ห้องสมุดงานวิจัย สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ
203348

การบำบัดน้ำทิ้งจากโรงงานผลิตเส้นขนมจีนโดยใช้สไปรูไลน่า (*Spirulina* sp.) และคลอเรลลา (*Chlorella* sp.)

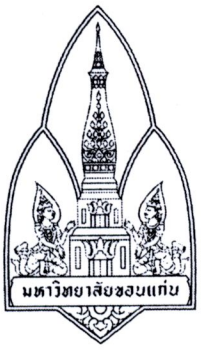
WASTE WATER TREATMENT FROM FERMENTED RICE NOODLE FACTORY BY USING *Spirulina* sp. AND *Chlorella* sp.

นางสาวศิรินภา พงษ์พีระ

วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
มหาวิทยาลัยขอนแก่น
พ.ศ. 2553

b0092991O8

ห้องสมุดงานวิจัย สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชา
203348



การบำบัดน้ำทิ้งจากโรงงานผลิตเส้นขนมจีนโดยใช้สไปรูไลน่า (*Spirulina* sp.) และคลอเรลลา (*Chlorella* sp.)

WASTE WATER TREATMENT FROM FERMENTED RICE NOODLE FACTORY BY USING *Spirulina* sp. AND *Chlorella* sp.

นางสาวศิรินภา พงษ์พีระ

วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

มหาวิทยาลัยขอนแก่น

พ.ศ. 2553

การบำบัดน้ำทิ้งจากโรงงานผลิตเส้นขนมจีน โดยใช้ สไปรูไลน่า (*Spirulina* sp.) และคลอเรลลา (*Chlorella* sp.)

นางสาวศิรินภา พงษ์พีระ

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาชีววิทยา
บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยขอนแก่น
พ.ศ. 2553

WASTE WATER TREATMENT FROM FERMENTED RICE NOODLE FACTORY BY USING *Spirulina* sp. AND *Chlorella* sp.

MISS SIRINAPA PONGPEERA

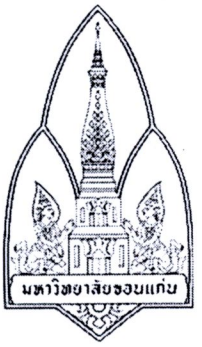
A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT OF THE REQUIREMENTS

FOR THE DEGREE OF MASTER OF SCIENCE

IN BIOLOGY

GRADUATE SCHOOL KHON KAEN UNIVERSITY

2010



ใบรับรองวิทยานิพนธ์

มหาวิทยาลัยขอนแก่น

หลักสูตร

วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาชีววิทยา

ชื่อวิทยานิพนธ์: การบำบัดน้ำทิ้งจากโรงงานผลิตเส้นขนมจีนโดยใช้สไปรูไลน่า (*Spirulina* sp.) และคลอเรลลา (*Chlorella* sp.)

ชื่อผู้ทำวิทยานิพนธ์: นางสาวศิรินภา พงษ์พีระ

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

รศ. ดร. ปิยะดา ธีระกุลพิศุทธิ์	ประธานกรรมการ
รศ. ดร. สุมนทิพย์ บุนนาค	กรรมการ
ดร. อนวัช สุวรรณกุล	กรรมการ

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์:

..... อาจารย์ที่ปรึกษา

(รองศาสตราจารย์ ดร. สุมนทิพย์ บุนนาค)

.....

(รองศาสตราจารย์ ดร.ลำปาง แม่นมาตย์)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

.....

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.เกียรติ แสงอรุณ)

คณบดีคณะวิทยาศาสตร์

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยขอนแก่น

ศิรินภา พงษ์พีระ. 2553. **การบำบัดน้ำทิ้งจากโรงงานผลิตเส้นขนมจีนโดยใช้สไปรูไลน่า (*Spirulina* sp.) และคลอเรลลา (*Chlorella* sp.).** วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาชีววิทยา บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยขอนแก่น.
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์: รศ.ดร. สุมนทิพย์ บุนนาค

