ที่ 20 – 30 องศาเซลเซียส แต่ระดับที่เหมาะสมมีค่าประมาณ 23 องศาเซลเซียส (Qin, 2005) เช่นเดียวกับ มาวิทย์ อิศวอารีย์ และธิดาเพชรมณี (2534) ซึ่งศึกษาการเลี้ยง *Chlorella* sp. ที่อุณหภูมิต่างกัน พบว่าคลอเรลลาเจริญเติบโตได้ดีที่อุณหภูมิ 21 และ 28 องศาเซลเซียส โดยจำนวนเซลล์คลอเรลลาเพิ่มขึ้นเป็น 2 เท่าในเวลา 31.2 ชั่วโมง รองลงมาคือที่อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส จำนวนเซลล์คลอเรลลาเพิ่มขึ้นเป็น 2 เท่าในเวลา 120 ชั่วโมง ทั้งนี้ยังขึ้นอยู่กับปัจจัยอื่นๆ ด้วย

2.6 กลไกการใช้ธาตุอาหารของสาหร่าย

2.6.1 กลไกการใช้ไนโตรเจน

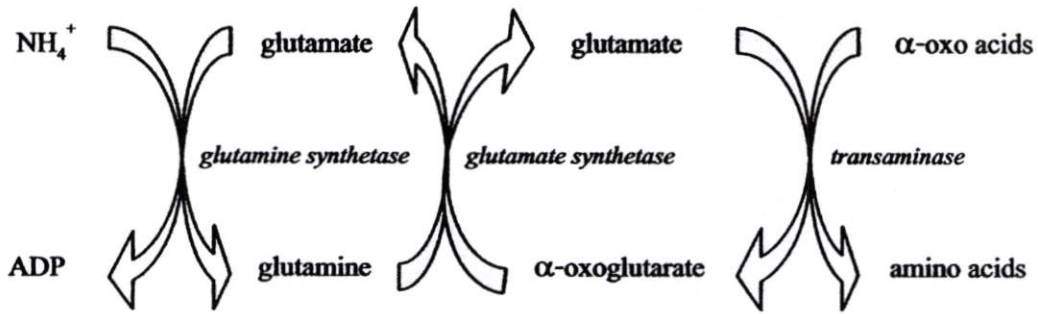
ไนโตรเจนเป็นธาตุอาหารหลักที่สำคัญสำหรับพืชและสาหร่าย เนื่องจากไนโตรเจนเป็นองค์ประกอบของกรดอะมิโน คลอโรฟิลล์ DNA (deoxyribo nucleic acid) RNA (ribo nucleic acid) และวิตามิน ซึ่งมีความสำคัญต่อกระบวนการสังเคราะห์แสง การสังเคราะห์โปรตีน การสร้างสารพันธุกรรม และการเจริญเติบโตของสิ่งมีชีวิต ไนโตรเจนในแหล่งน้ำมี 2 รูป ได้แก่ อินทรีย์ไนโตรเจน (organic nitrogen) เป็นพวกสารอินทรีย์ที่ละลายในน้ำและที่เป็นองค์ประกอบในร่างกายของสิ่งมีชีวิต รวมถึงสิ่งขับถ่ายของสัตว์และซากพืชซากสัตว์ อีกรูปหนึ่งคืออนินทรีย์ไนโตรเจน (inorganic nitrogen) พวกแอมโมเนีย (NH_3) แอมโมเนียม (NH_4^+) ไนไตรท์ (NO_2^-) และไนเตรท (NO_3^-) ซึ่งไนโตรเจนที่พืชและสาหร่ายสามารถดึงไปใช้ได้นั้นอยู่ในรูปของแอมโมเนียมและไนเตรท (ภาพที่ 2.2) โดยสาหร่ายจะดูดซึมไนเตรทเข้าสู่เซลล์ รีดิวซ์จนได้แอมโมเนียม แล้วเข้าร่วมกับสารอินทรีย์บางชนิดสังเคราะห์เป็นกรดอะมิโน (amino acids) ซึ่งเป็นส่วนประกอบของโปรตีน โดยอาศัยเอนไซม์เป็นตัวช่วยในปฏิกิริยา ซึ่งหากสาหร่ายดูดซึมแอมโมเนียมเข้าไปก็สามารถนำไป

สังเคราะห์เป็นกรดอะมิโนได้ทันที (ภาพที่ 2.3) นอกจากนี้ในโตรเจนยังเป็นองค์ประกอบของกรดนิวคลีอิก (nucleic acids) ซึ่งมีอยู่ 2 ชนิด คือ RNA ทำหน้าที่เกี่ยวข้องกับการสังเคราะห์โปรตีน และ DNA ทำหน้าที่เป็นศูนย์ข้อมูลทางพันธุกรรม (ขงยุทธ โอสดสภ. 2543) โดยกระบวนการแบ่งเซลล์จะเริ่มจากการคัดลอก DNA จาก mother cell ให้เกิด daughter cell และจะมีการแบ่งเซลล์ไปเรื่อยๆ จนเกิดเป็นเซลล์ใหม่ เมื่อสาหร่ายตายจะเกิดการย่อยสลายโดยแบคทีเรียกลับไปอยู่ในรูปของอนินทรีย์ในโตรเจนอีกครั้ง (Northwest Fisheries Science Center. 2008)



ภาพที่ 2.2 วัฏจักรไนโตรเจนในแหล่งน้ำ
ที่มา : Parker (1995)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

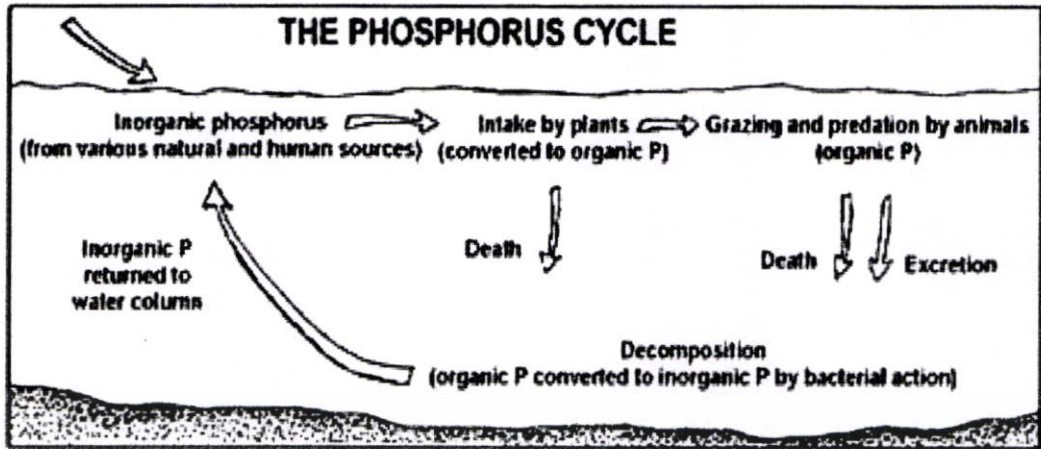


ภาพที่ 2.3 กระบวนการสังเคราะห์กรดอะมิโน
ที่มา : ยงยุทธ โอสดสกา (2543)

2.6.2 กลไกการใช้ฟอสฟอรัส

ฟอสฟอรัสเป็นธาตุอาหารหลักที่สำคัญสำหรับพืชและสาหร่าย เกี่ยวข้องกับกระบวนการขนส่งพลังงาน กระบวนการสังเคราะห์แสง เป็นองค์ประกอบของเนื้อเยื่อ และสารพันธุกรรมในเซลล์สาหร่าย เพื่อการเจริญเติบโตและสร้างผลผลิต (Isac *et al.* 2003) ฟอสฟอรัสในแหล่งน้ำจะมีอยู่ 2 รูปเช่นเดียวกับไนโตรเจน ได้แก่ อินทรีย์ฟอสเฟต (organic phosphate) คือ ฟอสฟอรัสที่เป็นองค์ประกอบอยู่ในสิ่งมีชีวิต รวมถึงสิ่งขับถ่ายของสัตว์ และซากพืชซากสัตว์ อีกรูปหนึ่งคืออนินทรีย์ฟอสเฟต (inorganic phosphate) พบอยู่ในรูปของออร์โธฟอสเฟต (PO_4^{3-} , HPO_4^{2-} , H_2PO_4) หรือ SRP (soluble reactive phosphorus) เป็นรูปที่สาหร่ายสามารถดึงไปใช้ได้โดยตรง (Clout and Roos. 1996) (ภาพที่ 2.4) โดยฟอสฟอรัสจะเข้าไปทำปฏิกิริยากับสารอินทรีย์ภายในเซลล์สาหร่าย เช่น การทำปฏิกิริยากับหมู่ไฮดรอกซิล (hydroxyl group) ของโซ่คาร์บอน ได้สารประกอบฟอสเฟตเอสเทอร์ (phosphate esters) มีบทบาทสำคัญในกระบวนการสังเคราะห์แสง นอกจากนี้ฟอสฟอรัสยังมีส่วนร่วมในกระบวนการสังเคราะห์ ATP (adenosine triphosphate) มีบทบาทสำคัญในระบบชีวเคมีของเซลล์ เป็นส่วนประกอบของ DNA และ RNA และเป็นส่วนประกอบของฟอสโฟลิพิด (phospholipids) ซึ่งเป็นองค์ประกอบของเยื่อหุ้มเซลล์ (ยงยุทธ โอสดสกา. 2543) เมื่อสาหร่ายตายจะเกิดการย่อยสลาย โดยแบคทีเรียให้อยู่ในรูปของอนินทรีย์ฟอสเฟตอีกครั้ง ในแหล่งน้ำที่มีปริมาณฟอสฟอรัสต่ำจะมีผลกระทบต่อเจริญเติบโตของสาหร่าย โดยทำให้ความสามารถในการผลิตกรดนิวคลีอิกลดลง อัตราการสังเคราะห์แสงและการตรึงคาร์บอน ไดออกไซด์ของสาหร่ายลดลง ส่งผลต่อการแบ่งเซลล์และการเจริญเติบโตของสาหร่าย (Ji and Sherrell. 2008)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 2.4 วัฏจักรฟอสฟอรัสในแหล่งน้ำ

ที่มา : United States Environmental Protection Agency (2008)

2.6.3 การใช้ไนโตรเจนและฟอสฟอรัสจากแหล่งต่างๆ ของคลอเรลลา

ของเสียจากการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำส่วนใหญ่จะมีธาตุอาหารพวกสารประกอบไนโตรเจนและฟอสฟอรัสเป็นส่วนใหญ่ ซึ่งเป็นธาตุอาหารหลักที่พืชและสาหร่ายใช้ในการเจริญเติบโต ดังนั้นจึงสามารถนำธาตุอาหารจากของเสียไปเลี้ยงสาหร่ายสีเขียวขนาดเล็กสกุลคลอเรลลาได้ ซึ่งการเลี้ยง *Chlorella vulgaris* ด้วยน้ำเสียจากเมือง พบว่ามีการใช้ในโตรเจนไป 62 เปอร์เซ็นต์ และฟอสฟอรัส 55 เปอร์เซ็นต์ ภายใน 4 วัน และหลังจาก 8 วัน มีการใช้ในโตรเจนเพิ่มขึ้นเป็น 88 เปอร์เซ็นต์ ฟอสฟอรัส 68 เปอร์เซ็นต์ และพบปริมาณ โปรตีนในเซลล์ 24 เปอร์เซ็นต์ (Sreesai and Pakpain. 2007) เช่นเดียวกับ Lau *et al.* (1995) ที่นำน้ำเสียจากเมืองมาใช้เลี้ยง *Chlorella vulgaris* ที่ความหนาแน่นระดับต่างๆ ได้แก่ 1×10^7 , 5×10^6 , 1×10^6 และ 5×10^5 เซลล์ต่อมิลลิลิตร พบว่าหลังจาก 10 วัน มีการใช้แอมโมเนียไปมากกว่า 90 เปอร์เซ็นต์ และใช้ฟอสเฟตไป 80 เปอร์เซ็นต์ ที่ความหนาแน่นทุกระดับ ยกเว้นความหนาแน่นต่ำสุด ส่วน Tam and Wong (2000) ได้ใช้ *Chlorella vulgaris* เป็น algal beads ลดปริมาณธาตุอาหารในน้ำเสียที่สังเคราะห์ขึ้น พบว่า *Chlorella vulgaris* สามารถใช้ในโตรเจนได้ 100 เปอร์เซ็นต์ ภายใน 16 ชั่วโมง และใช้ฟอสฟอรัสไป 94 เปอร์เซ็นต์ ภายใน 8 ชั่วโมง

นอกจากนี้ ยังมีการศึกษาการใช้ไนโตรเจนและฟอสฟอรัสของคลอเรลลาร่วมกับสาหร่ายชนิดอื่นด้วย จากการศึกษาของ Tam and Wong (1989) โดยการเลี้ยง *Chlorella pyrenoidosa* ร่วมกับ *Scenedesmus* sp. ด้วยน้ำเสียจากบ้านเรือน พบว่ามีการใช้ในโตรเจนและฟอสฟอรัสมากกว่า 70 เปอร์เซ็นต์ ภายใน 7 วัน และหลังจากสิ้นสุดการทดลองพบว่าสารประกอบไนโตรเจนและฟอสฟอรัสถูกใช้ไปมากกว่า 80 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งพบปริมาณเซลล์ของ *Chlorella pyrenoidosa* มากกว่า *Scenedesmus* sp. ส่วน Liu and Lin (2003) ได้ศึกษาการเลี้ยง

Chlorella vulgaris, *Chlorella vulgaris* สายพันธุ์ 211 และ *Spirulina platensis* โดยใช้น้ำเสียจากฟาร์มสุกร พบว่า *Chlorella vulgaris* มีประสิทธิภาพในการใช้ใน ไตรเจนและฟอสฟอรัสมากกว่า *Spirulina platensis* โดยที่คลอเรลลาทั้งสองสายพันธุ์สามารถใช้ฟอสเฟตไปได้ 60 เปอร์เซ็นต์ ขณะที่ *Spirulina platensis* ใช้ไปเพียง 40 เปอร์เซ็นต์เท่านั้น เช่นเดียวกับ Shi *et al.* (2007) ที่ศึกษาการเลี้ยง *Chlorella vulgaris* และ *Scenedesmus rubescens* ด้วยน้ำเสียจากเมือง พบว่าภายในเวลา 9 วัน สาหร่ายทั้งสองชนิดมีการใช้ฟอสเฟต แอมโมเนีย และไนเตรทได้มากกว่า 90 เปอร์เซ็นต์



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4 วิธีดำเนินการทดลอง

การศึกษาการใช้ประโยชน์จากมูลปลานิลสำหรับเลี้ยงสาหร่ายสีเขียวขนาดเล็กสกุลคลอเรลลา แบ่งเป็น 2 การทดลอง ได้แก่

3.4.1 การทดลองที่ 1 การศึกษาการเจริญเติบโตของคลอเรลลาที่เลี้ยงด้วยมูลปลานิลสดและแห้ง

3.4.1.1 การทดลองเบื้องต้น การศึกษาการเจริญเติบโตของคลอเรลลาที่เลี้ยงด้วยมูลปลานิลสด

(1) การวางแผนการทดลอง

วางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (completely randomized design ; CRD) โดยแบ่งเป็น 8 กลุ่มการทดลอง (treatment) ได้แก่ อาหารเลี้ยงคลอเรลลาสูตรคัดแปลง (ชุดควบคุม) และมูลปลานิลสด 7 ระดับความเข้มข้น คือ 0.02, 0.04, 0.06, 0.08, 0.10, 0.12 และ 0.14 กรัม น้ำหนักแห้งต่อลิตร เพื่อหาระดับความเข้มข้นของมูลปลานิลที่ทำให้คลอเรลลาเจริญเติบโตดีที่สุด แต่ละกลุ่มทำการทดลอง 3 ซ้ำ

(2) การดำเนินการทดลอง

2.1) เลี้ยงปลานิลจำนวน 50 ตัว น้ำหนักเฉลี่ยเริ่มต้นตัวละประมาณ 100 กรัม ในบ่อคอนกรีตปริมาตร 3.37 ลูกบาศก์เมตร ให้อาหารสำเร็จรูปชนิดลอยน้ำสำหรับปลากินพืช วันละ 2 ครั้ง เช้าและเย็น โดยให้ปลานิลกินอาหารที่ละน้อยจนปลากินอิ่ม สังเกตจากการว่ายน้ำเข้าหาอาหารจะช้าลงจึงหยุดให้อาหาร ทำการถ่ายน้ำทุกสัปดาห์

2.2) เก็บมูลปลานิลสดสัปดาห์ละครั้ง โดยดูดจากพื้นบ่อแล้วนำมาตากตะกอนเทส่วนที่เป็นน้ำออกนำส่วนตะกอนมาบดให้ละเอียด นำไปหาน้ำหนักแห้งโดยนำไปอบที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 48 ชั่วโมง ตามวิธีการหาปริมาณสารแขวนลอยในน้ำของ APHA (2005) เมื่อได้น้ำหนักของมูลปลานิลแห้งจึงนำมาคำนวณปริมาณมูลปลานิลสดให้ได้น้ำหนักตามความเข้มข้นที่กำหนดในแผนการทดลอง บรรจุมูลปลานิลสดในขวดปรับปริมาตรขนาด 1 ลิตร ทั้งหมด 3 ขวดในแต่ละกลุ่มทดลอง

2.3) เตรียมหัวเชื้อคลอเรลลาความหนาแน่น 1×10^6 เซลล์ต่อมิลลิลิตร ปริมาตร 30 ลิตร แล้วแบ่งใส่ขวดแก้วที่มีอาหารเลี้ยงคลอเรลลาสูตรคัดแปลงและมีมูลปลานิลสดความเข้มข้นตามกลุ่มทดลอง ปรับปริมาตรให้ได้ 1 ลิตรต่อขวด

2.4) ตั้งขวดไว้บนชั้นที่อุณหภูมิห้องซึ่งได้รับแสงจากธรรมชาติ และให้ออกซิเจนในระดับที่ใกล้เคียงกันทุกขวด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมีเหตุดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(3) การบันทึกข้อมูล

3.1) เก็บตัวอย่างน้ำทุก 2 วัน เป็นเวลา 12 วัน เพื่อตรวจหาการเจริญเติบโตของคลอเรลลาโดยวัดความหนาแน่นจากค่าการดูดกลืนแสง (optical density ; OD) ที่ความยาวคลื่น 680 นาโนเมตร ด้วยเครื่องวัดค่าการดูดกลืนแสง (spectrophotometer) โดยก่อนวัดวางตัวอย่างน้ำทิ้งไว้ประมาณ 5 นาที เพื่อให้มีผลปลาตกตะกอนลดการรบกวนการวัดค่า นำค่าที่ได้มาเปรียบเทียบกับการนับจำนวนเซลล์ จากสมการ $y = 37,311x - 668.26$ (y = จำนวนเซลล์ต่อมิลลิลิตร, x = ค่าการดูดกลืนแสง)

3.4.1.2 การศึกษาการเจริญเติบโตของคลอเรลลาที่เลี้ยงด้วยมูลปลานิลสด

(1) การวางแผนการทดลอง

นำความเข้มข้นของมูลปลานิลที่ทำให้คลอเรลลาเจริญเติบโตดีจากการทดลองเบื้องต้น (ข้อ 3.4.1.1) มาวางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (completely randomized design ; CRD) โดยแบ่งเป็น 5 กลุ่มการทดลอง (treatment) ได้แก่ อาหารเลี้ยงคลอเรลลาสูตรคัดแปลง (ชุดควบคุม) และมูลปลานิลสด 4 ระดับความเข้มข้น แต่ละกลุ่มทำการทดลอง 3 ซ้ำ

(2) การดำเนินการทดลอง

2.1) เตรียมหัวเชื้อคลอเรลลาความหนาแน่น 1×10^6 เซลล์ต่อมิลลิลิตร ปริมาตร 20 ลิตร แล้วแบ่งใส่ขวดแก้วที่มีอาหารเลี้ยงคลอเรลลาสูตรคัดแปลงและมีมูลปลานิลสดความเข้มข้นตามกลุ่มทดลอง ปรับปริมาตรให้ได้ 1 ลิตรต่อขวด

2.2) ตั้งขวดไว้บนชั้นที่อยู่ในร่มซึ่งได้รับแสงจากธรรมชาติ และให้ออกซิเจนในระดับที่ใกล้เคียงกันทุกขวด

(3) การบันทึกข้อมูล

3.1) เก็บตัวอย่างน้ำทุก 2 วัน เป็นเวลา 12 วัน เพื่อตรวจหาการเจริญเติบโตของคลอเรลลาโดยวัดความหนาแน่นจากค่าการดูดกลืนแสง และนำค่าที่ได้มาเปรียบเทียบกับการนับจำนวนเซลล์ จากสมการ $y = 37,311x - 668.26$ (y = จำนวนเซลล์ต่อมิลลิลิตร, x = ค่าการดูดกลืนแสง)

3.2) วิเคราะห์ปัจจัยคุณภาพน้ำตามวิธีการใน standard methods for the examination of water and wastewater (APHA. 2005) ซึ่งทำการวิเคราะห์แอมโมเนีย-ไนโตรเจน ($\text{NH}_3\text{-N}$) ไนไตรท์-ไนโตรเจน ($\text{NO}_2\text{-N}$) ไนเตรท-ไนโตรเจน ($\text{NO}_3\text{-N}$) ออร์โธฟอสเฟต (soluble reactive phosphorus ; SRP) ความเป็นด่าง (alkalinity) ความเป็นกรด-ด่าง (pH) และอุณหภูมิ (temperature) โดยใช้เครื่อง pH-conductivity-TDS-°C-°F meter โดยเก็บตัวอย่างน้ำวิเคราะห์ทุก 2 วัน เป็นระยะเวลา 12 วัน และวัดความเข้มแสง (light intensity) ทุกวันตลอดการทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับงานวิจัยและการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4.1.3 การศึกษาการเจริญเติบโตของคลอเรลลาที่เลี้ยงด้วยมูลปลานิลแห้ง

(1) การวางแผนการทดลอง

วางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (completely randomized design ; CRD) โดยแบ่งเป็น 5 กลุ่มการทดลอง ได้แก่ อาหารเลี้ยงคลอเรลลาสูตรคัดแปลง (ชุดควบคุม) และ มูลปลานิลแห้ง 4 ระดับความเข้มข้น แต่ละกลุ่มทำการทดลอง 3 ซ้ำ เช่นเดียวกับข้อ 3.4.1.2

(2) การดำเนินการทดลองและการบันทึกข้อมูล

นำมูลปลานิลแห้งที่ได้จากการอบแห้งตามวิธีการหาวัตถุแห้งบางส่วนของ APHA (2005) มาละลายน้ำตามระดับความเข้มข้นที่กำหนด ทิ้งไว้เป็นเวลา 1 วัน เพื่อให้ธาตุอาหารในมูลปลานิลย่อยสลายและอยู่ในรูปที่คลอเรลลาสามารถนำไปใช้ได้

ทำการเลี้ยงคลอเรลลาด้วยอาหารเลี้ยงคลอเรลลาสูตรคัดแปลง และ สารละลายมูลปลานิลแห้งตามกลุ่มการทดลองที่กำหนด และบันทึกผลเช่นเดียวกับการทดลองใน ข้อ 3.4.1.2

3.4.2 การทดลองที่ 2 การศึกษาการเจริญเติบโตของคลอเรลลาที่เลี้ยงด้วยมูลปลานิลสด และ แห้ง โดยเพิ่มธาตุอาหารไนโตรเจนและฟอสฟอรัส

นำระดับความเข้มข้นของมูลปลานิลสดและแห้งที่เหมาะสมที่สุดในการเลี้ยงคลอเรลลา ซึ่งได้จากการทดลองที่ 1 มาศึกษาต่อในการทดลองที่ 2 โดยเพิ่มธาตุอาหาร ไนโตรเจน (โพแทสเซียม ไนเตรท) และฟอสฟอรัส (โพแทสเซียม ไดไฮโดรเจนฟอสเฟต) ระดับต่างๆ ในการเลี้ยงคลอเรลลา ด้วยมูลปลานิล แบ่งการทดลองออกเป็น 2 การทดลองย่อย ดังนี้

3.4.2.1 การศึกษาการเจริญเติบโตของคลอเรลลาที่เลี้ยงด้วยมูลปลานิลสด โดยเพิ่มธาตุอาหารไนโตรเจนและฟอสฟอรัส

(1) การวางแผนการทดลอง

วางแผนการทดลองแบบ 4 x 4 factorial in CRD จำนวน 3 ซ้ำ โดยมี 2 ปัจจัย การทดลอง ประกอบด้วย

ปัจจัยที่ 1 ระดับความเข้มข้นของไนโตรเจน 4 ระดับ ได้แก่ 0, 4.33, 8.66 และ 17.33 มิลลิกรัมต่อลิตร

ปัจจัยที่ 2 ระดับความเข้มข้นของฟอสฟอรัส 4 ระดับ ได้แก่ 0, 7.12, 14.25 และ 28.49 มิลลิกรัมต่อลิตร

(2) การดำเนินการทดลอง

2.1) บรรจุมูลปลานิลสดระดับที่เหมาะสมที่สุดจากการทดลองที่ 1 ในขวด ปรับปริมาตรขนาด 1 ลิตร ทั้งหมด 3 ขวด ในแต่ละกลุ่มการทดลอง และเพิ่มธาตุอาหารไนโตรเจน ร่วมกับฟอสฟอรัสตามแผนการทดลอง

2.2) เตรียมหัวเชื้อคลอเรลลาความหนาแน่น 1×10^6 เซลล์ต่อมิลลิลิตร ปริมาตร 50 ลิตร แล้วแบ่งใส่ขวดแก้วที่มีมูลปลานิลสด เพิ่มธาตุอาหารไนโตรเจนและฟอสฟอรัสตามแผนการทดลอง ปรับปริมาตรให้ได้ 1 ลิตรต่อขวด

2.3) ตั้งขวดไว้บนชั้นที่อยู่ในร่มซึ่งได้รับแสงจากธรรมชาติ และให้ออกซิเจนในระดับที่ใกล้เคียงกันทุกขวด

(3) การบันทึกข้อมูล

เก็บตัวอย่างนำมาตรวจหาการเจริญเติบโตของคลอเรลลา โดยวัดความหนาแน่นจากค่าการดูดกลืนแสง วิเคราะห์ปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ (chlorophyll a) โดยวิธี spectrophotometric determination of chlorophyll (APHA, 2005) และวิเคราะห์ปัจจัยคุณภาพน้ำ ได้แก่ แอมโมเนีย-ไนโตรเจน ไนไตรท์-ไนโตรเจน ไนเตรท-ไนโตรเจน ออร์โธฟอสเฟต ความเป็นด่าง ความเป็นกรด-ด่าง และอุณหภูมิ โดยเก็บตัวอย่างนำมาวิเคราะห์ทุก 3 วัน เป็นระยะเวลา 12 วัน และวัดความเข้มแสงทุกวันตลอดการทดลอง

3.4.2.2 การศึกษาการเจริญเติบโตของคลอเรลลาที่เลี้ยงด้วยมูลปลานิลแห้ง โดยเพิ่มธาตุอาหารไนโตรเจนและฟอสฟอรัส

(1) การวางแผนการทดลอง

วางแผนการทดลองแบบ 4×4 factorial in CRD จำนวน 3 ซ้ำ โดยมี 2 ปัจจัยการทดลอง เช่นเดียวกับการทดลองที่ 3.4.2.1

(2) การดำเนินการทดลองและการบันทึกข้อมูล

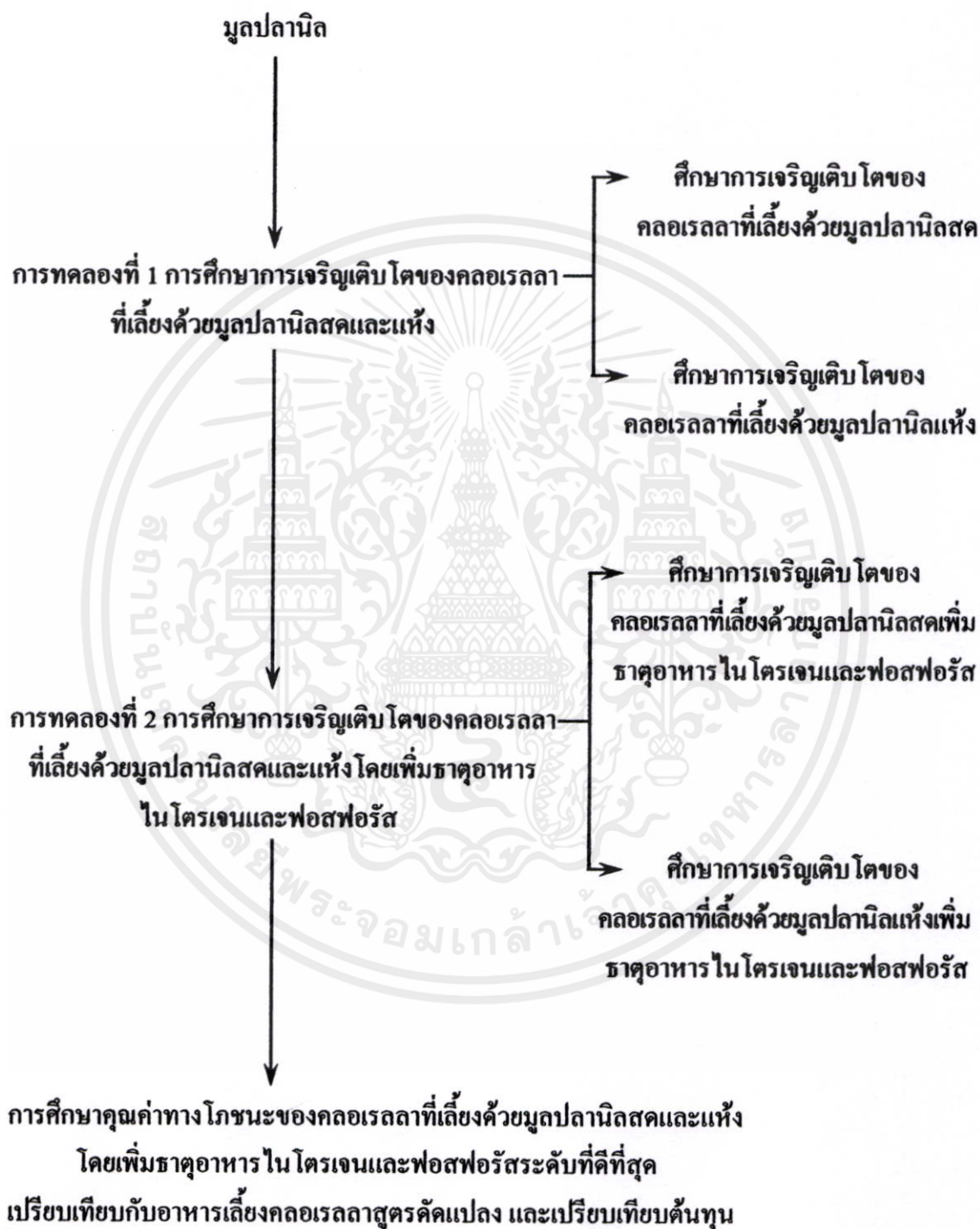
ทำการเลี้ยงคลอเรลลาด้วยมูลปลานิลแห้งระดับที่เหมาะสมที่สุดจากการทดลองที่ 1 โดยเพิ่มธาตุอาหารไนโตรเจนร่วมกับฟอสฟอรัสตามแผนการทดลอง และบันทึกผล เช่นเดียวกับการทดลองที่ 3.4.2.1

3.4.2.3 การศึกษาคุณค่าทางโภชนาของคลอเรลลาที่เลี้ยงด้วยมูลปลานิลสดและแห้ง โดยเพิ่มธาตุอาหารไนโตรเจนและฟอสฟอรัสระดับที่ดีที่สุด เปรียบเทียบกับอาหารเลี้ยงคลอเรลลาสูตรดัดแปลง และเปรียบเทียบต้นทุน

