

สำนักหอสมุด มหาวิทยาลัยบูรพา
ต.แสนสุข อ.เมือง จ.ชลบุรี 20131

การกำจัดของแข็งทั้งหมดที่ละลายน้ำในน้ำทิ้งอุตสาหกรรมด้วยสารละลายขนาดเล็ก: การศึกษาความ
เป็นไปได้ระดับห้องปฏิบัติการ

มณฑล มุขทอง

TH 002/459

23 ก.ย. 2557

343342

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม

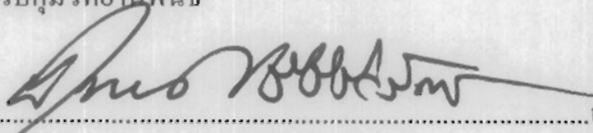
คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา

กรกฎาคม 2557

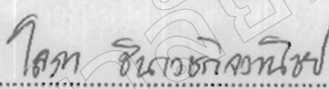
ลิขสิทธิ์เป็นของมหาวิทยาลัยบูรพา

คณะกรรมการควบคุมวิทยานิพนธ์และคณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ได้พิจารณา
วิทยานิพนธ์ของ มณฑล मुखทอง ฉบับนี้แล้ว เห็นสมควรรับเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตาม
หลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม ของมหาวิทยาลัยบูรพาได้

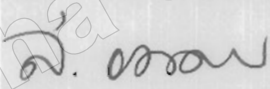
คณะกรรมการควบคุมวิทยานิพนธ์

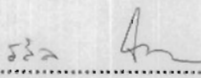

.....อาจารย์ที่ปรึกษาหลัก
(รองศาสตราจารย์ ดร.ธงชัย ศรีวิรัตน์)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

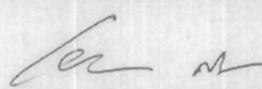

.....ประธาน
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.โสภา ชินเวชกิจวานิชย์)


.....กรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร.ธงชัย ศรีวิรัตน์)


.....กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สมถวิล จิตควร)


.....กรรมการ
(ดร.สกล ชันโรจน์)

คณะวิทยาศาสตร์อนุมัติให้รับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา
ตามหลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อมของมหาวิทยาลัยบูรพา


.....คณบดีคณะวิทยาศาสตร์
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.เอกรัฐ ศรีสุข)

วันที่ 31 เดือน กรกฎาคม พ.ศ. 2557

งานวิจัยฉบับนี้ได้รับทุนสนับสนุนจากศูนย์ความเป็นเลิศด้านอนามัย
สิ่งแวดล้อม พืชวิทยา และการบริหารจัดการสารเคมี
ประจำปีการศึกษา 2552

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลงด้วยความกรุณาจาก รองศาสตราจารย์ ดร. ธงชัย ศรีวิชัยรัตน์ อาจารย์ที่ปรึกษาที่คอยให้คำปรึกษาแนะนำ ตลอดจนแก้ไขข้อบกพร่องต่าง ๆ ด้วยความละเอียด ถี่ถ้วน และเอาใจใส่ด้วยดีเสมอมา

ขอขอบคุณบริษัท ไลอ้อน (ประเทศไทย) จำกัด สำหรับความอนุเคราะห์น้ำทิ้งจากระบบบำบัดน้ำเสียเพื่อใช้ในการทดลอง และขอขอบคุณสถาบันวิทยาศาสตร์ทางทะเล มหาวิทยาลัยบูรพา สำหรับความอนุเคราะห์ห้วเชื้อสาหร่ายเพื่อนำมาทำการทดลอง

ผู้วิจัยขอขอบคุณศูนย์ความเลิศด้านอนามัยสิ่งแวดล้อมและพิษวิทยาที่ให้ทุนสนับสนุนงานวิจัยครั้งนี้

ขอขอบพระคุณเจ้าหน้าที่และบุคลากรของโครงการบัณฑิตศึกษาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยบูรพา และภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา ที่ให้ความอนุเคราะห์อุปกรณ์และสารเคมีที่ใช้ในการทำวิจัยด้วยดีตลอดมาจนเสร็จสิ้นการทำวิจัย

สุดท้ายขอกราบขอบพระคุณพ่อและแม่ ที่ให้ความช่วยเหลือและเป็นกำลังใจตลอดมา รวมถึงท่านอื่น ๆ ที่มีได้เอื้อนมา ณ ที่นี้ ที่คอยให้กำลังใจและให้ความช่วยเหลือเสมอมา ซึ่งมีส่วนร่วมทำให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จได้ด้วยดี

มณฑล มุขทอง

52910163: สาขาวิชา: วิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม; วท.ม. (วิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม)

คำสำคัญ: ของแข็งทั้งหมดที่ละลายน้ำ/ สาหร่าย *Chlorella* sp./ *Chroococcus turgidus*/

Scenedesmus sp.