บทคัดย่อ

203348

สาหร่ายสไปรูไลน่า (*Spirulina platensis*) เป็นสาหร่ายเซลล์เดียว สีเขียวแกมน้ำเงิน อยู่ใน Family Oscillatoriaceae และสาหร่ายคลอเรลลา เป็นสาหร่ายสีเขียวอยู่ใน Family Chlorellaceae สาหร่ายทั้งสองชนิด สามารถเจริญเติบโตได้ในแหล่งน้ำเสีย และพบว่าสามารถลดค่าไนเตรท-ไนโตรเจน และฟอสฟอรัสรวมจากโรงงานผลิตขนมจีนได้ ในการวิจัยครั้งนี้มีวัตถุประสงค์ เพื่อศึกษาผลของการเจริญเติบโตสาหร่ายสไปรูไลน่า และคลอเรลลาในน้ำทิ้ง และความสามารถของสาหร่ายทั้งสองชนิดในการลดค่าไนเตรท-ไนโตรเจนและฟอสฟอรัสรวมของน้ำทิ้งจากโรงงานขนมจีน การทดลองที่ 1 ศึกษาอัตราส่วนที่เหมาะสมระหว่างอาหาร Zarrouk ที่ใช้เลี้ยงสไปรูไลน่า และ Beijerinck ที่ใช้เลี้ยงสาหร่ายคลอเรลลา กับน้ำทิ้งความเข้มข้น 5 ระดับ คือ 0 25 50 75 และ 100 เปอร์เซ็นต์ ต่อการเจริญเติบโตของสาหร่ายทั้งสองชนิด ผลการทดลองพบว่า ความเข้มข้นของน้ำทิ้งที่สาหร่ายสไปรูไลน่า และคลอเรลลาสามารถเจริญได้ดีที่สุด คืออาหารเลี้ยงที่เติมน้ำทิ้ง 25 % ซึ่งค่า OD_{560} (Opical density) เพิ่มจาก 0.07±0.04 เป็น 0.24±0.12 และ 0.11±0.03 เป็น 0.41±0.10 ตามลำดับ การทดลองที่ 2 ศึกษาความสามารถของสาหร่ายทั้ง 2 ชนิดในการลดค่า ไนเตรท-ไนโตรเจน และฟอสฟอรัสรวมโดยวางแผนการทดลองแบบสุ่มตลอด (CRD) ทำการทดลอง 4 ซ้ำ และสถิติที่ใช้การวิเคราะห์คือ One way ANOVA โปรแกรม SPSS จากการทดลองพบว่าการเจริญของสาหร่ายสไปรูไลน่าและคลอเรลลาเพิ่มขึ้น แต่ค่าไนเตรท-ไนโตรเจน และฟอสฟอรัสรวมในน้ำทิ้ง ลดลงทุกการทดลอง ค่าไนเตรท-ไนโตรเจนและฟอสฟอรัสรวมที่ลดลงมากที่สุด คือที่ความเข้มข้นน้ำทิ้ง 25 % และ100 % ตามลำดับ

Sirinapa Pongpeera. 2010. **Waste Water Treatment from Fermented Rice Noodle Factory by Using *Spirulina* sp. and *Chlorella* sp.** Master of Science Thesis in Biology, Graduate School, Khon Kaen University.

Thesis Advisor: Assoc. Prof. Dr. Sumontip Bunnag

ABSTRACT

203348

Spirulina platensis is a single-cell blue-green algae belongs to the family Oscillatoriaceae. *Chlorella* sp. is a green algae belongs to the family Chlorellaceae. These two kinds algae can grow in polluted water and they had been used for reducing the content of nitrate-nitrogen and total phosphorus in waste water from noodle factories. The objectives of this research are to study the effect of waste water on growth of *S. platensis* and *Chlorella* sp. and their ability on decreasing the content of nitrate-nitrogen and total phosphorus of waste water from fermented rice noodle factory. The first experiment was to study the suitable ratio between cultured media and waste water on growth of these two algae. *S. platensis* and *Chlorella* sp. were cultured in Zarrouk medium and Beijerinck medium, respectively. The cultured media were added with waste water in five level concentration of 0, 25, 50, 75 and 100 % . The results showed that the best concentration of waste water for giving the highest growth of *S. platensis* and *Chlorella* sp. was 25 %. The optical density (OD) of the culture media of *S. platensis* and *Chlorella* sp. increased from 0.07±0.04 to 0.24±0.12 and 0.11±0.03 to 0.41±0.10, respectively. The second experiment was to study the ability of these two algae in reducing nitrate-nitrogen and total phosphorus of waste water. The experiment design was completely randomized design with 4 replication. One-way ANOVA and SPSS program were also used for analysis. It was found that growth of *S. platensis* and *Chlorella* sp. increased and the value of nitrate-nitrogen and total phosphorus decreased in all treatments. The experiment showed that the least value contents of nitrate-nitrogen and total phosphorus were found in the treatment of 25 % and 100 % waste water, respectively.