(1) เลี้ยงคลอเรลลาด้วยมูลปลานิลสดและแห้ง โดยเพิ่มธาตุอาหารไนโตรเจนและฟอสฟอรัสระดับที่มีการเจริญเติบโตของคลอเรลลาสูงสุดจากการทดลองที่ 3.4.2.1 และ 3.4.2.2 เปรียบเทียบกับการเลี้ยงด้วยอาหารเลี้ยงคลอเรลลาสูตรดัดแปลง ในถังปริมาตร 30 ลิตร ทั้งหมด 3 กลุ่มการทดลอง กลุ่มละ 6 ซ้ำ แล้วเก็บผลผลิตในช่วงที่คลอเรลลามีการเจริญเติบโตสูงสุด (exponential phase) โดยวิธีการตกตะกอน นำไปวิเคราะห์ปริมาณไนโตรเจนฟรีเอ็กซ์แทรกซ์ (nitrogen free extract ; NFE) โปรตีน ไขมัน เยื่อใย ความชื้นและเถ้า ตามวิธีของ AOAC (1995)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับอาจารย์งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(2) เปรียบเทียบต้นทุนการเลี้ยงคลอเรลลาด้วยอาหารเลี้ยงคลอเรลลาสูตรคัดแปลงกับการเลี้ยงด้วยมูลปลานิลสดและแห้ง โดยนำข้อมูลราคาวัตถุดิบที่ใช้ในการเลี้ยงคลอเรลลาจากการทดลองที่ 3.4.2.3 ข้อ 1 มาคำนวณ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาพที่ 3.1 สรุปขั้นตอนการทดลอง

3.5 การวิเคราะห์ข้อมูล

นำข้อมูลจากผลการทดลองที่ 3.4.1 และ 3.4.2 มาวิเคราะห์ความแปรปรวน Analysis of Variance (ANOVA) และเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยแต่ละกลุ่มทดลองโดยวิธี Duncan's Multiple Range Test ด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ SPSS

3.6 สถานที่ทำการวิจัย

ห้องปฏิบัติการคุณภาพน้ำ ภาควิชาวิทยาศาสตร์การประมง คณะเทคโนโลยีการเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

3.7 ระยะเวลาในการทำวิจัย

เดือนพฤษภาคม 2550 – เดือนเมษายน 2551



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

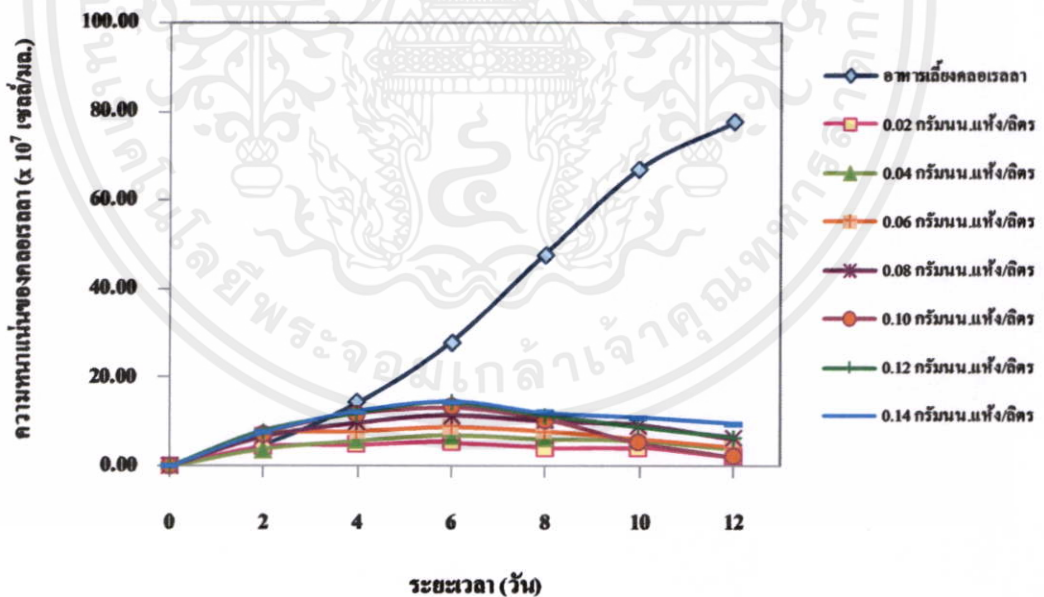
บทที่ 4

ผลการทดลอง

4.1 การทดลองที่ 1 การศึกษาการเจริญเติบโตของคลอเรลลาที่เลี้ยงด้วยมูลปลานิลสดและแห้ง

4.1.1 การทดลองเบื้องต้น การเจริญเติบโตของคลอเรลลาที่เลี้ยงด้วยมูลปลานิลสด

จากการทดลองเลี้ยงคลอเรลลาพบว่า การเจริญเติบโตของคลอเรลลาในกลุ่มทดลองที่เลี้ยงด้วยอาหารเลี้ยงคลอเรลลาสูตรคัดแปลงมีการเจริญเติบโตสูงสุด โดยมีความหนาแน่นเฉลี่ย $(77.38 \pm 1.83) \times 10^7$ เซลล์ต่อมิลลิลิตร แตกต่างจากกลุ่มที่เลี้ยงด้วยมูลปลานิลสดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) การเจริญเติบโตของคลอเรลลาเพิ่มขึ้นตามปริมาณของมูลปลานิลสดที่ใช้ โดยกลุ่มที่เลี้ยงด้วยมูลปลานิลสด 0.14 กรัม/น้ำหนักแห้งต่อลิตร มีความหนาแน่นของคลอเรลลาสูงสุด $(14.96 \pm 0.35) \times 10^7$ เซลล์ต่อมิลลิลิตร แต่ไม่มีความแตกต่างกับกลุ่มที่เลี้ยงด้วยมูลปลานิลสดระดับอื่นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P > 0.05$) (ตารางที่ 4.1 และภาพที่ 4.1)



ภาพที่ 4.1 การเจริญเติบโตของคลอเรลลาที่ใช้มูลปลานิลสดเป็นธาตุอาหารเปรียบเทียบกับอาหารเลี้ยงคลอเรลลาสูตรคัดแปลง ในการทดลองเบื้องต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่จัดทำขึ้นเพื่อการเรียนการสอนเท่านั้น ไม่สามารถนำออกจำหน่ายหรือทำซ้ำโดยไม่ได้รับอนุญาต
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น ยกเว้นกรณีที่มีการขออนุญาตและได้รับอนุญาตจากเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.1 การเจริญเติบโตของคลอเรลลา ($\times 10^7$ เซลล์ต่อมิลลิลิตร) ที่ใช้ปลูกปาลานีสตเป็นธาตุอาหารเปรียบเทียบกับอาหารเลี้ยงคลอเรลลาสูตรตัดแปลง ในการทดลองเบื้องต้น

ระยะเวลา (วัน)	น้ำหนักมูลปาลานีสต (กรัมน้ำหนักแห้งต่อลิตร)									
	อาหารเลี้ยง คลอเรลลา	0.02	0.04	0.06	0.08	0.10	0.12	0.14	0.16	0.18
0	0.10±0.01 ^a	0.10±0.01 ^a	0.10±0.01 ^a	0.10±0.01 ^a	0.10±0.01 ^a	0.10±0.01 ^a	0.10±0.01 ^a	0.10±0.01 ^a	0.10±0.01 ^a	0.10±0.01 ^a
2	4.99±0.07 ^a	4.64±0.13 ^a	3.89±0.12 ^a	7.15±0.07 ^{bc}	6.71±0.23 ^b	7.37±0.08 ^{bc}	7.85±0.07 ^{bc}	7.59±0.07 ^{bc}	7.59±0.07 ^{bc}	7.59±0.07 ^{bc}
4	14.47±0.50 ^c	5.08±0.05 ^a	5.92±0.15 ^{ab}	7.95±0.25 ^{bc}	9.89±0.20 ^{cd}	11.87±0.03 ^d	11.99±0.11 ^d	12.31±0.15 ^d	12.31±0.15 ^d	12.31±0.15 ^d
6	28.09±1.93 ^c	5.52±0.21 ^a	6.98±0.11 ^{ab}	9.09±0.27 ^{ab}	11.56±0.04 ^{ab}	13.40±0.21 ^b	14.46±0.15 ^b	14.60±0.12 ^b	14.60±0.12 ^b	14.60±0.12 ^b
8	47.67±2.31 ^b	4.42±0.36 ^a	6.40±0.13 ^a	7.95±0.49 ^a	10.28±0.16 ^a	10.64±0.20 ^a	11.48±0.18 ^a	12.22±0.22 ^a	12.22±0.22 ^a	12.22±0.22 ^a
10	66.89±2.33 ^b	4.29±0.44 ^a	5.92±0.18 ^a	6.27±0.73 ^a	9.27±0.28 ^a	5.57±0.43 ^a	9.14±0.51 ^a	10.96±0.35 ^a	10.96±0.35 ^a	10.96±0.35 ^a
12	77.38±1.83 ^b	2.22±0.22 ^a	3.85±0.51 ^a	4.42±1.04 ^a	6.45±0.88 ^a	2.30±0.61 ^a	6.59±0.12 ^a	9.62±1.06 ^a	9.62±1.06 ^a	9.62±1.06 ^a

ตัวอักษรที่ต่างกันในแต่ละแถว หมายความว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$)

4.1.2 การเจริญเติบโตของคลอเรลลาที่เลี้ยงด้วยมูลปลานิลสด

จากการทดลองเบื้องต้น พบว่าการเลี้ยงคลอเรลลาด้วยมูลปลานิลสด 0.10 – 0.14 กรัม น้ำหนักแห้งต่อลิตร ทำให้คลอเรลลาเจริญเติบโตไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$) ด้วยเหตุนี้จึงนำระดับความเข้มข้นของมูลปลานิลที่ 0–0.14 กรัม น้ำหนักแห้งต่อลิตร มาปรับการทดลองโดยใช้มูลปลานิลสด 0.02, 0.06, 0.10 และ 0.14 กรัม น้ำหนักแห้งต่อลิตร และเปรียบเทียบกับการใช้อาหารเลี้ยงคลอเรลลาสูตรคัดแปลง พบว่า การเจริญเติบโตของคลอเรลลาในกลุ่มทดลองที่เลี้ยงด้วยอาหารเลี้ยงคลอเรลลาสูตรคัดแปลงมีการเจริญเติบโตสูงสุด โดยมีความหนาแน่นเฉลี่ย $(60.53 \pm 1.26) \times 10^7$ เซลล์ต่อมิลลิลิตร แตกต่างจากกลุ่มที่เลี้ยงด้วยมูลปลานิลสดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) การเจริญเติบโตของคลอเรลลาเพิ่มขึ้นตามปริมาณของมูลปลานิลสดที่ใช้ โดยกลุ่มที่เลี้ยงด้วยมูลปลานิลสด 0.14 กรัม น้ำหนักแห้งต่อลิตร มีความหนาแน่นของคลอเรลลาสูงสุด $(16.01 \pm 0.20) \times 10^7$ เซลล์ต่อมิลลิลิตร (ตารางที่ 4.2 และภาพที่ 4.2) และพบว่าการเจริญเติบโตของคลอเรลลาในอาหารที่ใช้มูลปลานิลสด 0.14 กรัม น้ำหนักแห้งต่อลิตร มีจำนวนต่ำกว่าการใช้อาหารเลี้ยงคลอเรลลาสูตรคัดแปลงประมาณ 3–4 เท่า ซึ่งแต่ละกลุ่มการทดลองได้รับแสงจากธรรมชาติในแต่ละวัน โดยความเข้มแสงระหว่างการเลี้ยงคลอเรลลามีค่าอยู่ระหว่าง 1,000 – 7,000 ลักซ์ มีค่าเฉลี่ย $3,241 \pm 433$ ลักซ์ (ภาพภาคผนวก ง.1)

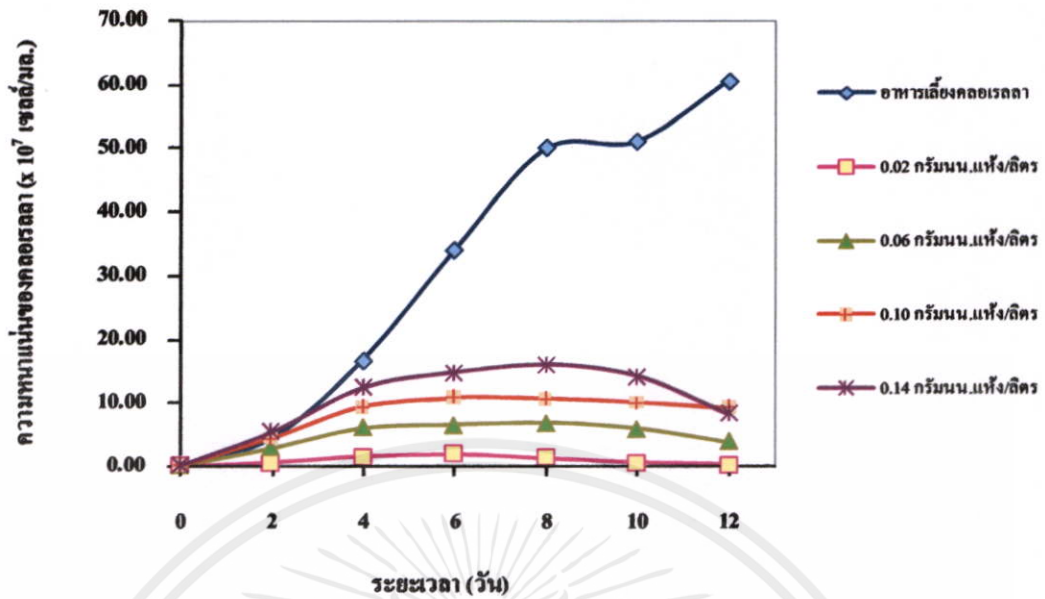
ตารางที่ 4.2 การเจริญเติบโตของคลอเรลลา ($\times 10^7$ เซลล์ต่อมิลลิลิตร) ที่ใช้มูลปลานิลสดเป็นธาตุอาหารเปรียบเทียบกับอาหารเลี้ยงคลอเรลลาสูตรคัดแปลง

ระยะเวลา (วัน)	อาหารเลี้ยง คลอเรลลา สูตรคัดแปลง	น้ำหนักมูลปลานิลสด (กรัม น้ำหนักแห้งต่อลิตร)			
		0.02	0.06	0.10	0.14
0	0.10 ± 0.00^a	0.10 ± 0.00^a	0.10 ± 0.00^a	0.10 ± 0.02^a	0.10 ± 0.02^a
2	4.44 ± 0.26^c	0.50 ± 0.07^a	2.85 ± 0.19^b	4.41 ± 0.08^c	5.39 ± 0.07^c
4	16.68 ± 1.34^d	1.51 ± 0.03^a	6.04 ± 0.29^b	9.31 ± 0.16^c	12.40 ± 0.09^c
6	33.94 ± 1.11^c	1.91 ± 0.09^a	6.62 ± 0.24^b	10.87 ± 0.16^c	14.72 ± 0.09^d
8	49.85 ± 1.76^c	1.35 ± 0.20^a	6.92 ± 0.70^a	10.59 ± 0.44^b	16.01 ± 0.20^b
10	51.01 ± 1.50^c	0.62 ± 0.14^a	5.91 ± 0.87^a	10.07 ± 0.59^b	14.05 ± 0.44^b
12	60.53 ± 1.26^c	0.19 ± 0.02^a	3.92 ± 0.91^{ab}	9.22 ± 1.10^b	8.30 ± 0.69^b

ตัวอักษรที่ต่างกันในแนวนอน หมายถึง มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น มิอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 4.2 การเจริญเติบโตของคลอสเทรียที่ใช้มูลปลานิลสดเป็นธาตุอาหารเปรียบเทียบกับอาหารเลี้ยงคลอสเทรียสูตรดัดแปลง

ตารางที่ 4.3 ปัจจัยคุณภาพน้ำในสารละลายเลี้ยงคลอสเทรียในช่วงที่คลอสเทรียเจริญเติบโตดีที่สุด

ปัจจัยคุณภาพน้ำ	อาหารเลี้ยงคลอสเทรียสูตรดัดแปลง	น้ำหมักมูลปลานิลสด (กรัม น้ำหนักแห้งต่อลิตร)			
		0.02	0.06	0.10	0.14
temperature	29.1±0.0 ^a	28.6±0.1 ^a	28.5±0.0 ^a	28.5±0.0 ^a	28.4±0.0 ^a
pH	9.47±0.02 ^c	8.36±0.04 ^a	8.45±0.01 ^b	8.57±0.02 ^c	8.73±0.01 ^d
alkalinity	110±0 ^a	103±3 ^a	107±6 ^a	105±0 ^a	103±6 ^a
NH ₃ -N	0.152±0.004 ^a	0.168±0.005 ^a	0.151±0.001 ^a	0.159±0.011 ^a	0.153±0.002 ^a
NO ₂ ⁻ -N	0.018±0.002 ^b	0.012±0.001 ^a	0.011±0.001 ^a	0.014±0.001 ^{ab}	0.012±0.000 ^a
NO ₃ ⁻ -N	0.179±0.039 ^a	0.152±0.012 ^a	0.169±0.003 ^a	0.161±0.004 ^a	0.164±0.002 ^a
SRP	0.425±0.045 ^b	0.010±0.003 ^a	0.006±0.001 ^a	0.007±0.000 ^a	0.009±0.000 ^a

ตัวอักษรที่ต่างกันในแนวนอน หมายถึง มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P<0.05)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.1.3 การเปลี่ยนแปลงปัจจัยคุณภาพน้ำในการเลี้ยงคลอเรลลาด้วยมูลปลานิลสด

จากการศึกษาคุณภาพน้ำในการเลี้ยงคลอเรลลาพบว่าการเปลี่ยนแปลงปัจจัยคุณภาพน้ำ ดังนี้

อุณหภูมิระหว่างการเลี้ยงคลอเรลลาในอาหารเลี้ยงคลอเรลลาสูตรดัดแปลงไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$) กับการเลี้ยงด้วยมูลปลานิลสดระดับต่างๆ (ตารางที่ 4.3) โดยวันที่ 4 ของการทดลองมีอุณหภูมิสูงสุด และมีแนวโน้มลดลงต่ำสุดในวันที่ 12 (ภาพที่ 4.3) ซึ่งอุณหภูมิเฉลี่ยตลอดการทดลองมีค่า 29.5 ± 0.0 องศาเซลเซียส เป็นช่วงที่คลอเรลลาสามารถเจริญเติบโตได้

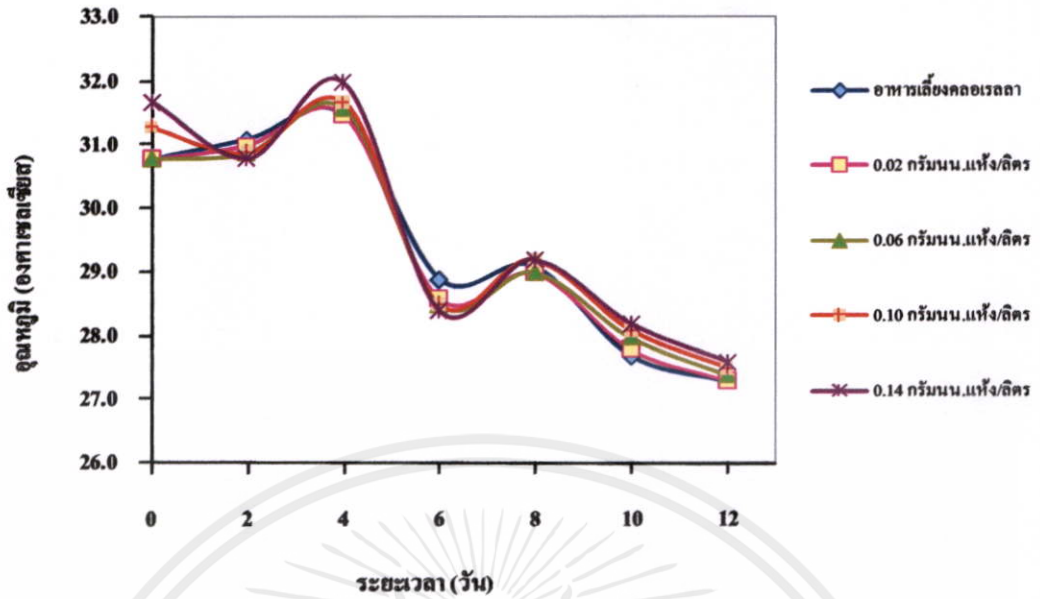
ความเป็นกรด-ด่างของการเลี้ยงคลอเรลลาช่วงที่มีการเจริญเติบโตดีที่สุด ในอาหารเลี้ยงคลอเรลลาสูตรดัดแปลงมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) กับกลุ่มที่เลี้ยงด้วยมูลปลานิลสดทุกระดับ (ตารางที่ 4.3) โดยมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นจนถึงวันที่ 8 และลดลงจนสิ้นสุดการทดลอง ส่วนการใช้มูลปลานิลสดระดับต่างๆ ทำให้ค่าความเป็นกรด-ด่างมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นในช่วง 4 วันแรกของการทดลอง หลังจากนั้นแนวโน้มลดลงจนสิ้นสุดการทดลอง (ภาพที่ 4.4)

ความเป็นด่างของการเลี้ยงคลอเรลลาช่วงที่มีการเจริญเติบโตดีที่สุด ในอาหารเลี้ยงคลอเรลลาสูตรดัดแปลง ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$) กับกลุ่มที่เลี้ยงด้วยมูลปลานิลสดทุกระดับ โดยความเป็นด่างมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตลอดการทดลอง (ตารางที่ 4.3 และภาพที่ 4.5)

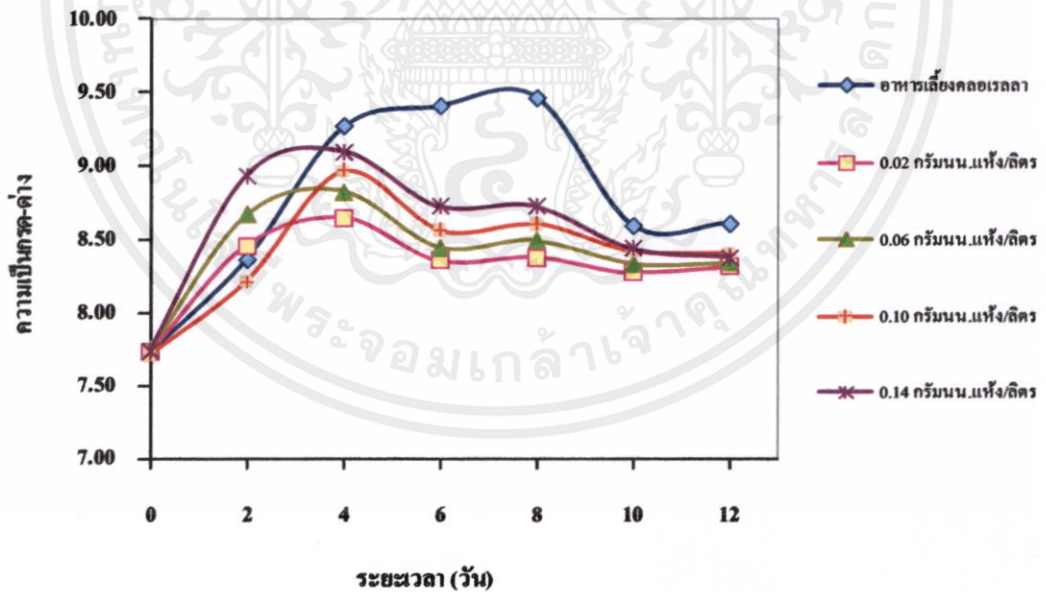
ปริมาณแอมโมเนีย-ไนโตรเจนของการเลี้ยงคลอเรลลาช่วงที่มีการเจริญเติบโตดีที่สุด ในอาหารเลี้ยงคลอเรลลาสูตรดัดแปลงไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$) กับกลุ่มที่เลี้ยงด้วยมูลปลานิลสดทุกระดับ (ตารางที่ 4.3) โดยมีค่าต่ำสุดในวันที่ 8 ของการทดลอง ส่วนการใช้มูลปลานิลสดระดับต่างๆ มีปริมาณแอมโมเนีย-ไนโตรเจนเริ่มต้นเพิ่มขึ้นตามปริมาณมูลปลานิลสดที่เพิ่มขึ้น และลดลงต่ำสุดในวันที่ 8 (ภาพที่ 4.6) ซึ่งเป็นช่วงที่คลอเรลลาที่มีการเจริญเติบโตดีที่สุด

ปริมาณไนไตรท์-ไนโตรเจนของการเลี้ยงคลอเรลลาช่วงที่มีการเจริญเติบโตดีที่สุด ในอาหารเลี้ยงคลอเรลลาสูตรดัดแปลงมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) กับกลุ่มที่เลี้ยงด้วยมูลปลานิลสด 0.02, 0.06 และ 0.14 กรัม/น้ำหนักแห้งต่อลิตร (ตารางที่ 4.3) โดยมีค่าสูงสุดในวันที่ 6 และมีแนวโน้มลดลงหลังจากวันที่ 8 ของการทดลอง ส่วนการใช้มูลปลานิลสดระดับต่างๆ มีปริมาณไนไตรท์-ไนโตรเจนเริ่มต้นเพิ่มขึ้นตามปริมาณมูลปลานิลสดที่เพิ่มขึ้น และลดลงในวันที่ 2 หลังจากนั้นมีความคงที่ตลอดการทดลอง (ภาพที่ 4.7) ซึ่งมีแนวโน้มไปในทิศทางเดียวกับปริมาณแอมโมเนีย-ไนโตรเจน

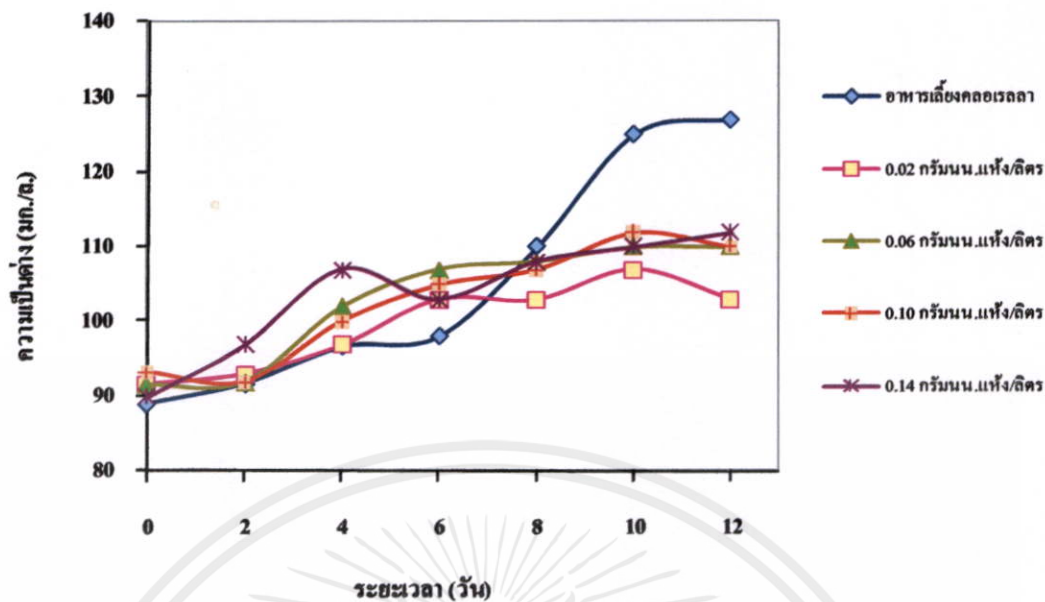
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



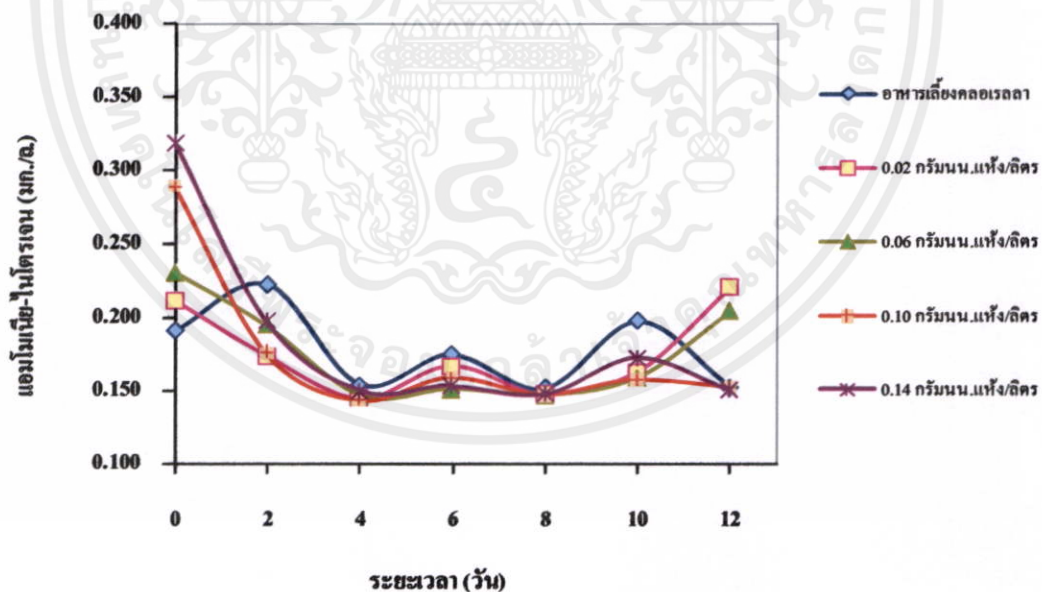
ภาพที่ 4.3 อุณหภูมิในอาหารเลี้ยงคลอเรลลาที่ใช้มูลปลานิลสดเป็นธาตุอาหาร



เอกสารนี้ **ภาพที่ 4.4** ความเป็นกรด-ด่างในอาหารเลี้ยงคลอเรลลาที่ใช้มูลปลานิลสดเป็นธาตุอาหาร วิชาการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

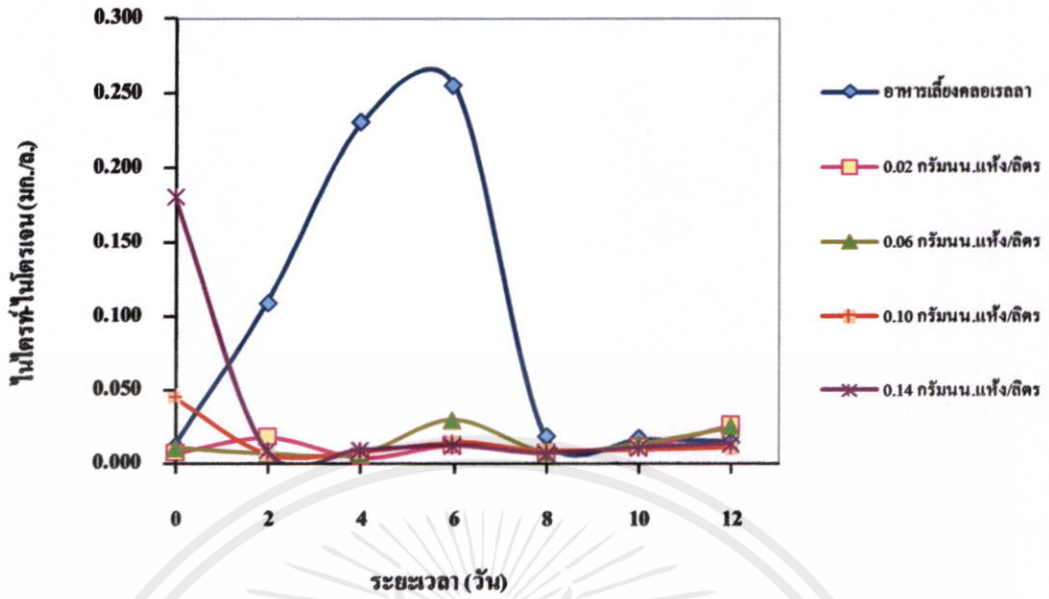


ภาพที่ 4.5 ความเป็นค่า้งในอาหารเลี้ยงคอรลลาที่ใช้มูลปลานิลสดเป็นธาตุอาหาร

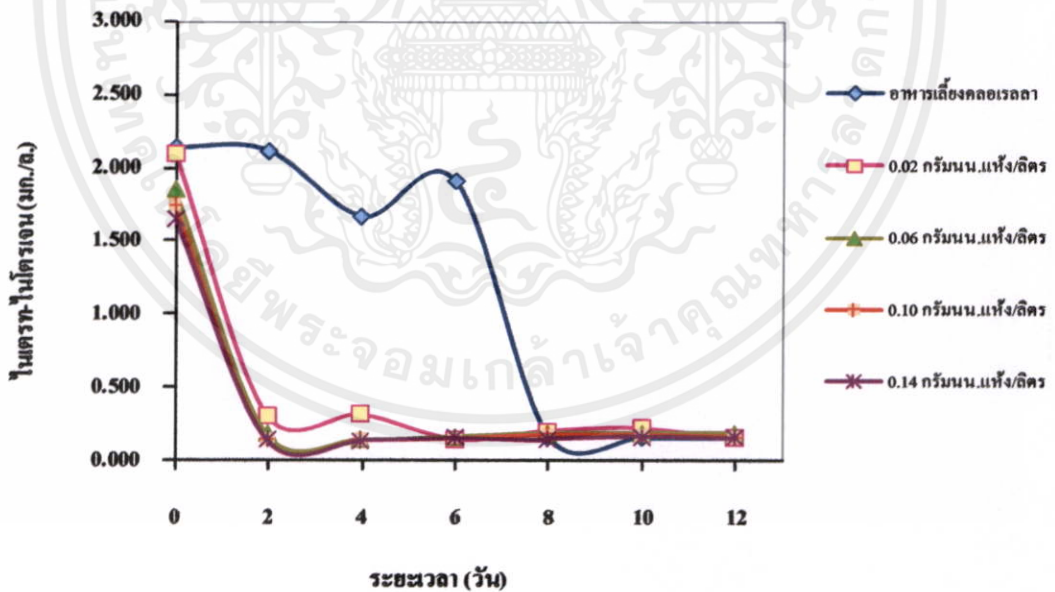


ภาพที่ 4.6 ปริมาณแอมโมเนีย-ไนโตรเจนในอาหารเลี้ยงคอรลลาที่ใช้มูลปลานิลสดเป็นธาตุอาหาร