มณฑล มุขทอง: การกำจัดของแข็งทั้งหมดที่ละลายน้ำในน้ำทิ้งอุตสาหกรรมด้วยสาหร่ายขนาดเล็ก: การศึกษาความเป็นไปได้ระดับห้องปฏิบัติการ (REMOVAL OF TOTAL DISSOLVED SOLIDS IN INDUSTRIAL EFFLUENT BY MICROALGAE: LABORATORY SCALE

FEASIBILITY STUDY) คณะกรรมการควบคุมวิทยานิพนธ์: ธงชัย ศรีวิริรัตน์, Ph.D.

113 หน้า. ปี พ.ศ. 2557.

ของแข็งที่ละลายน้ำทั้งหมด (Total Dissolved Solids) หรือ TDS เป็นมลสารหนึ่งที่เหลืออยู่ในน้ำทิ้งหลังการบำบัดน้ำเสียอุตสาหกรรม การกำจัด TDS มักทำได้ยากและมีค่าใช้จ่ายสูง การศึกษาครั้งนี้มีจุดประสงค์เพื่อศึกษาความเป็นไปได้ในการกำจัด TDS ด้วยการประยุกต์ใช้สาหร่าย 3 สายพันธุ์ คือ *Chlorella* sp., *Scenedesmus* sp. และ *Chroococcus turgidus* โดยเฉพาะเลี้ยงสาหร่ายในอาหารสูตร BG-11 และน้ำทิ้งอุตสาหกรรมที่ผลิตสารซักล้าง โดยมีการปรับความเข้มข้นของ TDS ให้มีความเข้มข้นต่าง ๆ การใช้ปริมาณสาหร่ายเริ่มต้น 10%, 20%, 30% และ 40% (v/v) และการปรับ pH เริ่มต้นเท่ากับ 3, 5, 7 และ 9 การทดลองดำเนินการที่อุณหภูมิห้องประมาณ 29 °C ความเข้มแสงประมาณ 4,000 Lux และให้แสงสว่าง 12 ชั่วโมงต่อวัน ผลการทดลองสรุปได้ว่า เมื่อเพาะเลี้ยงสาหร่ายในอาหารสูตร BG-11 พบว่า pH ที่เหมาะสมของสาหร่าย *Chlorella* sp., *Scenedesmus* sp. และ *Chroococcus turgidus* คือ 7.0, 7.0 และ 9.0 ตามลำดับ โดย pH สุดท้ายของอาหารใกล้เคียง 9.0 จากการใส่สารไบคาร์บอเนตเป็นแหล่งคาร์บอน สำหรับปริมาณสาหร่ายเริ่มต้นที่เหมาะสม พบว่า ความเข้มข้นเริ่มต้นของสาหร่าย *Chlorella* sp., *Scenedesmus* sp. และ *Chroococcus turgidus* คือ 10% (v/v) การใช้สาหร่ายปริมาณเริ่มต้นสูงขึ้น ทำให้อัตราการเจริญจำเพาะของสาหร่ายทุกชนิดลดลง สาหร่ายที่มีอัตราการเจริญจำเพาะสูง เจริญได้ดีสามารถกำจัด TDS ได้จากการใช้สารประกอบไนเตรท-ไนโตรเจนสำหรับการสร้างเซลล์ สาหร่ายที่เลี้ยงในน้ำทิ้งอุตสาหกรรมพบว่า ความเข้มข้นของ TDS มีผลกระทบต่อการเจริญของสาหร่ายเพราะเมื่อปริมาณ TDS ลดลง ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์สามารถละลายน้ำได้มากขึ้นทำให้สาหร่ายมีแหล่งคาร์บอนไดออกไซด์สำหรับการเจริญ

52910163: MAJOR: ENVIRONMENTAL SCIENCE; M.Sc. (ENVIRONMENTAL SCIENCE)

KEYWORDS: Total Dissolved Solids/ *Chlorella* sp./ *Chroococcus turgidus*/ *Scenedesmus* sp.

MONTHON MUKHTHONG: REMOVAL OF TOTAL DISSOLVED SOLID IN INDUSTRIAL EFFLUENT BY MICRO ALGAE: LABORATORY SCALE FEASIBILITY STUDY. ADVISORY COMMITTEE: TONGCHAI SRIWIRIYARAT, Ph.D. 113 P. 2014.

