

ห้องสมุดงานวิจัย สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ



242304

การผลิตรงควัตถุสารสีจากสาหร่าย *Oscillatoria* sp. ในเชิงพาณิชย์

ชานี ดวงเทพ

ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีการประมง
มหาวิทยาลัยแม่โจ้

พ.ศ. 2554



การผลิตรงควัตถุสารสีจากสาหร่าย *Oscillatoria* sp. ในเชิงพาณิชย์



ชานี ด้วงเทพ

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของความสมบูรณ์ของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีการประมง
สำนักบริหารและพัฒนาวิชาการ มหาวิทยาลัยแม่โจ้
พ.ศ. 2554

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยแม่โจ้



ใบรับรองวิทยานิพนธ์

สำนักบริหารและพัฒนานิชาการ มหาวิทยาลัยแม่โจ้
ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีการประมง

ชื่อเรื่อง

การผลิตตรงควัตถุสารสีจากสาหร่าย *Oscillatoria* sp. ในเชิงพาณิชย์

โดย

ชำนาญี ด้วงเทพ

พิจารณาเห็นชอบโดย

ประธานกรรมการที่ปรึกษา

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.จกกล พรหมยะ)

วันที่ ๒ เดือน พ.ย. พ.ศ. ๕๔

กรรมการที่ปรึกษา

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.บัญญัติ มนเทียรอาสน์)

วันที่ ๒ เดือน พ.ย. พ.ศ. ๕๔

กรรมการที่ปรึกษา

(รองศาสตราจารย์ ดร.นิวัติ หวังชัย)

วันที่ ๒ เดือน พ.ย. พ.ศ. ๕๔

ประธานกรรมการประจำหลักสูตร

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.บัญญัติ มนเทียรอาสน์)

วันที่ ๒ เดือน พ.ย. พ.ศ. ๕๔

สำนักบริหารและพัฒนานิชาการรับรองแล้ว

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.จำเนียร ยศราช)

ประธานกรรมการบัณฑิตศึกษา

วันที่ ๓ เดือน พ.ย. พ.ศ. ๕๕๔

ชื่อเรื่อง	การผลิตรงควัตถุสารสีจากสาหร่าย <i>Oscillatoria</i> sp. ในเชิงพาณิชย์
ชื่อผู้เขียน	นายธานี ด้วงเทพ
ชื่อปริญญา	วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีการประมง
ประธานกรรมการที่ปรึกษา	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.จกกล พรมยะ

บทคัดย่อ

242304

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาการเจริญเติบโต ปัจจัยทางกายภาพและเคมี คุณค่าทางโภชนาการ และรงควัตถุสารสี ของสาหร่าย *Oscillatoria* sp. โดยแบ่งออกเป็น 2 การทดลอง การทดลองที่ 1 การเพาะเลี้ยงสาหร่าย *Oscillatoria* sp. ในห้องปฏิบัติการ โดยแบ่งการทดลองออกเป็น 4 หน่วยการทดลองๆ ละ 3 ซ้ำ คือ สูตรอาหารที่ 1 ปุ๋ยนา N : P : K (16:16:16) 0.6 กรัมต่อลิตร กับปุ๋ย ยูเรีย N : P : K (46:0:0) 1 กรัมต่อลิตร, สูตรอาหารที่ 2 ปุ๋ยนา N : P : K (16:16:16) 0.6 กรัมต่อลิตร กับ ปุ๋ยมูลไก่ 10 เปอร์เซ็นต์, สูตรอาหารที่ 3 ปุ๋ยนา N : P : K (16:16:16) 0.6 กรัมต่อลิตร กับ Na_2HCO_3 1 กรัมต่อลิตร และสูตรอาหารที่ 4 Na_2HCO_3 2 กรัมต่อลิตร, NaCl 1 กรัมต่อลิตร และ MgSO_4 1 กรัมต่อลิตร โดยปรับ pH เริ่มต้นเท่ากับ 10 และอุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส ให้อากาศ และแสงสว่างอย่างต่อเนื่องที่ความเข้มแสง 5,000 ลักซ์ เป็นระยะเวลา 15 วัน จากการทดลองที่ 1 พบว่าความหนาแน่นของเซลล์ในอาหารสูตรที่ 3 สูงที่สุดในช่วงวันที่ 9 เท่ากับ 0.325 ± 0.03 , pH มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 8.05 - 10, $\text{NH}_3\text{-N}$ มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.622 - 1.535 มิลลิกรัมต่อลิตร, $\text{NO}_3\text{-N}$ ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.257 - 3.71 มิลลิกรัมต่อลิตร และ $\text{PO}_4\text{-P}$ มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.741 - 2.662 มิลลิกรัมต่อลิตร คุณค่าทางโภชนาการของสาหร่าย *Oscillatoria* sp. พบว่าความชื้น และโปรตีนมีค่าสูงที่สุดในสูตรอาหารที่ 3 เท่ากับ 9.583 ± 0.17 และ 27.190 ± 0.82 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักแห้ง, ไขมันพบสูงที่สุดในสาหร่ายที่เลี้ยงในสูตรอาหารที่ 1 เท่ากับ 2.379 ± 0.32 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักแห้ง, เยื่อใยพบสูงที่สุดในสาหร่ายที่เลี้ยงในสูตรอาหารที่ 4 เท่ากับ 1.419 ± 0.02 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักแห้ง และกรดไขมัน พบว่ากรดไขมันอิ่มตัวรวมเฉลี่ยเท่ากับ 1 - 1.49 กรัมต่อหนึ่งร้อยกรัม, กรดไขมันไม่อิ่มตัวเชิงเดี่ยวรวม เฉลี่ยเท่ากับ 0.793 - 1 กรัมต่อหนึ่งร้อยกรัม และกรดไขมันไม่อิ่มตัวเชิงซ้อนรวม เฉลี่ยเท่ากับ 0.49 - 0.607 กรัมต่อหนึ่งร้อยกรัม ผลของรงควัตถุสารสี (pigment) ของสาหร่าย *Oscillatoria* sp. พบว่า total carotenoid, β - carotene และ C - phycocyanin มีค่าสูงที่สุดในสูตรอาหารที่ 3 เท่ากับ 855.436 ± 1.11 , 155.418 ± 1.07 และ 35.638 ± 1.31 ไมโครกรัมต่อกรัม