ส่วนดีของงานวิจัยนี้มอบให้บุพการีและคณาจารย์

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จสมบูรณ์ได้ด้วยความเรียบร้อย โดยได้รับความช่วยเหลือแนะนำอย่างดียิ่งจาก รองศาสตราจารย์ ดร. สุมนทิพย์ บุนนาค ประธานกรรมการที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ รองศาสตราจารย์ ดร. ปิยะดา ธีระกุลพิศุทธิ์ และ ดร. อนวัช สุวรรณกุล กรรมการที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ซึ่งกรุณาให้คำแนะนำ และคำปรึกษา ชี้แนวทางอันมีประโยชน์ทั้งในการทำวิทยานิพนธ์ รวมทั้งการตรวจทานแก้ไขข้อบกพร่องในการจัดทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ด้วยความเอาใจใส่อย่างดียิ่ง สนับสนุนให้กำลังใจและเป็นแบบอย่างที่ดีมาโดยตลอด

ขอขอบพระคุณคณาจารย์ ภาควิชาชีววิทยา ที่ได้ให้ความช่วยเหลือ อบรมให้ความรู้ และแนะนำแนวทางการเรียนรู้ต่างๆ ตลอดระยะเวลาการศึกษาในระดับปริญญาโท

ขอบขอบคุณคุณอาภากรณ์ พูลโพธิ์กลาง คุณขวัญเดือน รัตนา คุณจตุพร หงค์ทองคำ รวมถึงพี่ๆน้องๆ และบุคลลากรภาควิชาชีววิทยา ที่มิได้เอ่ยนามที่ได้ให้ความช่วยเหลือและคอยให้กำลังใจตลอดระยะเวลาที่ทำการศึกษาในระดับบัณฑิตศึกษาจนสามารถบรรลุเป้าหมายที่ตั้งใจได้สำเร็จ

ท้ายที่สุดขอกราบขอบพระคุณบิดา มารดา และครอบครัว ที่ให้การสนับสนุนการศึกษาและเป็นกำลังใจที่สำคัญยิ่งแก่ข้าพเจ้าตลอดมา

ศิรินภา พงษ์พีระ

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ข
คำอุทิศ	ค
กิตติกรรมประกาศ	ง
สารบัญตาราง	ซ
สารบัญภาพ	ฎ
บทที่ 1 บทนำ	1
1. ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา	1
2. วัตถุประสงค์ของการวิจัย	2
3. สมมุติฐานการวิจัย	2
4. ขอบเขตการวิจัย	2
5. คำจำกัดความ	2
6. ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	3
บทที่ 2 เอกสารที่เกี่ยวข้อง	4
1. สาหร่าย	4
2. การนำสาหร่ายมาประยุกต์ในงานทางด้านสิ่งแวดล้อม	5
3. ปัญหาของไนโตรเจน และฟอสฟอรัสต่อสิ่งแวดล้อม	5
4. สาหร่ายสไปรูไลน่า	6
5. สาหร่ายคลอเรลลา	8
6. การเพาะเลี้ยงสาหร่ายในหลอดทดลอง	10
7. การเจริญเติบโตของสาหร่าย	13
8. การเพาะเลี้ยงสาหร่ายสไปรูไลน่า และคลอเรลลา	15
9. น้ำเสีย (waste water)	17
10. การวัดคุณภาพน้ำเสีย	17
11. เกณฑ์การวัดคุณภาพน้ำเสีย	17
12. น้ำเสียจากโรงงานขนมจีน	22
13. การบำบัดน้ำเสียด้วยสาหร่าย	23