Total Dissolved Solids (TDS) is one of important pollutants which is usually found in the industrial effluent. The TDS removal is very difficult and is costly. The objective of this research was to find the possibility of TDS removals by using freshwater algae. Three freshwater algae including *chlorella* sp. *Scenedesmus* sp. and *Chroococcus turgidus* were cultivated in both BG-11 medium and industrial effluent, obtaining from the consumer – products industry, adjusted for different TDS concentrations, algae concentrations (10%, 20%, 30% และ 40%) and initial pH values (3, 5, 7, and 9) under the temperature of about 29 °C, the light intensity of 4000 Lux, and the lighting interval of 12 hours. The results indicate that the optimum initial pH values in the BG-11 medium for *chlorella* sp. *Scenedesmus* sp. and *Chroococcus turgidus* were 7, 7, and 9, respectively. The initial amounts of algae in the BG-11 medium for *chlorella* sp. *Scenedesmus* sp. and *Chroococcus turgidus* were 10% (v/v). It is found that the lower the initial amounts of algae, the higher the specific growth rates of algae were obtained. High amounts of algae were resulted in high TDS removal efficiencies from using the nitrate nitrogen as a nitrogen source for algae growth. Cultivating algae in industrial effluent, the results indicated that the lower TDS concentration in the industrial effluent, the higher the growth rates of algae resulting from the dissolution of carbon dioxide from atmosphere. The lower TDS, the greater the carbon dioxide were dissolved.

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย.....	จ
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	ข
สารบัญ.....	ฉ
สารบัญตาราง.....	ณ
สารบัญภาพ.....	ญ
บทที่	
1 บทนำ.....	1
ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
วัตถุประสงค์ของการวิจัย.....	2
สมมติฐานการวิจัย.....	2
ตัวแปรที่ใช้ในการวิจัย.....	3
ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากการวิจัย.....	3
ขอบเขตของงานวิจัย.....	3
นิยามศัพท์เฉพาะ.....	3
2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	5
สาหร่าย.....	5
ลักษณะของสาหร่ายที่แตกต่างจากพืช.....	5
ปัจจัยที่มีผลต่อการเจริญของสาหร่าย.....	6
รูปแบบการเจริญของสาหร่าย.....	9
กระบวนการแลกเปลี่ยนไอออนระหว่างสาหร่ายกับสิ่งแวดล้อม.....	10
ประโยชน์ของสาหร่าย.....	11
สาหร่าย <i>Chroococcus turgidus</i>	12
สาหร่าย <i>Chlorella</i> sp.....	13
สาหร่าย <i>Scenedesmus</i> sp.....	14
น้ำเสีย.....	15
คุณลักษณะน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรมผลิตภัณฑ์ซักล้าง.....	17
ความเป็นกรด-เบส (pH).....	17

สารบัญ (ต่อ)

บทที่	หน้า
ของแข็งทั้งหมดที่ละลายน้ำ (Total Dissolved Solid, TDS).....	19
วิธีการจัดของแข็งละลายน้ำด้วยวิธีต่าง ๆ.....	19
การใช้สาหร่ายบำบัดน้ำเสีย.....	23
การใช้ประโยชน์สาหร่ายหลังการบำบัดน้ำเสีย.....	26
โซเดียมซัลเฟต (Na_2SO_4) และซัลเฟอร์ (Sulfur).....	26
เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	28
3 วิธีการดำเนินการวิจัย.....	29
วัสดุและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง.....	29
สารเคมีที่ใช้ในการทดลอง.....	30
วิธีดำเนินงานวิจัย.....	30
การวิเคราะห์ตัวอย่าง.....	35
4 ผลการวิจัยและอภิปรายผล.....	36
การศึกษา pH ที่เหมาะสมต่อการเจริญของสาหร่าย <i>Chlorella</i> sp. และการกำจัด TDS ในอาหารเพาะเลี้ยงสาหร่าย.....	36
การศึกษาผลกระทบของความเข้มข้น TDS ต่อการเจริญของสาหร่าย <i>Chlorella</i> sp. และการกำจัด TDS ในอาหารเพาะเลี้ยงสาหร่าย.....	42
ผลกระทบของความเข้มข้นเริ่มต้นของสาหร่าย <i>Chlorella</i> sp. ต่อการกำจัด TDS ในอาหารเพาะเลี้ยงสาหร่าย.....	46
การศึกษา pH ที่เหมาะสมต่อการเจริญของสาหร่าย <i>Scenedesmus</i> sp. และการกำจัด TDS ในอาหารเพาะเลี้ยงสาหร่าย.....	53
การศึกษาผลกระทบของความเข้มข้น TDS ต่อการเจริญของสาหร่าย <i>Scenedesmus</i> sp. และการกำจัด TDS ในอาหารเพาะเลี้ยงสาหร่าย.....	58
ผลกระทบของความเข้มข้นเริ่มต้นของสาหร่าย <i>Scenedesmus</i> sp. ต่อการกำจัด TDS ในอาหารเพาะเลี้ยงสาหร่าย.....	62
การศึกษา pH ที่เหมาะสมต่อการเจริญของสาหร่าย <i>Chroococcus turgidus</i> และการกำจัด TDS ในอาหารเพาะเลี้ยงสาหร่าย.....	72

สารบัญ (ต่อ)