โดยน้ำหนักแห้ง ตามลำดับ ในส่วนผลของสารพิษไมโครซิสติน (microcystin) ในสาหร่าย *Oscillatoria* sp. พบว่าเซลล์สาหร่ายในทั้ง 4 สูตรอาหารไม่มีสารพิษไมโครซิสติน

การทดลองที่ 2 เป็นการเพาะเลี้ยงสาหร่าย *Oscillatoria* sp. ในบ่อกลางแจ้ง โดยคัดเลือกสูตรอาหารที่เหมาะสม จากการทดลองที่ 1 คือ สูตรอาหารที่ 3 และสูตรอาหารที่ 4 พบว่าสูตรอาหารที่ 3 มีความหนาแน่นของเซลล์สูงที่สุดในวันที่ 10 เท่ากับ 0.364 ± 0.01 และน้ำหนักเซลล์แห้งสูงที่สุดในวันที่ 14 ของการทดลอง เท่ากับ 0.78 ± 0.05 กรัมต่อลิตร, ส่วนพารามิเตอร์คุณภาพน้ำในสูตรอาหารที่ 3 และสูตรอาหารที่ 4 มีค่า pH ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 8.7 - 10, $\text{NH}_3\text{-N}$ ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.189 - 1.129 มิลลิกรัมต่อลิตร, $\text{NO}_3\text{-N}$ ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.06 - 3.697 มิลลิกรัมต่อลิตร และ $\text{PO}_4\text{-P}$ ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.674 - 2.962 มิลลิกรัมต่อลิตร

สูตรอาหารที่ 3 เหมาะสมที่สุดสำหรับนำไปใช้เลี้ยงสาหร่ายเชิงพาณิชย์ โดยให้ความหนาแน่นของเซลล์สูงสุด 0.383 และให้น้ำหนักมวลชีวภาพทั้งหมด เท่ากับ 853.45 กรัมต่อน้ำหนักเปียก เมื่อเพาะเลี้ยง 12 วัน และสามารถเก็บซ้ำทุก 12 วัน

Title	Commercial Production of Pigment from <i>Oscillatoria</i> sp.
Author	Mr. Chumni Dungtap
Degree of	Master of Science in Fisheries Technology
Advisory Committee Chairperson	Assistant Professor Dr. Jongkol Promya