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย	28
การทดลองที่ 1 อัตราการเจริญเติบโตของสาหร่ายสไปรูไลน่า ที่เพาะเลี้ยงในน้ำทิ้งที่ระดับความเข้มข้นแตกต่างกัน	28
การทดลองที่ 2 อัตราการเจริญเติบโตของสาหร่ายคลอเรลลา ที่เพาะเลี้ยงในน้ำทิ้งที่ระดับความเข้มข้นแตกต่างกัน	29
การทดลองที่ 3 ค่าไนเตรท-ไนโตรเจนและฟอสฟอรัสรวมของน้ำทิ้ง ชุดควบคุมที่ไม่มีการเพาะเลี้ยงสาหร่ายสไปรูไลน่าและหลังเพาะเลี้ยงสาหร่ายสไปรูไลน่า	30
การทดลองที่ 4 ค่าไนเตรท-ไนโตรเจนและฟอสฟอรัสรวมของน้ำทิ้ง ชุดควบคุมที่ไม่มีการเพาะเลี้ยงสาหร่ายคลอเรลลาและหลังเพาะเลี้ยงสาหร่ายคลอเรลลา	30
การทดลองที่ 5 ค่า DO ของน้ำทิ้งจากโรงงานขนมจีนหลังเพาะเลี้ยงสาหร่ายสไปรูไลน่าและสาหร่ายคลอเรลลา	30
การทดลองที่ 6 ค่าความขุ่นจากโรงงานขนมจีนหลังเพาะเลี้ยงสาหร่ายสไปรูไลน่าและสาหร่ายคลอเรลลา	30
การทดลองที่ 7 ค่าของแข็งที่ละลายในน้ำทิ้งจากโรงงานขนมจีนหลังเพาะเลี้ยงสาหร่ายสไปรูไลน่าและสาหร่ายคลอเรลลา	31
การทดลองที่ 8 ค่า pH จากโรงงานขนมจีนหลังเพาะเลี้ยงสาหร่ายสไปรูไลน่าและสาหร่ายคลอเรลลา	31
การทดลองที่ 9 ค่าการนำไฟฟ้าในน้ำทิ้งจากโรงงานขนมจีนหลังเพาะเลี้ยงสาหร่ายสไปรูไลน่าและสาหร่ายคลอเรลลา	31
การทดลองที่ 10 ค่าความเค็มของน้ำทิ้งจากโรงงานขนมจีนหลังเพาะเลี้ยงสาหร่ายสไปรูไลน่าและสาหร่ายคลอเรลลา	31
วิเคราะห์ค่าความแตกต่างกันทางสถิติ	31