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 4.7 ปริมาณไนโตรเจนในอาหารเลี้ยงคลอเรลลาที่ใช้มูลปลานิลสดเป็นธาตุอาหาร



ภาพที่ 4.8 ปริมาณไนโตรเจนในอาหารเลี้ยงคลอเรลลาที่ใช้มูลปลานิลสดเป็นธาตุอาหาร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ในอาหารเลี้ยงคลอเรลลาที่ใช้มูลปลานิลสดเป็นธาตุอาหาร การค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

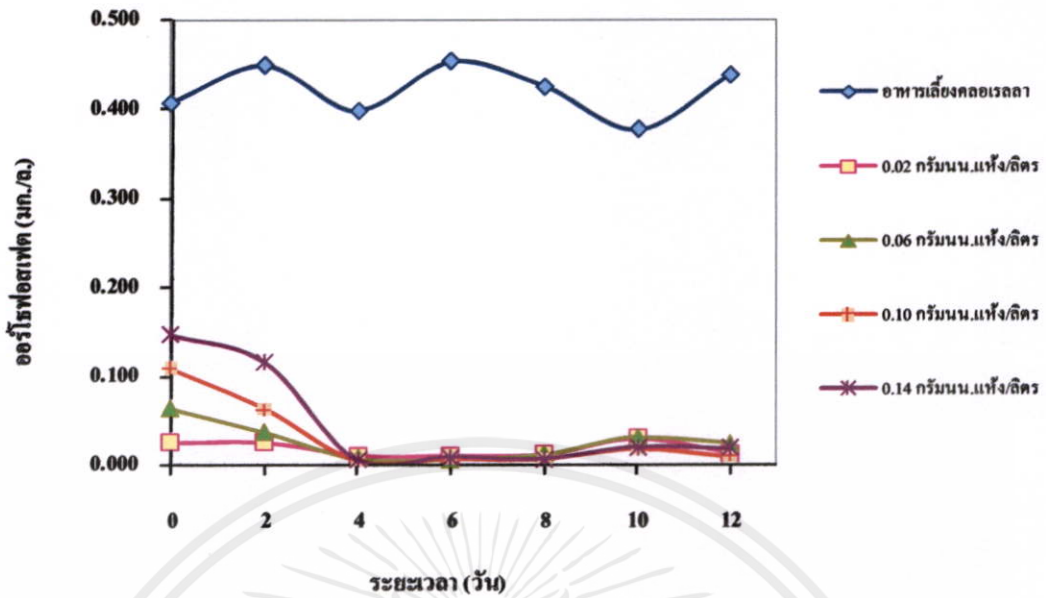
ปริมาณไนเตรท-ไนโตรเจนของการเลี้ยงคลอเรลลาช่วงที่มีการเจริญเติบโตดีที่สุด ในอาหารเลี้ยงคลอเรลลาสูตรดัดแปลงไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$) กับกลุ่มที่เลี้ยงด้วยมูลปลานิลสดทุกระดับ (ตารางที่ 4.3) โดยมีแนวโน้มลดลงหลังจากวันที่ 8 จนถึงสุดการทดลอง ส่วนการใช้มูลปลานิลสดระดับต่างๆ มีปริมาณไนเตรท-ไนโตรเจนค่าเริ่มต้นใกล้เคียงกัน และมีแนวโน้มลดลงในวันที่ 2 หลังจากนั้นมีความที่ลดลงการทดลอง (ภาพที่ 4.8) เนื่องจากไนเตรทอยู่ในรูปที่สาหร่ายสามารถนำไปใช้ได้ทันที เมื่อมีการเจริญเติบโตของสาหร่ายปริมาณไนเตรท-ไนโตรเจนจึงลดลง ซึ่งเป็นไปในทิศทางเดียวกับปริมาณแอมโมเนีย-ไนโตรเจนและไนไตรท์-ไนโตรเจน

ปริมาณออร์โธฟอสเฟตของการเลี้ยงคลอเรลลาช่วงที่มีการเจริญเติบโตดีที่สุด ในอาหารเลี้ยงคลอเรลลาสูตรดัดแปลงมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) กับกลุ่มที่เลี้ยงด้วยมูลปลานิลสดทุกระดับ (ตารางที่ 4.3) โดยลดลงต่ำสุดในวันที่ 10 ของการทดลอง ส่วนการใช้มูลปลานิลสดระดับต่างๆ มีปริมาณออร์โธฟอสเฟตเริ่มต้นเพิ่มขึ้นตามปริมาณมูลปลานิลสดที่เพิ่มขึ้น และมีแนวโน้มลดลงในวันที่ 4 ของการทดลอง หลังจากนั้นมีความที่ลดลงการทดลอง (ภาพที่ 4.9) เนื่องจากสาหร่ายสามารถนำออร์โธฟอสเฟตไปใช้ได้โดยตรงจึงทำให้ปริมาณออร์โธฟอสเฟตลดลงตามการเจริญเติบโตของสาหร่ายที่เพิ่มขึ้น

4.1.4 การเจริญเติบโตของคลอเรลลาที่เลี้ยงด้วยมูลปลานิลแห้ง

จากการทดลองเลี้ยงคลอเรลลาโดยใช้มูลปลานิลแห้ง 0.02, 0.06, 0.10 และ 0.14 กรัมต่อลิตร เปรียบเทียบกับการใช้อาหารเลี้ยงคลอเรลลาสูตรดัดแปลง พบว่าการเจริญเติบโตของคลอเรลลาในกลุ่มทดลองที่เลี้ยงด้วยอาหารเลี้ยงคลอเรลลาสูตรดัดแปลงมีการเจริญเติบโตสูงสุด โดยมีความหนาแน่นเฉลี่ย $(27.95 \pm 0.62) \times 10^7$ เซลล์ต่อมิลลิเมตร แตกต่างจากกลุ่มที่เลี้ยงด้วยมูลปลานิลแห้งทุกระดับอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) การเจริญเติบโตของคลอเรลลาเพิ่มขึ้นตามปริมาณของมูลปลานิลแห้งที่ใช้ โดยกลุ่มที่เลี้ยงด้วยมูลปลานิลแห้ง 0.14 กรัมต่อลิตร จะมีการเจริญเติบโตดีที่สุด มีความหนาแน่นของคลอเรลลา $(8.73 \pm 0.22) \times 10^7$ เซลล์ต่อมิลลิเมตร (ตารางที่ 4.4 และภาพที่ 4.10) และพบว่าการเจริญเติบโตของคลอเรลลาในอาหารที่ใช้มูลปลานิลแห้ง 0.14 กรัมต่อลิตร มีจำนวนต่ำกว่าการใช้อาหารเลี้ยงคลอเรลลาสูตรดัดแปลงประมาณ 3–4 เท่า ซึ่งให้ผล การทดลองเช่นเดียวกับการทดลองที่ใช้มูลปลานิลสด โดยความเข้มแสงระหว่างการเลี้ยงคลอเรลลา มีค่าอยู่ระหว่าง 1,000–2,500 ลักซ์ มีค่าเฉลี่ย $1,566 \pm 77$ ลักซ์ (ภาพภาคผนวก ง.2)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



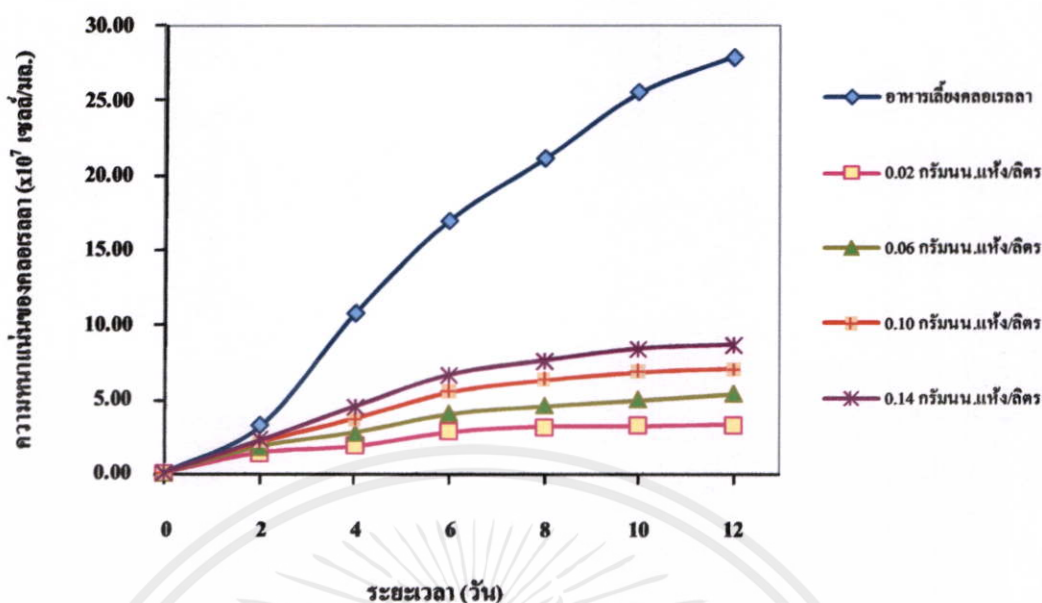
ภาพที่ 4.9 ปริมาณออร์โธฟอสเฟตในอาหารเลี้ยงคลอเรลลาที่ใช้มูลปลานิลสดเป็นธาตุอาหาร

ตารางที่ 4.4 การเจริญเติบโตของคลอเรลลา ($\times 10^7$ เซลล์ต่อมิลลิลิตร) ที่ใช้มูลปลานิลแห้งเป็นธาตุอาหารเปรียบเทียบกับอาหารเลี้ยงคลอเรลลาสูตรตัดแปลง

ระยะเวลา (วัน)	อาหารเลี้ยง คลอเรลลา สูตรตัดแปลง	น้ำหนักมูลปลานิลแห้ง (กรัมต่อลิตร)			
		0.02	0.06	0.10	0.14
0	0.10 \pm 0.02 ^a	0.10 \pm 0.01 ^a	0.10 \pm 0.02 ^a	0.10 \pm 0.00 ^a	0.10 \pm 0.02 ^a
2	3.29 \pm 0.32 ^c	1.43 \pm 0.02 ^a	1.83 \pm 0.13 ^a	2.14 \pm 0.04 ^b	2.34 \pm 0.03 ^b
4	10.82 \pm 1.27 ^c	1.93 \pm 0.06 ^a	2.80 \pm 0.12 ^a	3.74 \pm 0.07 ^b	4.51 \pm 0.14 ^b
6	17.07 \pm 1.70 ^c	2.86 \pm 0.16 ^a	4.10 \pm 0.35 ^a	5.57 \pm 0.16 ^b	6.67 \pm 0.17 ^b
8	21.15 \pm 1.31 ^c	3.17 \pm 0.15 ^a	4.58 \pm 0.19 ^a	6.38 \pm 0.23 ^b	7.64 \pm 0.26 ^b
10	25.61 \pm 1.14 ^e	3.29 \pm 0.10 ^a	4.99 \pm 0.17 ^{bc}	6.91 \pm 0.10 ^c	8.44 \pm 0.27 ^d
12	27.95 \pm 0.62 ^e	3.35 \pm 0.23 ^a	5.39 \pm 0.27 ^b	7.09 \pm 0.13 ^c	8.73 \pm 0.22 ^d

ตัวอักษรที่ต่างกันในแนวนอน หมายถึง มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 4.10 การเจริญเติบโตของคลอริเดลาที่ใช้มูลปลานิลแห้งเป็นธาตุอาหารเปรียบเทียบกับอาหารเลี้ยงคลอริเดลาสูตรดัดแปลง

ตารางที่ 4.5 ปัจจัยคุณภาพน้ำในสารละลายเลี้ยงคลอริเดลาในช่วงที่คลอริเดลาเจริญเติบโตดีที่สุด

ปัจจัยคุณภาพน้ำ	อาหารเลี้ยงคลอริเดลาสูตรดัดแปลง	น้ำหมักมูลปลานิลแห้ง (กรัมต่อลิตร)			
		0.02	0.06	0.10	0.14
temperature	29.2±0.0 ^a	26.5±0.0 ^a	26.7±0.0 ^a	27.0±0.0 ^a	27.2±0.0 ^a
pH	8.99±0.04 ^c	8.23±0.01 ^a	8.28±0.01 ^a	8.35±0.01 ^b	8.36±0.02 ^b
alkalinity	128±2 ^c	107±1 ^b	104±2 ^{ab}	101±1 ^{ab}	99±1 ^a
NH ₃ -N	0.292±0.024 ^b	0.076±0.001 ^a	0.079±0.002 ^a	0.077±0.002 ^a	0.080±0.001 ^a
NO ₂ ⁻ -N	0.002±0.000 ^a	0.002±0.000 ^a	0.002±0.000 ^a	0.002±0.000 ^a	0.002±0.000 ^a
NO ₃ ⁻ -N	1.091±0.073 ^b	0.226±0.045 ^a	0.193±0.023 ^a	0.162±0.002 ^a	0.174±0.009 ^a
SRP	0.014±0.001 ^a	0.013±0.000 ^a	0.013±0.001 ^a	0.013±0.001 ^a	0.018±0.002 ^b

ตัวอักษรที่ต่างกันในแนวนอน หมายถึง มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P<0.05)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.1.5 การเปลี่ยนแปลงปัจจัยคุณภาพน้ำในการเลี้ยงคลอเรลลาด้วยมูลปลานิลแห้ง

จากการศึกษาคุณภาพน้ำในการเลี้ยงคลอเรลลา พบว่ามีการเปลี่ยนแปลงปัจจัยคุณภาพน้ำดังนี้

อุณหภูมิระหว่างการเลี้ยงคลอเรลลาช่วงที่มีการเจริญเติบโตดีที่สุดไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$) ในทุกกลุ่มการทดลอง (ตารางที่ 4.5) โดยอุณหภูมิเฉลี่ยตลอดการทดลองมีค่า 28.1 ± 0.1 องศาเซลเซียส (ภาพที่ 4.11) เป็นช่วงที่คลอเรลลาสามารถเจริญเติบโตได้เช่นเดียวกับการทดลองที่ใช้มูลปลานิลสด

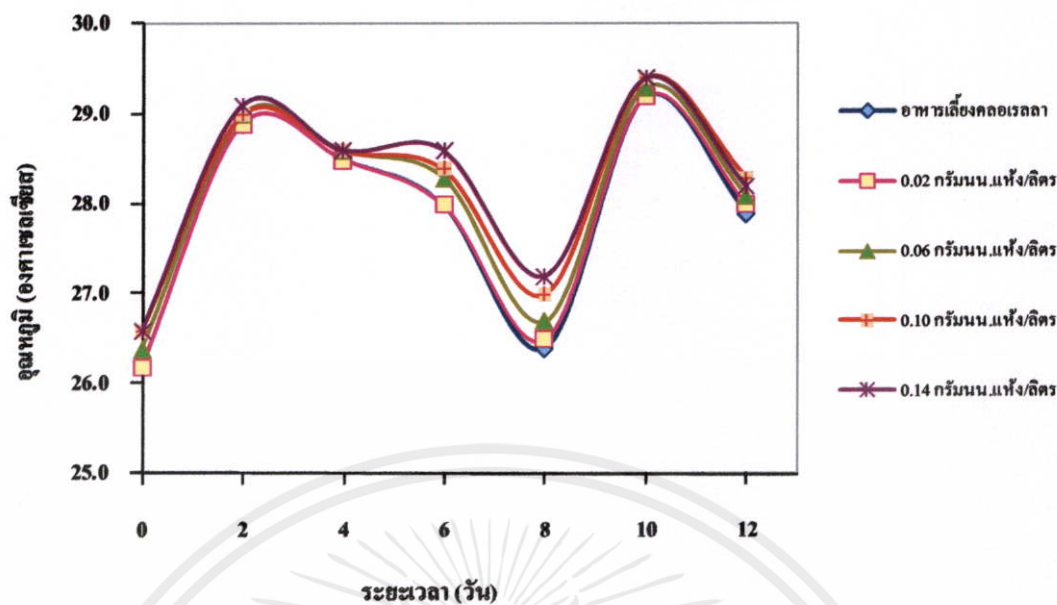
ความเป็นกรด-ด่างของการเลี้ยงคลอเรลลาช่วงที่มีการเจริญเติบโตที่สุดในอาหารเลี้ยงคลอเรลลาสูตรดัดแปลงมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) กับกลุ่มที่เลี้ยงด้วยมูลปลานิลแห้งทุกระดับ (ตารางที่ 4.5) โดยมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นหลังจากวันที่ 2 ของการทดลองเช่นเดียวกับการใช้มูลปลานิลแห้ง (ภาพที่ 4.12) ซึ่งให้ผลการทดลองเช่นเดียวกับการทดลองที่ใช้มูลปลานิลสด

ความเป็นด่างของการเลี้ยงคลอเรลลาช่วงที่มีการเจริญเติบโตที่สุดในอาหารเลี้ยงคลอเรลลาสูตรดัดแปลงมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) กับกลุ่มที่เลี้ยงด้วยมูลปลานิลแห้งทุกระดับ (ตารางที่ 4.5) โดยมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตลอดการทดลอง เช่นเดียวกับการใช้มูลปลานิลแห้ง (ภาพที่ 4.13) ซึ่งให้ผลการทดลองเช่นเดียวกับการทดลองที่ใช้มูลปลานิลสด

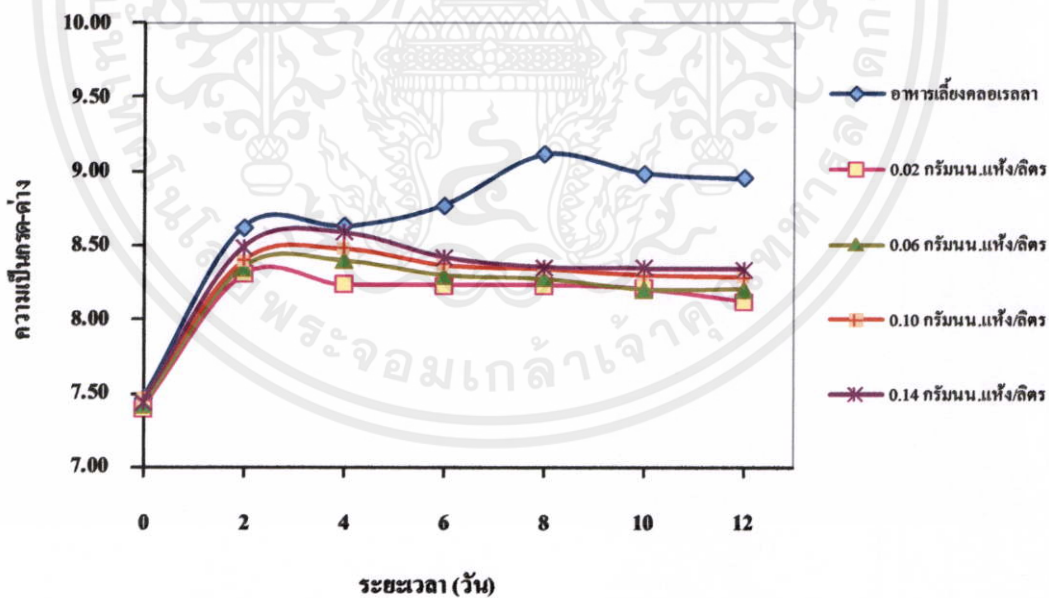
ปริมาณแอมโมเนีย-ไนโตรเจนของการเลี้ยงคลอเรลลาช่วงที่มีการเจริญเติบโตที่สุดในอาหารเลี้ยงคลอเรลลาสูตรดัดแปลงมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) กับกลุ่มที่เลี้ยงด้วยมูลปลานิลแห้งทุกระดับ (ตารางที่ 4.5) ส่วนการใช้มูลปลานิลแห้งระดับต่างๆ มีปริมาณแอมโมเนีย-ไนโตรเจนสูงขึ้นตามปริมาณมูลปลานิลแห้งที่เพิ่มขึ้น และลดลงหลังจากวันที่ 2 โดยมีค่าต่ำสุดในวันที่ 12 ของการทดลอง (ภาพที่ 4.14) ซึ่งปริมาณแอมโมเนีย-ไนโตรเจนมีการเปลี่ยนรูปไปอยู่ในรูปที่สาหร่ายสามารถนำไปใช้ได้เช่นเดียวกับการทดลองที่ใช้มูลปลานิลสด

ปริมาณไนโตรท-ไนโตรเจนของการเลี้ยงคลอเรลลาช่วงที่มีการเจริญเติบโตที่สุดในอาหารเลี้ยงคลอเรลลาสูตรดัดแปลงไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$) กับกลุ่มที่เลี้ยงด้วยมูลปลานิลแห้งทุกระดับ (ตารางที่ 4.5) โดยปริมาณไนโตรท-ไนโตรเจนมีแนวโน้มคงที่ตลอดการทดลองในทุกกลุ่มการทดลอง (ภาพที่ 4.15)

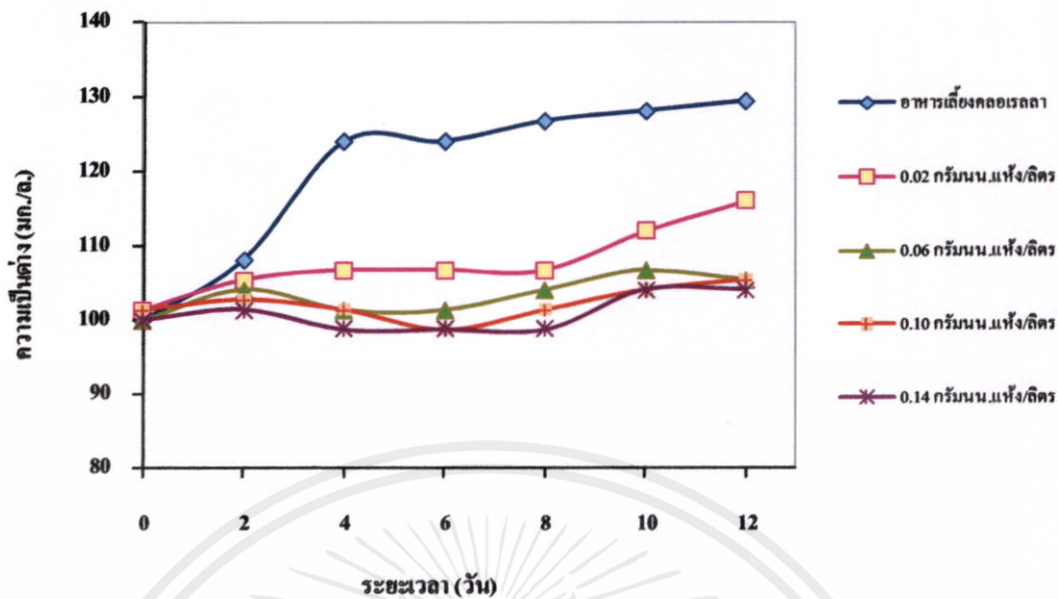
ปริมาณไนเตรท-ไนโตรเจนของการเลี้ยงคลอเรลลาช่วงที่มีการเจริญเติบโตที่สุดในอาหารเลี้ยงคลอเรลลาสูตรดัดแปลงมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) กับกลุ่มที่เลี้ยงด้วยมูลปลานิลแห้งทุกระดับ (ตารางที่ 4.5) โดยมีแนวโน้มลดลงหลังจากวันที่ 6 ส่วนการใช้มูลปลานิลแห้งระดับต่างๆ ทำให้ปริมาณไนเตรท-ไนโตรเจนมีแนวโน้มลดลงหลังจากวันที่ 2 หลังจากนั้นมีความคงที่ตลอดการทดลอง (ภาพที่ 4.16) ซึ่งให้ผลการทดลองเช่นเดียวกับการทดลองที่ใช้มูลปลานิลสด



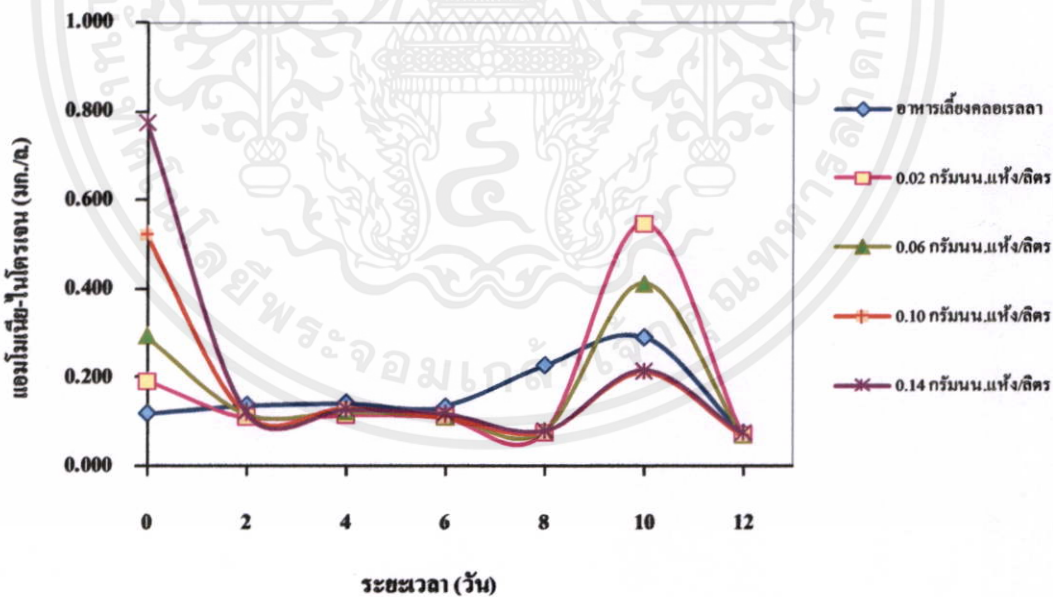
ภาพที่ 4.11 อุณหภูมิในอาหารเลี้ยงคลอเรลลาที่ใช้มูลปลานิลแห้งเป็นธาตุอาหาร



เอกสารนี้ **ภาพที่ 4.12** ความเป็นกรด-ด่างในอาหารเลี้ยงคลอเรลลาที่ใช้มูลปลานิลแห้งเป็นธาตุอาหาร **นด้านการค้า**
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



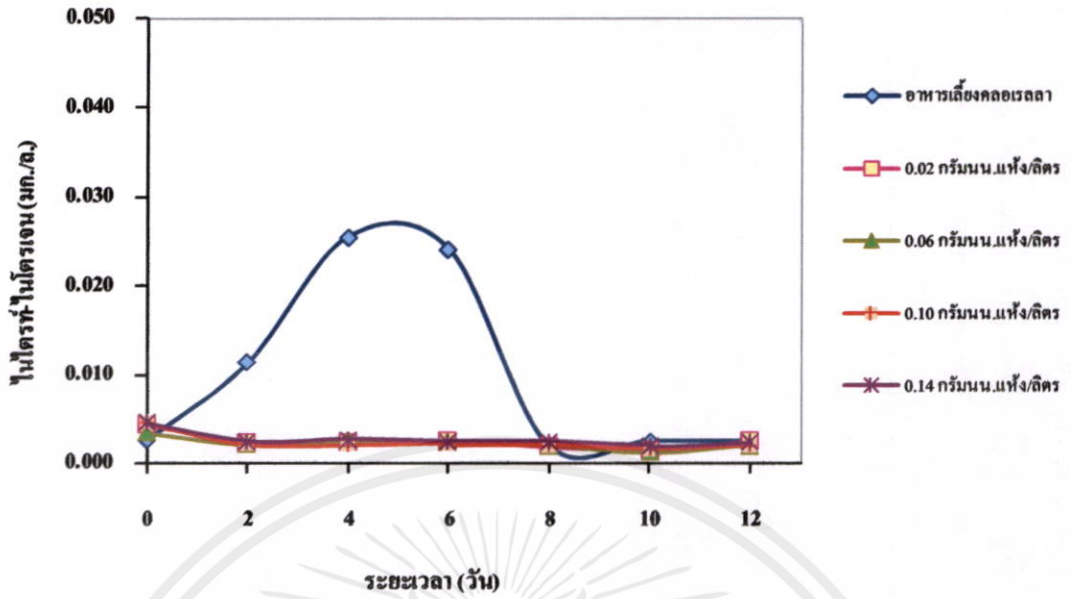
ภาพที่ 4.13 ความเป็นต่างในอาหารเลี้ยงคลอเรลลาที่ใช้มูลปลานิลแห้งเป็นธาตุอาหาร



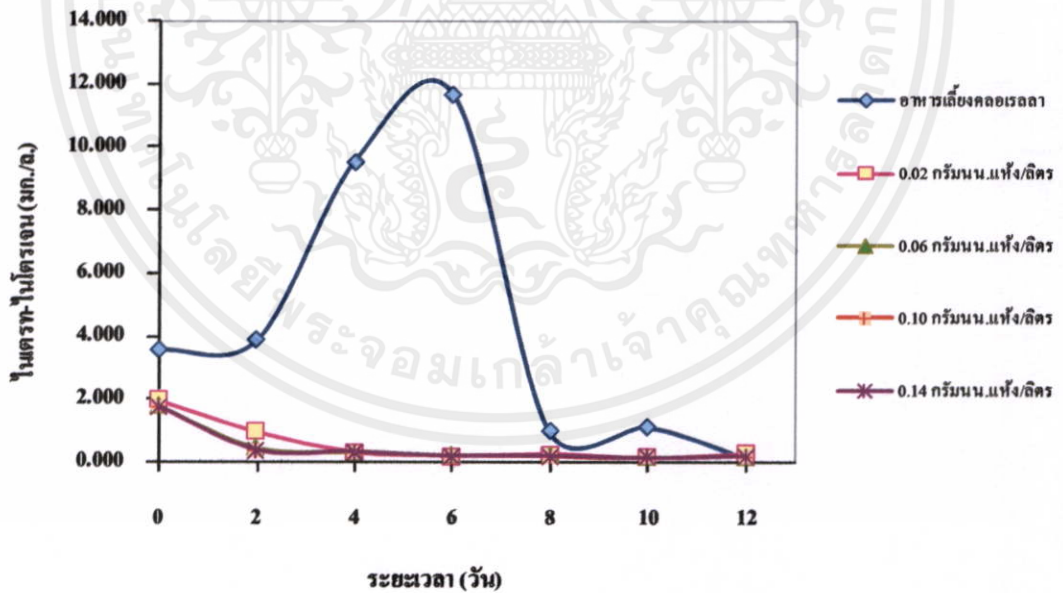
ภาพที่ 4.14 ปริมาณแอมโมเนีย-ไนโตรเจนในอาหารเลี้ยงคลอเรลลาที่ใช้มูลปลานิลแห้งเป็นธาตุอาหาร

เอกสารนี้เป็นเอกสารต้นฉบับที่จัดทำขึ้นเพื่อใช้ในการศึกษาวิจัยเท่านั้น การนำเอกสารนี้ไปใช้โดยไม่ได้รับอนุญาตถือว่าผิดกฎหมาย การคัดลอกหรือเผยแพร่เอกสารนี้โดยไม่ได้รับอนุญาตจะถือว่าผิดกฎหมาย