ABSTRACT

242304

The purpose this study was to determine the growth as affected by physical, chemical and nutritional values including pigment content of *Oscillatoria* sp. The experiment was divided into 2 parts with the first experiment involving the culture of *Oscillatoria* sp. in laboratory with 4 treatments in 3 replicates: Treatment 1 (0.6 g/L of 16-16-16 NPK and 1 g/L of Urea (46-0-0)), Treatment 2 (0.6 g/L of N-P-K (16-16-16) and 10% of fermented poultry waste), Treatment 3 (0.6 g/L of N-P-K (16-16-16) and 1 g/L of Na_2HCO_3) and, Treatment 4 (2 g/L of Na_2HCO_3 , 1 g/L of NaCl and 1 g/L of MgSO_4). With initial pH adjusted to 10, cultures were incubated at 30°C under continuous aeration and 5,000 Lux illumination for 15 days. In this experiment, highest optical density of *Oscillatoria* sp. was obtained during day 9 in Treatment 3 (0.325 ± 0.03) with an average pH ranging from 8.05 to 10, while $\text{NH}_3\text{-N}$ was 0.622 - 1.535 mg/L, $\text{NO}_3\text{-N}$ was 0.257 - 3.71 mg/L and $\text{PO}_4\text{-P}$ was 0.741 - 2.662 mg/L. Referring to nutritional values, highest moisture and protein were 9.583 ± 0.17 and 27.190 ± 0.82 % (dry weight), respectively, which were found in algae cultured in Treatment 3. Highest fat content was $2.379 \pm 0.32\%$ (dry weight) found in algae cultured in Treatment 1 while highest fiber was $1.419 \pm 0.02\%$ (dry weight) found in algae cultured in Treatment 4. Fatty acid was determined as average total saturated fatty acids at 1 - 1.49 g/100g, average total mono-unsaturated fatty acids at 0.793 - 1 g/100g and average total polyunsaturated fatty acids at 0.49 - 0.607 g/100g. For pigments of *Oscillatoria* sp., results showed that highest total carotenoid, β - carotene and C - phycocyanin contents were 855.436 ± 1.11 , 155.418 ± 1.07 and 35.638 ± 1.31 $\mu\text{g/g}$ (dry weight), respectively, which were found in algae cultured in Treatment 3. Microcystin toxin was not detected in *Oscillatoria* sp. cells of all media.

The second experiment involved the culture of *Oscillatoria* sp. in an outdoor pond using suitable media from the first experiment (Treatments 3 and 4). Results showed that highest optical density and dry weight of *Oscillatoria* sp. were obtained during day 9 and day 14 at 0.364 ± 0.01 and 0.78 ± 0.05 g/L, respectively, in algae cultured in Treatment 3. For water quality in algae culture ponds, average values for pH, $\text{NH}_3\text{-N}$, $\text{NO}_3\text{-N}$ and $\text{PO}_4\text{-P}$ were 8.7 - 10, 0.189 - 1.129 mg/L, 0.06 - 3.697 mg/L and 0.674 - 2.962 mg/L, respectively.

In summary, Treatment 3 is considered the most suitable medium for the commercial culture of *Oscillatoria* sp. as it provided the highest optical density of 0.383 with total biomass weight of 853.45 g (wet weight), which can be harvested every 12 days.

platensis มีเปอร์เซ็นต์ความชื้นเท่ากับอยู่ระหว่าง 4.25 - 26.58 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักแห้ง ที่เลี้ยงในสูตรอาหารน้ำทิ้งจากโรงอาหาร (cafeteria water; Cw) Cw 100 เปอร์เซ็นต์ ส่วนในสาหร่ายสีเขียวพวกสาหร่าย *Cladophora* sp. พบว่าเปอร์เซ็นต์เถ้าเท่ากับ 19.6 เปอร์เซ็นต์ (ยูวดี, 2548) สุฤทธิ และคณะ (2551) กล่าวว่าสาหร่าย *Cladophora* sp. มีเปอร์เซ็นต์เถ้าเท่ากับ 20.80 เปอร์เซ็นต์ ส่วนในสาหร่าย *Spirogyra* sp. มีเปอร์เซ็นต์เถ้า 7.66 เปอร์เซ็นต์ (Peerapornisal *et al.*, 1997 อ้างโดย จงกล, 2552)

3 โปรตีน (protein)