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 4 ผลการวิจัย	32
ผลการทดลองที่ 1 อัตราการเจริญเติบโตของสาหร่ายสไปรูไลน่าที่เพาะเลี้ยงในน้ำทิ้งที่ระดับความเข้มข้นแตกต่างกัน	32
ผลการทดลองที่ 2 อัตราการเจริญเติบโตของสาหร่ายคลอเรลลาที่เพาะเลี้ยงในน้ำทิ้งที่ระดับความเข้มข้นแตกต่างกัน	34
ผลการทดลองที่ 3 ค่าไนเตรท-ไนโตรเจนและฟอสฟอรัสรวมของน้ำทิ้งชุดควบคุมที่ไม่มีการเพาะเลี้ยงสาหร่ายสไปรูไลน่าและหลังเพาะเลี้ยงสาหร่ายสไปรูไลน่า	36
ผลการทดลองที่ 4 ค่าไนเตรท-ไนโตรเจนและฟอสฟอรัสรวมของน้ำทิ้งชุดควบคุมที่ไม่มีการเพาะเลี้ยงสาหร่ายคลอเรลลาและหลังเพาะเลี้ยงสาหร่ายคลอเรลลา	39
ผลการทดลองที่ 5 ค่า DO ของน้ำทิ้งจากโรงงานขนมจีนหลังเพาะเลี้ยงสาหร่ายสไปรูไลน่าและสาหร่ายคลอเรลลา	43
ผลการทดลองที่ 6 ค่าความขุ่นจากโรงงานขนมจีนหลังเพาะเลี้ยงสาหร่ายสไปรูไลน่าและสาหร่ายคลอเรลลา	44
ผลการทดลองที่ 7 ค่าของแข็งที่ละลายในน้ำทิ้งจากโรงงานขนมจีนหลังเพาะเลี้ยงสาหร่ายสไปรูไลน่าและสาหร่ายคลอเรลลา	46
ผลการทดลองที่ 8 ค่า pH จากโรงงานขนมจีนหลังเพาะเลี้ยงสาหร่ายสไปรูไลน่าและสาหร่ายคลอเรลลา	47
ผลการทดลองที่ 9 ค่าการนำไฟฟ้าในน้ำทิ้งจากโรงงานขนมจีนหลังเพาะเลี้ยงสาหร่ายสไปรูไลน่าและสาหร่ายคลอเรลลา	49
ผลการทดลองที่ 10 ค่าความเค็มของน้ำทิ้งจากโรงงานขนมจีนหลังเพาะเลี้ยงสาหร่ายสไปรูไลน่าและสาหร่ายคลอเรลลา	50
บทที่ 5 สรุปและอภิปรายผลการวิจัย	54
เอกสารอ้างอิง	61
ภาคผนวก	69
ประวัติผู้เขียน	133

สารบัญตาราง

		หน้า
ตารางที่ 1	ค่า BOD ที่มีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม	18
ตารางที่ 2	ค่าการนำไฟฟ้าที่มีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม	19
ตารางที่ 3	ค่าพีเอช (pH) ที่มีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม	19
ตารางที่ 4	ค่าความขุ่นที่มีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม	20
ตารางที่ 5	ค่าออกซิเจนที่ละลายในน้ำที่มีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม	21
ตารางที่ 6	ปริมาณของสารประกอบไนโตรเจนในน้ำกับความปลอดภัยต่อสิ่งแวดล้อม	21
ตารางที่ 7	ปริมาณของสารประกอบฟอสฟอรัสในน้ำกับความปลอดภัยต่อสิ่งแวดล้อม	22
ตารางที่ 8	ลักษณะทั่วไปของน้ำเสียจากผลิตภัณฑ์จากข้าว	23
ตารางที่ 9	แสดงชนิดของสาหร่ายที่เป็นตัวบ่งชี้คุณภาพน้ำในแหล่งน้ำต่างๆ	25
ตารางที่ 10	การตรวจวิเคราะห์หาค่าเริ่มต้นก่อนทำการทดลอง	28
ตารางที่ 11	อัตราการเจริญเติบโตของสาหร่ายสไปรูไลน่าที่เพาะเลี้ยงในอาหารสูตร Zarrouk ที่มีปริมาณน้ำทิ้งความเข้มข้นแตกต่างกัน	71
ตารางที่ 12	อัตราการเจริญเติบโตของสาหร่ายคลอเรลลาที่เพาะเลี้ยงในอาหารสูตร Beijerinck ที่มีปริมาณน้ำทิ้งความเข้มข้นแตกต่างกัน	72
ตารางที่ 13	ค่าไนเตรท-ไนโตรเจนของน้ำทิ้งหลังเพาะเลี้ยงสาหร่ายสไปรูไลน่าและสาหร่ายคลอเรลลา	73
ตารางที่ 14	ค่าฟอสฟอรัสรวมของน้ำทิ้งหลังเพาะเลี้ยงสาหร่ายสไปรูไลน่าและสาหร่ายคลอเรลลา	75
ตารางที่ 15	ค่า DO ของน้ำทิ้งจากโรงงานขนมจีนหลังเพาะเลี้ยงสาหร่ายสไปรูไลน่าและสาหร่ายคลอเรลลา	77
ตารางที่ 16	ค่าความขุ่นหลังเพาะเลี้ยงสาหร่ายสไปรูไลน่าและสาหร่ายคลอเรลลา	79
ตารางที่ 17	ค่าของแข็งที่ละลายในน้ำทิ้งหลังเพาะเลี้ยงสาหร่ายสไปรูไลน่าและสาหร่ายคลอเรลลา	81