บทที่	หน้า
การศึกษาผลกระทบของความเข้มข้น TDS ต่อการเจริญของสาหร่าย <i>Chroococcus turgidus</i> และการกำจัด TDS ในอาหารเพาะเลี้ยงสาหร่าย.....	75
ผลกระทบของความเข้มข้นเริ่มต้นของสาหร่าย <i>Chroococcus turgidus</i> ต่อการกำจัด TDS ในอาหารเพาะเลี้ยงสาหร่าย.....	80
ผลกระทบของ TDS ต่อการเจริญของสาหร่ายและการกำจัด TDS ในน้ำทิ้งอุตสาหกรรม.....	88
5 สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ.....	93
การศึกษา pH ที่เหมาะสมต่อการเจริญของสาหร่ายและการกำจัด TDS ในอาหารเพาะเลี้ยงสาหร่าย.....	93
การศึกษาผลกระทบของความเข้มข้น TDS ต่อการเจริญของสาหร่ายและการกำจัด TDS ในอาหารเพาะเลี้ยงสาหร่าย.....	93
ผลกระทบของความเข้มข้นเริ่มต้นของสาหร่ายต่อการกำจัด TDS ในอาหารเพาะเลี้ยงสาหร่าย.....	94
ผลกระทบของ TDS ต่อการเจริญของสาหร่ายและการกำจัด TDS ในน้ำทิ้งอุตสาหกรรม.....	95
ข้อเสนอแนะ.....	95
บรรณานุกรม.....	96
ภาคผนวก.....	101
ภาคผนวก ก.....	102
ภาคผนวก ข.....	104
ภาคผนวก ค.....	107
ประวัติย่อของผู้วิจัย.....	113

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2-1	เปรียบเทียบค่าของแข็งละลายน้ำและระดับความเค็ม (Weiner, 2008) 19
3-1	สารเคมีที่ใช้ในการเตรียมอาหารเพาะเลี้ยงสาหร่ายสูตร BG-11 31
3-2	ธาตุอาหารรองที่ใช้ในอาหารสูตร BG-11..... 31
3-3	คุณลักษณะของน้ำทิ้งอุตสาหกรรมจากอุตสาหกรรมผลิตภัณฑ์ซักล้าง..... 32

มหาวิทยาลัยบูรพา
Burapha University

สารบัญภาพ

ภาพที่	หน้า
2-1 การเจริญของสาหร่าย.....	9
2-2 สาหร่าย <i>Chroococcus turgidus</i>	13
2-3 สาหร่าย <i>Chlorella</i> sp.....	14
2-4 สาหร่าย <i>Scenedesmus</i> sp.....	15
2-5 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง pH และ Ammonia Species.....	18
2-6 ความสัมพันธ์ระหว่าง pH และ CO ₂	18
2-7 การแลกเปลี่ยนประจุ.....	20
2-8 กระบวนการ Deionization.....	21
2-9 กระบวนการ Osmosis and Reverse Osmosis.....	21
2-10 กระบวนการ Distillation.....	22
2-11 กระบวนการ Precipitation Water Softening.....	22
2-12 Phytoremediation.....	24
2-13 วัฏจักรซัลเฟอร์.....	27
4-1 การเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของสาหร่าย <i>Chlorella</i> sp. ที่เพาะเลี้ยงในอาหารเพาะเลี้ยง สูตร BG-11 ที่ไม่มีการเติมสาร Na ₂ SO ₄ และมี pH เริ่มต้นแตกต่างกัน.....	37
4-2 การเปลี่ยนแปลง TDS ของอาหารเพาะเลี้ยงสาหร่าย <i>Chlorella</i> sp. สูตร BG-11 ที่ไม่มีการ เติม Na ₂ SO ₄ และมี pH เริ่มต้นแตกต่างกัน.....	38
4-3 การเปลี่ยนแปลง pH ของอาหารเพาะเลี้ยงสาหร่าย <i>Chlorella</i> sp. สูตร BG-11 ที่ไม่มีการ เติม Na ₂ SO ₄ และมี pH เริ่มต้นแตกต่างกัน.....	40
4-4 การเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของไนเตรท-ไนโตรเจนของอาหารเพาะเลี้ยงสาหร่าย <i>Chlorella</i> sp. สูตร BG-11 ที่ไม่มีการเติม Na ₂ SO ₄ และมี pH เริ่มต้นแตกต่างกัน.....	41
4-5 การเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของสาหร่าย <i>Chlorella</i> sp., ความเข้มข้นไนเตรท-ไนโตรเจน, ความเข้มข้นของ TDS และ pH สุดท้าย ที่เพาะเลี้ยงในอาหารมี pH เริ่มต้นต่าง ๆ กัน.....	41
4-6 การเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของสาหร่าย <i>Chlorella</i> sp. ที่เพาะเลี้ยงในอาหารเพาะเลี้ยง สูตร BG-11 ที่มีการเติม Na ₂ SO ₄ เข้มข้นแตกต่างกันและมี pH เริ่มต้นเท่ากับ 7.0 ระยะเวลา 12 วัน.....	43