โปรตีนเป็นสารอาหารที่ให้พลังงานและเป็นองค์ประกอบของเซลล์ทุกส่วนของร่างกายเซลล์ต้องการโปรตีน เพื่อการเจริญเติบโต และซ่อมแซมส่วนที่สึกหรอ แหล่งของโปรตีนมีอยู่ด้วยกัน 2 แหล่งคือ แหล่งโปรตีนจากสัตว์ ได้แก่ เนื้อสัตว์และผลิตภัณฑ์จากสัตว์ เช่น ไรแดง หนอนแดง เนื้อปลา ปลาเป็ด เป็นต้น และแหล่งโปรตีนจากพืช ได้แก่ พืชผักทุกชนิดที่ประกอบด้วยโปรตีน เช่น กากถั่วเหลือง เมล็ดถั่วเหลือง กากถั่วลิสง และสาหร่าย เป็นต้น

สุนนทิพย์ และปิยะดา (2532) ได้วิเคราะห์คุณค่าทางอาหารของสาหร่าย *Oscillatoria* sp. พบว่าเปอร์เซ็นต์โปรตีนเท่ากับ 44.57 ± 0.16 เปอร์เซ็นต์ ส่วนในสาหร่าย *Spirulina* sp. เปอร์เซ็นต์โปรตีนเท่ากับ 53.88 ± 0.27 เปอร์เซ็นต์ Mohan *et al.* (2010) กล่าวว่าสาหร่าย *Oscillatoria* sp. มีโปรตีนเท่ากับ 14.24 กรัมต่อมิลลิลิตร Gisela *et al.* (2009) กล่าวว่าสาหร่าย *Oscillatoria* sp. MOF-06 มีโปรตีนเท่ากับ 486.07 ± 26.78 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร จงกล และคณะ (2552) กล่าวว่าสาหร่าย *Spirulina platensis* มีเปอร์เซ็นต์โปรตีนเท่ากับ อยู่ระหว่าง 31.94 - 55.44 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักแห้ง ที่เลี้ยงในสูตรอาหาร MZm ส่วนในสาหร่ายสีเขียว พวกสาหร่าย *Cladophora* sp. พบว่าเปอร์เซ็นต์โปรตีนเท่ากับ 19.3 เปอร์เซ็นต์ (ยูวดี, 2548)

4 ไขมัน (lipid)

ไขมันเป็นสารอาหารที่ให้พลังงานสูง ซึ่งสูงกว่าคาร์โบไฮเดรตและถ้าเหลือใช้เกินความต้องการ สามารถเก็บสะสมไว้ใช้เองได้ในเวลาที่ขาดแคลน ไขมันเป็นสารอาหารที่จำเป็นต่อการเจริญเติบโต เพราะว่าไขมันเป็นส่วนประกอบที่สำคัญของผนังเซลล์ แหล่งของไขมันที่เป็นวัตถุดิบอาหาร ได้แก่ กากถั่วเหลือง รำละเอียด ปลาหมักป่น กากถั่วลิสง และรำข้าวโพด เป็นต้น

สุนนทิพย์ และปิยะดา (2532) ได้วิเคราะห์คุณค่าทางอาหารของสาหร่าย *Oscillatoria* sp. พบว่าเปอร์เซ็นต์ไขมันเท่ากับ 1.88 ± 0.10 เปอร์เซ็นต์ Mohan *et al.* (2010) กล่าวว่าสาหร่าย *Oscillatoria* sp. มีไขมันเท่ากับ 18.99 กรัมต่อมิลลิลิตร จงกล และคณะ (2552) กล่าวว่า

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ	(3)
ABSTRACT	(5)
กิตติกรรมประกาศ	(7)
สารบัญ	(8)
สารบัญตาราง	(11)
สารบัญภาพ	(12)
สารบัญผนวกตาราง	(15)
สารบัญผนวกภาพ	(16)
บทที่ 1 บทนำ	1
วัตถุประสงค์ของโครงการวิจัย	2
ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	2
ขอบเขตของการวิจัย	3
บทที่ 2 การตรวจเอกสาร	4
สาหร่าย	4
การจัดหมวดหมู่ของสาหร่าย	4
การจัดจำแนกลักษณะทางอนุกรมวิธานของสาหร่าย <i>Oscillatoria</i> sp.	5
ลักษณะทั่วไป	5
การสืบพันธุ์	5
การแพร่กระจาย	6
คุณสมบัติพิเศษของสาหร่าย <i>Oscillatoria</i> sp.	7
สภาวะแวดล้อม และปัจจัยที่มีผลต่อการเติบโตของสาหร่าย <i>Oscillatoria</i> sp.	9
สภาวะแวดล้อมที่มีผลต่อการเติบโตของสาหร่าย <i>Oscillatoria</i> sp.	9
การเจริญเติบโตของสาหร่าย <i>Oscillatoria</i> sp.	13
คุณค่าทางโภชนาการ และรงควัตถุสารสี (pigment) ของสาหร่าย <i>Oscillatoria</i> sp.	15
คุณค่าทางโภชนาการของสาหร่าย <i>Oscillatoria</i> sp.	15
การสังเคราะห์แสงและรงควัตถุสารสี ของสาหร่าย <i>Oscillatoria</i> sp.	27