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



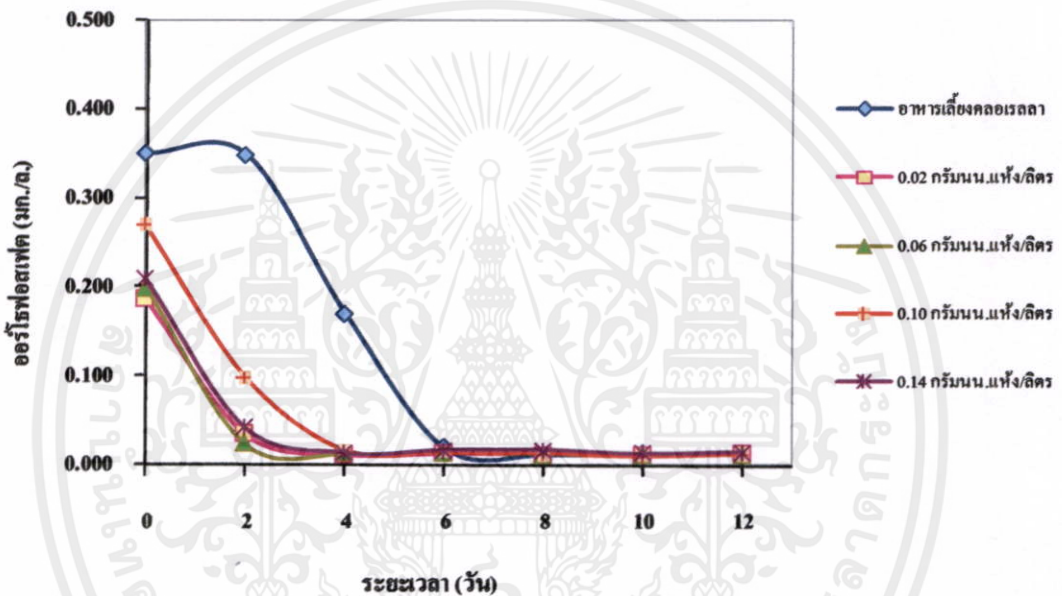
ภาพที่ 4.15 ปริมาณไนเตรท-ไนโตรเจนในอาหารเลี้ยงคลอเรลลาที่ใช้มูลปลานิลแห้งเป็นธาตุอาหาร



ภาพที่ 4.16 ปริมาณไนเตรท-ไนโตรเจนในอาหารเลี้ยงคลอเรลลาที่ใช้มูลปลานิลแห้งเป็นธาตุอาหาร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ในชื่อของกรมส่งเสริมการค้าระหว่างประเทศ กระทรวงพาณิชย์ การค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริมาณออร์โทฟอสเฟตของการเลี้ยงคลอเรลลาช่วงที่มีการเจริญเติบโตดีที่สุดในการอาหารเลี้ยงคลอเรลลาสูตรคัดแปลงมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) กับกลุ่มที่เลี้ยงด้วยมูลปลานิลแห้ง 0.14 กรัมต่อลิตร (ตารางที่ 4.5) โดยมีแนวโน้มลดลงในวันที่ 2 และคงที่หลังจากวันที่ 6 จนถึงสิ้นสุดการทดลอง ส่วนการใช้มูลปลานิลแห้งระดับต่างๆ มีปริมาณออร์โทฟอสเฟตเริ่มต้นเพิ่มขึ้นตามมูลปลานิลแห้งที่เพิ่มขึ้น และมีแนวโน้มลดลงหลังจากวันที่ 2 และคงที่ตลอดการทดลอง (ภาพที่ 4.17) ซึ่งให้ผลการทดลองเช่นเดียวกับการทดลองที่ใช้มูลปลานิลสด



ภาพที่ 4.17 ปริมาณออร์โทฟอสเฟตในอาหารเลี้ยงคลอเรลลาที่ใช้มูลปลานิลแห้งเป็นธาตุอาหาร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2 การทดลองที่ 2 การศึกษาการเจริญเติบโตของคลอเรลลาที่เลี้ยงด้วยมูลปลานิลสด และแห้ง โดยเพิ่มธาตุอาหารไนโตรเจนและฟอสฟอรัส

4.2.1 การเจริญเติบโตของคลอเรลลาที่เลี้ยงด้วยมูลปลานิลสด โดยเพิ่มธาตุอาหารไนโตรเจนและฟอสฟอรัส

จากการทดลองเลี้ยงคลอเรลลาด้วยมูลปลานิลสด 0.14 กรัม/น้ำหนักแห้งต่อลิตร ซึ่งเป็นปริมาณที่ทำให้คลอเรลลาเจริญเติบโตดีที่สุดจากการทดลองที่ 1 เมื่อเติมสารละลายไนโตรเจนความเข้มข้น 0, 4.33, 8.66 และ 17.33 มิลลิกรัมต่อลิตร ร่วมกับสารละลายฟอสฟอรัสความเข้มข้น 0, 7.12, 14.25 และ 28.49 มิลลิกรัมต่อลิตร เป็นระยะเวลา 12 วัน พบว่าการเพิ่มธาตุอาหารไนโตรเจนและฟอสฟอรัสมีปฏิสัมพันธ์กัน (interaction) ซึ่งการเจริญเติบโตของคลอเรลลามีความแตกต่างกันขึ้นอยู่กับความเข้มข้นของสารละลายไนโตรเจน และฟอสฟอรัส โดยคลอเรลลามีการเจริญเติบโตสูงสุดในกลุ่มที่มีการเพิ่มธาตุอาหารไนโตรเจน 17.33 มิลลิกรัมต่อลิตรเพียงอย่างเดียว โดยมีความหนาแน่น $(27.14 \pm 0.91) \times 10^7$ เซลล์ต่อมิลลิลิตร และเมื่อเปรียบเทียบค่าเฉลี่ย พบว่ากลุ่มที่มีการเติมไนโตรเจน 17.33 มิลลิกรัมต่อลิตร มีการเจริญเติบโตของคลอเรลลาสูงกว่ากลุ่มอื่นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) โดยมีความหนาแน่นเฉลี่ย $(13.89 \pm 3.94) \times 10^7$ เซลล์ต่อมิลลิลิตร รองลงมาคือ 8.66, 4.33 และ 0 มิลลิกรัมต่อลิตร มีความหนาแน่นเฉลี่ย $(1.74 \pm 0.26) \times 10^7$, $(1.33 \pm 0.13) \times 10^7$ และ $(0.63 \pm 0.17) \times 10^7$ เซลล์ต่อมิลลิลิตร ตามลำดับ (ตารางที่ 4.6) โดยการเจริญเติบโตของคลอเรลลามีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามปริมาณไนโตรเจนที่เพิ่มขึ้น และปริมาณฟอสฟอรัสที่ลดลง (ภาพที่ 4.18) ซึ่งแต่ละกลุ่มการทดลองได้รับแสงจากธรรมชาติในแต่ละวัน โดยความเข้มแสงระหว่างการเลี้ยงคลอเรลลามีค่าอยู่ระหว่าง 1,000 – 13,000 ลักซ์ มีค่าเฉลี่ย $5,385 \pm 851$ ลักซ์ (ภาพภาคผนวก ง.3)

ปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ ของคลอเรลลาในกลุ่มที่มีการเติมสารละลายไนโตรเจน 17.33 มิลลิกรัมต่อลิตรเพียงอย่างเดียว มีปริมาณสูงสุด 1.827 ± 0.202 มิลลิกรัมต่อลิตร โดยมีค่าเฉลี่ย 0.893 ± 0.242 มิลลิกรัมต่อลิตร สูงกว่ากลุ่มอื่นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) รองลงมาคือกลุ่มที่เติมไนโตรเจน 8.66, 4.33 และ 0 มิลลิกรัมต่อลิตร มีปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ เฉลี่ย 0.215 ± 0.040 , 0.076 ± 0.012 และ 0.037 ± 0.002 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ (ตารางที่ 4.7) เมื่อนำข้อมูลมาวิเคราะห์เปรียบเทียบทางสถิติ พบว่าการเติมสารละลายไนโตรเจนและฟอสฟอรัสมีปฏิสัมพันธ์กัน โดยปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ ของคลอเรลลามีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามปริมาณไนโตรเจนที่เพิ่มขึ้น และปริมาณฟอสฟอรัสที่ลดลง ซึ่งเป็นไปในทิศทางเดียวกันกับการเจริญเติบโตของคลอเรลลา (ภาพที่ 4.19)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.6 การเจริญเติบโตของคอลลอยด์เวลา ($\times 10^7$ เซลล์ต่อมิลลิกรัม) ที่ใช้มูลปลานิลสด 0.14 กรัมน้ำหนักแห้ง ต่อลิตร เพิ่มธาตุอาหารไนโตรเจนและฟอสฟอรัสระดับต่างๆ

ระยะเวลา (วัน)	ไนโตรเจน (มก./ล.)	ฟอสฟอรัส (มก./ล.)				mean±SE
		0	7.12	14.25	28.49	
0	0	0.54±0.01	0.54±0.03	0.61±0.05	0.54±0.02	0.56±0.02 ^a
	4.33	0.54±0.01	0.55±0.01	0.53±0.02	0.63±0.01	0.56±0.01 ^a
	8.66	0.60±0.04	0.59±0.07	0.55±0.02	0.55±0.03	0.57±0.02 ^a
	17.33	0.56±0.04	0.54±0.02	0.55±0.02	0.61±0.03	0.57±0.02 ^a
	mean±SE	0.56±0.01 ^a	0.55±0.01 ^a	0.56±0.02 ^a	0.58±0.02 ^a	
3	0	2.60±0.20	2.17±0.33	2.06±0.09	1.76±0.23	2.15±0.14 ^a
	4.33	6.61±0.73	4.19±0.21	2.57±0.21	2.32±0.09	3.92±0.54 ^b
	8.66	6.52±0.73	3.35±0.30	2.28±0.11	2.25±0.11	3.60±0.55 ^b
	17.33	6.79±0.96	4.08±0.65	2.67±0.49	2.62±0.30	4.04±0.58 ^b
	mean±SE	5.63±0.61 ^c	3.45±0.30 ^b	2.39±0.14 ^a	2.24±0.13 ^a	
6	0	3.17±0.32	3.97±0.44	3.44±0.33	2.52±0.43	3.27±0.23 ^a
	4.33	11.96±0.26	10.34±0.39	5.99±1.08	3.29±0.34	7.89±1.07 ^b
	8.66	15.00±1.32	9.17±0.82	5.20±0.67	3.49±0.37	8.21±1.38 ^b
	17.33	17.29±2.69	13.93±3.09	6.55±1.74	3.96±0.60	10.43±1.89 ^c
	mean±SE	11.86±1.73 ^d	9.35±1.28 ^c	5.29±0.58 ^b	3.31±0.25 ^a	
9	0	0.39±0.09	1.37±0.73	2.15±0.03	0.12±0.09	1.01±0.29 ^a
	4.33	4.47±0.28	2.38±0.18	2.34±0.80	7.60±4.51	4.20±1.17 ^b
	8.66	6.23±0.32	3.57±0.40	2.89±0.62	2.24±0.49	3.73±0.50 ^b
	17.33	22.39±2.47	19.09±4.13	4.58±0.48	1.88±0.51	11.99±2.87 ^c
	mean±SE	8.37±2.58 ^b	6.60±2.36 ^b	2.99±0.37 ^a	2.96±1.29 ^a	
12	0	0.23±0.08	1.10±0.12	1.20±0.23	0.02±0.01	0.63±0.17 ^a
	4.33	1.58±0.12	0.92±0.34	1.47±0.25	1.35±0.19	1.33±0.13 ^b
	8.66	2.65±0.22	2.35±0.39	1.14±0.16	0.84±0.16	1.74±0.26 ^b
	17.33	27.14±0.91	26.69±1.18	0.91±0.18	0.81±0.16	13.89±3.94 ^c
	mean±SE	7.90±3.37 ^b	7.77±3.31 ^b	1.18±0.11 ^a	0.75±0.16 ^a	

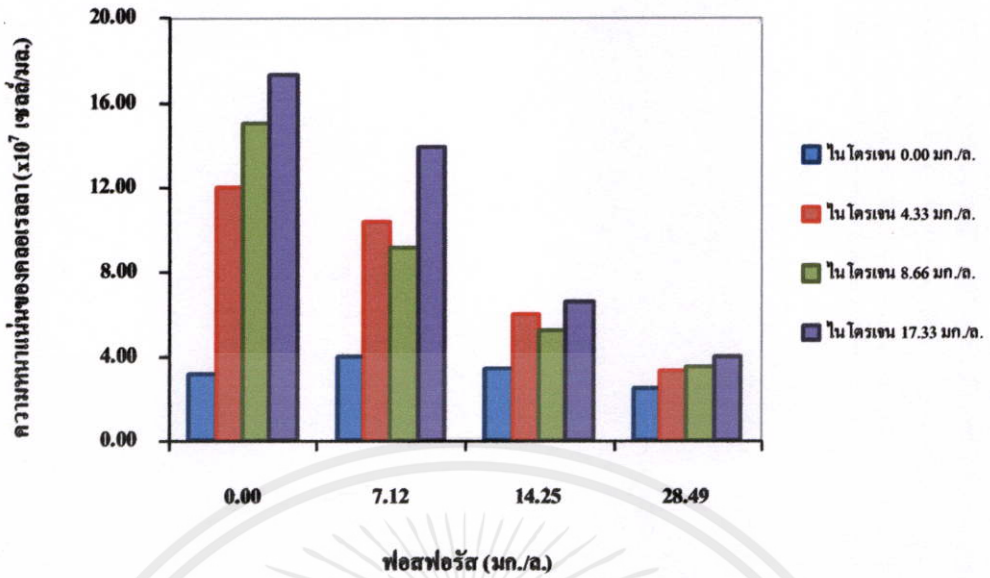
ตัวอักษรที่ต่างกันในแต่ละแถว หมายถึง มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$)

ตารางที่ 4.7 ปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ ของคลอโรเซลลา (มิลลิกรัมต่อลิตร) ที่ใช้มูลปลานิลสด 0.14 กรัม น้ำหนักแห้งต่อลิตร เพิ่มธาตุอาหารไนโตรเจนและฟอสฟอรัสระดับต่างๆ

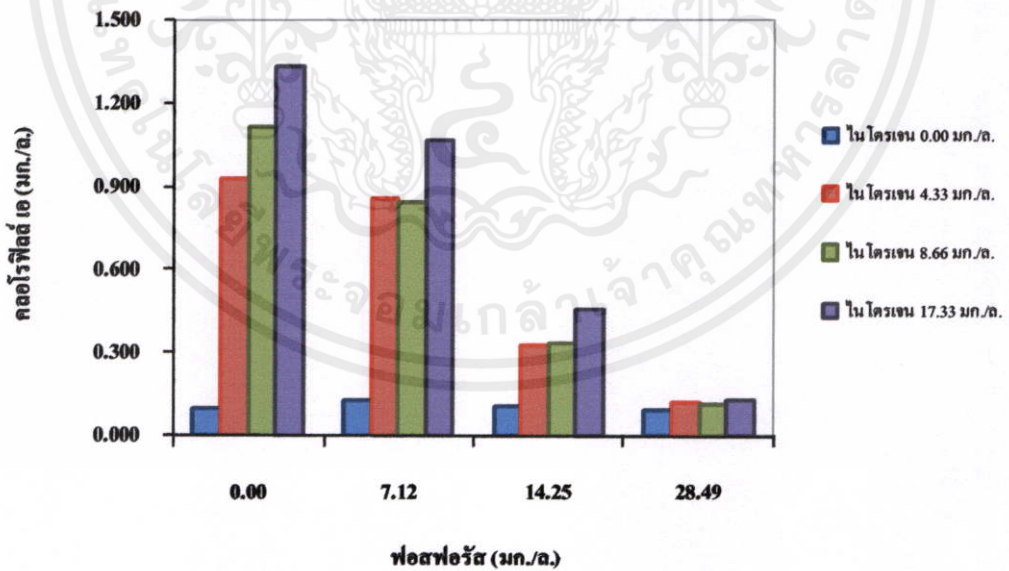
ระยะเวลา (วัน)	ไนโตรเจน (มก./ล.)	ฟอสฟอรัส (มก./ล.)				mean±SE
		0	7.12	14.25	28.49	
0	0	0.037±0.003	0.038±0.010	0.034±0.010	0.035±0.010	0.036±0.004 ^a
	4.33	0.030±0.006	0.038±0.007	0.039±0.004	0.035±0.009	0.035±0.003 ^a
	8.66	0.038±0.007	0.034±0.003	0.037±0.010	0.034±0.010	0.036±0.003 ^a
	17.33	0.031±0.000	0.035±0.010	0.038±0.009	0.039±0.010	0.036±0.004 ^a
	mean±SE	0.034±0.002 ^a	0.036±0.003 ^a	0.037±0.004 ^a	0.036±0.004 ^a	
3	0	0.127±0.004	0.119±0.001	0.111±0.002	0.105±0.010	0.116±0.003 ^a
	4.33	0.632±0.105	0.451±0.039	0.146±0.048	0.093±0.016	0.331±0.072 ^b
	8.66	0.631±0.029	0.436±0.008	0.357±0.026	0.107±0.028	0.383±0.058 ^b
	17.33	0.682±0.094	0.439±0.091	0.189±0.023	0.102±0.013	0.353±0.074 ^b
	mean±SE	0.518±0.075 ^d	0.361±0.047 ^c	0.201±0.031 ^b	0.102±0.008 ^a	
6	0	0.101±0.029	0.130±0.041	0.110±0.028	0.097±0.012	0.109±0.013 ^a
	4.33	0.931±0.022	0.864±0.156	0.331±0.042	0.125±0.047	0.563±0.110 ^b
	8.66	1.117±0.025	0.848±0.066	0.338±0.065	0.116±0.023	0.605±0.122 ^b
	17.33	1.334±0.007	1.066±0.301	0.458±0.021	0.131±0.007	0.747±0.157 ^c
	mean±SE	0.871±0.141 ^d	0.727±0.130 ^c	0.309±0.042 ^b	0.117±0.012 ^a	
9	0	0.024±0.010	0.080±0.007	0.110±0.004	0.016±0.003	0.058±0.012 ^a
	4.33	0.263±0.060	0.134±0.056	0.105±0.010	0.598±0.006	0.275±0.062 ^b
	8.66	0.528±0.171	0.434±0.117	0.173±0.056	0.070±0.010	0.301±0.073 ^b
	17.33	1.449±0.495	1.363±0.140	0.296±0.016	0.071±0.004	0.795±0.216 ^c
	mean±SE	0.566±0.198 ^b	0.503±0.160 ^b	0.171±0.026 ^a	0.189±0.072 ^a	
12	0	0.038±0.004	0.039±0.003	0.042±0.001	0.029±0.004	0.037±0.002 ^a
	4.33	0.086±0.032	0.068±0.007	0.103±0.038	0.049±0.003	0.076±0.012 ^a
	8.66	0.276±0.083	0.274±0.072	0.220±0.109	0.089±0.014	0.215±0.040 ^b
	17.33	1.827±0.202	1.506±0.104	0.179±0.074	0.058±0.003	0.893±0.242 ^c
	mean±SE	0.557±0.228 ^b	0.472±0.184 ^b	0.136±0.036 ^a	0.056±0.007 ^a	

ตัวอักษรที่ต่างกันในแนวเดียวกัน หมายถึง มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$)

ไม่วารณ ใดๆทางสน ออกทงห้ามมิ ให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 4.18 การเจริญเติบโตของถั่วเขียวที่ใช้มูลปลานิลสด 0.14 กรัม/น้ำหนักร่องต่อลิตร
 เพิ่มธาตุอาหารไนโตรเจนและฟอสฟอรัส ในช่วงที่ถั่วเขียวเจริญเติบโตดีที่สุด



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ภาพที่ 4.19 ปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ ของถั่วเขียวที่ใช้มูลปลานิลสด 0.14 กรัม/น้ำหนักร่องต่อลิตร
 เพิ่มธาตุอาหารไนโตรเจนและฟอสฟอรัส ในช่วงที่ถั่วเขียวเจริญเติบโตดีที่สุด

4.2.2 การเปลี่ยนแปลงปัจจัยคุณภาพน้ำในการเลี้ยงคลอเรลลาด้วยมูลปลานิลสด โดยเพิ่มธาตุอาหารไนโตรเจนและฟอสฟอรัส

จากการศึกษาคุณภาพน้ำในการเลี้ยงคลอเรลลา พบว่ามีการเปลี่ยนแปลงปัจจัยคุณภาพน้ำ ดังนี้

อุณหภูมิระหว่างการเลี้ยงคลอเรลลาด้วยมูลปลานิลสดเพิ่มธาตุอาหารไนโตรเจนและฟอสฟอรัส ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$) ในทุกกลุ่มการทดลอง (ตารางที่ 4.8) โดยอุณหภูมิในช่วงที่คลอเรลลามีการเจริญเติบโตดีที่สุดอยู่ระหว่าง 28.9 – 29.1 องศาเซลเซียส มีค่าเฉลี่ย 29.0 ± 0.0 องศาเซลเซียส (ภาพที่ 4.20) ซึ่งเป็นช่วงที่คลอเรลลาสามารถเจริญเติบโตได้ เช่นเดียวกับการทดลองที่ใช้มูลปลานิลสดและแห้ง

ความเป็นกรด-ด่างของการเลี้ยงคลอเรลลาด้วยมูลปลานิลสดเพิ่มธาตุอาหารไนโตรเจนและฟอสฟอรัส ในช่วงที่คลอเรลลามีการเจริญเติบโตดีที่สุดอยู่ระหว่าง 8.11 – 10.42 มีค่าเฉลี่ย 9.11 ± 0.19 อยู่ในช่วงที่สาหร่ายสามารถเจริญเติบโตได้ ซึ่งความเป็นกรด-ด่างในกลุ่มที่มีการเพิ่มธาตุอาหารไนโตรเจนระดับต่างๆ มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) เช่นเดียวกับกลุ่มที่เพิ่มธาตุอาหารฟอสฟอรัสระดับต่างๆ (ตารางที่ 4.9) โดยความเป็นกรด-ด่างมีแนวโน้มสูงขึ้นเมื่อปริมาณไนโตรเจนเพิ่มขึ้นและปริมาณฟอสฟอรัสลดลง (ภาพที่ 4.21)

ความเป็นค่าของการเลี้ยงคลอเรลลาด้วยมูลปลานิลสดเพิ่มธาตุอาหารไนโตรเจนระดับต่างๆ มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) ในช่วงที่คลอเรลลามีการเจริญเติบโตดีที่สุด เช่นเดียวกับกลุ่มที่เพิ่มธาตุอาหารฟอสฟอรัสระดับต่างๆ (ตารางที่ 4.10) โดยความเป็นค่ามีแนวโน้มสูงขึ้นเมื่อปริมาณไนโตรเจนเพิ่มขึ้นและปริมาณฟอสฟอรัสลดลง (ภาพที่ 4.22) ซึ่งเป็นไปในทิศทางเดียวกันกับความเป็นกรด-ด่าง

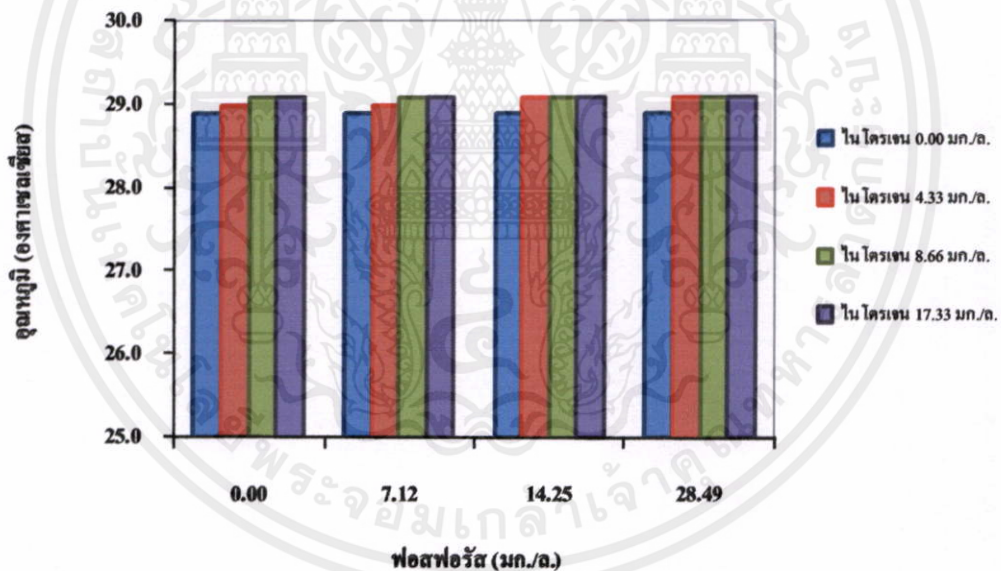
ปริมาณแอมโมเนีย-ไนโตรเจนของการเลี้ยงคลอเรลลาด้วยมูลปลานิลสดเพิ่มธาตุอาหารไนโตรเจนระดับต่างๆ มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) ในช่วงที่คลอเรลลามีการเจริญเติบโตดีที่สุด ในขณะที่การเพิ่มธาตุอาหารฟอสฟอรัสระดับต่างๆ ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$) (ตารางที่ 4.11) โดยปริมาณแอมโมเนีย-ไนโตรเจนมีแนวโน้มสูงขึ้นเมื่อปริมาณไนโตรเจนเพิ่มขึ้น (ภาพที่ 4.23)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.8 อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส) ในอาหารเลี้ยงคลอเรลลาที่ใช้มูลปลานิลสด 0.14 กรัม น้ำหนักแห้งต่อลิตร เพิ่มธาตุอาหารไนโตรเจนและฟอสฟอรัสระดับต่างๆ ในช่วงที่คลอเรลลาเจริญเติบโตดีที่สุด

ไนโตรเจน (มก./ล.)	ฟอสฟอรัส (มก./ล.)				mean±SE
	0	7.12	14.25	28.49	
0	28.9±0.0	28.9±0.0	28.9±0.0	28.9±0.0	28.9±0.0 ^a
4.33	29.0±0.0	29.0±0.0	29.1±0.0	29.1±0.0	29.1±0.0 ^a
8.66	29.1±0.0	29.1±0.0	29.1±0.0	29.1±0.0	29.1±0.0 ^a
17.33	29.1±0.0	29.1±0.0	29.1±0.0	29.1±0.0	29.1±0.0 ^a
mean±SE	29.0±0.0 ^a	29.0±0.0 ^a	29.1±0.0 ^a	29.1±0.0 ^a	

ตัวอักษรที่ต่างกันในแนวเดียวกัน หมายถึง มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$)



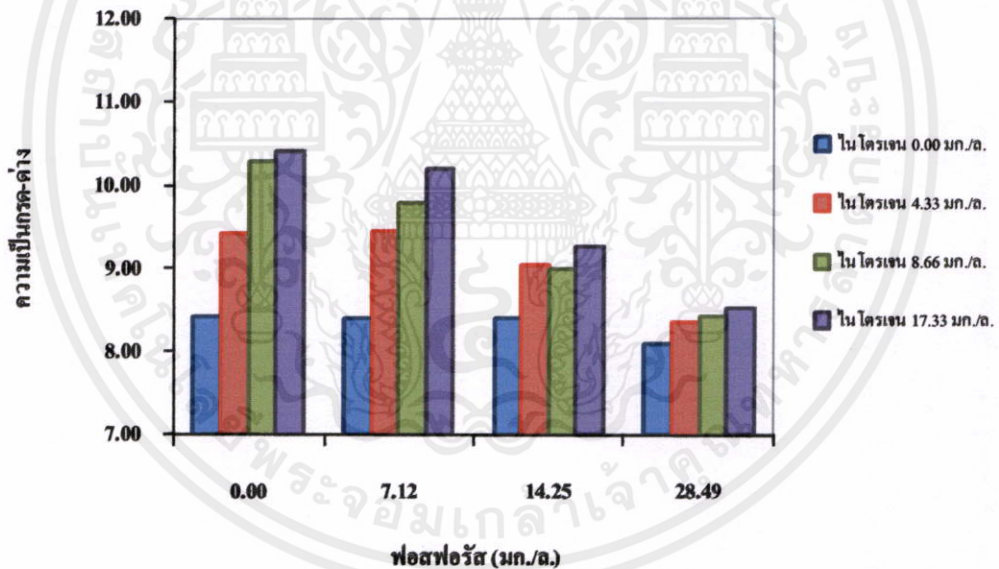
ภาพที่ 4.20 อุณหภูมิในอาหารเลี้ยงคลอเรลลาที่ใช้มูลปลานิลสด 0.14 กรัม น้ำหนักแห้งต่อลิตร เพิ่มธาตุอาหารไนโตรเจนและฟอสฟอรัส ในช่วงที่คลอเรลลาเจริญเติบโตดีที่สุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.9 ความเป็นกรด-ด่างในอาหารเลี้ยงคลอเรลลาที่ใช้มูลปลานิลสด 0.14 กรัม/น้ำหนักแห้ง ต่อลิตร เพิ่มธาตุอาหารไนโตรเจนและฟอสฟอรัสระดับต่างๆ ในช่วงที่คลอเรลลาเจริญเติบโตดีที่สุด

ไนโตรเจน (มก./ล.)	ฟอสฟอรัส (มก./ล.)				mean±SE
	0	7.12	14.25	28.49	
0	8.44±0.10	8.42±0.12	8.41±0.02	8.11±0.05	8.35±0.05 ^a
4.33	9.45±0.03	9.47±0.04	9.05±0.18	8.36±0.01	9.08±0.14 ^b
8.66	10.31±0.14	9.81±0.14	9.02±0.15	8.43±0.03	9.39±0.22 ^c
17.33	10.42±0.28	10.20±0.35	9.28±0.31	8.53±0.03	9.61±0.26 ^c
mean±SE	9.66±0.25 ^c	9.47±0.22 ^c	8.94±0.13 ^b	8.36±0.05 ^a	

ตัวอักษรที่ต่างกันในแนวเดียวกัน หมายถึง มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$)



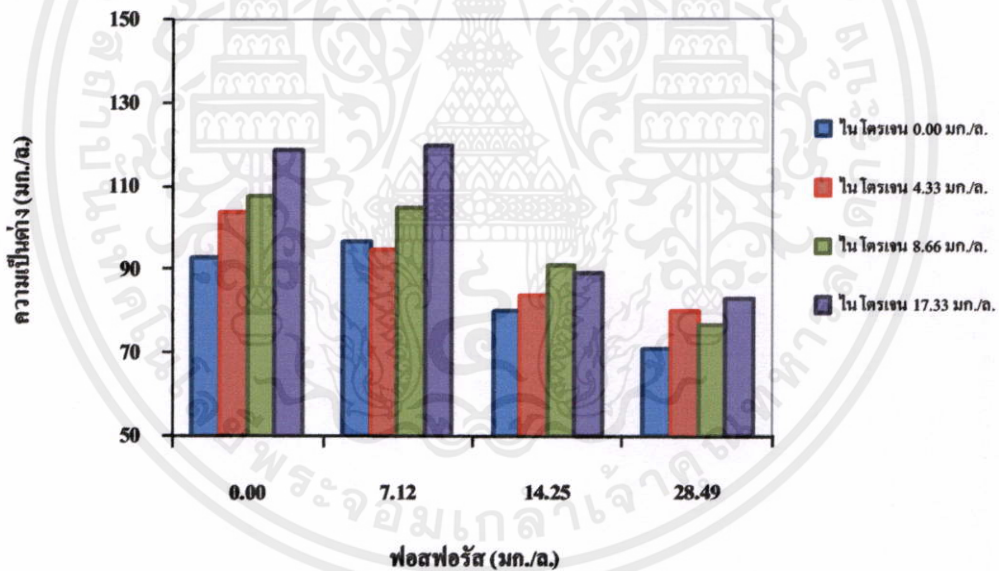
ภาพที่ 4.21 ความเป็นกรด-ด่างในอาหารเลี้ยงคลอเรลลาที่ใช้มูลปลานิลสด 0.14 กรัม/น้ำหนักแห้ง ต่อลิตร เพิ่มธาตุอาหารไนโตรเจนและฟอสฟอรัส ในช่วงที่คลอเรลลาเจริญเติบโตดีที่สุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.10 ความเป็นค่า่ง (มิลลิกรัมต่อลิตร) ในอาหารเลี้ยงคลอเรลลาที่ใช้มูลปลานิลสด 0.14 กรัม น้ำหนักแห้งต่อลิตร เพิ่มธาตุอาหารไนโตรเจนและฟอสฟอรัสระดับต่างๆ ในช่วงที่คลอเรลลาเจริญเติบโตดีที่สุด

ไนโตรเจน (มก./ล.)	ฟอสฟอรัส (มก./ล.)				mean±SE
	0	7.12	14.25	28.49	
0	93±23	97±13	80±0	71±1	85±6 ^a
4.33	104±2	95±3	84±2	80±2	91±3 ^{ab}
8.66	108±10	105±1	91±5	77±4	95±4 ^{ab}
17.33	119±6	120±13	89±3	83±3	103±6 ^b
mean±SE	106±6 ^b	104±5 ^b	86±2 ^a	78±2 ^a	

ตัวอักษรที่ต่างกันในแนวเดียวกัน หมายถึง มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$)