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่	หน้า
4-7 การเปลี่ยนแปลง TDS ของอาหารเพาะเลี้ยงสาหร่าย <i>Chlorella</i> sp. ที่มีการเติม Na_2SO_4 เข้มข้นต่างๆ กันและมี pH เริ่มต้นเท่ากับ 7.0 ระยะเวลาเพาะเลี้ยง 12 วัน.....	44
4-8 การเปลี่ยนแปลงไนเตรท-ไนโตรเจนของอาหารเพาะเลี้ยงสาหร่าย <i>Chlorella</i> sp. ที่มีการเติม Na_2SO_4 เข้มข้นต่าง ๆ กันและมี pH เริ่มต้นเท่ากับ 7.0 ระยะเวลาเพาะเลี้ยง 12 วัน.....	44
4-9 การเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของสาหร่าย <i>Chlorella</i> sp., ความเข้มข้นไนเตรท-ไนโตรเจน, ความเข้มข้นของ TDS และ pH สุดท้าย ที่เพาะเลี้ยงในอาหารมี pH เริ่มต้นต่าง ๆ กัน เป็นระยะเวลานาน 12 วัน.....	45
4-10 การเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของสาหร่าย <i>Chlorella</i> sp. ที่เพาะเลี้ยงในอาหารเพาะเลี้ยงสูตร BG-11 ที่มีการเติมสาร Na_2SO_4 400 mg/L และปริมาณสาหร่ายเริ่มต้นต่าง ๆ กัน....	47
4-11 การเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของสาหร่าย <i>Chlorella</i> sp. ที่เพาะเลี้ยงในอาหารเพาะเลี้ยงสูตร BG-11 ที่มีการเติมสาร Na_2SO_4 600 mg/L และปริมาณสาหร่ายเริ่มต้นต่าง ๆ กัน....	48
4-12 การเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของสาหร่าย <i>Chlorella</i> sp. ที่เพาะเลี้ยงในอาหารเพาะเลี้ยงสูตร BG-11 ที่มีการเติมสาร Na_2SO_4 800 mg/L และปริมาณสาหร่ายเริ่มต้นต่าง ๆ กัน....	49
4-13 การเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของสาหร่าย <i>Chlorella</i> sp. ที่เพาะเลี้ยงในอาหารเพาะเลี้ยงสูตร BG-11 ที่มีการเติมสาร Na_2SO_4 1000 mg/L และปริมาณสาหร่ายเริ่มต้นต่าง ๆ กัน....	50
4-14 การเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของสาหร่าย <i>Chlorella</i> sp. ที่เพาะเลี้ยงในอาหารเพาะเลี้ยงสูตร BG-11 ที่มีปริมาณสาหร่ายเริ่มต้นต่าง ๆ กัน ระยะเวลาเพาะเลี้ยง 12 วัน.....	51
4-15 การเปลี่ยนแปลงความเข้มข้น TDS ของอาหารสูตร BG-11 ที่เพาะเลี้ยงสาหร่าย <i>Chlorella</i> sp. ที่มีการเติมสาร Na_2SO_4 400 mg/L และปริมาณสาหร่ายเริ่มต้นต่าง ๆ กัน....	51
4-16 การเปลี่ยนแปลงความเข้มข้น TDS ของอาหารสูตร BG-11 ที่เพาะเลี้ยงสาหร่าย <i>Chlorella</i> sp. ที่มีการเติมสาร Na_2SO_4 600 mg/L และปริมาณสาหร่ายเริ่มต้นต่าง ๆ กัน....	52
4-17 การเปลี่ยนแปลงความเข้มข้น TDS ของอาหารสูตร BG-11 ที่เพาะเลี้ยงสาหร่าย <i>Chlorella</i> sp. ที่มีการเติมสาร Na_2SO_4 800 mg/L และปริมาณสาหร่ายเริ่มต้นต่าง ๆ กัน....	52
4-18 การเปลี่ยนแปลงความเข้มข้น TDS ของอาหารสูตร BG-11 ที่เพาะเลี้ยงสาหร่าย <i>Chlorella</i> sp. ที่มีการเติมสาร Na_2SO_4 1000 mg/L และปริมาณสาหร่ายเริ่มต้นต่าง ๆ กัน....	53