	หน้า
กลุ่มของสารพิษที่ผลิตโดยสาหร่ายน้ำจืด	31
กลุ่มที่เป็นพิษต่อเซลล์ (cytotoxin)	31
กลุ่มที่เป็นพิษต่อสัตว์ (biotoxin)	32
สารพิษที่ออกฤทธิ์ต่อระบบประสาท	35
บทที่ 3 วิธีการวิจัย	37
เครื่องมือและอุปกรณ์ทำการทดลอง	37
วิธีดำเนินการวิจัย	39
การเตรียมหัวเชื้อตั้งต้น	39
การทดลองที่ 1 การเพาะเลี้ยงสาหร่าย <i>Oscillatoria</i> sp. ในห้องปฏิบัติการ	39
การวัดค่าการเจริญเติบโต	40
การตรวจวัดคุณภาพน้ำ ด้านกายภาพ และเคมี	41
การวิเคราะห์คุณค่าโภชนาการ การตรวจวัดหาปริมาณ	
รงควัตถุสารสี	41
การวิเคราะห์หาปริมาณกลุ่มสารพิษไมโครซิสติน (microcystin)	41
การวิเคราะห์ข้อมูล	41
การทดลองที่ 2 การเพาะเลี้ยงสาหร่าย <i>Oscillatoria</i> sp. ในบ่อกลางแจ้ง	41
การวัดค่าการเจริญเติบโต	42
การตรวจวัดคุณภาพน้ำ ด้านกายภาพ และเคมี	42
การวิเคราะห์ข้อมูล	42
การนำสาหร่าย <i>Oscillatoria</i> sp. ไปเพาะเลี้ยงในเชิงพาณิชย์	42
บทที่ 4 ผลการวิจัย	43
การทดลองที่ 1 การเพาะเลี้ยงสาหร่าย <i>Oscillatoria</i> sp. ในห้องปฏิบัติการ	43
ผลของการวัดค่าการเจริญเติบโต	43
ผลของคุณภาพน้ำทางกายภาพ และเคมี	45
ผลของคุณค่าโภชนาการของสาหร่าย <i>Oscillatoria</i> sp.	56
ผลของรงควัตถุสารสี (pigment) ของสาหร่าย <i>Oscillatoria</i> sp.	66
ผลของกลุ่มสารพิษไมโครซิสติน ของสาหร่าย <i>Oscillatoria</i> sp.	68

การทดลองที่ 2 การเพาะเลี้ยงสาหร่าย <i>Oscillatoria</i> sp. ในบ่อกลางแจ้ง	70
ผลของการวัดค่าการเจริญเติบโต	70
ผลของคุณภาพน้ำทางกายภาพ และเคมี	71
การนำสาหร่าย <i>Oscillatoria</i> sp. ไปเพาะเลี้ยงในเชิงพาณิชย์	78
บทที่ 5 การวิจารณ์ผลการวิจัย	79
การทดลองที่ 1 การเพาะเลี้ยงสาหร่าย <i>Oscillatoria</i> sp. ในห้องปฏิบัติการ	79
ผลของการวัดค่าการเจริญเติบโต	79
ผลของคุณภาพน้ำทางกายภาพ และเคมี	80
ผลของคุณค่าโภชนาการของสาหร่าย <i>Oscillatoria</i> sp.	83
ผลของรงควัตถุสารสี (pigment) ของสาหร่าย <i>Oscillatoria</i> sp.	88
ผลของกลุ่มสารพิษไมโครซิสติน ของสาหร่าย <i>Oscillatoria</i> sp.	91
การทดลองที่ 2 การเพาะเลี้ยงสาหร่าย <i>Oscillatoria</i> sp. ในบ่อกลางแจ้ง	92
ผลของการวัดค่าการเจริญเติบโต	92
ผลของคุณภาพน้ำทางกายภาพ และเคมี	94
บทที่ 6 สรุปผลการวิจัย และข้อเสนอแนะ	97
สรุปผลการวิจัย	97
การทดลองที่ 1 การเพาะเลี้ยงสาหร่าย <i>Oscillatoria</i> sp. ในห้องปฏิบัติการ	97
การทดลองที่ 2 การเพาะเลี้ยงสาหร่าย <i>Oscillatoria</i> sp. ในบ่อกลางแจ้ง	98
ข้อเสนอแนะ	98
บรรณานุกรม	99
ภาคผนวก	109
ภาคผนวก ก ตารางผนวกการวัดความหนาแน่นของเซลล์, คุณภาพน้ำ,	
คุณค่าทางโภชนาการ และรงควัตถุสารสี ตลอดทั้งการทดลอง	110
ภาคผนวก ข ภาพผนวกปฏิบัติงานต่างๆ ในการวิจัย	118
ภาคผนวก ค การวิเคราะห์คุณภาพน้ำ	123
ภาคผนวก ง การวิเคราะห์คุณค่าทางโภชนาการ และรงควัตถุสารสี (pigment)	132
ภาคผนวก จ การวิเคราะห์ปริมาณไมโครซิสติน (microcystin)	151
ภาคผนวก ฉ ประวัติผู้วิจัย	153