สารบัญตาราง (ต่อ)

		หน้า
ตารางที่ 18	ค่า pH ในน้ำทิ้งหลังเพาะเลี้ยงสาหร่ายสไปรูไลน่าและสาหร่ายคลอเรลลา	83
ตารางที่ 19	ค่าการนำไฟฟ้าของน้ำทิ้งหลังเพาะเลี้ยงสาหร่ายสไปรูไลน่าและสาหร่ายคลอเรลลา	85
ตารางที่ 20	ค่าความเค็มของน้ำทิ้งหลังเพาะเลี้ยงสาหร่ายสไปรูไลน่าและสาหร่ายคลอเรลลา	87
ตารางที่ 21	ค่าไนเตรท-ไนโตรเจนของน้ำทิ้งชุดควบคุมที่ไม่มีการเพาะเลี้ยงสาหร่ายสไปรูไลน่า	89
ตารางที่ 22	ค่าไนเตรท-ไนโตรเจนของน้ำทิ้งชุดควบคุมที่ไม่มีการเพาะเลี้ยงสาหร่ายคลอเรลลา	89
ตารางที่ 23	ค่าฟอสฟอรัสรวมของน้ำทิ้งชุดควบคุมที่ไม่มีการเพาะเลี้ยงสาหร่ายสไปรูไลน่า	90
ตารางที่ 24	ค่าฟอสฟอรัสรวมของน้ำทิ้งชุดควบคุมที่ไม่มีการเพาะเลี้ยงสาหร่ายคลอเรลลา	90
ตารางที่ 25	ประสิทธิภาพของสาหร่ายสไปรูไลน่าในการลดค่าไนเตรท-ไนโตรเจน	91
ตารางที่ 26	ประสิทธิภาพของสาหร่ายคลอเรลลาในการลดค่าไนเตรท-ไนโตรเจน	91
ตารางที่ 27	ประสิทธิภาพของสาหร่ายสไปรูไลน่าในการลดค่าฟอสฟอรัสรวม	92
ตารางที่ 28	ประสิทธิภาพของสาหร่ายคลอเรลลาในการลดค่าฟอสฟอรัสรวม	92
ตารางที่ 29	ประเภทของมลพิษทางน้ำ แหล่งกำเนิด และผลกระทบ	102
ตารางที่ 30	แสดงผลวิเคราะห์ความแปรปรวนอัตราการเจริญเติบโตของสาหร่ายสไปรูไลน่าที่เพาะเลี้ยงในน้ำทิ้งที่ระดับความเข้มข้นแตกต่างกัน	107
ตารางที่ 31	แสดงผลวิเคราะห์ความแปรปรวนอัตราการเจริญเติบโตของสาหร่ายคลอเรลลาที่เพาะเลี้ยงในน้ำทิ้งที่ระดับความเข้มข้นแตกต่างกัน	109
ตารางที่ 32	แสดงผลวิเคราะห์ความแปรปรวนค่าไนเตรท-ไนโตรเจนของน้ำทิ้งชุดควบคุมที่ไม่มีการเพาะเลี้ยงสาหร่ายสไปรูไลน่า	111

สารบัญตาราง (ต่อ)