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่	หน้า
4-19 การเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของสาหร่าย <i>Scenedesmus</i> sp. ที่เพาะเลี้ยงในอาหารเพาะเลี้ยงสูตร BG-11 ที่ไม่มีการเติมสาร Na_2SO_4 และมี pH เริ่มต้นแตกต่างกัน.....	54
4-20 การเปลี่ยนแปลง TDS ของอาหารเพาะเลี้ยงสาหร่าย <i>Scenedesmus</i> sp. สูตร BG-11 ที่ไม่มีการเติม Na_2SO_4 และมี pH เริ่มต้นแตกต่างกัน.....	55
4-21 การเปลี่ยนแปลง pH ของอาหารเพาะเลี้ยงสาหร่าย <i>Scenedesmus</i> sp. สูตร BG-11 ที่ไม่มีการเติม Na_2SO_4 และมี pH เริ่มต้นแตกต่างกัน.....	56
4-22 การเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของไนเตรท-ไนโตรเจนของอาหารเพาะเลี้ยงสาหร่าย <i>Scenedesmus</i> sp. สูตร BG-11 ที่ไม่มีการเติม Na_2SO_4 และมี pH เริ่มต้นแตกต่างกัน.....	57
4-23 การเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของสาหร่าย <i>Scenedesmus</i> sp. ความเข้มข้นไนเตรท-ไนโตรเจน, ความเข้มข้นของ TDS และ pH สุดท้าย ที่เพาะเลี้ยงในอาหารมี pH เริ่มต้นต่าง ๆ กัน.....	58
4-24 การเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของสาหร่าย <i>Scenedesmus</i> sp. ที่เพาะเลี้ยงในอาหารสูตร BG-11 ที่มีการเติม Na_2SO_4 เพิ่มขึ้นแตกต่างกันและมี pH เริ่มต้นเท่ากับ 7.0 ระยะเวลา 12 วัน.....	59
4-25 การเปลี่ยนแปลง TDS ของอาหารเพาะเลี้ยงสาหร่าย <i>Scenedesmus</i> sp. ที่มีการเติม Na_2SO_4 เพิ่มขึ้นต่าง ๆ กัน และมี pH เริ่มต้นเท่ากับ 7.0 ระยะเวลาเพาะเลี้ยง 12 วัน.....	60
4-26 การเปลี่ยนแปลงไนเตรท-ไนโตรเจนของอาหารเพาะเลี้ยงสาหร่าย <i>Scenedesmus</i> sp. ที่มีการเติม Na_2SO_4 เพิ่มขึ้นต่าง ๆ กันและมี pH เริ่มต้นเท่ากับ 7.0 ระยะเวลาเพาะเลี้ยง 12 วัน.....	61
4-27 การเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของสาหร่าย <i>Scenedesmus</i> sp. ความเข้มข้นไนเตรท-ไนโตรเจน, ความเข้มข้นของ TDS และ pH สุดท้าย ที่เพาะเลี้ยงในอาหารมี pH เริ่มต้นต่าง ๆ กัน เป็นระยะเวลานาน 12 วัน.....	62
4-28 การเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของสาหร่าย <i>Scenedesmus</i> sp. ที่เพาะเลี้ยงในอาหารเพาะเลี้ยงสูตร BG-11 ที่มีการเติมสาร Na_2SO_4 400 mg/L และปริมาณสาหร่ายเริ่มต้นต่าง ๆ กัน.....	64

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่	หน้า
4-29 การเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของสาหร่าย <i>Scenedesmus</i> sp. ที่เพาะเลี้ยงในอาหาร เพาะเลี้ยงสูตร BG-11 ที่มีการเติมสาร Na_2SO_4 600 mg/L และปริมาณสาหร่ายเริ่มต้น ต่าง ๆ กัน.....	65
4-30 การเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของสาหร่าย <i>Scenedesmus</i> sp. ที่เพาะเลี้ยงในอาหาร เพาะเลี้ยงสูตร BG-11 ที่มีการเติมสาร Na_2SO_4 800 mg/L และปริมาณสาหร่ายเริ่มต้น ต่าง ๆ กัน.....	67
4-31 การเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของสาหร่าย <i>Scenedesmus</i> sp. ที่เพาะเลี้ยงในอาหาร เพาะเลี้ยงสูตร BG-11 ที่มีการเติมสาร Na_2SO_4 1000 mg/L และปริมาณสาหร่ายเริ่มต้น ต่าง ๆ กัน.....	68
4-32 การเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของสาหร่าย <i>Scenedesmus</i> sp. ที่เพาะเลี้ยงในอาหาร เพาะเลี้ยงสูตร BG-11 ที่มีปริมาณสาหร่ายเริ่มต้นต่าง ๆ กัน ระยะเวลาเพาะเลี้ยง 12 วัน...69	69
4-33 การเปลี่ยนแปลงความเข้มข้น TDS ของอาหารสูตร BG-11 ที่เพาะเลี้ยงสาหร่าย <i>Scenedesmus</i> sp. ที่มีการเติมสาร Na_2SO_4 400 mg/L และปริมาณสาหร่ายเริ่มต้น ต่าง ๆ กัน.....	70
4-34 การเปลี่ยนแปลงความเข้มข้น TDS ของอาหารสูตร BG-11 ที่เพาะเลี้ยงสาหร่าย <i>Scenedesmus</i> sp. ที่มีการเติมสาร Na_2SO_4 600 mg/L และปริมาณสาหร่ายเริ่มต้น ต่าง ๆ กัน.....	70
4-35 การเปลี่ยนแปลงความเข้มข้น TDS ของอาหารสูตร BG-11 ที่เพาะเลี้ยงสาหร่าย <i>Scenedesmus</i> sp. ที่มีการเติมสาร Na_2SO_4 800 mg/L และปริมาณสาหร่ายเริ่มต้น ต่าง ๆ กัน.....	71
4-36 การเปลี่ยนแปลงความเข้มข้น TDS ของอาหารสูตร BG-11 ที่เพาะเลี้ยงสาหร่าย <i>Scenedesmus</i> sp. ที่มีการเติมสาร Na_2SO_4 1000 mg/L และปริมาณสาหร่ายเริ่มต้น ต่าง ๆ กัน.....	71
4-37 การเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของสาหร่าย <i>Chroococcus turgidus</i> ที่เพาะเลี้ยงในอาหาร เพาะเลี้ยงสูตร BG-11 ที่ไม่มีการเติมสาร Na_2SO_4 และมี pH เริ่มต้นแตกต่างกัน.....	73