สารบัญตาราง

ตาราง	หน้า
1 กรดไขมันชนิดต่างๆ ที่พบได้ทั่วไปในพืชและสัตว์	23
2 สูตรอาหารที่แตกต่างกันใช้ในการเพาะเลี้ยงสาหร่าย <i>Oscillatoria</i> sp. (กรัมต่อลิตร)	40
3 ผลของกรดไขมัน (fatty acid) ชนิดต่างๆ ที่พบในสาหร่าย <i>Oscillatoria</i> sp. เป็นระยะเวลา 15 วัน (กรัมต่อ 100 กรัม)	64
4 ผลของคุณค่าทางโภชนาการของสาหร่าย <i>Oscillatoria</i> sp. และ สาหร่าย <i>Spirulina</i> sp.	85
5 ผลของรงควัตถุสารสี (pigment) ของสาหร่าย <i>Oscillatoria</i> sp. และ สาหร่าย <i>Spirulina</i> sp.	90

สารบัญภาพ

ภาพ		หน้า
1	สาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินแบบเส้นสายแสดงฮอร์โมโกเนียม เซลล์ตาย และเซพาราชันดิส	6
2	กราฟการเจริญเติบโตของสาหร่าย	14
3	โครงสร้างของ Triglyceride	19
4	โครงสร้างของกรดไขมันอิ่มตัว (saturated fatty acid)	21
5	โครงสร้างของกรดไขมันไม่อิ่มตัว (unsaturated fatty acid)	21
6	โครงสร้างทางเคมีของ คลอโรฟิลล์ เอ (Chlorophyll - a)	28
7	โครงสร้างทางเคมีของ β - carotene	29
8	โครงสร้างทางเคมีของ xanthophylls	29
9	โครงสร้างทางเคมีของ C - phycocyanin	30
10	สาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินในกลุ่มที่เป็นพิษต่อสัตว์ (biotoxin)	32
11	สารพิษกลุ่ม Microcystin	34
12	สารพิษในกลุ่ม Nodularin	35
13	ความหนาแน่นของเซลล์ (optical density) ของการเพาะเลี้ยงสาหร่าย <i>Oscillatoria</i> sp. ตลอดระยะเวลา 15 วัน	43
14	น้ำหนักเซลล์แห้ง (cell dry weight) ตลอดการทดลองของการเพาะเลี้ยงสาหร่าย <i>Oscillatoria</i> sp. ระยะเวลา 15 วัน (กรัมต่อลิตร)	45
15	อุณหภูมิน้ำตลอดการทดลองของการเพาะเลี้ยงสาหร่าย <i>Oscillatoria</i> sp. ระยะเวลา 15 วัน (องศาเซลเซียส)	47
16	อุณหภูมิอากาศตลอดการทดลองของการเพาะเลี้ยงสาหร่าย <i>Oscillatoria</i> sp. ระยะเวลา 15 วัน (องศาเซลเซียส)	48
17	ออกซิเจนที่ละลายน้ำ (DO) ตลอดการทดลองของการเพาะเลี้ยงสาหร่าย <i>Oscillatoria</i> sp. ระยะเวลา 15 วัน (มิลลิกรัมต่อลิตร)	49
18	pH ตลอดการทดลองของการเพาะเลี้ยงสาหร่าย <i>Oscillatoria</i> sp. ระยะเวลา 15 วัน	50
19	ความเข้มข้นของ Ammonia nitrogen ($\text{NH}_3\text{-N}$) ตลอดการทดลองของสาหร่าย <i>Oscillatoria</i> sp. ระยะเวลา 15 วัน (มิลลิกรัมต่อลิตร)	52