		หน้า
ตารางที่ 33	แสดงผลวิเคราะห์ความแปรปรวนค่าไนเตรท-ไนโตรเจนของน้ำทิ้งหลังเพาะเลี้ยงสาหร่ายสไปรูไลน่า	113
ตารางที่ 34	แสดงผลวิเคราะห์ความแปรปรวนค่าไนเตรท-ไนโตรเจนของน้ำทิ้งชุดควบคุมที่ไม่มีการเพาะเลี้ยงสาหร่ายคลอเรลลา	115
ตารางที่ 35	แสดงผลวิเคราะห์ความแปรปรวนค่าไนเตรท-ไนโตรเจนของน้ำทิ้งหลังเพาะเลี้ยงสาหร่ายคลอเรลลา	117
ตารางที่ 36	แสดงผลวิเคราะห์ความแปรปรวนค่าฟอสฟอรัสรวมของน้ำทิ้งชุดควบคุมที่ไม่มีการเพาะเลี้ยงสาหร่ายสไปรูไลน่า	119
ตารางที่ 37	แสดงผลวิเคราะห์ความแปรปรวนค่าฟอสฟอรัสรวมของน้ำทิ้งหลังเพาะเลี้ยงสาหร่ายสไปรูไลน่า	121
ตารางที่ 38	แสดงผลวิเคราะห์ความแปรปรวนค่าฟอสฟอรัสรวมของน้ำทิ้งชุดควบคุมที่ไม่มีการเพาะเลี้ยงสาหร่ายคลอเรลลา	123
ตารางที่ 39	แสดงผลวิเคราะห์ความแปรปรวนค่าฟอสฟอรัสรวมของน้ำทิ้งหลังเพาะเลี้ยงสาหร่ายคลอเรลลา	125
ตารางที่ 40	แสดงผลวิเคราะห์ความแปรปรวนของน้ำทิ้งที่เปลี่ยนไปหลังเพาะเลี้ยงสาหร่ายสไปรูไลน่า	127
ตารางที่ 41	แสดงผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของน้ำทิ้งที่เปลี่ยนไปหลังเพาะเลี้ยงสาหร่ายคลอเรลลา	130

สารบัญภาพ

		หน้า
ภาพที่ 1	แสดงลักษณะทั่วไปของสาหร่ายสไปรูไลน่า	7
ภาพที่ 2	แสดงลักษณะทั่วไปของสาหร่ายคลอเรลลา	9
ภาพที่ 3	แสดงช่วงการเจริญเติบโตของสาหร่าย	14
ภาพที่ 4	อัตราการเจริญเติบโตของสาหร่ายสไปรูไลน่าโดยวัดค่า OD ที่ 560 นาโนเมตร	32
ภาพที่ 5	อัตราการเจริญเติบโตของสาหร่ายสไปรูไลน่าโดยวัดน้ำหนักแห้ง (มิลลิกรัม)	33
ภาพที่ 6	แสดงกราฟมาตรฐาน OD_{560} ที่ความหนาแน่นแตกต่างกัน 5 ระดับ	33
ภาพที่ 7	อัตราการเจริญเติบโตของสาหร่ายคลอเรลลาโดยวัดค่า OD ที่ 560 นาโนเมตร	34
ภาพที่ 8	อัตราการเจริญเติบโตของสาหร่ายคลอเรลลาโดยวัดค่าน้ำหนักแห้ง (มิลลิกรัม)	35
ภาพที่ 9	แสดงกราฟมาตรฐาน OD_{560} ที่ความหนาแน่นแตกต่างกัน 5 ระดับ	35
ภาพที่ 10	ค่าไนเตรท-ไนโตรเจนของน้ำทิ้งชุดควบคุมที่ไม่มีการเพาะเลี้ยงสาหร่ายสไปรูไลน่า	36
ภาพที่ 11	ค่าไนเตรท-ไนโตรเจนของน้ำทิ้งหลังเพาะเลี้ยงสาหร่ายสไปรูไลน่า	37
ภาพที่ 12	ประสิทธิภาพของสาหร่ายสไปรูไลน่าในการลดค่าไนเตรท-ไนโตรเจน	37
ภาพที่ 13	ค่าฟอสฟอรัสรวมของน้ำทิ้งชุดควบคุมที่ไม่มีการเพาะเลี้ยงสาหร่ายสไปรูไลน่า	38
ภาพที่ 14	ค่าฟอสฟอรัสรวมของน้ำทิ้งหลังเพาะเลี้ยงสาหร่ายสไปรูไลน่า	38
ภาพที่ 15	ประสิทธิภาพของสาหร่ายสไปรูไลน่าในการลดค่าฟอสฟอรัสรวม	39
ภาพที่ 16	ค่าไนเตรท-ไนโตรเจนของน้ำทิ้งชุดควบคุมที่ไม่มีการเพาะเลี้ยงสาหร่ายคลอเรลลา	40
ภาพที่ 17	ค่าไนเตรท-ไนโตรเจนของน้ำทิ้งหลังเพาะเลี้ยงสาหร่ายคลอเรลลา	40
ภาพที่ 18	ประสิทธิภาพของสาหร่ายคลอเรลลาในการลดค่าไนเตรท-ไนโตรเจน	41

