คุณค่าโภชนาการ และแคโรทีนอยด์ ของสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงิน (*Oscillatoria* sp.) ที่เลี้ยงในสูตรอาหารต่าง ๆ

Nutrition valued and carotenoid of cyanobacteria (*Oscillatoria* sp.) culture in different mediums

ชำนิ ด้วงเทพ[1], จงกล พรมยะ[2], นิวุฒิ หวังชัย[2], บัญญัติ มนเทียรอาสน์[2] และชนกันต์ จิตรมนัส[2]

Chumni Dungtap[1], Jongkolp Promya[2], Niwoot Whangchai[2], Bunyat Moonteinart[2] and Chanagnn Chitmanat[2]

[1] นิสิตปริญญาโทคณะเทคโนโลยีการประมงและทรัพยากรทางน้ำ มหาวิทยาลัยแม่โจ้

[2] อาจารย์ประจำคณะเทคโนโลยีการประมงและทรัพยากรทางน้ำ มหาวิทยาลัยแม่โจ้

บทคัดย่อ

งานทดลองนี้มีวัตถุประสงค์ เพื่อศึกษาสูตรอาหารที่เหมาะสมในการเจริญเติบโตของสาหร่าย *Oscillatoria* sp. เปรียบเทียบคุณค่าทางโภชนาการ และรงควัตถุ โดยนำหัวเชื้อสาหร่าย *Oscillatoria* sp. ทำการเพาะเลี้ยงในห้องปฏิบัติการคณะเทคโนโลยีการประมงและทรัพยากรทางน้ำ โดยแบ่งการทดลองออกเป็น 4 หน่วยทดลองๆ ละ 3 ซ้ำ คือ สูตรอาหารที่ 1 ปุ๋ยนา N : P : K (16:16:16) 0.6 g/l กับปุ๋ย Urea N : P : K (46:0:0) 1 g/l, สูตรอาหารที่ 2 ปุ๋ยนา N : P : K (16:16:16) 0.6 g/l กับปุ๋ยมูลไก่ 10%, สูตรอาหารที่ 3 ปุ๋ยนา N : P : K (16:16:16) 0.6 g/l กับ Na_2HCO_3 1 g/l และสูตรอาหารที่4 Na_2HCO_3 2 g/l, NaCl 1 g/l, $MgSO_4$ 1 g/l โดยปรับ pH เริ่มต้นเท่ากับ 10.0 และอุณหภูมิ 30$\pm$2°C ให้อากาศอย่างต่อเนื่องและแสงสว่างอย่างต่อเนื่องที่ความเข้มแสง 5,000 Lux เป็นระยะเวลา 15 วัน พบว่าความหนาแน่นของเซลล์ในอาหารสูตรที่ 3 สูงที่สุดในช่วงวันที่ 9 - 11 เท่ากับ 0.325$\pm$0.03, pH มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 10$\pm$0.00 - 8.05$\pm$0.36, NH_3-N มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 1.535$\pm$0.11 - 0.622$\pm$0.01 mg/l และ PO_4-P มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 2.662$\pm$0.08 - 0.741$\pm$0.19 mg/l, คุณค่าทางโภชนาการ พบว่าในสูตรอาหารที่ 3 มีความชื้น และโปรตีนสูงที่สุดเฉลี่ยเท่ากับ 9.583$\pm$0.17 % และ 27.190$\pm$0.82 % ตามลำดับ, สูตรอาหารที่ 1 มีไขมัน สูงที่สุดเฉลี่ยเท่ากับ 2.379$\pm$0.32% และการวัดปริมาณรงควัตถุสารสีแคโรทีนอยด์รวม พบว่าในสูตรอาหารที่ 3 มีปริมาณแคโรทีนอยด์รวมสูงที่สุดเท่ากับ 855.436$\pm$108.11 µg/g โดยน้ำหนักแห้ง สรุปได้ว่าสูตรอาหารที่ 3 มีแนวโน้มดีที่สุด โดยข้อมูลที่ได้จะใช้เป็นแนวทางการเพาะเลี้ยงสาหร่าย *Oscillatoria* sp. ในการผลิตรงควัตถุสารสีในระดับอุตสาหกรรมต่อไป