20	ความเข้มข้นของ Nitrate nitrogen ($\text{NO}_3\text{-N}$) ตลอดการทดลองของสาหร่าย <i>Oscillatoria</i> sp. ระยะเวลา 15 วัน (มิลลิกรัมต่อลิตร)	53
21	ความเข้มข้นของ Orthophosphate ($\text{PO}_4\text{-P}$) ตลอดการทดลองของสาหร่าย <i>Oscillatoria</i> sp. ระยะเวลา 15 วัน (มิลลิกรัมต่อลิตร)	55
22	ปริมาณความชื้น หลังสิ้นสุดการทดลองของสาหร่าย <i>Oscillatoria</i> sp. ระยะเวลา 15 วัน (เปอร์เซ็นต์)	56
23	ปริมาณความเถ้า หลังสิ้นสุดการทดลองของสาหร่าย <i>Oscillatoria</i> sp. ระยะเวลา 15 วัน (เปอร์เซ็นต์)	57
24	ปริมาณโปรตีน หลังสิ้นสุดการทดลองของสาหร่าย <i>Oscillatoria</i> sp. ระยะเวลา 15 วัน (เปอร์เซ็นต์)	58
25	ปริมาณไขมัน หลังสิ้นสุดการทดลองของสาหร่าย <i>Oscillatoria</i> sp. ระยะเวลา 15 วัน (เปอร์เซ็นต์)	58
26	ปริมาณเยื่อใย หลังสิ้นสุดการทดลองของสาหร่าย <i>Oscillatoria</i> sp. ระยะเวลา 15 วัน (เปอร์เซ็นต์)	59
27	ปริมาณคาร์โบไฮเดรตหลังสิ้นสุดการทดลองของสาหร่าย <i>Oscillatoria</i> sp. ระยะเวลา 15 วัน (เปอร์เซ็นต์)	60
28	ปริมาณ Total carotenoid หลังสิ้นสุดการทดลองของสาหร่าย <i>Oscillatoria</i> sp. ระยะเวลา 15 วัน (ไมโครกรัมต่อกรัมน้ำหนักแห้ง)	66
29	ปริมาณ β - carotene หลังสิ้นสุดการทดลองของสาหร่าย <i>Oscillatoria</i> sp. ระยะเวลา 15 วัน (ไมโครกรัมต่อกรัมน้ำหนักแห้ง)	67
30	ปริมาณ C - phycocyanin หลังสิ้นสุดการทดลองของสาหร่าย <i>Oscillatoria</i> sp. ระยะเวลา 15 วัน (ไมโครกรัมต่อกรัมน้ำหนักแห้ง)	68
31	การวิเคราะห์สารพิษไมโครซิสติน (microcystin) ของสาหร่าย <i>Oscillatoria</i> sp. เมื่อสิ้นสุดการทดลอง ระยะเวลา 15 วัน (ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร)	69
32	ความหนาแน่นของเซลล์ (optical density) ของการเพาะเลี้ยงสาหร่าย <i>Oscillatoria</i> sp. ตลอดระยะเวลา 15 วัน	70
33	น้ำหนักเซลล์แห้ง (cell dry weight) ตลอดการทดลองของการเพาะเลี้ยงสาหร่าย <i>Oscillatoria</i> sp. ระยะเวลา 15 วัน (กรัมต่อลิตร)	71

34	อุณหภูมิน้ำตลอดการทดลองของการเพาะเลี้ยงสาหร่าย <i>Oscillatoria</i> sp. ระยะเวลา 15 วัน (องศาเซลเซียส)	72
35	อุณหภูมิอากาศตลอดการทดลองของการเพาะเลี้ยงสาหร่าย <i>Oscillatoria</i> sp. ระยะเวลา 15 วัน (องศาเซลเซียส)	73
36	ออกซิเจนที่ละลายน้ำ (DO) ตลอดการทดลองของการเพาะเลี้ยงสาหร่าย <i>Oscillatoria</i> sp. ระยะเวลา 15 วัน (มิลลิกรัมต่อลิตร)	74
37	pH ตลอดการทดลองของการเพาะเลี้ยงสาหร่าย <i>Oscillatoria</i> sp. ระยะเวลา 15 วัน	75
38	ความเข้มข้นของ $\text{NH}_3\text{-N}$ ตลอดการทดลองของสาหร่าย <i>Oscillatoria</i> sp. ระยะเวลา 15 วัน (มิลลิกรัมต่อลิตร)	76
39	ความเข้มข้นของ $\text{NO}_3\text{-N}$ ตลอดการทดลองของสาหร่าย <i>Oscillatoria</i> sp. ระยะเวลา 15 วัน (มิลลิกรัมต่อลิตร)	77
40	ความเข้มข้นของ $\text{PO}_4\text{-P}$ ตลอดการทดลองของสาหร่าย <i>Oscillatoria</i> sp. ระยะเวลา 15 วัน (มิลลิกรัมต่อลิตร)	78