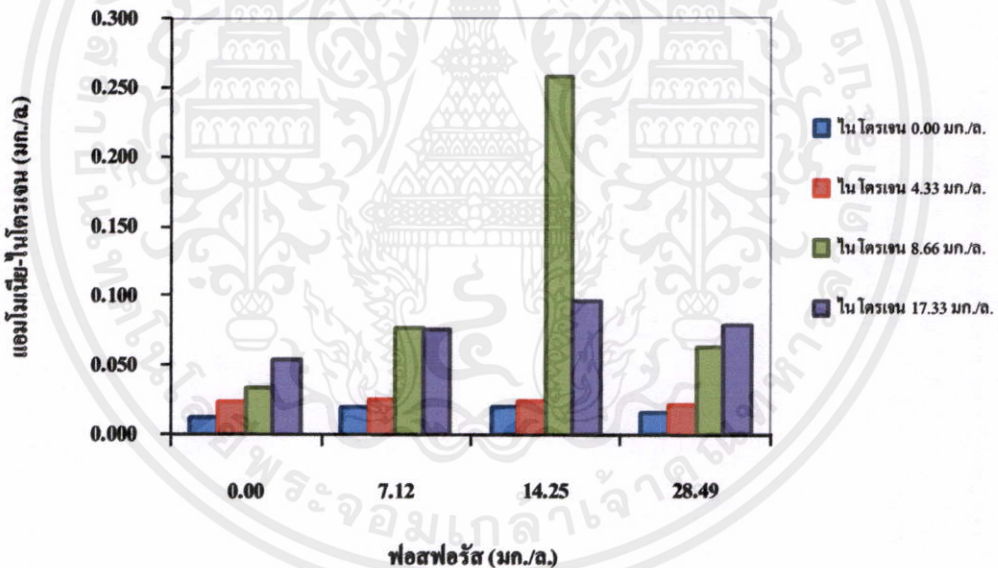
ภาพที่ 4.22 ความเป็นค่า่งในอาหารเลี้ยงคลอเรลลาที่ใช้มูลปลานิลสด 0.14 กรัม น้ำหนักแห้งต่อลิตร เพิ่มธาตุอาหารไนโตรเจนและฟอสฟอรัส ในช่วงที่คลอเรลลาเจริญเติบโตดีที่สุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.11 ปริมาณแอมโมเนีย-ไนโตรเจน (มิลลิกรัมต่อลิตร) ในอาหารเลี้ยงคลอเรลลาที่ใช้มูลปลานิลสด 0.14 กรัม น้ำหนักแห้งต่อลิตร เพิ่มธาตุอาหารไนโตรเจนและฟอสฟอรัสระดับต่างๆ ในช่วงที่คลอเรลลาเจริญเติบโตดีที่สุด

ไนโตรเจน (มก./ล.)	ฟอสฟอรัส (มก./ล.)				mean±SE
	0	7.12	14.25	28.49	
0	0.013±0.007	0.021±0.003	0.020±0.002	0.015±0.002	0.017±0.002 ^a
4.33	0.024±0.003	0.026±0.006	0.024±0.002	0.021±0.002	0.024±0.002 ^a
8.66	0.035±0.003	0.078±0.041	0.259±0.134	0.063±0.012	0.109±0.040 ^b
17.33	0.055±0.002	0.076±0.013	0.096±0.004	0.079±0.005	0.076±0.005 ^b
mean±SE	0.032±0.005 ^a	0.050±0.012 ^a	0.100±0.041 ^a	0.045±0.009 ^a	

ตัวอักษรที่ต่างกันในแต่ละแถวในแนวนอนเดียวกัน หมายถึง มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$)



ภาพที่ 4.23 ปริมาณแอมโมเนีย-ไนโตรเจนในอาหารเลี้ยงคลอเรลลาที่ใช้มูลปลานิลสด 0.14 กรัม น้ำหนักแห้งต่อลิตร เพิ่มธาตุอาหารไนโตรเจนและฟอสฟอรัส ในช่วงที่คลอเรลลาเจริญเติบโตดีที่สุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริมาณไนโตรเจน-ไนโตรเจนของการเลี้ยงคลอเรลลาด้วยมูลปลานิลสดเพิ่มธาตุอาหารไนโตรเจนระดับต่างๆ มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) ในช่วงที่คลอเรลลามีการเจริญเติบโตดีที่สุด เช่นเดียวกับกลุ่มที่เพิ่มธาตุอาหารฟอสฟอรัสระดับต่างๆ (ตารางที่ 4.12) โดยปริมาณไนโตรเจนมีแนวโน้มสูงขึ้นเมื่อปริมาณไนโตรเจนและฟอสฟอรัสเพิ่มขึ้น (ภาพที่ 4.24) เช่นเดียวกับปริมาณแอมโมเนีย-ไนโตรเจนที่เพิ่มขึ้น

ปริมาณไนเตรท-ไนโตรเจนของการเลี้ยงคลอเรลลาด้วยมูลปลานิลสดเพิ่มธาตุอาหารไนโตรเจนระดับต่างๆ มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) ในช่วงที่คลอเรลลามีการเจริญเติบโตดีที่สุด เช่นเดียวกับกลุ่มที่เพิ่มธาตุอาหารฟอสฟอรัสระดับต่างๆ (ตารางที่ 4.13) โดยปริมาณไนเตรท-ไนโตรเจนมีแนวโน้มสูงขึ้นเมื่อปริมาณไนโตรเจนและฟอสฟอรัสเพิ่มขึ้น (ภาพที่ 4.25) เป็นไปในทิศทางเดียวกันกับปริมาณแอมโมเนีย-ไนโตรเจน และไนโตรเจน เนื่องจากเกิดการย่อยสลายของมูลปลานิล และการแตกตัวของสารละลายโพแทสเซียมไนเตรทที่ใช้เป็นแหล่งของไนโตรเจน

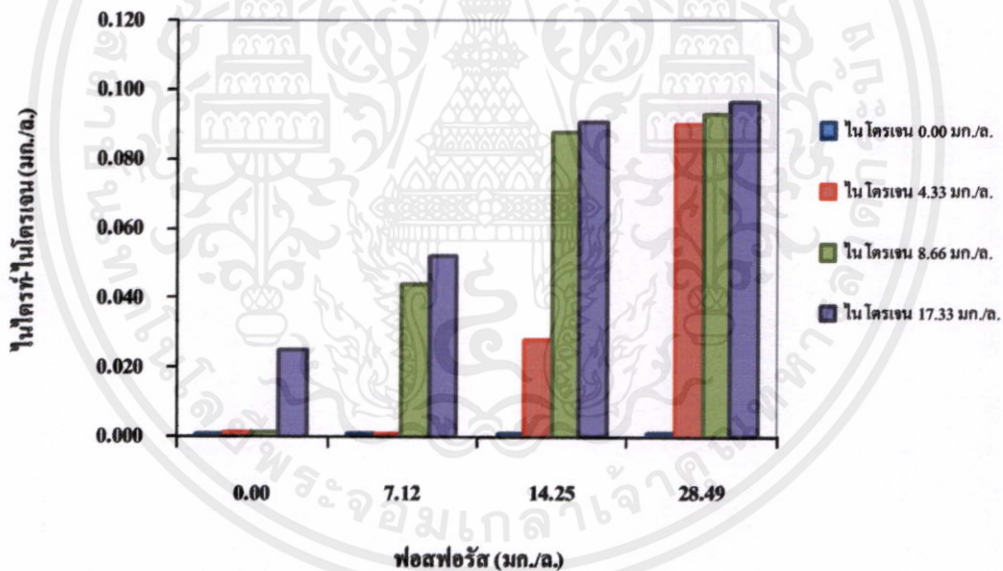
ปริมาณออร์โทฟอสเฟตของการเลี้ยงคลอเรลลาด้วยมูลปลานิลสดเพิ่มธาตุอาหารไนโตรเจนระดับต่างๆ มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) ในช่วงที่คลอเรลลามีการเจริญเติบโตดีที่สุด เช่นเดียวกับกลุ่มที่เพิ่มธาตุอาหารฟอสฟอรัสระดับต่างๆ (ตารางที่ 4.14) โดยปริมาณออร์โทฟอสเฟตมีแนวโน้มสูงขึ้นเมื่อปริมาณไนโตรเจนลดลงและปริมาณฟอสฟอรัสเพิ่มขึ้น เนื่องจากเกิดการย่อยสลายของมูลปลานิล และการแตกตัวของสารละลายโพแทสเซียมไดไฮโดรเจนฟอสเฟตที่ใช้เป็นแหล่งของฟอสฟอรัส (ภาพที่ 4.26)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.12 ปริมาณไนโตรเจน-ไนโตรเจน (มิลลิกรัมต่อลิตร) ในอาหารเลี้ยงเชื้อคลอเรลลาที่ใช้มูลปลานิลสด 0.14 กรัม น้ำหนักแห้งต่อลิตร เพิ่มธาตุอาหารไนโตรเจนและฟอสฟอรัสระดับต่างๆ ในช่วงที่คลอเรลลาเจริญเติบโตดีที่สุด

ไนโตรเจน (มก./ล.)	ฟอสฟอรัส (มก./ล.)				mean±SE
	0	7.12	14.25	28.49	
0	0.001±0.000	0.001±0.000	0.001±0.000	0.001±0.000	0.001±0.000 ^a
4.33	0.002±0.000	0.001±0.000	0.028±0.016	0.090±0.003	0.030±0.011 ^b
8.66	0.002±0.000	0.044±0.012	0.088±0.004	0.093±0.002	0.057±0.011 ^c
17.33	0.025±0.008	0.052±0.003	0.091±0.002	0.096±0.001	0.066±0.009 ^d
mean±SE	0.007±0.004 ^a	0.025±0.008 ^b	0.052±0.012 ^c	0.070±0.012 ^d	

ตัวอักษรที่ต่างกันในแนวเดียวกัน หมายถึง มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$)



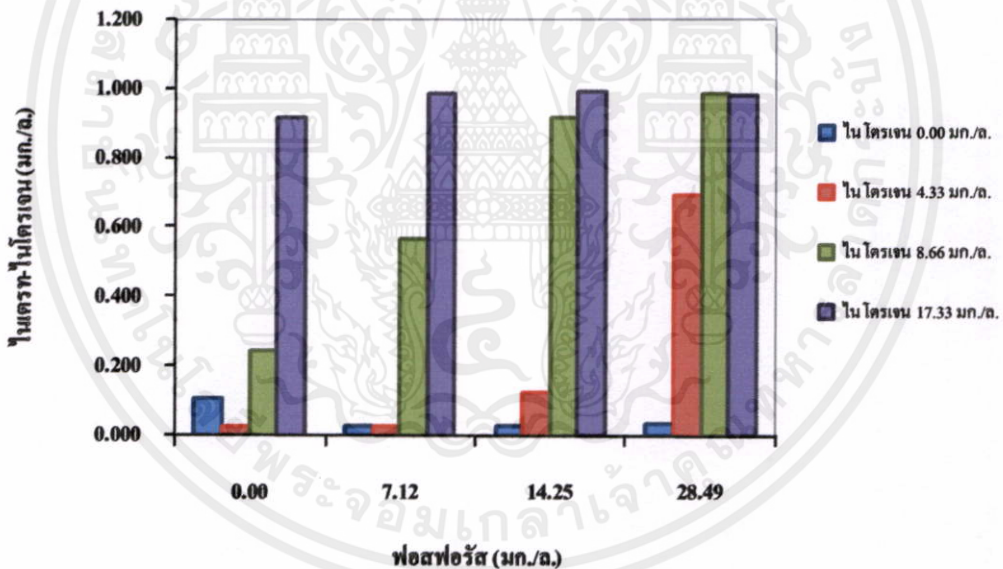
ภาพที่ 4.24 ปริมาณไนโตรเจน-ไนโตรเจนในอาหารเลี้ยงเชื้อคลอเรลลาที่ใช้มูลปลานิลสด 0.14 กรัม น้ำหนักแห้งต่อลิตร เพิ่มธาตุอาหารไนโตรเจนและฟอสฟอรัส ในช่วงที่คลอเรลลาเจริญเติบโตดีที่สุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.13 ปริมาณไนเตรท-ไนโตรเจน (มิลลิกรัมต่อลิตร) ในอาหารเลี้ยงเชื้อคลอเรลลาที่ใช้มูลปลานิลสด 0.14 กรัม น้ำหนักแห้งต่อลิตร เพิ่มธาตุอาหารไนโตรเจนและฟอสฟอรัสระดับต่างๆ ในช่วงที่คลอเรลลาเจริญเติบโตดีที่สุด

ไนโตรเจน (มก./ล.)	ฟอสฟอรัส (มก./ล.)				mean±SE
	0	7.12	14.25	28.49	
0	0.111±0.058	0.032±0.002	0.030±0.002	0.033±0.005	0.051±0.016 ^a
4.33	0.031±0.000	0.031±0.000	0.127±0.066	0.695±0.266	0.221±0.102 ^b
8.66	0.248±0.195	0.567±0.266	0.916±0.067	0.986±0.003	0.680±0.114 ^c
17.33	0.920±0.139	0.989±0.053	0.991±0.001	0.985±0.006	0.971±0.033 ^d
mean±SE	0.328±0.118 ^a	0.405±0.134 ^{ab}	0.516±0.134 ^{bc}	0.675±0.130 ^c	

ตัวอักษรที่ต่างกันในแนวเดียวกัน หมายถึง มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$)



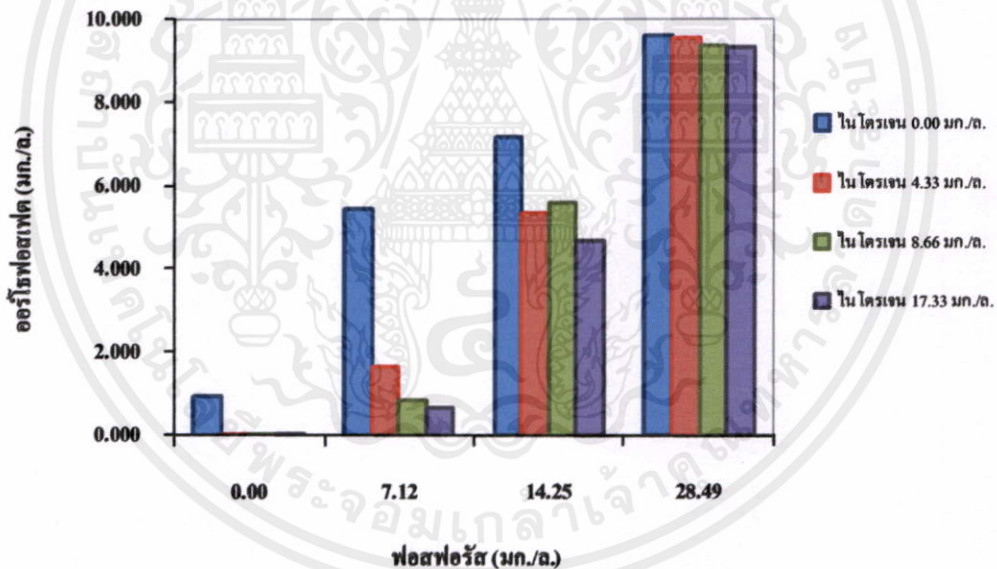
ภาพที่ 4.25 ปริมาณไนเตรท-ไนโตรเจนในอาหารเลี้ยงเชื้อคลอเรลลาที่ใช้มูลปลานิลสด 0.14 กรัม น้ำหนักแห้งต่อลิตร เพิ่มธาตุอาหารไนโตรเจนและฟอสฟอรัส ในช่วงที่คลอเรลลาเจริญเติบโตดีที่สุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.14 ปริมาณออร์โทฟอสเฟต (มิลลิกรัมต่อลิตร) ในอาหารเลี้ยงคลอเรลลาที่ใช้มูลปลานิลสด 0.14 กรัม/น้ำหนักแห้งต่อลิตร เพิ่มธาตุอาหารไนโตรเจนและฟอสฟอรัสระดับต่างๆ ในช่วงที่คลอเรลลาเจริญเติบโตดีที่สุด

ไนโตรเจน (มก./ล.)	ฟอสฟอรัส (มก./ล.)				mean±SE
	0	7.12	14.25	28.49	
0	0.976±0.106	5.448±0.094	7.167±0.152	9.610±0.028	5.800±0.952 ^b
4.33	0.058±0.014	1.679±0.106	5.370±0.723	9.568±0.119	4.169±1.116 ^a
8.66	0.048±0.007	0.860±0.212	5.613±0.424	9.381±0.030	3.975±1.143 ^a
17.33	0.044±0.006	0.670±0.426	4.695±1.467	9.325±0.060	3.684±1.167 ^a
mean±SE	0.282±0.123 ^a	2.164±0.592 ^b	5.711±0.453 ^c	9.471±0.047 ^d	

ตัวอักษรที่ต่างกันในแนวเดียวกัน หมายถึง มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$)



ภาพที่ 4.26 ปริมาณออร์โทฟอสเฟตในอาหารเลี้ยงคลอเรลลาที่ใช้มูลปลานิลสด 0.14 กรัม/น้ำหนกแห้งต่อลิตร เพิ่มธาตุอาหารไนโตรเจนและฟอสฟอรัส ในช่วงที่คลอเรลลาเจริญเติบโตดีที่สุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.3 การเจริญเติบโตของคลอเรลลาที่เลี้ยงด้วยมูลปลานิลแห้ง โดยเพิ่มธาตุอาหารไนโตรเจนและฟอสฟอรัส

จากการทดลองเลี้ยงคลอเรลลาด้วยมูลปลานิลแห้ง 0.14 กรัม น้ำหนักแห้งต่อลิตร ซึ่งเป็นปริมาณที่ทำให้คลอเรลลาเจริญเติบโตดีที่สุดจากการทดลองที่ 1 เมื่อเติมสารละลายไนโตรเจนความเข้มข้น 0, 4.33, 8.66 และ 17.33 มิลลิกรัมต่อลิตร ร่วมกับสารละลายฟอสฟอรัสความเข้มข้น 0, 7.12, 14.25 และ 28.49 มิลลิกรัมต่อลิตร เป็นระยะเวลา 12 วัน พบว่าการเติมสารละลายไนโตรเจนและฟอสฟอรัสมีปฏิสัมพันธ์กัน ซึ่งการเจริญเติบโตของคลอเรลลามีความแตกต่างกันขึ้นอยู่กับความเข้มข้นของสารละลายไนโตรเจนและฟอสฟอรัส โดยคลอเรลลาที่มีการเจริญเติบโตสูงสุดในกลุ่มที่มีการเติมสารละลายไนโตรเจน 17.33 มิลลิกรัมต่อลิตรเพียงอย่างเดียว โดยมีความหนาแน่น $(27.31 \pm 0.32) \times 10^7$ เซลล์ต่อมิลลิลิตร และเมื่อเปรียบเทียบค่าเฉลี่ย พบว่ากลุ่มที่มีการเติมไนโตรเจน 17.33 มิลลิกรัมต่อลิตร มีการเจริญเติบโตของคลอเรลลาสูงกว่ากลุ่มอื่นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) โดยมีความหนาแน่นเฉลี่ย $(23.18 \pm 1.83) \times 10^7$ เซลล์ต่อมิลลิลิตร รองลงมาคือ 8.66, 4.33 และ 0 มิลลิกรัมต่อลิตร มีความหนาแน่นเฉลี่ย $(20.80 \pm 1.04) \times 10^7$, $(13.13 \pm 1.97) \times 10^7$ และ $(6.51 \pm 0.42) \times 10^7$ เซลล์ต่อมิลลิลิตร ตามลำดับ (ตารางที่ 4.15) โดยการเจริญเติบโตของคลอเรลลามีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อปริมาณไนโตรเจนเพิ่มขึ้น และปริมาณฟอสฟอรัสลดลง (ภาพที่ 4.27) ซึ่งให้ผลการทดลองเช่นเดียวกับการทดลองที่ใช้มูลปลานิลสดเพิ่มธาตุอาหารไนโตรเจนและฟอสฟอรัส โดยความเข้มแสงระหว่างการเลี้ยงคลอเรลลามีค่าระหว่าง 1,000 – 6,000 ลักซ์ มีค่าเฉลี่ย $4,315 \pm 309$ ลักซ์ (ภาพภาคผนวก ง.4)

ปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ ของคลอเรลลาสูงสุดในกลุ่มที่มีการเติมสารละลายไนโตรเจน 17.33 มิลลิกรัมต่อลิตรเพียงอย่างเดียว โดยมีปริมาณ 1.504 ± 0.035 มิลลิกรัมต่อลิตร และมีค่าเฉลี่ย 1.348 ± 0.078 มิลลิกรัมต่อลิตร สูงกว่ากลุ่มอื่นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) รองลงมาคือกลุ่มที่เติมไนโตรเจน 8.66, 4.33 และ 0 มิลลิกรัมต่อลิตร มีปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ เฉลี่ย 1.319 ± 0.079 , 0.990 ± 0.105 และ 0.602 ± 0.043 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ (ตารางที่ 4.16) เมื่อนำข้อมูลมาวิเคราะห์เปรียบเทียบทางสถิติ พบว่าการเติมสารละลายไนโตรเจนและฟอสฟอรัสมีปฏิสัมพันธ์กัน โดยปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ ของคลอเรลลามีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อปริมาณไนโตรเจนเพิ่มขึ้น และปริมาณฟอสฟอรัสลดลง (ภาพที่ 4.28) ซึ่งให้ผลการทดลองเช่นเดียวกับการทดลองที่ใช้มูลปลานิลสดเพิ่มธาตุอาหารไนโตรเจนและฟอสฟอรัส

ตารางที่ 4.15 การเจริญเติบโตของกอลเรลตา ($\times 10^7$ เซลล์ต่อมิลลิลิตร) ที่ใช้มูลปลานิลแห้ง 0.14 กรัมต่อลิตร เพิ่มธาตุอาหารไนโตรเจนและฟอสฟอรัสระดับต่างๆ

ระยะเวลา (วัน)	ไนโตรเจน (มก./ล.)	ฟอสฟอรัส (มก./ล.)				mean±SE
		0	7.12	14.25	28.49	
0	0	0.29±0.01	0.26±0.02	0.24±0.01	0.24±0.04	0.26±0.01 ^a
	4.33	0.28±0.07	0.24±0.01	0.26±0.07	0.30±0.02	0.27±0.02 ^a
	8.66	0.25±0.03	0.28±0.05	0.29±0.08	0.23±0.04	0.26±0.02 ^a
	17.33	0.25±0.02	0.23±0.02	0.31±0.11	0.30±0.07	0.27±0.03 ^a
	mean±SE	0.27±0.02 ^a	0.25±0.01 ^a	0.28±0.03 ^a	0.28±0.02 ^a	
3	0	3.72±0.18	3.06±0.24	2.89±0.27	2.86±0.08	3.13±0.14 ^a
	4.33	8.00±0.56	5.99±0.09	5.00±0.22	5.94±0.69	6.23±0.38 ^b
	8.66	8.76±1.03	6.11±0.91	4.90±0.28	4.75±0.16	6.13±0.57 ^b
	17.33	8.47±1.29	6.06±1.54	5.77±0.85	4.79±0.23	6.27±0.62 ^b
	mean±SE	7.24±0.72 ^b	5.30±0.55 ^a	4.64±0.38 ^a	4.59±0.37 ^a	
6	0	6.66±0.31	6.10±0.28	6.31±0.11	6.16±0.45	6.31±0.15 ^a
	4.33	13.53±0.71	13.04±0.20	11.96±0.12	11.06±0.73	12.40±0.37 ^b
	8.66	16.78±0.66	15.94±0.90	13.92±1.70	10.55±0.22	14.30±0.84 ^{bc}
	17.33	18.09±1.67	17.29±3.63	13.04±2.76	9.70±1.12	14.53±1.47 ^c
	mean±SE	13.76±1.40 ^c	13.09±1.53 ^{bc}	11.31±1.13 ^{ab}	9.37±0.65 ^a	
9	0	7.94±0.28	7.09±0.04	7.34±0.13	6.63±0.36	7.25±0.17 ^a
	4.33	16.71±1.11	15.51±0.61	14.74±0.09	4.41±0.04	12.84±1.51 ^b
	8.66	19.29±1.05	19.43±0.80	15.95±0.58	13.37±0.29	17.01±0.82 ^c
	17.33	22.64±0.41	21.64±2.31	19.24±3.02	11.42±1.03	18.74±1.57 ^d
	mean±SE	16.64±1.68 ^c	15.92±1.76 ^c	14.32±1.47 ^b	8.96±1.11 ^a	
12	0	8.41±0.26	6.25±0.37	6.50±0.62	4.88±0.37	6.51±0.42 ^a
	4.33	17.70±0.27	17.18±0.40	15.70±0.64	1.94±0.13	13.13±1.97 ^b
	8.66	23.87±0.75	22.66±1.01	21.36±0.76	15.33±0.17	20.80±1.04 ^c
	17.33	27.31±0.32	25.90±2.58	25.96±0.79	13.56±1.94	23.18±1.83 ^d
	mean±SE	19.32±2.17 ^c	18.00±2.33 ^{bc}	17.38±2.21 ^b	8.93±1.75 ^a	

ตัวอักษรที่ต่างกันในแต่ละแถว หมายถึง มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$)

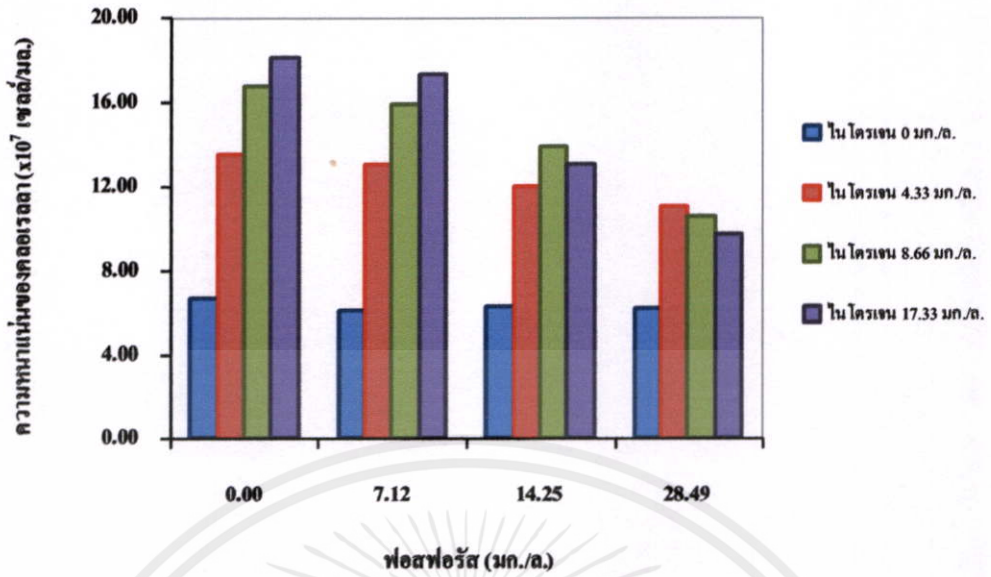
ไม่วารณใดๆทางสน อักทงห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.16 ปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ ของคลอโรเลตา (มิลลิกรัมต่อลิตร) ที่ใช้มูลปลานิลแห้ง 0.14 กรัมต่อลิตร
เพิ่มธาตุอาหารไนโตรเจนและฟอสฟอรัสระดับต่างๆ

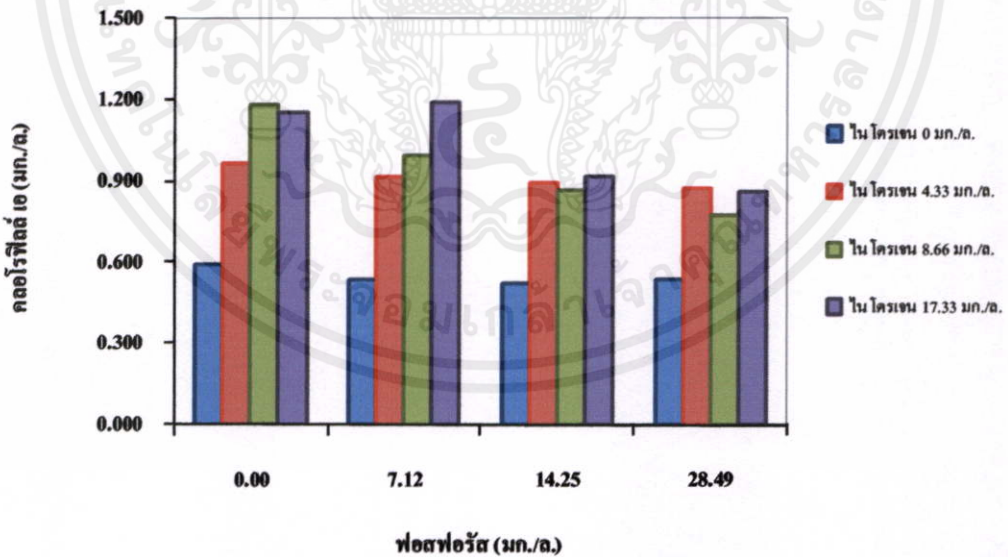
ระยะเวลา (วัน)	ไนโตรเจน (มก./ล.)	ฟอสฟอรัส (มก./ล.)				mean±SE
		0	7.12	14.25	28.49	
0	0	0.025±0.003	0.025±0.003	0.023±0.004	0.030±0.001	0.026±0.001 ^a
	4.33	0.026±0.004	0.030±0.006	0.029±0.006	0.029±0.006	0.029±0.002 ^a
	8.66	0.025±0.003	0.025±0.003	0.029±0.000	0.026±0.007	0.026±0.002 ^a
	17.33	0.026±0.004	0.030±0.006	0.032±0.004	0.029±0.006	0.029±0.002 ^a
	mean±SE	0.026±0.001 ^a	0.028±0.002 ^a	0.028±0.002 ^a	0.029±0.002 ^a	
3	0	0.236±0.047	0.222±0.016	0.210±0.108	0.185±0.037	0.213±0.027 ^a
	4.33	0.776±0.033	0.512±0.002	0.403±0.050	0.307±0.142	0.499±0.062 ^b
	8.66	0.814±0.030	0.552±0.178	0.338±0.065	0.249±0.092	0.488±0.080 ^b
	17.33	0.793±0.046	0.706±0.353	0.503±0.011	0.233±0.009	0.559±0.100 ^b
	mean±SE	0.655±0.075 ^c	0.498±0.100 ^{bc}	0.363±0.043 ^{ab}	0.244±0.039 ^a	
6	0	0.597±0.045	0.539±0.014	0.524±0.031	0.537±0.010	0.549±0.015 ^a
	4.33	0.968±0.337	0.920±0.023	0.900±0.004	0.874±0.030	0.916±0.073 ^b
	8.66	1.187±0.040	0.994±0.032	0.870±0.021	0.773±0.029	0.956±0.048 ^b
	17.33	1.154±0.660	1.195±0.040	0.918±0.035	0.865±0.012	1.033±0.148 ^b
	mean±SE	0.977±0.174 ^a	0.912±0.073 ^a	0.803±0.050 ^a	0.762±0.042 ^a	
9	0	0.713±0.040	0.671±0.011	0.693±0.026	0.588±0.026	0.666±0.019 ^a
	4.33	1.193±0.038	1.001±0.068	0.889±0.032	0.735±0.033	0.955±0.054 ^b
	8.66	1.394±0.051	1.411±0.038	1.131±0.037	0.871±0.055	1.202±0.069 ^c
	17.33	1.461±0.034	1.454±0.025	1.410±0.074	0.880±0.024	1.301±0.076 ^d
	mean±SE	1.191±0.090 ^c	1.134±0.098 ^c	1.031±0.083 ^b	0.769±0.039 ^a	
12	0	0.800±0.016	0.600±0.006	0.603±0.012	0.402±0.032	0.602±0.043 ^a
	4.33	1.260±0.029	1.251±0.038	1.037±0.023	0.412±0.017	0.990±0.105 ^b
	8.66	1.488±0.007	1.479±0.012	1.442±0.037	0.869±0.024	1.319±0.079 ^c
	17.33	1.504±0.035	1.488±0.034	1.494±0.054	0.906±0.004	1.348±0.078 ^c
	mean±SE	1.263±0.086 ^d	1.205±0.110 ^c	1.144±0.109 ^b	0.647±0.073 ^a	

ตัวอักษรที่ต่างกันในแนวเดียวกัน หมายถึง มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$)

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมีให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 4.27 การเจริญเติบโตของคลอโรพลาสต์ที่ใช้มูลปลานิลแห้ง 0.14 กรัมต่อลิตร เพิ่มธาตุอาหารไนโตรเจนและฟอสฟอรัส ในช่วงที่คลอโรพลาสต์เจริญเติบโตดีที่สุด



ภาพที่ 4.28 ปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ ของคลอโรพลาสต์ที่ใช้มูลปลานิลแห้ง 0.14 กรัมต่อลิตร เพิ่มธาตุอาหารไนโตรเจนและฟอสฟอรัส ในช่วงที่คลอโรพลาสต์เจริญเติบโตดีที่สุด