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่	หน้า
4-38 การเปลี่ยนแปลง TDS ของอาหารเพาะเลี้ยงสาหร่าย <i>Chroococcus turgidus</i> สูตร BG-11 ที่ไม่มีการเติม Na_2SO_4 และมี pH เริ่มต้นแตกต่างกัน.....	73
4-39 การเปลี่ยนแปลง pH ของอาหารเพาะเลี้ยงสาหร่าย <i>Chroococcus turgidus</i> สูตร BG-11 ที่ไม่มีการเติม Na_2SO_4 และมี pH เริ่มต้นแตกต่างกัน.....	74
4-40 การเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของไนเตรท-ไนโตรเจนของอาหารเพาะเลี้ยงสาหร่าย <i>Chroococcus turgidus</i> สูตร BG-11 ที่ไม่มีการเติม Na_2SO_4 และมี pH เริ่มต้นแตกต่างกัน.....	75
4-41 การเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของสาหร่าย <i>Chroococcus turgidus</i> ความเข้มข้นไนเตรท-ไนโตรเจน, ความเข้มข้นของ TDS และ pH สุดท้าย ที่เพาะเลี้ยงในอาหารมี pH เริ่มต้นต่าง ๆ กัน.....	76
4-42 การเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของสาหร่าย <i>Chroococcus turgidus</i> ที่เพาะเลี้ยงในอาหารสูตร BG-11 ที่มีการเติม Na_2SO_4 เพิ่มขึ้นแตกต่างกันและมี pH เริ่มต้นเท่ากับ 9.0 ระยะเวลา 12 วัน.....	77
4-43 การเปลี่ยนแปลง TDS ของอาหารเพาะเลี้ยงสาหร่าย <i>Chroococcus turgidus</i> ที่มีการเติม Na_2SO_4 เพิ่มขึ้นต่าง ๆ กันและมี pH เริ่มต้นเท่ากับ 9.0 ระยะเวลาเพาะเลี้ยง 12 วัน.....	78
4-44 การเปลี่ยนแปลงไนเตรท-ไนโตรเจนของอาหารเพาะเลี้ยงสาหร่าย <i>Chroococcus turgidus</i> ที่มีการเติม Na_2SO_4 เพิ่มขึ้นต่าง ๆ กันและมี pH เริ่มต้นเท่ากับ 9.0 ระยะเวลาเพาะเลี้ยง 12 วัน.....	79
4-45 การเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของสาหร่าย <i>Chroococcus turgidus</i> ความเข้มข้นไนเตรท-ไนโตรเจน, ความเข้มข้นของ TDS และ pH สุดท้าย ที่เพาะเลี้ยงในอาหารมี pH เริ่มต้นต่าง ๆ กัน เป็นระยะเวลานาน 12 วัน.....	79
4-46 การเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของสาหร่าย <i>Chroococcus turgidus</i> ที่เพาะเลี้ยงในอาหารเพาะเลี้ยงสูตร BG-11 ที่มีการเติมสาร Na_2SO_4 400 mg/L และปริมาณสาหร่ายเริ่มต้นต่าง ๆ กัน.....	81