สารบัญตารางผนวก

ตารางผนวก		หน้า
1	ผลของความหนาแน่นของเซลล์ (OD, optical density) ของสาหร่าย <i>Oscillatoria</i> sp. ตลอดการทดลองเป็นระยะเวลา 15 วัน	111
2	ผลของการหาน้ำหนักเซลล์แห้ง (cell dry weight) ของสาหร่าย <i>Oscillatoria</i> sp. ตลอดการทดลองเป็นระยะเวลา 15 วัน (กรัมต่อลิตร)	112
3	ผลของคุณภาพน้ำทางกายภาพ และเคมี ของสาหร่าย <i>Oscillatoria</i> sp. ตลอดการทดลองเป็นระยะเวลา 15 วัน	113
4	ผลของคุณค่าโภชนาการของสาหร่าย <i>Oscillatoria</i> sp. หลังสิ้นสุดการทดลองเป็นระยะเวลา 15 วัน (เปอร์เซ็นต์น้ำหนักแห้ง)	114
5	ผลของรงควัตถุสารสี (pigment) ของสาหร่าย <i>Oscillatoria</i> sp. หลังสิ้นสุดการทดลองเป็นระยะเวลา 15 วัน (ไมโครกรัมต่อกรัมน้ำหนักแห้ง)	114
6	ผลของความหนาแน่นของเซลล์ (OD, optical density) ของสาหร่าย <i>Oscillatoria</i> sp. ตลอดการทดลองเป็นระยะเวลา 15 วัน	115
7	ผลของการหาน้ำหนักเซลล์แห้ง (cell dry weight) ของสาหร่าย <i>Oscillatoria</i> sp. ตลอดการทดลองเป็นระยะเวลา 15 วัน (กรัมต่อลิตร)	116
8	ผลของคุณภาพน้ำทางกายภาพ และเคมี ของสาหร่าย <i>Oscillatoria</i> sp. ตลอดการทดลองเป็นระยะเวลา 15 วัน	117

สารบัญภาพผนวก

ภาพผนวก		หน้า
1	เซลล์สาหร่าย <i>Oscillatoria</i> sp. ใต้กล้องจุลทรรศน์ กำลังขยาย 100 เท่า	119
2	หัวเชื้อสาหร่าย <i>Oscillatoria</i> sp. ที่เลี้ยงใน Erlenmeyer flask ขนาด 500 มิลลิลิตร	119
3	สาหร่าย <i>Oscillatoria</i> sp. ที่เลี้ยงในห้องปฏิบัติการ โหลแก้วขนาด 10 ลิตร	119
4	การเก็บเกี่ยวผลผลิตสาหร่าย <i>Oscillatoria</i> sp. ในห้องปฏิบัติการ	120
5	ผลผลิตสาหร่าย <i>Oscillatoria</i> sp. ในห้องปฏิบัติการ	120
6	การตากสาหร่าย <i>Oscillatoria</i> sp.	120
7	หัวเชื้อสาหร่าย <i>Oscillatoria</i> sp. ที่เลี้ยงในตู้กระจก ขนาด 15 × 24 × 15 นิ้ว เพื่อนำไปทดลองในบ่อกลางแจ้ง	121
8	สาหร่าย <i>Oscillatoria</i> sp. ที่เลี้ยงในถังพลาสติกสีดำขนาด 500 ลิตร	121
9	เครื่องอบสาหร่าย <i>Oscillatoria</i> sp. แบบ Tray dryer และเครื่องบดสาหร่าย	122
10	สาหร่าย <i>Oscillatoria</i> sp. ที่เลี้ยงในบ่อซีเมนต์ receway pond ขนาด 1.6 × 3.4 × 0.6 เมตร เพื่อเพาะเลี้ยงในเชิงพาณิชย์	122