4.2.4 การเปลี่ยนแปลงปัจจัยคุณภาพน้ำในการเลี้ยงคลอเรลลาด้วยมูลปลานิลแห้ง โดยเพิ่มธาตุอาหารไนโตรเจนและฟอสฟอรัส

จากการศึกษาคุณภาพน้ำในการเลี้ยงคลอเรลลา พบว่ามีการเปลี่ยนแปลงปัจจัยคุณภาพน้ำดังนี้

อุณหภูมิระหว่างการเลี้ยงคลอเรลลาด้วยมูลปลานิลแห้งเพิ่มธาตุอาหารไนโตรเจนและฟอสฟอรัส ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$) ในทุกกลุ่มการทดลอง (ตารางที่ 4.17) โดยมีอุณหภูมิเฉลี่ยในช่วงที่คลอเรลลามีการเจริญเติบโตดีที่สุดที่ 31.4 ± 0.0 องศาเซลเซียส (ภาพที่ 4.29) ซึ่งเป็นช่วงที่คลอเรลลาสามารถเจริญเติบโตได้เช่นเดียวกับการทดลองที่ใช้มูลปลานิลสดเพิ่มธาตุอาหารไนโตรเจนและฟอสฟอรัส

ความเป็นกรด-ด่างของการเลี้ยงคลอเรลลาด้วยมูลปลานิลแห้งเพิ่มธาตุอาหารไนโตรเจนและฟอสฟอรัส ในช่วงที่คลอเรลลามีการเจริญเติบโตดีที่สุดอยู่ระหว่าง 8.49 – 10.52 มีค่าเฉลี่ย 9.55 ± 0.15 อยู่ในช่วงที่สาหร่ายสามารถเจริญเติบโตได้ ซึ่งความเป็นกรด-ด่างในกลุ่มที่มีการเลี้ยงด้วยมูลปลานิลแห้งเพิ่มธาตุอาหารไนโตรเจนระดับต่างๆ มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) เช่นเดียวกับการเพิ่มธาตุอาหารฟอสฟอรัสระดับต่างๆ (ตารางที่ 4.18) โดยความเป็นกรด-ด่างมีแนวโน้มสูงขึ้นเมื่อปริมาณไนโตรเจนเพิ่มขึ้นและปริมาณฟอสฟอรัสลดลง (ภาพที่ 4.30) ซึ่งให้ผลการทดลองเช่นเดียวกับการทดลองที่ใช้มูลปลานิลสดปรับปริมาณไนโตรเจนและฟอสฟอรัส

ความเป็นค่าของการเลี้ยงคลอเรลลาด้วยมูลปลานิลแห้งเพิ่มธาตุอาหารไนโตรเจนระดับต่างๆ มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) ในช่วงที่คลอเรลลามีการเจริญเติบโตดีที่สุด เช่นเดียวกับการเพิ่มธาตุอาหารฟอสฟอรัสระดับต่างๆ (ตารางที่ 4.19) โดยความเป็นค่ามีแนวโน้มสูงขึ้นเมื่อปริมาณไนโตรเจนเพิ่มขึ้นและปริมาณฟอสฟอรัสลดลง (ภาพที่ 4.31) ซึ่งเป็นไปในทิศทางเดียวกันกับความเป็นกรด-ด่าง เช่นเดียวกับการทดลองที่ใช้มูลปลานิลสดปรับปริมาณไนโตรเจนและฟอสฟอรัส

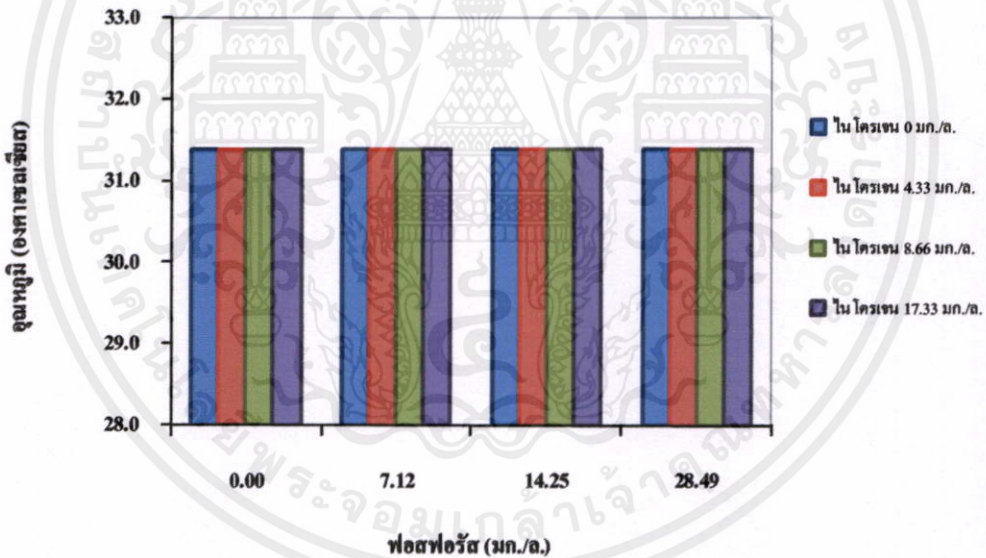
ปริมาณแอมโมเนีย-ไนโตรเจนของการเลี้ยงคลอเรลลาด้วยมูลปลานิลแห้งเพิ่มธาตุอาหารไนโตรเจนและฟอสฟอรัส ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติในทุกกลุ่มการทดลอง ($P>0.05$) ในช่วงที่คลอเรลลามีการเจริญเติบโตดีที่สุด (ตารางที่ 4.20) โดยปริมาณแอมโมเนีย-ไนโตรเจนมีแนวโน้มสูงขึ้นเมื่อปริมาณไนโตรเจนเพิ่มขึ้น (ภาพที่ 4.32) เช่นเดียวกับการทดลองที่ใช้มูลปลานิลสดปรับปริมาณไนโตรเจนและฟอสฟอรัส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.17 อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส) ในอาหารเลี้ยงคลอเรลลาที่ใช้มูลปลานิลแห้ง 0.14 กรัมต่อลิตร
เพิ่มธาตุอาหารไนโตรเจนและฟอสฟอรัสระดับต่างๆ ในช่วงที่คลอเรลลาเจริญเติบโต
ดีที่สุดที่สุด

ไนโตรเจน (มก./ล.)	ฟอสฟอรัส (มก./ล.)				mean±SE
	0	7.12	14.25	28.49	
0	31.4±0.0	31.4±0.0	31.4±0.0	31.4±0.0	31.4±0.0 ^a
4.33	31.4±0.0	31.4±0.0	31.4±0.0	31.4±0.0	31.4±0.0 ^a
8.66	31.4±0.0	31.4±0.0	31.4±0.0	31.4±0.0	31.4±0.0 ^a
17.33	31.4±0.0	31.4±0.0	31.4±0.0	31.4±0.0	31.4±0.0 ^a
mean±SE	31.4±0.0 ^a	31.4±0.0 ^a	31.4±0.0 ^a	31.4±0.0 ^a	

ตัวอักษรที่ต่างกันในแต่ละแถวกัน หมายถึง มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$)



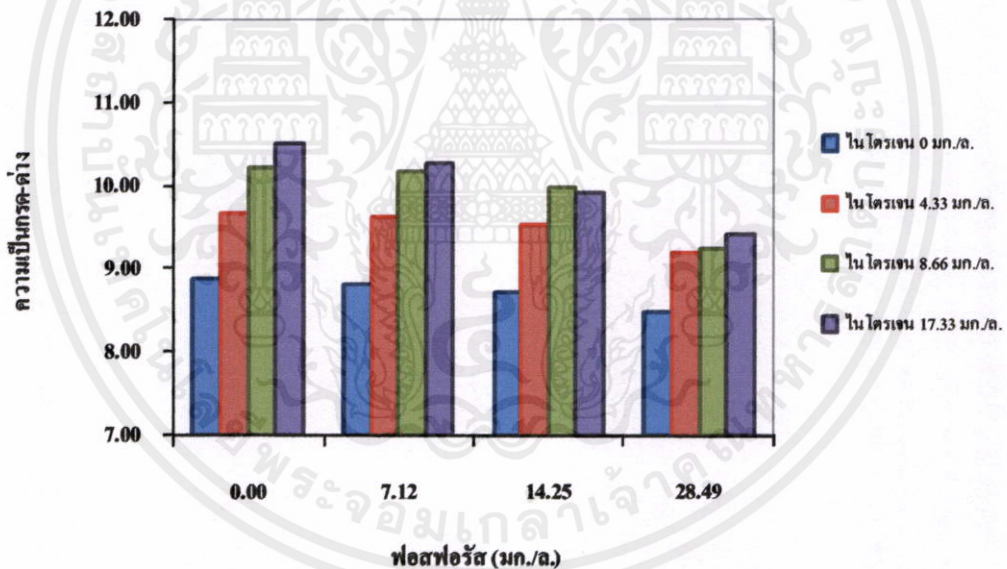
ภาพที่ 4.29 อุณหภูมิในอาหารเลี้ยงคลอเรลลาที่ใช้มูลปลานิลแห้ง 0.14 กรัมต่อลิตร เพิ่มธาตุอาหาร
ไนโตรเจนและฟอสฟอรัส ในช่วงที่คลอเรลลาเจริญเติบโตดีที่สุดที่สุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.18 ความเป็นกรด-ด่างในอาหารเลี้ยงคลอเรลลาที่ใช้มูลปลานิลแห้ง 0.14 กรัมต่อลิตร เพิ่มธาตุอาหารไนโตรเจนและฟอสฟอรัสระดับต่างๆ ในช่วงที่คลอเรลลาเจริญเติบโตดีที่สุด

ไนโตรเจน (มก./ล.)	ฟอสฟอรัส (มก./ล.)				mean±SE
	0	7.12	14.25	28.49	
0	8.89±0.05	8.81±0.03	8.72±0.04	8.49±0.04	8.73±0.05 ^a
4.33	9.67±0.05	9.63±0.04	9.54±0.04	9.19±0.15	9.50±0.07 ^b
8.66	10.24±0.19	10.17±0.13	9.99±0.27	9.24±0.00	9.91±0.14 ^c
17.33	10.52±0.19	10.28±0.30	9.93±0.28	9.41±0.16	10.04±0.16 ^c
mean±SE	9.83±0.20 ^c	9.72±0.19 ^{bc}	9.54±0.17 ^b	9.08±0.12 ^a	

ตัวอักษรที่ต่างกันในแนวเดียวกัน หมายถึง มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$)



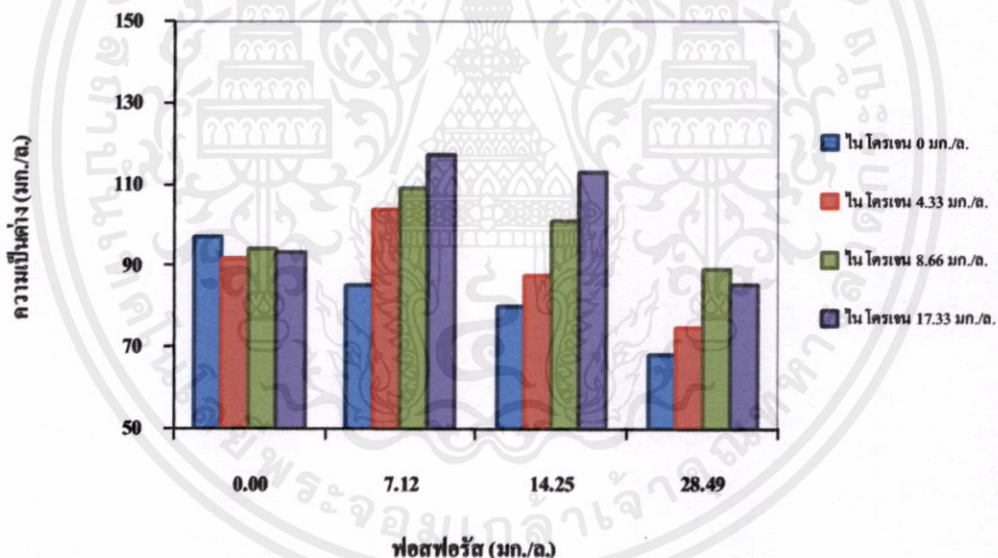
ภาพที่ 4.30 ความเป็นกรด-ด่างในอาหารเลี้ยงคลอเรลลาที่ใช้มูลปลานิลแห้ง 0.14 กรัมต่อลิตร เพิ่มธาตุอาหารไนโตรเจนและฟอสฟอรัส ในช่วงที่คลอเรลลาเจริญเติบโตดีที่สุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.19 ความเป็นค่า่ง (มิลลิกรัมต่อลิตร) ในอาหารเลี้ยงคลอเรลลาที่ใช้มูลปลานิลแห้ง 0.14 กรัมต่อลิตร เพิ่มธาตุอาหารไนโตรเจนและฟอสฟอรัสระดับต่างๆ ในช่วงที่คลอเรลลาเจริญเติบโตดีที่สุด

ไนโตรเจน (มก./ล.)	ฟอสฟอรัส (มก./ล.)				mean±SE
	0	7.12	14.25	28.49	
0	97±3	85±1	80±2	68±2	83±3 ^a
4.33	92±8	104±0	88±2	75±1	90±4 ^a
8.66	95±11	109±5	101±1	89±4	99±4 ^b
17.33	93±4	117±14	113±7	85±3	102±5 ^b
mean±SE	94±3 ^b	104±5 ^c	96±4 ^b	79±3 ^a	

ตัวอักษรที่ต่างกันในแต่ละแถวกัน หมายถึง มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$)



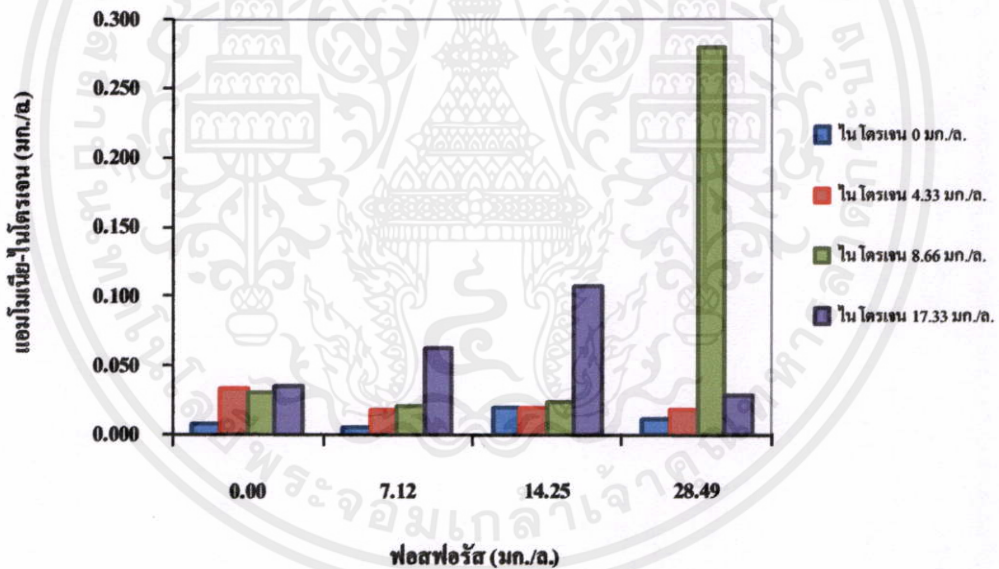
ภาพที่ 4.31 ความเป็นค่า่งในอาหารเลี้ยงคลอเรลลาที่ใช้มูลปลานิลแห้ง 0.14 กรัมต่อลิตร เพิ่มธาตุอาหารไนโตรเจนและฟอสฟอรัส ในช่วงที่คลอเรลลาเจริญเติบโตดีที่สุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.20 ปริมาณแอมโมเนีย-ไนโตรเจน (มิลลิกรัมต่อลิตร) ในอาหารเลี้ยงคลอเรลลาที่ใช้มูลปลานิลแห้ง 0.14 กรัมต่อลิตร เพิ่มธาตุอาหารไนโตรเจนและฟอสฟอรัสระดับต่างๆ ในช่วงที่คลอเรลลาเจริญเติบโตดีที่สุด

ไนโตรเจน (มก./ล.)	ฟอสฟอรัส (มก./ล.)				mean±SE
	0	7.12	14.25	28.49	
0	0.009±0.008	0.006±0.000	0.020±0.002	0.012±0.004	0.012±0.002 ^a
4.33	0.035±0.019	0.019±0.000	0.021±0.004	0.019±0.002	0.023±0.005 ^a
8.66	0.031±0.006	0.022±0.003	0.025±0.004	0.280±0.246	0.089±0.062 ^a
17.33	0.037±0.007	0.063±0.031	0.108±0.087	0.029±0.008	0.059±0.022 ^a
mean±SE	0.028±0.006 ^a	0.027±0.009 ^a	0.043±0.022 ^a	0.085±0.063 ^a	

ตัวอักษรที่ต่างกันในแนวเดียวกัน หมายถึง มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$)



ภาพที่ 4.32 ปริมาณแอมโมเนีย-ไนโตรเจนในอาหารเลี้ยงคลอเรลลาที่ใช้มูลปลานิลแห้ง 0.14 กรัมต่อลิตร เพิ่มธาตุอาหารไนโตรเจนและฟอสฟอรัส ในช่วงที่คลอเรลลาเจริญเติบโตดีที่สุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริมาณไนโตรเจน-ไนโตรเจนของการเลี้ยงคลอเรลลาด้วยมูลปลานิลแห้งเพิ่มธาตุอาหารไนโตรเจนระดับต่างๆ มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) ในช่วงที่คลอเรลลามีการเจริญเติบโตดีที่สุด เช่นเดียวกับการเพิ่มธาตุอาหารฟอสฟอรัสระดับต่างๆ (ตารางที่ 4.21) โดยปริมาณไนโตรเจน-ไนโตรเจนมีแนวโน้มสูงขึ้นเมื่อปริมาณไนโตรเจนเพิ่มขึ้น (ภาพที่ 4.33) เช่นเดียวกับการทดลองที่ใช้มูลปลานิลสดเพิ่มธาตุอาหารไนโตรเจนและฟอสฟอรัส

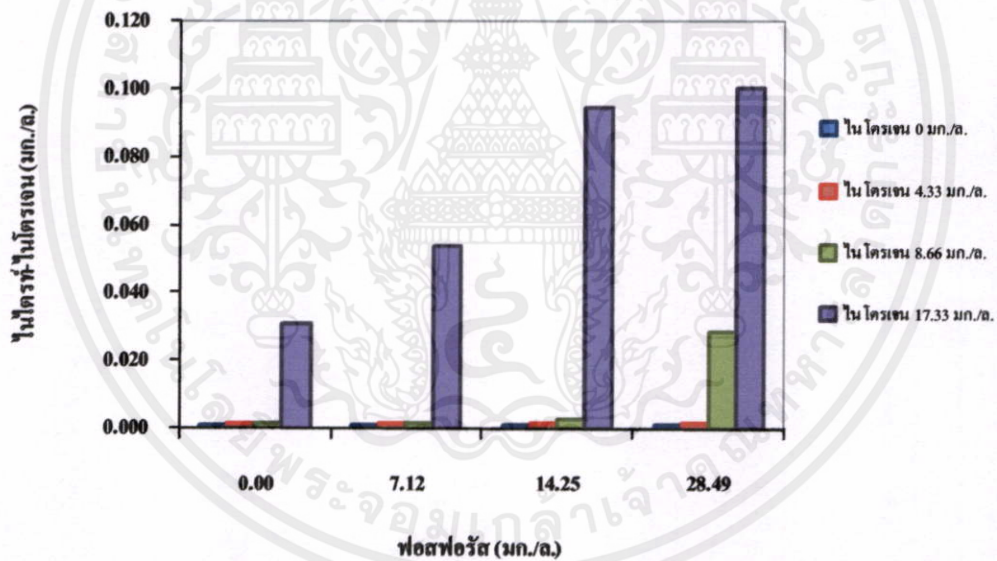
ปริมาณไนโตรเจน-ไนโตรเจนของการเลี้ยงคลอเรลลาด้วยมูลปลานิลแห้งเพิ่มธาตุอาหารไนโตรเจนระดับต่างๆ มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) ในช่วงที่คลอเรลลามีการเจริญเติบโตดีที่สุด ในขณะที่เดียวกันการเพิ่มธาตุอาหารฟอสฟอรัสระดับต่างๆ ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P > 0.05$) (ตารางที่ 4.22) โดยปริมาณไนโตรเจน-ไนโตรเจนมีแนวโน้มสูงขึ้นเมื่อปริมาณไนโตรเจนเพิ่มขึ้น (ภาพที่ 4.34) เป็นไปในทิศทางเดียวกันกับปริมาณแอมโมเนีย-ไนโตรเจน และไนโตรเจน-ไนโตรเจน เนื่องจากเกิดการย่อยสลายของมูลปลานิล และการแตกตัวของสารละลายโพแทสเซียมไนเตรทที่ใช้เป็นแหล่งของไนโตรเจน เช่นเดียวกับการทดลองที่ใช้มูลปลานิลสดปรับปริมาณไนโตรเจนและฟอสฟอรัส

ปริมาณออร์โธฟอสเฟตของการเลี้ยงคลอเรลลาด้วยมูลปลานิลแห้งเพิ่มธาตุอาหารไนโตรเจนระดับต่างๆ มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) ในช่วงที่คลอเรลลามีการเจริญเติบโตดีที่สุด เช่นเดียวกับการเพิ่มธาตุอาหารฟอสฟอรัสระดับต่างๆ (ตารางที่ 4.23) โดยปริมาณออร์โธฟอสเฟตมีแนวโน้มสูงขึ้นเมื่อปริมาณไนโตรเจนลดลงและปริมาณฟอสฟอรัสเพิ่มขึ้น เนื่องจากเกิดการย่อยสลายของมูลปลานิล และการแตกตัวของสารละลายโพแทสเซียมไดไฮโดรเจนฟอสเฟตที่ใช้เป็นแหล่งของฟอสฟอรัส (ภาพที่ 4.35) เช่นเดียวกับการทดลองที่ใช้มูลปลานิลสดปรับปริมาณไนโตรเจนและฟอสฟอรัส

ตารางที่ 4.21 ปริมาณไนโตรเจน-ไนโตรเจน (มิลลิกรัมต่อลิตร) ในอาหารเลี้ยงคลอเรลลาที่ใช้มูลปลานิลแห้ง 0.14 กรัมต่อลิตร เพิ่มธาตุอาหารไนโตรเจนและฟอสฟอรัสระดับต่างๆ ในช่วงที่คลอเรลลาเจริญเติบโตดีที่สุด

ไนโตรเจน (มก./ล.)	ฟอสฟอรัส (มก./ล.)				mean±SE
	0	7.12	14.25	28.49	
0	0.001±0.000	0.001±0.000	0.001±0.000	0.001±0.000	0.001±0.000 ^a
4.33	0.002±0.000	0.002±0.000	0.002±0.000	0.002±0.000	0.002±0.000 ^a
8.66	0.002±0.000	0.002±0.000	0.003±0.000	0.029±0.001	0.009±0.003 ^a
17.33	0.031±0.016	0.054±0.025	0.095±0.005	0.100±0.001	0.070±0.011 ^b
mean±SE	0.009±0.005 ^a	0.015±0.009 ^{ab}	0.025±0.012 ^{bc}	0.033±0.012 ^c	

ตัวอักษรที่ต่างกันในแนวเดียวกัน หมายถึง มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$)



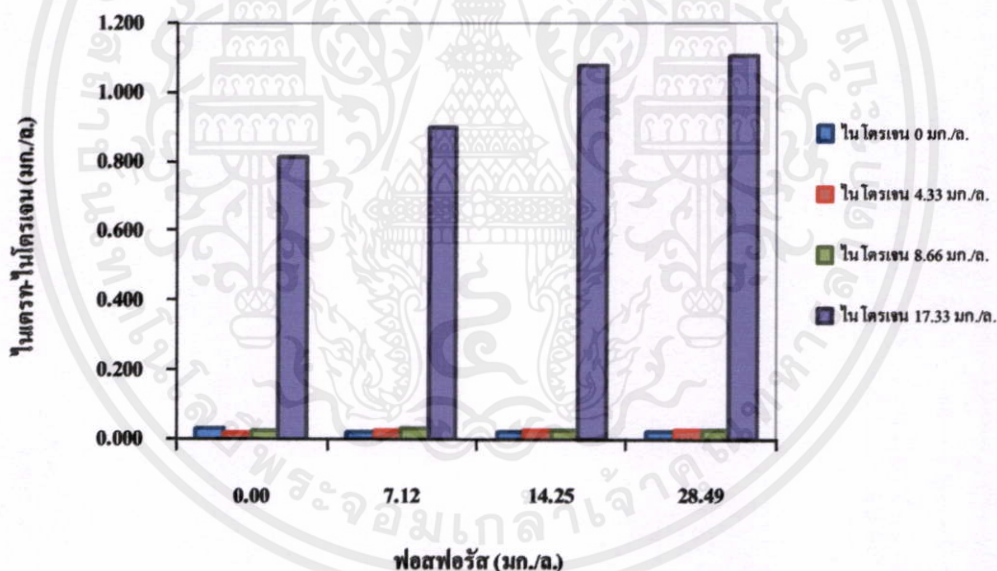
ภาพที่ 4.33 ปริมาณไนโตรเจน-ไนโตรเจนในอาหารเลี้ยงคลอเรลลาที่ใช้มูลปลานิลแห้ง 0.14 กรัมต่อลิตร เพิ่มธาตุอาหารไนโตรเจนและฟอสฟอรัส ในช่วงที่คลอเรลลาเจริญเติบโตดีที่สุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.22 ปริมาณไนเตรท-ไนโตรเจน (มิลลิกรัมต่อลิตร) ในอาหารเลี้ยงคลอเรลลาที่ใช้มูลปลานิลแห้ง 0.14 กรัมต่อลิตร เพิ่มธาตุอาหารไนโตรเจนและฟอสฟอรัสระดับต่างๆ ในช่วงที่คลอเรลลาเจริญเติบโตดีที่สุด

ไนโตรเจน (มก./ล.)	ฟอสฟอรัส (มก./ล.)				mean±SE
	0	7.12	14.25	28.49	
0	0.036±0.003	0.021±0.002	0.023±0.002	0.022±0.001	0.025±0.002 ^a
4.33	0.023±0.003	0.029±0.002	0.030±0.001	0.029±0.001	0.028±0.001 ^a
8.66	0.026±0.003	0.032±0.005	0.030±0.001	0.029±0.287	0.029±0.002 ^a
17.33	0.818±0.351	0.903±0.254	1.078±0.038	1.108±0.007	0.977±0.100 ^b
mean±SE	0.226±0.127 ^a	0.246±0.127 ^a	0.290±0.137 ^a	0.297±0.141 ^a	

ตัวอักษรที่ต่างกันในแนวเดียวกัน หมายถึง มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$)



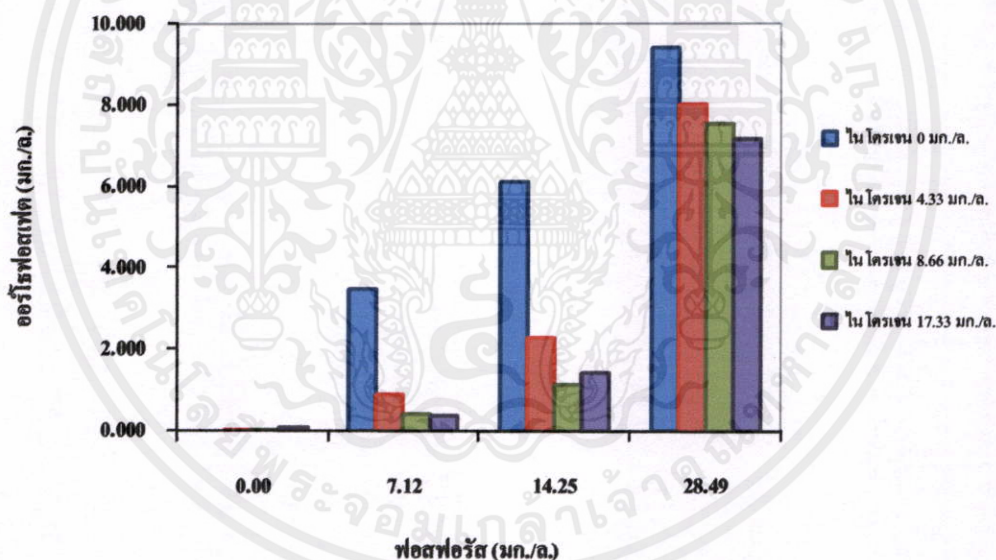
ภาพที่ 4.34 ปริมาณไนเตรท-ไนโตรเจนในอาหารเลี้ยงคลอเรลลาที่ใช้มูลปลานิลแห้ง 0.14 กรัมต่อลิตร เพิ่มธาตุอาหารไนโตรเจนและฟอสฟอรัส ในช่วงที่คลอเรลลาเจริญเติบโตดีที่สุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.23 ปริมาณออร์โทฟอสเฟต (มิลลิกรัมต่อลิตร) ในอาหารเลี้ยงคลอเรลลาที่ใช้มูลปลานิลแห้ง 0.14 กรัมต่อลิตร เพิ่มธาตุอาหารไนโตรเจนและฟอสฟอรัสระดับต่างๆ ในช่วงที่คลอเรลลาเจริญเติบโตดีที่สุด

ไนโตรเจน (มก./ล.)	ฟอสฟอรัส (มก./ล.)				mean±SE
	0	7.12	14.25	28.49	
0	0.016±0.004	3.472±0.042	6.112±0.210	9.406±0.348	4.752±1.043 ^c
4.33	0.044±0.006	0.927±0.070	2.301±0.126	8.060±0.240	2.833±0.943 ^b
8.66	0.051±0.004	0.410±0.031	1.155±0.524	7.550±0.049	2.292±0.930 ^a
17.33	0.086±0.018	0.368±0.198	1.411±0.851	7.170±0.662	2.259±0.899 ^a
mean±SE	0.050±0.009 ^a	1.294±0.388 ^b	2.745±0.639 ^c	8.046±0.305 ^d	

ตัวอักษรที่ต่างกันในแนวเดียวกัน หมายถึง มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$)



ภาพที่ 4.35 ปริมาณออร์โทฟอสเฟตในอาหารเลี้ยงคลอเรลลาที่ใช้มูลปลานิลแห้ง 0.14 กรัมต่อลิตร เพิ่มธาตุอาหารไนโตรเจนและฟอสฟอรัส ในช่วงที่คลอเรลลาเจริญเติบโตดีที่สุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.5 คุณค่าทางโภชนาการของคอลลอยด์ที่เลี้ยงด้วยมูลปลานิลสดและแห้ง เพิ่มธาตุอาหารไนโตรเจนและฟอสฟอรัสระดับที่ดีที่สุด เปรียบเทียบกับอาหารเลี้ยงคอลลอยด์สูตรดัดแปลง และเปรียบเทียบต้นทุน

จากการศึกษาการเลี้ยงคอลลอยด์ด้วยอาหารเลี้ยงคอลลอยด์สูตรดัดแปลง กับการเลี้ยงด้วยมูลปลานิลสดและแห้ง เพิ่มธาตุอาหารไนโตรเจนและฟอสฟอรัสระดับที่ทำให้คอลลอยด์มีการเจริญเติบโตดีที่สุด คือการเติมสารละลายไนโตรเจน 17.33 มิลลิกรัมต่อลิตรเพียงอย่างเดียว มีปริมาณไนโตรเจนฟรีแอกซ์เทร็ก (NFE) โปรตีน ไขมัน เยื่อใย ความชื้นและเถ้า ดังตารางที่ 4.24 โดยการเลี้ยงคอลลอยด์ด้วยมูลปลานิลสดเพิ่มธาตุอาหารไนโตรเจน 17.33 มิลลิกรัมต่อลิตร มีปริมาณโปรตีนในเซลล์สูงสุด 42.13 ± 0.30 เปอร์เซ็นต์ แตกต่างกับกลุ่มอื่นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) ทั้งนี้เนื่องจากการเพิ่มธาตุอาหารไนโตรเจนทำให้คอลลอยด์สามารถนำไปใช้ในการเจริญเติบโต และสะสมเป็นโปรตีนภายในเซลล์ ในทางตรงข้าม การเพิ่มธาตุอาหารฟอสฟอรัสไม่มีผลต่อการสะสมโปรตีน และหากมีการเติมฟอสฟอรัสเพียงอย่างเดียวจะมีผลทำให้ปริมาณฟอสฟอรัสในเซลล์สูงกว่าการเติมฟอสฟอรัสร่วมกับไนโตรเจน โดยที่ไนโตรเจนก็ไม่มีผลต่อการสะสมฟอสฟอรัสเช่นเดียวกัน (Menendez *et al.*, 2002)