สารบัญภาพ (ต่อ)

		หน้า
ภาพที่ 19	ค่าฟอสฟอรัสรวมของน้ำทิ้งชุดควบคุมที่ไม่มีการเพาะเลี้ยงสาหร่ายคลอเรลลา	41
ภาพที่ 20	ค่าฟอสฟอรัสรวมของน้ำทิ้งหลังเพาะเลี้ยงสาหร่ายคลอเรลลา	42
ภาพที่ 21	ประสิทธิภาพของสาหร่ายคลอเรลลาในการลดค่าฟอสฟอรัสรวม	42
ภาพที่ 22	ค่า DO ของน้ำทิ้งหลังเพาะเลี้ยงสาหร่ายสไปรูไลน่า	43
ภาพที่ 23	ค่า DO ของน้ำทิ้งหลังเพาะเลี้ยงสาหร่ายคลอเรลลา	44
ภาพที่ 24	ค่าความขุ่นของน้ำทิ้งหลังเพาะเลี้ยงสาหร่ายสไปรูไลน่า	45
ภาพที่ 25	ค่าความขุ่นของน้ำทิ้งหลังเพาะเลี้ยงสาหร่ายคลอเรลลา	45
ภาพที่ 26	ค่าของแข็งที่ละลายในน้ำทิ้งหลังเพาะเลี้ยงสาหร่ายสไปรูไลน่า	46
ภาพที่ 27	ค่าของแข็งที่ละลายในน้ำทิ้งหลังเพาะเลี้ยงสาหร่ายคลอเรลลา	47
ภาพที่ 28	ค่า pH ในน้ำทิ้งหลังเพาะเลี้ยงสาหร่ายสไปรูไลน่า	48
ภาพที่ 29	ค่า pH ในน้ำทิ้งหลังเพาะเลี้ยงสาหร่ายคลอเรลลา	48
ภาพที่ 30	ค่าการนำไฟฟ้าในน้ำทิ้งหลังเพาะเลี้ยงสาหร่ายสไปรูไลน่า	49
ภาพที่ 31	ค่าการนำไฟฟ้าในน้ำทิ้งหลังเพาะเลี้ยงสาหร่ายคลอเรลลา	50
ภาพที่ 32	ค่าความเค็มในน้ำทิ้งหลังเพาะเลี้ยงสาหร่ายสไปรูไลน่า	51
ภาพที่ 33	ค่าความเค็มในน้ำทิ้งหลังเพาะเลี้ยงสาหร่ายคลอเรลลา	51
ภาพที่ 34	ลักษณะของสาหร่ายสไปรูไลน่าในน้ำทิ้งความเข้มข้นแตกต่างกัน 5 ระดับ คือ 0 25 50 75 และ 100 % หลังการเพาะเลี้ยงเป็นระยะเวลานาน 20 วัน (กำลังขยาย 40 เท่า)	52
ภาพที่ 35	ลักษณะของสาหร่ายคลอเรลลาในน้ำทิ้งความเข้มข้นแตกต่างกัน 5 ระดับคือ 0 25 50 75 และ 100 % หลังการเพาะเลี้ยงเป็นระยะเวลานาน 20 วัน (กำลังขยาย 40 เท่า)	53
ภาพที่ 36	กราฟมาตรฐาน OD_{560} (Optical Density) ของอาหารสูตร Zarrouk ที่มีน้ำทิ้งความเข้มข้นแตกต่างกันทั้ง 5 ระดับ	96
ภาพที่ 37	กราฟมาตรฐาน OD_{560} (Optical Density) ของอาหารสูตร Beijerinck ที่มีน้ำทิ้งความเข้มข้นแตกต่างกันทั้ง 5 ระดับ	96