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่	หน้า
4-47 การเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของสาหร่าย <i>Chroococcus turgidus</i> ที่เพาะเลี้ยงในอาหาร เพาะเลี้ยงสูตร BG-11 ที่มีการเติมสาร Na_2SO_4 600 mg/L และปริมาณสาหร่ายเริ่มต้น ต่าง ๆ กัน.....	82
4-48 การเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของสาหร่าย <i>Chroococcus turgidus</i> ที่เพาะเลี้ยงในอาหาร เพาะเลี้ยงสูตร BG-11 ที่มีการเติมสาร Na_2SO_4 800 mg/L และปริมาณสาหร่ายเริ่มต้น ต่าง ๆ กัน.....	83
4-49 การเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของสาหร่าย <i>Chroococcus turgidus</i> ที่เพาะเลี้ยงในอาหาร เพาะเลี้ยงสูตร BG-11 ที่มีการเติมสาร Na_2SO_4 1000 mg/L และปริมาณสาหร่ายเริ่มต้น ต่าง ๆ กัน.....	84
4-50 การเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของสาหร่าย <i>Chroococcus turgidus</i> ที่เพาะเลี้ยงในอาหาร เพาะเลี้ยงสูตร BG-11 ที่มีปริมาณสาหร่ายเริ่มต้นต่าง ๆ กัน ระยะเวลาเพาะเลี้ยง 12 วัน...	85
4-51 การเปลี่ยนแปลงความเข้มข้น TDS ของอาหารสูตร BG-11 ที่เพาะเลี้ยงสาหร่าย <i>Chroococcus turgidus</i> ที่มีการเติมสาร Na_2SO_4 400 mg/L และปริมาณสาหร่ายเริ่มต้น ต่าง ๆ กัน.....	86
4-52 การเปลี่ยนแปลงความเข้มข้น TDS ของอาหารสูตร BG-11 ที่เพาะเลี้ยงสาหร่าย <i>Chroococcus turgidus</i> ที่มีการเติมสาร Na_2SO_4 600 mg/L และปริมาณสาหร่ายเริ่มต้น ต่าง ๆ กัน.....	86
4-53 การเปลี่ยนแปลงความเข้มข้น TDS ของอาหารสูตร BG-11 ที่เพาะเลี้ยงสาหร่าย <i>Chroococcus turgidus</i> ที่มีการเติมสาร Na_2SO_4 800 mg/L และปริมาณสาหร่ายเริ่มต้น ต่าง ๆ กัน.....	87
4-54 การเปลี่ยนแปลงความเข้มข้น TDS ของอาหารสูตร BG-11 ที่เพาะเลี้ยงสาหร่าย <i>Chroococcus turgidus</i> ที่มีการเติมสาร Na_2SO_4 1000 mg/L และปริมาณสาหร่ายเริ่มต้น ต่าง ๆ กัน.....	87
4-55 pH สุดท้ายของน้ำทิ้งอุตสาหกรรมที่ใช้เพาะเลี้ยงสาหร่าย <i>Chlorella</i> sp.....	89
4-56 pH สุดท้ายของน้ำทิ้งอุตสาหกรรมที่ใช้เพาะเลี้ยงสาหร่าย <i>Scenedesmus</i> sp.....	89

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่	หน้า
4-57 การเปลี่ยนแปลงความเข้มข้น TDS ของน้ำทิ้งอุตสาหกรรมที่ใช้เพาะเลี้ยงสาหร่าย <i>Chlorella</i> sp.....	90
4-58 การเปลี่ยนแปลงความเข้มข้น TDS ในน้ำทิ้งอุตสาหกรรมที่ใช้เพาะเลี้ยงสาหร่าย <i>Scenedesmus</i> sp.....	91
4-59 ปริมาณน้ำหนักแห้งของ <i>Chlorella</i> sp. ในน้ำทิ้งอุตสาหกรรม.....	92
4-60 ปริมาณน้ำหนักแห้งของ <i>Scenedesmus</i> sp. ในน้ำทิ้งอุตสาหกรรม.....	92
ก-1 อุปกรณ์วัดความเข้มแสง.....	108
ก-2 pH meter ยี่ห้อ EUTECH รุ่น CyberScan pH-510.....	108
ก-3 อุปกรณ์วัด TDS.....	109
ก-4 เครื่อง Ion Chromatography ยี่ห้อ DIONEX รุ่น LC 20 Chromatography Enclosure.....	109
ก-5 ขั้ววงสาหร่ายที่ใช้วัดน้ำเกลือขนาด 1,000 ml เลี้ยงสาหร่าย.....	110
ก-6 ขั้ววงสาหร่ายที่ใช้ถังปฏิกิริยาขนาด 3,000 ml เลี้ยงสาหร่าย.....	110
ก-7 น้ำหนักแห้งของสาหร่าย.....	111
ก-8 น้ำตัวอย่างที่ผ่านการกรองสำหรับวิเคราะห์โดยวิธีไอออนโครมาโทกราฟี.....	111
ก-9 ของแข็งละลายน้ำทั้งหมดที่วิเคราะห์โดยวิธีมาตรฐาน (Standard Methods).....	112