ต้นทุนการเลี้ยงคอลลอยด์แสดงไว้ดังตารางที่ 4.25 ซึ่งคิดรวมทั้งต้นทุนคงที่และต้นทุนผันแปร โดยต้นทุนคงที่นั้นคิดจากราคาค่าเสื่อมของอุปกรณ์ที่ใช้สำหรับเลี้ยงคอลลอยด์ (สำหรับการเลี้ยง 10 ครั้ง) ส่วนต้นทุนผันแปรเป็นการคิดราคาสารเคมีที่ใช้เป็นธาตุอาหารสำหรับเลี้ยงคอลลอยด์ต่อปริมาณคอลลอยด์ 1 กรัม น้ำหนักแห้ง โดยไม่คิดรวมมูลปลานิล ซึ่งการใช้อาหารเลี้ยงคอลลอยด์สูตรดัดแปลงจะได้ผลผลิตของคอลลอยด์ 0.25 กรัม น้ำหนักแห้งต่อลิตร มีต้นทุนการเลี้ยงคอลลอยด์ 20.12 บาทต่อกรัม น้ำหนักแห้งของคอลลอยด์ และการใช้มูลปลานิลสดและแห้งเพิ่มธาตุอาหารไนโตรเจน 17.33 มิลลิกรัมต่อลิตรเพียงอย่างเดียว จะได้ผลผลิตของคอลลอยด์ 0.22 และ 0.21 กรัม น้ำหนักแห้งต่อลิตร ตามลำดับ ซึ่งมีต้นทุนการเลี้ยงคอลลอยด์ 7.49 และ 7.83 บาทต่อกรัม น้ำหนักแห้งของคอลลอยด์ ตามลำดับ โดยการเลี้ยงคอลลอยด์ด้วยมูลปลานิลสดหรือแห้งจะช่วยลดต้นทุนการผลิตได้ประมาณ 2 – 3 เท่า เมื่อเปรียบเทียบกับการใช้อาหารเลี้ยงคอลลอยด์สูตรดัดแปลง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.24 คุณค่าทางโภชนาการของอาหารเลี้ยงคลอเรลลาด้วยอาหารเลี้ยงคลอเรลลาสูตรคัดแปลง กับ การเลี้ยงด้วยมูลปลานิลสดและแห้ง เพิ่มธาตุอาหารใน โครเจน 17.33 มิลลิกรัมต่อลิตร

คุณค่าทางโภชนาการ (เปอร์เซ็นต์)	อาหารเลี้ยง คลอเรลลา สูตรคัดแปลง	มูลปลานิลสด+ โครเจน 17.33 มิลลิกรัมต่อลิตร	มูลปลานิลแห้ง+ โครเจน 17.33 มิลลิกรัมต่อลิตร
NFE	30.65±0.66 ^b	27.90±0.74 ^a	26.43±0.55 ^a
โปรตีน	35.76±0.39 ^a	42.13±0.30 ^b	36.46±0.22 ^a
ไขมัน	3.94±0.08 ^a	3.63±0.07 ^a	3.75±0.07 ^a
เยื่อใย	4.86±0.32 ^b	1.86±0.37 ^a	5.94±0.35 ^b
ความชื้น	8.63±0.02 ^b	8.02±0.01 ^a	8.69±0.03 ^b
เถ้า	16.16±0.04 ^a	16.46±0.02 ^b	18.73±0.02 ^c

ตัวอักษรที่ต่างกันในแนวนอน หมายถึง มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P<0.05)

ตารางที่ 4.25 ต้นทุนการเลี้ยงคลอเรลลา (บาทต่อกรัมน้ำหนักแห้ง) ด้วยอาหารเลี้ยงคลอเรลลาสูตรคัดแปลง กับการเลี้ยงด้วยมูลปลานิลสดและแห้ง เพิ่มธาตุอาหารใน โครเจน 17.33 มิลลิกรัมต่อลิตร

ต้นทุน	อาหารเลี้ยง คลอเรลลา สูตรคัดแปลง	มูลปลานิลสด + โครเจน 17.33 มิลลิกรัมต่อลิตร	มูลปลานิลแห้ง + โครเจน 17.33 มิลลิกรัมต่อลิตร
ต้นทุนคงที่			
ภาชนะเลี้ยงคลอเรลลา			
ปริมาตร 1 ลิตร	4.00	4.55	4.76
สายยางให้ออกซิเจน	1.00	1.14	1.19
แท่งแก้วให้ออกซิเจน	1.20	1.37	1.43
ต้นทุนผันแปร			
อาหารเลี้ยงคลอเรลลาสูตร คัดแปลง	13.92	-	-
โพแทสเซียมไนเตรท	-	0.43	0.45
รวม	20.12	7.49	7.83

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับเอาไว้ใช้งานเพื่อการศึกษานานาชาติ ไม่ควรเอาไปใช้ประโยชน์อื่นใด

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

การวิจารณ์ผล

5.1 การศึกษาการเจริญเติบโตของคลอเรลลาที่เลี้ยงด้วยมูลปลานิลสดและแห้ง

5.1.1 การเจริญเติบโตของคลอเรลลาที่เลี้ยงด้วยมูลปลานิลสดและแห้ง

จากการทดลองเลี้ยงคลอเรลลา พบว่าการเจริญเติบโตของคลอเรลลาในกลุ่มทดลองที่เลี้ยงด้วยอาหารเลี้ยงคลอเรลลาสูตรดัดแปลงมีการเจริญเติบโตสูงสุด เนื่องจากในอาหารเป็นสารเคมีที่มีธาตุอาหารหลักและธาตุอาหารรองครบสำหรับการเจริญเติบโตของคลอเรลลา อีกทั้งยังมีวิตามินบี 12 ซึ่งส่งผลทำให้จำนวนเซลล์ของคลอเรลลาเพิ่มขึ้นได้เร็วกว่า (สมชาย หวังวิบูลย์กิจ และคณะ. 2548) การใช้มูลปลานิลสดและแห้งที่เป็นสารอินทรีย์ซึ่งต้องถูกย่อยสลายเป็นสารอนินทรีย์คลอเรลลาจึงสามารถนำสารอนินทรีย์ไปใช้เพื่อการเจริญเติบโตได้ ทำให้คลอเรลลาที่เลี้ยงด้วยมูลปลานิลมีจำนวนเซลล์ต่ำกว่าการใช้อาหารเลี้ยงคลอเรลลาสูตรดัดแปลงประมาณ 3 – 4 เท่า นอกจากนี้ปริมาณธาตุอาหารในมูลปลายังขึ้นอยู่กับชนิดของอาหารที่ปลากิน ซึ่งปลานิลเป็นปลา กินพืชในอาหารจะมีปริมาณโปรตีนประมาณ 15.5 เปอร์เซ็นต์ และยังขึ้นอยู่กับการย่อยและการดูดซึมสารอาหาร ไปใช้ภายในอวัยวะย่อยอาหารของปลาแต่ละชนิด รวมทั้งการขับถ่ายของเสีย พบว่าปลานิลน้ำหนัก 100 – 500 กรัม จะขับถ่ายของเสียประมาณ 0.53 – 1.18 กรัมต่อวัน โดยมีปริมาณไนโตรเจนรวม 16.20 – 18.20 กรัมต่อกิโลกรัมมูลปลา มีปริมาณฟอสฟอรัส 22.20 – 25.80 กรัมต่อกิโลกรัมมูลปลา (Mungkamdee *et al.* 2005) การใช้มูลปลานิลเลี้ยงคลอเรลลาเมื่อเทียบกับการใช้มูลไก่ มูลเป็ด มูลนกกระทา มูลควาย และมูลของม้า ซึ่งมีปริมาณไนโตรเจน 3.19, 0.67, 2.61, 0.88 และ 2.76 เปอร์เซ็นต์ และมีปริมาณฟอสฟอรัส 0.17, 1.37, 0.02, 1.81 และ 0.47 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ซึ่งต่ำกว่าในมูลปลานิล สามารถใช้เป็นธาตุอาหารสำหรับการเลี้ยงคลอเรลลาได้เช่นเดียวกัน โดยการเลี้ยงคลอเรลลา (*Chlorella* sp.) ด้วยมูลไก่ มูลเป็ด มูลนกกระทา มูลควาย และมูลของม้า ที่ความเข้มข้น 3.5 กรัมน้ำหนักแห้งต่อลิตรเท่ากัน พบว่าคลอเรลลามีความหนาแน่น 9.8×10^7 , 4.9×10^7 , 4.7×10^7 , 2.2×10^7 และ 1.9×10^7 เซลล์ต่อมิลลิลิตร ตามลำดับ (Dahril *et al.* 1998) นอกจากนี้สิ่งขับถ่ายของมนุษย์ยังสามารถใช้เป็นแหล่งของธาตุอาหารเพื่อเลี้ยงคลอเรลลาได้เช่นเดียวกัน โดยการใช้ที่ระดับความเข้มข้น 0.5 กรัมต่อลิตร ทำให้คลอเรลลา (*Chlorella* sp.) เจริญเติบโตได้ดี มีความหนาแน่น 20×10^7 เซลล์ต่อมิลลิลิตร และเมื่อระดับความเข้มข้นของสิ่งขับถ่ายของมนุษย์เพิ่มขึ้นจะทำให้การเจริญเติบโตของคลอเรลลาลดลง (Dahril *et al.* 1995)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้ภายในห้องปฏิบัติการเท่านั้น มิใช่เพื่อเผยแพร่เป็นประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากการทดลอง พบว่าความเข้มแสงระหว่างการเลี้ยงคลอเรลลาอยู่ในช่วง 3,000 – 6,000 ลักซ์ (ภาพภาคผนวก ง.1, ง.3 และ ง.4) ซึ่งเหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของคลอเรลลา สอดคล้องกับมาวิทซ์ อัสวารีย์ และธิดา เพชรรมณี (2534) ซึ่งทดลองเลี้ยง *Chlorella* sp. พบว่าความเข้มแสง 3,000 และ 5,000 ลักซ์ ทำให้คลอเรลลาเจริญเติบโตได้ดี ส่วนการทดลองเลี้ยงคลอเรลลาด้วยมูลปลานิลแห้ง พบว่าการเจริญเติบโตต่ำกว่าการใช้มูลปลานิลสด เนื่องจากในช่วงการทดลองระดับความเข้มแสงอยู่ที่ $1,566 \pm 77$ ลักซ์ (ภาพภาคผนวก ง.2) ซึ่งต่ำกว่าระดับที่เหมาะสมต่อการเลี้ยงคลอเรลลา

5.1.2 การเปลี่ยนแปลงปัจจัยคุณภาพน้ำในการเลี้ยงคลอเรลลาด้วยมูลปลานิลสดและแห้ง

คุณภาพน้ำระหว่างการเลี้ยงคลอเรลลา พบว่าอุณหภูมิมีค่าอยู่ระหว่าง 26 – 33 องศาเซลเซียส ซึ่งเป็นช่วงที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของคลอเรลลาตามที่ Nagashima *et al.* (1993) ได้รายงานว่าอุณหภูมิที่เหมาะสมสำหรับการเจริญเติบโตของ *Chlorella* sp., *Chlorella vulgaris* และ *Chlorella pyrenoidosa* อยู่ระหว่าง 25 – 35 องศาเซลเซียส

ความเป็นกรด-ด่างของการเลี้ยงคลอเรลลาด้วยมูลปลานิลสดและแห้งมีค่าอยู่ระหว่าง 7.0 – 9.5 ซึ่งเป็นช่วงที่สาหร่ายสีเขียวสามารถเจริญเติบโตได้ดีในช่วงความเป็นกรด-ด่างประมาณ 7.4 – 8.5 (Werner, 2008) โดยความเป็นกรด-ด่างมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น เนื่องจากคลอเรลลามีการใช้คาร์บอนไดออกไซด์ในกระบวนการสังเคราะห์แสง เมื่อคาร์บอนไดออกไซด์อิสระ (free CO_2) ในน้ำหมดไป ไบคาร์บอเนต (HCO_3^-) จะแตกตัวให้คาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) และไฮดรอกไซด์ไอออน (OH^-) ส่งผลให้ความเป็นกรด-ด่างในน้ำเพิ่มขึ้น (Stickney, 1994)

ปริมาณแอมโมเนีย-ไนโตรเจน ไนเตรท-ไนโตรเจน และออร์โทฟอสเฟต ในสารละลายที่เลี้ยงคลอเรลลาด้วยมูลปลานิลสดและแห้ง มีค่าเริ่มต้นเพิ่มขึ้นตามปริมาณมูลปลาที่เพิ่มขึ้น หลังจากนั้นจะมีปริมาณลดลง เนื่องจากคลอเรลลานำแอมโมเนียม ไนเตรท และฟอสเฟตไปใช้ในการเจริญเติบโต โดยสาหร่ายจะดูดซึมไนเตรทเข้าสู่เซลล์ แล้วรีดิวซ์จนได้แอมโมเนียมแล้วเข้าร่วมกับสารอินทรีย์บางชนิดสังเคราะห์เป็นกรดอะมิโน ซึ่งเป็นส่วนประกอบของโปรตีน (ขงยูทธ โอสดสภา, 2543) ส่วนออร์โทฟอสเฟตอยู่ในรูปของสารประกอบฟอสฟอรัสที่สาหร่ายสามารถนำไปใช้ในกระบวนการสังเคราะห์แสง เพื่อการเจริญเติบโต (Isac *et al.* 2003) ทำให้ปริมาณสารประกอบไนโตรเจนและฟอสฟอรัสลดลงเมื่อการเจริญเติบโตของคลอเรลลาเพิ่มขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.2 การศึกษาการเจริญเติบโตของคลอเรลลาที่เลี้ยงด้วยมูลปลานิลสดและแห้ง โดยเพิ่มธาตุอาหารไนโตรเจนและฟอสฟอรัส

5.2.1 การเจริญเติบโตของคลอเรลลาที่เลี้ยงด้วยมูลปลานิลสดและแห้ง เพิ่มธาตุอาหารไนโตรเจนและฟอสฟอรัส

จากการทดลองเลี้ยงคลอเรลลา พบว่ากลุ่มทดลองที่เลี้ยงด้วยมูลปลานิลสดและแห้ง 0.14 กรัม/น้ำหนักแห้งต่อลิตร ที่เพิ่มธาตุอาหารไนโตรเจน 17.33 มิลลิกรัมต่อลิตร ทำให้คลอเรลลามีการเจริญเติบโตและมีปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ สูงสุด และพบว่าปริมาณไนโตรเจนและฟอสฟอรัสมีอิทธิพลร่วมที่มีผลต่อการเจริญเติบโตและปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ ของคลอเรลลา แต่ Fried *et al.* (2003) ได้รายงานว่าไนโตรเจนและฟอสฟอรัสไม่มีอิทธิพลร่วมที่มีผลต่อการเจริญเติบโตของสาหร่ายพวก *Spirogyra*, *Cladophora*, *Euglena*, *Protococcus* และ *Zygnema* แต่ทั้งไนโตรเจนและฟอสฟอรัสต่างก็เป็นปัจจัยที่จำกัดการเจริญเติบโตของสาหร่ายแต่ละชนิด ซึ่งสอดคล้องกับผลการทดลองครั้งนี้ โดยคลอเรลลาที่มีการเจริญเติบโตสูงขึ้นตามปริมาณไนโตรเจนที่เพิ่มขึ้น และเมื่อปริมาณฟอสฟอรัสเพิ่มขึ้นจะทำให้การเจริญเติบโตของคลอเรลลาลดลง เช่นเดียวกับ Qu *et al.* (2008) ที่ศึกษาโดยเติมฟอสฟอรัสระดับต่างๆ ในสูตรอาหาร Basal medium ที่เหมาะสมสำหรับการเลี้ยงคลอเรลลา (*Chlorella pyrenoidosa*) พบว่าการใช้โพแทสเซียมไนเตรท (KNO_3) 173.27 มิลลิกรัมไนโตรเจนต่อลิตร ร่วมกับโพแทสเซียมไดไฮโดรเจนฟอสเฟต (KH_2PO_4) 4.56 มิลลิกรัมฟอสฟอรัสต่อลิตร ทำให้คลอเรลลาเจริญเติบโตได้ดีที่สุด และเมื่อเติมฟอสฟอรัสมากกว่านั้น พบว่าการเจริญเติบโตของคลอเรลลามีแนวโน้มลดลง จากการทดลองของ Levich and Bulgakov (1993) ได้รายงานว่าการเจริญเติบโตของสาหร่ายขึ้นอยู่กับอัตราส่วนของปริมาณไนโตรเจน และฟอสฟอรัสที่เหมาะสมสำหรับสาหร่ายสีเขียวมีอัตราส่วนของไนโตรเจนและฟอสฟอรัสอยู่ที่ 20 – 50 : 1 โดยในการทดลองเลี้ยงสาหร่ายสีเขียวในสูตรอาหารที่มีอัตราส่วนของไนโตรเจนและฟอสฟอรัสระดับต่างๆ พบว่า *Chlorella vulgaris*, *Scenedesmus quadricauda* และ *Chlorella sp.* เจริญเติบโตได้ดีที่อัตราส่วนของไนโตรเจนและฟอสฟอรัส 3.5, 20 และ 50 – 100 เท่าโดยน้ำหนัก ตามลำดับ และมีการเจริญเติบโตลดลงเมื่อมีอัตราส่วนของไนโตรเจนและฟอสฟอรัสน้อยหรือมากกว่านั้น ส่วน Menendez *et al.* (2002) ศึกษาการเลี้ยง *Chaetomorpha linum* ด้วยโซเดียมไนเตรท ($NaNO_3$) แอมโมเนียมคลอไรด์ (NH_4Cl) โพแทสเซียมไดไฮโดรเจนฟอสเฟต (KH_2PO_4) แอมโมเนียมคลอไรด์ร่วมกับโพแทสเซียมไดไฮโดรเจนฟอสเฟต และโซเดียมไนเตรทร่วมกับโพแทสเซียมไดไฮโดรเจนฟอสเฟต พบว่าการเลี้ยงด้วยโซเดียมไนเตรทเพียงอย่างเดียวจะทำให้สาหร่ายมีการ

เอกสารนี้เจริญเติบโต และมีปริมาณคลอโรฟิลล์สูงสุด การศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.2.2 การเปลี่ยนแปลงปัจจัยคุณภาพน้ำในการเลี้ยงคลอเรลลาด้วยมูลปลานิลสดและแห้ง เพิ่มธาตุอาหารไนโตรเจนและฟอสฟอรัส

คุณภาพน้ำระหว่างการเลี้ยงคลอเรลลา พบว่าอุณหภูมิมีค่าอยู่ระหว่าง 28 – 32 องศาเซลเซียส ซึ่งเป็นช่วงที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของคลอเรลลาเช่นเดียวกับการเลี้ยงด้วยมูลปลานิลสดและแห้ง

ความเป็นกรด-ด่างของการเลี้ยงคลอเรลลามีค่าอยู่ระหว่าง 8.0 – 11.0 ซึ่งเป็นช่วงที่สาหร่ายสามารถเจริญเติบโตได้ดี แต่บางช่วงมีความเป็นกรด-ด่างมีค่าสูงกว่าค่าที่เหมาะสมสำหรับสาหร่ายสีเขียว ซึ่งการเจริญเติบโตของคลอเรลลามีการนำคาร์บอนไดออกไซด์จากการแตกตัวของไบคาร์บอเนตไปใช้ในกระบวนการสังเคราะห์แสง ส่งผลทำให้ความเป็นกรด-ด่างเพิ่มขึ้น ซึ่งเป็นไปในทิศทางเดียวกันกับการเลี้ยงด้วยมูลปลานิลสดและแห้ง

ปริมาณแอมโมเนีย-ไนโตรเจนระหว่างการเลี้ยงคลอเรลลามีแนวโน้มลดลง เนื่องจากมีการนำไปใช้เพื่อการเจริญเติบโตของคลอเรลลา สอดคล้องกับ Menedez *et al.* (2002) ที่รายงานว่าคลอเรลลาจะมีการใช้แอมโมเนียมเพิ่มขึ้นเมื่อเติมไนโตรเจนเพียงอย่างเดียว ส่วนการเติมไนโตรเจนร่วมกับฟอสฟอรัสจะมีการใช้ในเตรท-ไนโตรเจนมากกว่ากลุ่มที่เติมไนโตรเจนเพียงอย่างเดียว

5.3 การศึกษาคุณค่าทางโภชนาของคลอเรลลา

จากการศึกษาคุณค่าทางโภชนา พบว่าการเลี้ยงคลอเรลลาด้วยมูลปลานิลสดเพิ่มธาตุอาหารไนโตรเจน 17.33 มิลลิกรัมต่อลิตร มีปริมาณโปรตีนในเซลล์สูงสุด 42.13 ± 0.30 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งคลอเรลลาแต่ละสายพันธุ์จะมีปริมาณโปรตีนแตกต่างกัน โดยการเลี้ยง *Chlorella sorokiniana*, *Chlorella minutissima*, *Chlorella vulgaris*, *Chlorella emersonii* และ *Chlorella protothecoides* ในสูตรอาหาร Watanabe medium พบปริมาณโปรตีนในเซลล์ 45.00 ± 2.90 , 24.00 ± 3.10 , 29.00 ± 2.50 , 32.00 ± 2.90 และ 38.00 ± 3.00 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ (Illman *et al.* 2000) นอกจากนี้ปริมาณโปรตีนในเซลล์คลอเรลลาขึ้นอยู่กับชนิดของอาหารที่ใช้เลี้ยง ซึ่งการเลี้ยงคลอเรลลาด้วยอาหารต่างชนิดกันจะทำให้ปริมาณโปรตีนในเซลล์แตกต่างกัน โดย *Chlorella* sp. ที่เลี้ยงในสูตรอาหาร f/2 พบปริมาณโปรตีนในเซลล์ 58.60 ± 5.19 เปอร์เซ็นต์ (ขนิษฐา ไขเจริญ และคณะ. 2547) ส่วนการเลี้ยง *Chlorella vulgaris* ด้วยน้ำเสียจากเมือง พบปริมาณโปรตีนในเซลล์ 24 เปอร์เซ็นต์ (Sreesai and Pakpain. 2007) และการใช้แหล่งของสารประกอบไนโตรเจนที่ต่างกันส่งผลทำให้ปริมาณโปรตีนในเซลล์คลอเรลลามีความแตกต่างกัน โดย Taha and Allam (1959) ได้ศึกษาการใช้สารประกอบไนโตรเจนซึ่งเป็นปัจจัยหนึ่งที่มีผลต่อปริมาณโปรตีนในเซลล์คลอเรลลา ได้แก่ โพแทสเซียมไนเตรท (KNO_3) ยูเรีย (urea) แอมโมเนียมคลอไรด์ (NH_4Cl) และแอมโมเนียมไนเตรท (NH_4NO_3)

เลี้ยง *Chlorella ellipsoidea* พบว่าการใช้โพแทสเซียมไนเตรททำให้ *C. ellipsoidea* มีโปรตีนในเซลล์สูงสุด 54.38 เปอร์เซ็นต์ รองลงมาคือการใช้ยูเรีย แอมโมเนียมไนเตรท และแอมโมเนียมคลอไรด์



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 6

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

1. การเลี้ยงคอกอเรลลาด้วยมูลปลานิลสดและแห้ง ทำให้การเจริญเติบโตของคอกอเรลลาเพิ่มขึ้นตามปริมาณมูลปลานิลที่ใช้ โดยการใช้มูลปลานิลสดและแห้ง 0.14 กรัมน้ำหนักแห้งต่อลิตร มีการเจริญเติบโตของคอกอเรลลาสูงกว่าระดับอื่น มีความหนาแน่นของคอกอเรลลา $(16.01 \pm 0.20) \times 10^7$ และ $(8.73 \pm 0.22) \times 10^7$ เซลล์ต่อมิลลิลิตร ตามลำดับ ซึ่งต่ำกว่าการเลี้ยงด้วยอาหารเลี้ยงคอกอเรลลาสูตรคัดแปลงประมาณ 3 – 4 เท่า

2. การเลี้ยงคอกอเรลลาด้วยมูลปลานิลสดและแห้ง โดยเพิ่มธาตุอาหารไนโตรเจนร่วมกับฟอสฟอรัส ทำให้คอกอเรลลาที่มีการเจริญเติบโตดีกว่าการใช้อาหารเลี้ยงคอกอเรลลาสูตรคัดแปลง โดยการเพิ่มธาตุอาหารไนโตรเจน 17.33 มิลลิกรัมต่อลิตรเพียงอย่างเดียว มีการเจริญเติบโตของคอกอเรลลาสูงสุด ทั้งกลุ่มที่เลี้ยงด้วยมูลปลานิลสดและกลุ่มที่เลี้ยงด้วยมูลปลานิลแห้ง มีความหนาแน่นของคอกอเรลลา $(27.14 \pm 0.91) \times 10^7$ และ $(27.31 \pm 0.32) \times 10^7$ เซลล์ต่อมิลลิลิตร และมีปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ 1.827 \pm 0.202 และ 1.504 \pm 0.035 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ ซึ่งการเจริญเติบโตของคอกอเรลลามีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามปริมาณไนโตรเจนที่เพิ่มขึ้น และปริมาณฟอสฟอรัสที่ลดลง

3. คุณค่าทางโภชนาของคอกอเรลลา พบว่าการใช้มูลปลานิลสดเพิ่มธาตุอาหารไนโตรเจน 17.33 มิลลิกรัมต่อลิตร มีโปรตีนสูงสุด 42.13 \pm 0.30 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งสูงกว่าการใช้มูลปลานิลแห้งและการเลี้ยงด้วยอาหารเลี้ยงคอกอเรลลาสูตรคัดแปลง

4. การใช้มูลปลานิลสดและแห้งเพิ่มธาตุอาหารไนโตรเจน สามารถช่วยลดปริมาณการใช้สารเคมี และลดต้นทุนการผลิตคอกอเรลลาได้ โดยมีต้นทุนต่ำกว่าการใช้อาหารเลี้ยงคอกอเรลลาสูตรคัดแปลงประมาณ 2 – 3 เท่า

ข้อเสนอแนะ

ควรมีการศึกษาการเลี้ยงคอกอเรลลาด้วยมูลปลานิลสดและแห้งระดับต่างๆ ในปริมาณที่มากขึ้น เช่น ในบ่อขนาดใหญ่ เพื่อศึกษาความเป็นไปได้ที่จะนำไปใช้ในฟาร์มขนาดใหญ่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะมิใช่ใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บรรณานุกรม

- กรมควบคุมมลพิษ. 2550. การประเมินมลพิษจากแหล่งกำเนิดที่เป็นบ่อเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ. [Online]. Available : <http://203.151.120.240/pcd/>. 19/10/2007.
- กาญจนวดี คงขิม. 2546. “การบำบัดแอมโมเนียในน้ำทิ้งจากบ่อเลี้ยงกุ้งโดยใช้สาหร่ายเซลล์เดียว.” วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมเคมี, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.
- ขนิษฐา ไช้เจริญ, วิไลลักษณ์ จำรูญ และสาธิต โกวิทวที. 2547. “ปริมาณโปรตีนในสาหร่าย 4 ชนิด *Chlorella* sp., *Kirchneriella* sp., *Navicula* sp. และ *Coccomyxa* sp. ที่ระยะเวลาการเลี้ยงต่างๆ.” หน้า 244-299. ใน การประชุมวิชาการของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 42 สาขาประมง สาขาอุตสาหกรรมเกษตร. กรุงเทพฯ : มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- ชาญเดช วงศ์วิบูลย์. 2543. “ผลของการใช้คลอเรลลาในการอนุบาลลูกกุ้งกุลาดำ (*Penaeus monodon* Fabricius) ระยะ โปสต์ลาร์วา (พี5-พี15) ที่ใช้อาหารมีชีวิตและไม่มีชีวิต”. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- มาวิทย์ อัสวารีย์ และธิดา เพชรมณี. 2534. ปัจจัยบางประการที่มีผลต่อการเพิ่มจำนวนของคลอเรลลาในห้องปฏิบัติการ. เอกสารวิชาการฉบับที่ 5/2534. สถาบันวิจัยและเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำชายฝั่ง สำนักวิจัยและพัฒนาประมงชายฝั่ง.
- ขงยุทธ โอสดสภา. 2543. ธาตุอาหารพืช. กรุงเทพฯ : สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- สถาพร คิเรกบุษราคม, ธิดา เพชรมณี และชาญเดช วงศ์วิบูลย์. 2542. “ผลของการควบคุมให้มีคลอเรลลาในบ่ออนุบาลลูกกุ้งกุลาดำในระยะ โปสต์ลาร์วา (พี5-พี15).” หน้า 113. ใน การประชุมทางวิชาการของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 36 : บทคัดย่อ 3-5 กุมภาพันธ์ 2541. กรุงเทพฯ : มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- สมชาย หวังวิบูลย์กิจ, อัจฉรี เรืองเดช และบุปผา จงพัฒน์. 2548. “ผลของวิตามินบี 1 และบี 12 ต่อปริมาณคลอโรฟิลล์-เอ และการเจริญเติบโตของคลอเรลลา.” หน้า 260-266. ใน การประชุมทางวิชาการครั้งที่ 43. กรุงเทพฯ : มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- Amirkolaie, A.K. 2005. “Dietary Carbohydrate and Faecal Waste in the Nile Tilapia (*Oreochromis niloticus* L.)”. Ph.D.Thesis, Wageningen University.
- AOAC. 1995. **Official Methods of Analysis of AOAC International**. 16th ed. Arlington : AOAC International.
- ไม่ว่ากรณี APHA. 2005. **Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater**. 21st ed. Washington D.C. : American Public Health Association.

- Behrens, P.W. and Kyle, D.J. 1996. "Microalgae as a Source of Fatty Acids." **Journal of Food Lipids**. 3(4) : 259-272.
- Berman, T. and Chava, S. 1999. "Algal Growth on Organic Compounds as Nitrogen Sources." **Journal of Plankton Research**. 21(8) : 1423-1437.
- Cloot, A. and Roos, J.C. 1996. "Modelling of a Relationship between Phosphorus, pH, Calcium and Chlorophyll-a Concentration." **Water SA**. 22(1) : p.49.
- Dahril, T., Ahmad, M. and Iizuka, S. 1995. "Effect of Human Excreta on the Growth of a Freshwater Green Alga (*Chlorella* sp.) and a Rotifer (*Brachionus calyciflorus*)." **Asian Fisheries Science**. 8(1) : 41-46.
- Dahril, T., Ahmad, M. and Iizuka, S. 1998. "Effect of Various Animal Manures on the Growth of a Freshwater Green Algae (*Chlorella* spp.) and a Rotifer (*Brachionus calyciflorus*)." **Asian Fisheries Science**. 11 : 193-201.
- Deas, M.L. and Orlob, G.T. 1999. "Assessment of Alternatives for Flow and Water Quality Control in the Klamath River below Iron Gate Dam." **Environmental and Water Resources Engineering Report**. 99(4) : 236.
- Djokosetiyanto, D. 2005. **Manipulasi Cahaya Terhadap Tingkat Pertumbuhan *Chlorella* sp.** [Online]. Available : http://www.journal.unair.ac.id/detail_jurnal.php?id=MjI20A=&med=20&bid=4. 6/3/2008.
- El-Sayed, A.F.M. and Kawanna, M. 2008. "Optimum Water Temperature Boosts the Growth Performance of Nile Tilapia (*Oreochromis niloticus*) Fry Reared in a Recycling System." **Aquaculture Research**. p. 1-3.
- Fisheries and Aquaculture Department. 2008. **Use of Micro-algae in Aquaculture**. [Online]. Available : <http://www.fao.org/docrep/003/W3732E/w3732e08.htm>. 6/3/2008.
- Fried, S., Mackie, B. and Nothwehr, E. 2003. "Nitrate and Phosphate Level Positively Affect the Growth of Algae Species Found in Perry Pond." **Tillers**. 4 : 21-24.
- Goldman, C.R., Marzolf, E.R. and Elser, J.J. 1990. "Phosphorus and Nitrogen Limitation of Phytoplankton Growth in the Freshwater of North America : A Review and Critique of Experimental Enrichments." **Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences**. 47(7) : 1468-1477.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- Gouveia, L., Gomes, E. and Empis, J. 1997. "Use of *Chlorella vulgaris* in Rainbow Trout, *Oncorhynchus mykiss*, Diets to Enhance Muscle Pigmentation." **Journal of Applied Aquaculture**. 7(2) : 61-70.
- Gouveia, L., Choubert, G., Pereira, N., Santinha, J., Empis, J. and Gomes, E. 2002. "Pigmentation of Gilthead Seabream, *Sparus aurata* (L. 1875), Using *Chlorella vulgaris* (Chlorophyta, Volvocales) Microalgae." **Aquaculture Research**. 33(12) : 987-993.
- Heuer, S. 2007. **Chlorella Binds Heavy Metals and Toxin in the Intestines for Elimination : This Clean the Liver out and Allows for the Liver to Increase Its Albumin Protein Production**. South Carolina : Cocoon Nutrition.
- Illman, A.M., Scragg, A.H. and Shales, S.W. 2000. "Increase in Chlorella Strains Calorific Values when Grown in Low Nitrogen Medium." **Enzyme and Microbial Technology**. 27 : 631-635.
- Isac, L., Dumitrescu, L., Dragan, D., Manciualea, I. and Tica, R. 2003. "The Phosphorus Biogeochemical Cycle in Brasov District Lakes." **Ovidius University Annals of Chemistry**. 14(1) : 24-27.
- Iwama, G.K. 1991. "Interaction Between Aquaculture and Environment." **CRC Critical Reviews in Environmental Control CCECAU**. 21(2) : 177-216.
- Ji, Y. and Sherrell, R.M. 2008. "Differential Effects of Phosphorus Limitation on Cellular Metals in *Chlorella* and *Microcystis*." **Limnology Oceanography**. 53(5) : 1790-1804.
- Koo, J., Bai, S.C., Kim, K. and Kim, S. 2001. "Optimum Dietary Level of Chlorella Powder as a Feed Additive for Growth Performance of Juvenile Olive Flounder, *Paralichthys olivaceus*." **Journal of Applied Aquaculture**. 11(1/2) : 55-66.
- Lau, P.S., Tam, N.F.Y. and Wong, Y.S. 1995. "Effect of Algal Density on Nutrient Removal from Primary Settled Wastewater." **Environmental Pollution**. 89(1) : 59-66.
- Levich, A.P. and Bulgakov, N.G. 1993. "Possibility of Controlling the Algal Community Structure in the Laboratory." **Biology Bulletin of the Academy of Sciences of the USSR**. 20(1) : 114-123.
- Liu, C.P. and Lin, L.P. 2003. "Removals of Nitrogen, Phosphorus and Heavy Metals from Swine Wastewater by Microalgae." **Taiwanese Journal of Agricultural Chemistry and Food Science**. 41(6) : 480-487.

- Lucia-Pavon, E., Sarma, S.S.S. and Nandina, S. 2001. "Effect of Different Densities of Live and Dead *Chlorella vulgaris* on the Population Growth of Rotifers *Branchionus calyciflorus* and *Branchionus patulus* (ritifera)." **Review Biological Tropical**. 49 : 3-4.
- Maruyama, I., Nakao, T., Shigeno, I., Ando, Y. and Hirayama, K. 1997. "Application of Unicellular Algae *Chlorella vulgaris* for the Mass-culture of Marine Rotifer *Branchionus*." **Hydrobiologia**. 358(1-3) : 133-138.
- Menendez, M., Herrera, J. and Comin, F.A. 2002. "Effect of Nitrogen and Phosphorus Supply on Growth, Chlorophyll Content and Tissue Composition of the Macroalga *Chaetomorpha linum* (O.F. Mull.) Kutz in a Mediterranean Coastal Lagoon." **Scientia Marina**. 66(4) : 355-364.
- Mohapatra, P.K., Nayak, N. and Mohanty, R.C. 2002. "Effect of Nitrogen and Phosphorus Limitation on Growth of Some Planktonic Green Algae." **Journal of Microbiology**. 42(4) : 309-314.
- Mostary, S., Rahman, M.S. and Hossain, M.A. 2007. "Culture of Rotifer *Branchionus angularis* Hauer Feeding with Dried *Chlorella*." **University Journal Zoological Rajshahi University**. 26 : 73-76.
- Mungkarndee, P., Chalorkpunrut, P. and Wirojanagud, W. 2005. "Point Source Contamination from Nile Tilapia (*Oreochromis niloticus*) Aquaculture." **Thai Environmental Engineering Journal**. 19(3) : 47-55.
- Nagashima, H., Shimizu, M., Ohtani, S. and Momose, H. 1993. "Effect of Temperature on the Photosynthesis of Antarctic Freshwater Green Algae." p.178. in **Proceedings of the NIPR Symposium on Polar Biology**. Nishikawatsu : Shimane University.
- Nandlal, S. and Pickering, T. 2004. **Tilapia Fish Farming in Pacific Island Countries : Volume One : Tilapia Hatchery Operation**. New Caledonia : Secretariat of the Pacific Community.
- Nasrolahi, A., Sari, A., Saifabadi, S. and Malek, M. 2007. "Effect of Algal Diet on Larval Survival and Growth of the Barnacle *Amphibalanus* (= *Balanus*) *improvisus*." **Journal of the Marine Biological Association of the UK**. 87 : 1227-1233.
- Northcote, D.H. and Goulding, K.J. 1958. "The Chemical Composition and Structure of the Cell Wall of *Chlorella pyrenoidosa*." **Biochemical Journal**. 70(3) : 391-397.
- Northwest Fisheries Science Center. 2008. **Algal Bloom Dynamics**. [Online]. Available : http://www.nwsfc.noaa.gov/hab/habs_toxins/phytoplankton/algal_dynamics.html. 18/11/2008.

- Parker, R. 1995. **Aquaculture Science**. New York : Delmar Publishers.
- Popma, T. and Masser, M. 1999. **Tilapia : Life History and Biology**. SRAC Publication no. 283. USA.
- Qin, J. 2005. **Bio-hydrocarbons from Algae : Impacts of Temperature, Light and Salinity on Algal Growth**. Barton : RIRDC Publication.
- Qu, C.B., Wu, Z.Y. and Shi, X.M. 2008. "Phosphate Assimilation by *Chlorella* and Adjustment of Phosphate Concentration in Basal Medium for Its Cultivation." **Biotechnology Letter**. 30 : 1735-1740.
- Satoshi, H., Masao, H., Masahito, T. and Setsuji, T. 1996. "Carbondioxide Fixation in Batch Culture of *Chlorella* sp. Using a Photobioreactor with a Sunlight-collection Device." **Journal of Fermentation and Bioengineering**. 81(5) : 470-472.
- Shi, J., Podola, B.A. and Melkonian, M. 2007. "Removal of Nitrogen and Phosphorus from Wastewater Using Microalgae Immobilized on Twin Layers : An Experimental Study." **Journal Applied Phycology**. 19(5) : 417-423.
- Singh, P.K. 1974. "Effect of pH on Growth and Nitrogen Fixation in *Aphanothece* (Cyanophyta)." **Oikos**. 25(1) : 114-116.
- Sreesai, S. and Pakpain, P. 2007. "Nutrient Recycling by *Chlorella vulgaris* from Septage Effluent of the Bangkok City, Thailand." **Science Asia**. 33 : 293-299.
- Stickney, R.R. 1994. **Principles of Aquaculture**. New York : John Wiley & Sons.
- Tabthipwon, P. 2006. **Aquaculture Development Toward the Sustainable and Environment Management in Thailand**. [Online]. Available : <http://www.agnet.org/activities/sw/2006/836795253/paper-162672043.pdf>. 6/3/2008.
- Taha, E.E.M. and Allam, A.M. 1959. "Physiological and Biochemical Studies on Egyptian Fresh Water Algae (V) Growth and Cell Protein of *Chlorella ellipsoidea* as Influenced by Culture Conditions." **Archiv fur Mikrobiologie**. 34 : 393-400.
- Tam, N.F.Y. and Wong, Y.S. 1989. "Wastewater Nutrient Removal by *Chlorella pyrenoidosa* and *Scenedesmus* sp." **Environmental Pollution**. 58(1) : 19-34.
- Tam, N.F.Y. and Wong, Y.S. 1996. "Effect of Ammonia Concentrations on Growth of *Chlorella vulgaris* and Nitrogen Removal from Media." **Bioresource Technology**. 57(1) : 45-50.
- Tam, N.F.Y. and Wong, Y.S. 2000. "Effect of Immobilized Microalgal Bead Concentrations on Wastewater Nutrient Removal." **Environmental Pollution**. 107(1) : 145-151.

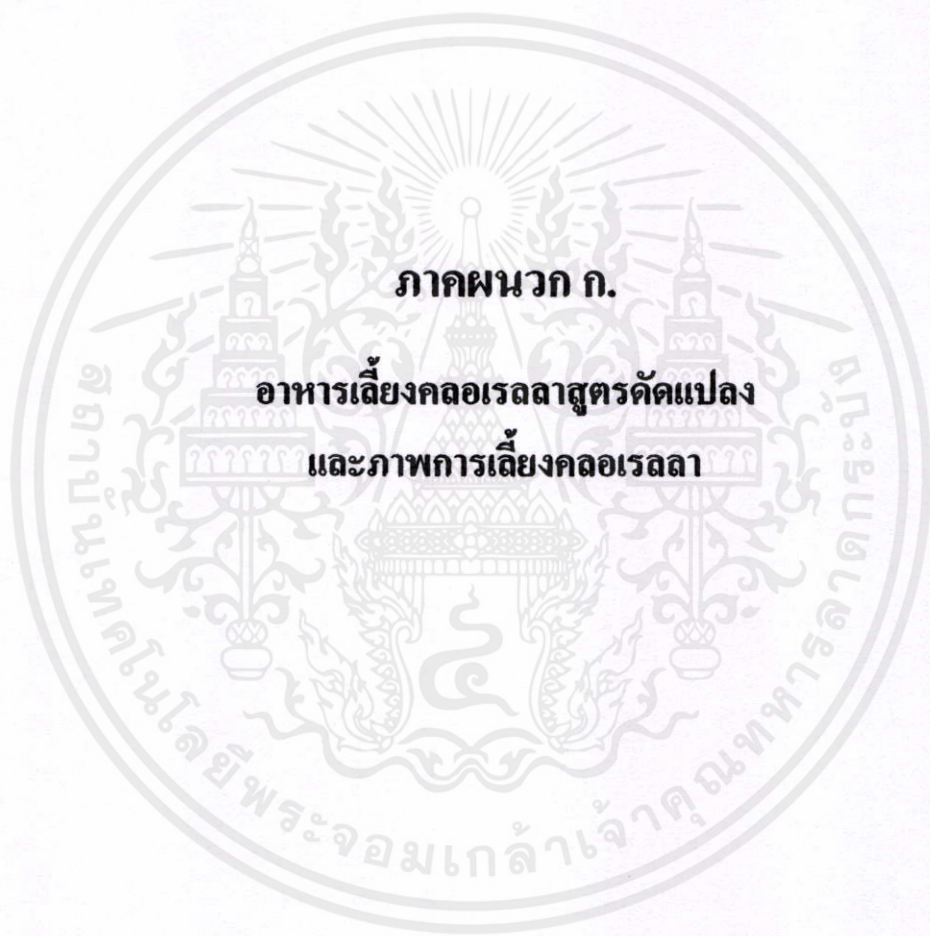
- Tubea, B., Hawxby, K. and Mehta, R. 1981. "The Effect of Nutrient, pH and Herbicide Levels on Algal Growth." **Hydrobiologia**. 79(3) : 221-227.
- United States Environmental Protection Agency. 2008. **Monitoring and Assessing Water Quality**. [Online]. Available : <http://www.epa.gov/volunteer/stream/vms56.html>. 24/11/2008.
- Werner, G. 2008. **A Process for Suppressing the Growth of Green Algae in Aqueous Systems**. [Online]. Available : <http://www.wipo.int/pctdb/en/wo.jsp?wo=2005007586&IA=WO2005007586&DISPLAY=DESC>. 6/3/2008.
- Wikfors, G.H. and Ohno, M. 2001. "Impact of Algal Research in Aquaculture." **Journal of Phycology**. 37(6) : 968-974.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาคผนวก ก.

**อาหารเลี้ยงคณาจารย์ดัดแปลง
และภาพการเลี้ยงคณาจารย์**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางภาคผนวก ก.1 อาหารเลี้ยงเชื้อคลอเรลลาสูตรดัดแปลง (สมชาย หวังวิบูลย์กิจ และคณะ. 2548)

สารเคมี	ปริมาณ (มิลลิกรัมต่อลิตร)	ราคา (บาทต่อกรัม)
NaNO ₃	117.000	0.10
KH ₂ PO ₄	15.000	0.18
MgSO ₄ ·7H ₂ O	8.750	0.04
CaCl ₂	1.670	0.08
EDTA	5.000	0.40
FeCl ₃ ·6H ₂ O	0.410	1.50
CuSO ₄ ·5H ₂ O	0.160	0.63
ZnSO ₄ ·7H ₂ O	0.880	0.60
CoCl ₂ ·6H ₂ O	0.035	5.50
MnCl ₂ ·4H ₂ O	0.140	1.36
MoO ₃	0.070	14.40
H ₃ BO ₃	1.140	0.80
vitamin B ₁₂	0.005	13.84
KNO ₃ *	125.000	0.75

* ใช้เป็นแหล่งของไนโตรเจนในการทดลองที่ 2

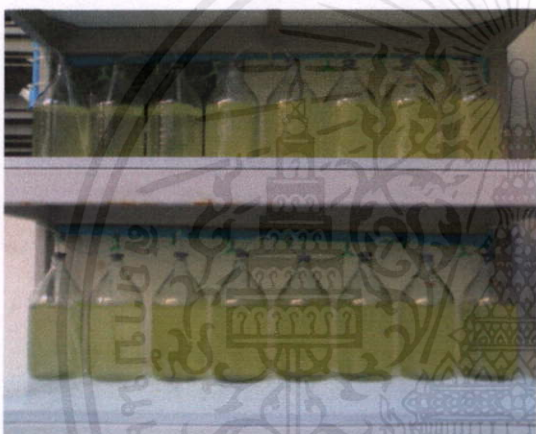
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ก



ข



ค



ง

ภาพภาคผนวก ก.1 การเลี้ยงคลอเรลลา

- ก มูลปลานิลสด
- ข มูลปลานิลแห้ง
- ค การเลี้ยงคลอเรลลาในขวดแก้วปริมาตร 1 ลิตร
- ง การเลี้ยงคลอเรลลาเพื่อเพิ่มปริมาณสำหรับการวิเคราะห์คุณค่าทางโภชนาการในถัง ปริมาตร 30 ลิตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาคผนวก ข.

สารเคมีวิเคราะห์คุณภาพน้ำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข.1 สารเคมีวิเคราะห์แอมโมเนีย-ไนโตรเจน ($\text{NH}_3\text{-N}$) โดยวิธี phenate methods

1. ammonium chloride
2. phenol reagent
3. sodium nitropasside
4. oxidizing agent

ข.2 สารเคมีวิเคราะห์ไนไตรท์-ไนโตรเจน ($\text{NO}_2\text{-N}$) โดยวิธี colorimetric method

1. sodium nitrite
2. sulfanilamide
3. NNED

ข.3 สารเคมีวิเคราะห์ไนเตรท-ไนโตรเจน ($\text{NO}_3\text{-N}$) โดยวิธี cadmium reduction method

1. potassium nitrate
2. buffer solution I
3. sulfanilamide
4. NNED

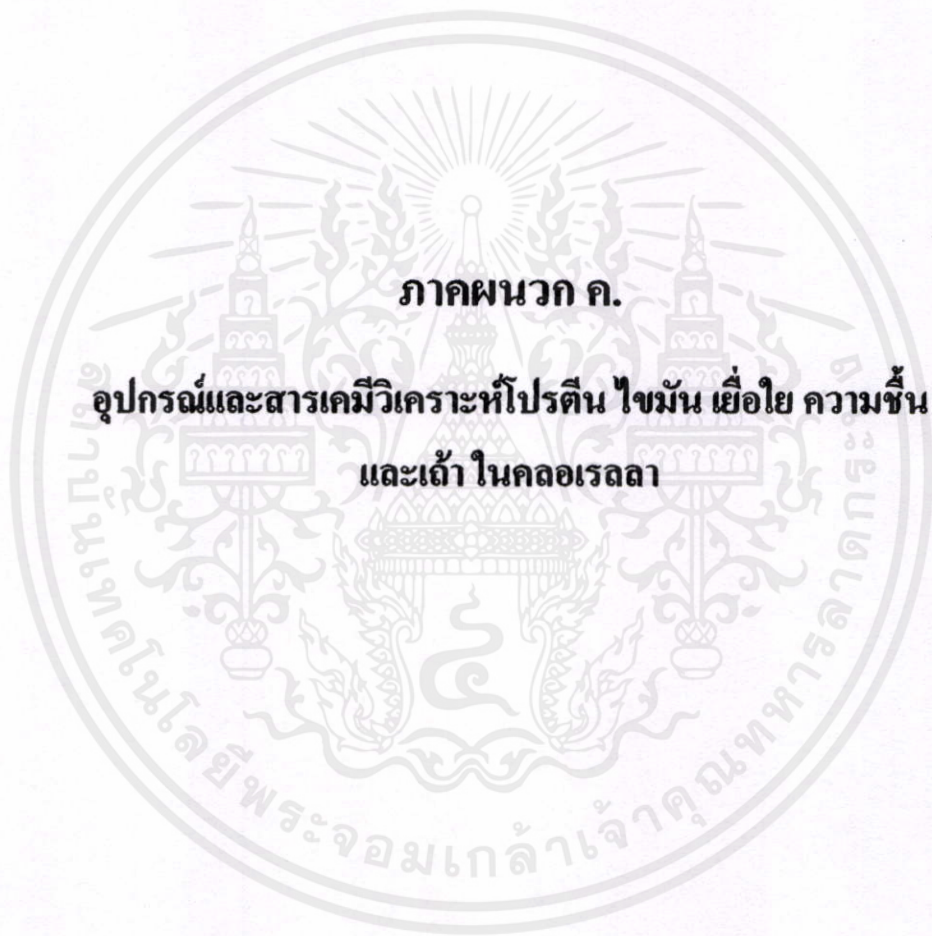
ข.4 สารเคมีวิเคราะห์ออร์โธฟอสเฟต (SRP) โดยวิธี ascorbic acid method

1. potassium dihydrogen phosphate
2. phenolphthalein
3. 5 N H_2SO_4
4. combine reagent

ข.5 สารเคมีวิเคราะห์ความเป็นด่าง (alkalinity) โดยวิธี titration method

1. phenolphthalein
2. methyl orange

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาคผนวก ค.

**อุปกรณ์และสารเคมีวิเคราะห์โปรตีน ไขมัน เยื่อใย ความชื้น
และเถ้า ในคอลลอยดอล**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค.1 อุปกรณ์และสารเคมีวิเคราะห์โปรตีน โดยวิธี Kjeldahl method

1. ชุดเครื่องแก้ววิเคราะห์โปรตีน
2. catalyst mixture (copper sulfate + potassium sulfate)
3. 4 % boric acid
4. mix indicator (bromocresol green + methyl red)
5. 0.1 N H_2SO_4
6. conc. H_2SO_4

ค.2 อุปกรณ์และสารเคมีวิเคราะห์ไขมัน โดยวิธี ether extract

1. ชุดเครื่องแก้ววิเคราะห์ไขมัน
2. round bottom flask
3. diethyl ether

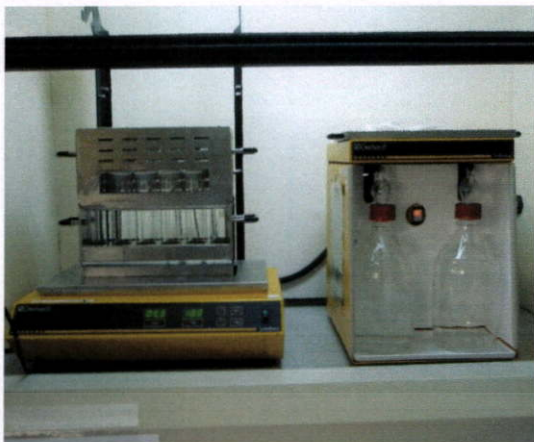
ค.3 อุปกรณ์และสารเคมีวิเคราะห์เยื่อใย โดยวิธี fiber bag system

1. ชุดเครื่องแก้ววิเคราะห์เยื่อใย
2. 0.255 N H_2SO_4
3. 0.313 N NaOH
4. fiber bag
5. crucible
6. เตาเผา (muffle furnace)

ค.4 อุปกรณ์และสารเคมีวิเคราะห์ความชื้นและเถ้า

1. crucible
2. tong
3. ตู้อบลมร้อน
4. เตาเผา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ก



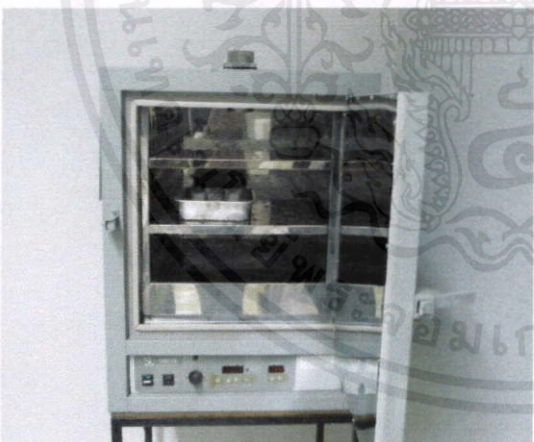
ข



ค



ง



จ



ฉ

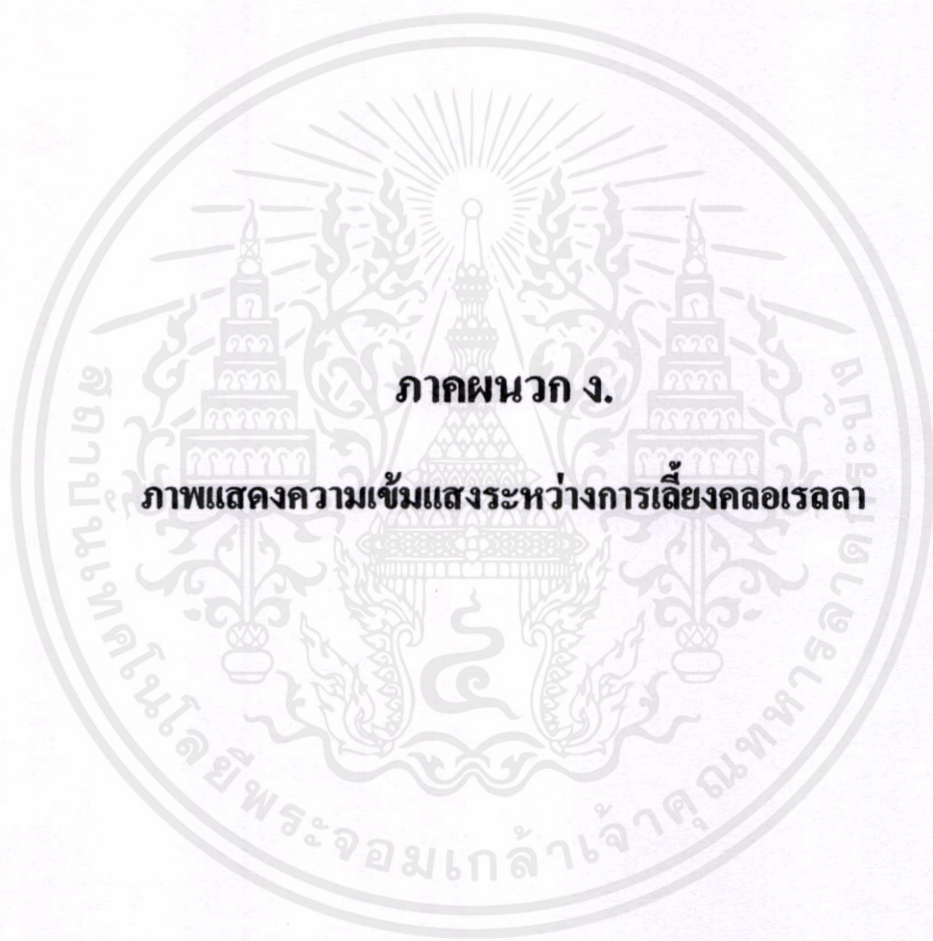
ภาพภาคผนวก ค.1 เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้วิเคราะห์คุณค่าทางโภชนา

ก-ข เครื่องย่อยและเครื่องกลั่นสำหรับวิเคราะห์โปรตีน

ค เครื่องวิเคราะห์ไขมัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

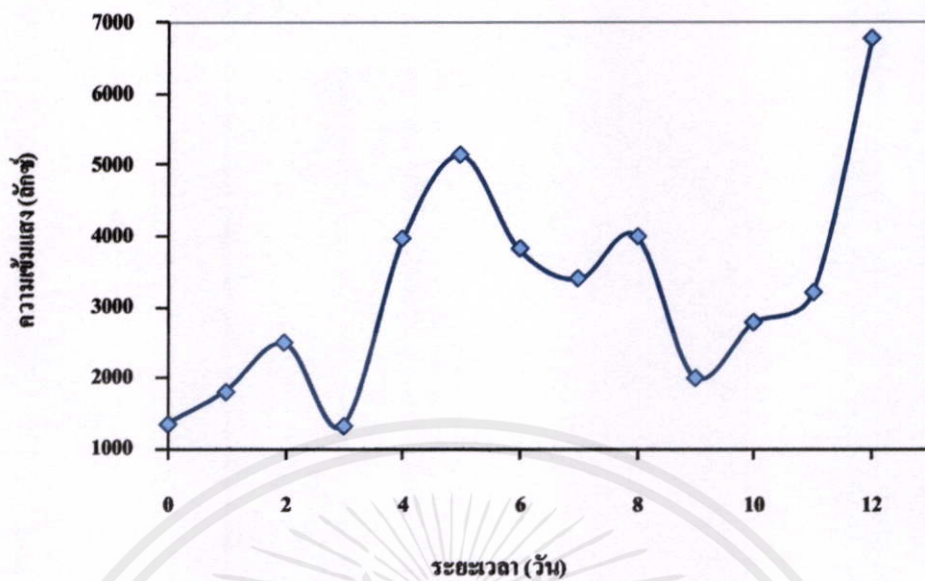
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น **จ-ฉ** ตู้บลิทร้อนและเตาเผาที่ใช้วิเคราะห์ความชื้นและเถ้าสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



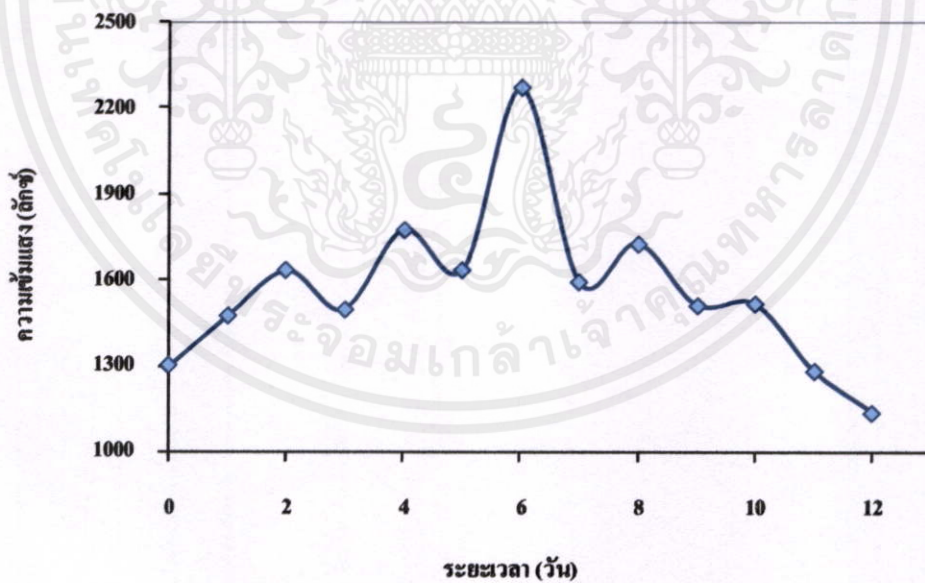
ภาคผนวก ง.

ภาพแสดงความเข้มแสงระหว่างการเลี้ยงคลอเรลลา

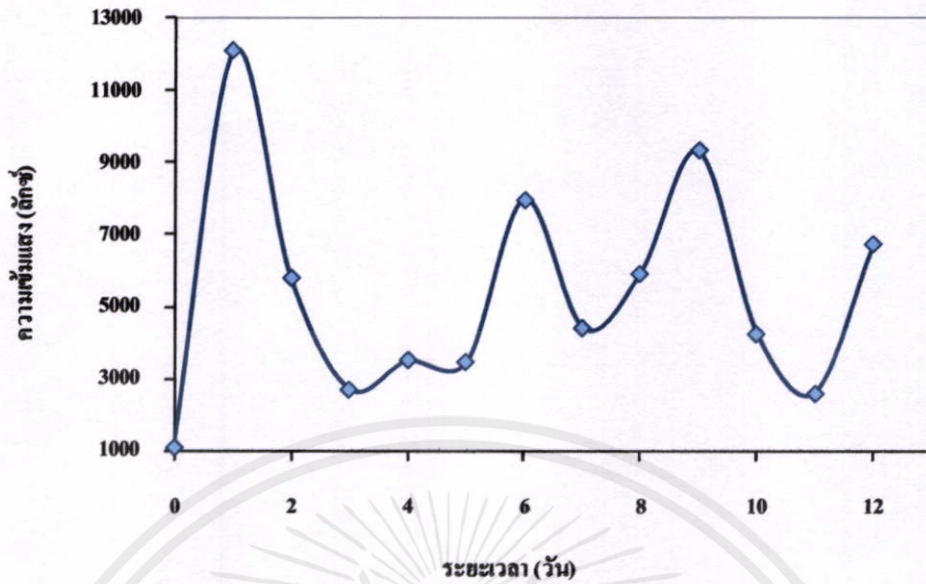
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



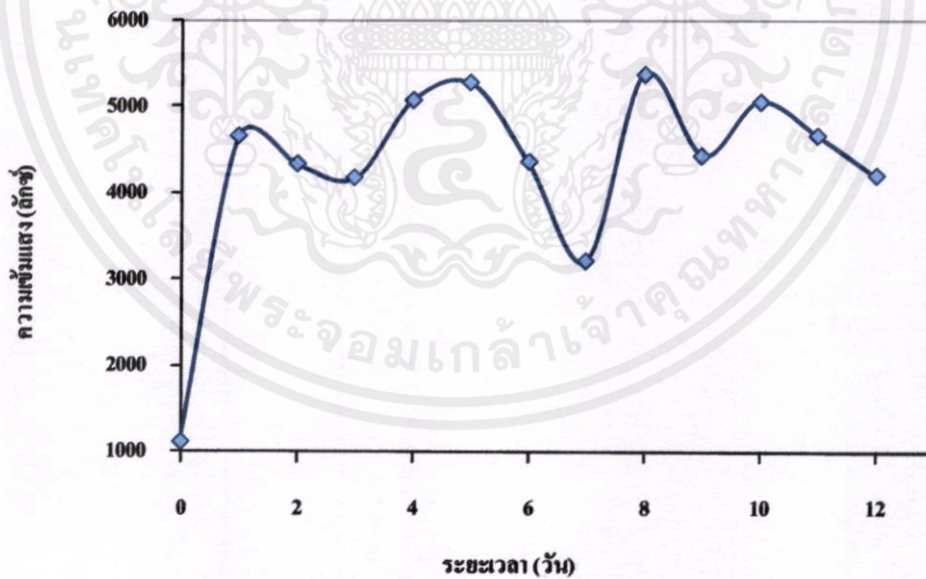
ภาพภาคผนวก ง.1 ความเข้มแสงระหว่างการเลี้ยงคลอเรลลาที่ใช้มูลปลานิลสดเป็นธาตุอาหาร โดย
มีค่าเฉลี่ยความเข้มแสง $3,241 \pm 433$ ลักซ์



เอกสารนี้ ภาพภาคผนวก ง.2 ความเข้มแสงระหว่างการเลี้ยงคลอเรลลาที่ใช้มูลปลานิลแห้งเป็นธาตุอาหาร ถ้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้าม โดยมิตัวเฉลี่ยความเข้มแสง $1,566 \pm 77$ ลักซ์ ของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพภาคผนวก ง.3 ความชื้นแฉะระหว่างการเลี้ยงคลอเรลลาที่ใช้มูลปลานิลสด 0.14 กรัม น้ำหนักแห้ง ต่อลิตร เพิ่มธาตุอาหารไนโตรเจนและฟอสฟอรัส โดยมีค่าเฉลี่ยความชื้นแฉะ $5,385 \pm 851$ กิโลกรัม



ภาพภาคผนวก ง.4 ความชื้นแฉะระหว่างการเลี้ยงคลอเรลลาที่ใช้มูลปลานิลแห้ง 0.14 กรัม ต่อลิตร เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้เพิ่มธาตุอาหารไนโตรเจนและฟอสฟอรัส โดยมีค่าเฉลี่ยความชื้นแฉะ ถ้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้า: $4,315 \pm 309$ กิโลกรัม และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