คำสำคัญ : สาหร่าย *Oscillatoria* sp. คุณค่าโภชนาการ รงควัตถุ

Abstract

The purpose fo this study was to determine the suitable medium fow *Oscillatoria* sp. The nutrition value and pigment content ware also compared. The stock culture of *Oscillatoria* sp. was cultured in laboratory of Faculty of Fisheries Technology and Aquatic Resources. Experiment was done in triplicate and divided into 4 treatments; The 1st medium was 0.6 g/l of N : P : K (16:16:16) and 1 g/l of Urea N : P : K (46:0:0); the 2nd medium was 0.6 g/l of N : P : K (16:16:16) and 10% of fermented poultry waste; the 3rd medium was 0.6 g/l of N : P : K (16:16:16) and 1 g/l of Na_2HCO_3 and the 4th medium was 1 g/l of Na_2HCO_3, 1 g/l of NaCl, 1 g/l of $MgSO_4$. Initial pH was adjusted to 10.0. The cultures were incubated at 30±2°C under continuous aeration and 5,000 Lux illumination for 15 days. The highest optical density of *Oscillatoria* sp. obtained during on days 9-11 was 0.325±0.03 in 3rd medium, average pH was 10±0.00 - 8.05±0.36, NH_3-N was 11.535±0.11 - 0.622±0.01 mg/l and PO_4-P was 2.662±0.08 - 0.741±0.19 mg/l. Referring to nutrition values, the highest moisture and protein were 9.583±0.17% and 27.190±0.82% respectively found in algae culture in 3rd medium. The highest fat 2.379±0.32% found in algae culture in 1st medium. The highest carotenoid content was 855.436±108.11 µg/g (weight dry) found in algae culture in 3rd medium. It can be concluded that the best *Oscillatoria* sp. to produce color pigment. This information will be benefit for industrial culture.

Keywords : algae *Oscillatoria* sp., nutrition value, pigment

คำนำ

สาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงิน (cyanobacteria) เป็นจุลินทรีย์ที่จัดอยู่ใน Division Cyanophyta พบว่ามีชีวิตอยู่ประมาณ 3×10^9 ปีมาแล้ว เป็นสิ่งมีชีวิตที่ไม่มีเยื่อหุ้ม (Rassussen and Svenning, 1998) สามารถสังเคราะห์แสงได้ จากการที่มีความหลากหลายทางสรีรวิทยา, สัณฐานวิทยา และการพัฒนารูปร่างต่างๆ ทำให้สาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินสามารถดำรงชีวิตอยู่ได้ในสิ่งแวดล้อมต่างๆ อย่างหลากหลาย ได้แก่ หิน ดิน ทะเลทราย น้ำพุร้อน น้ำจืด น้ำทะเล และทะเลสาบ เป็นต้น (Mazel *et al.,* 1990) โดยปกติเซลล์ของสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงิน ประกอบด้วยผนังเซลล์ (cell wall) หุ้มด้วย gelatinous rsheath ภายในเซลล์มี thylakoid, ribosome, nucleus และเม็ดสีซึ่งอยู่ในส่วนที่เรียกว่า chromoplasm มี chlorophyll - *a* ใช้ในการสังเคราะห์แสง นอกจากนี้ยังมี รงควัตถุพวก carotenoid, phycobilins ซึ่งประกอบด้วย allophycocyanin, phycocyanin และ phycoerythrin

ปัจจุบันรงควัตถุของสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงิน เป็นส่วนประกอบที่สำคัญในอาหารสำหรับการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำจำพวก ปลาสวยงาม เช่น ปลาทอง, ปลาแฟนซีคาร์ฟ, ปลาหมอสี กุ้ง, และปูชนิดต่างๆ เพื่อเพิ่มสีสันของเนื้อและหนัง ทำให้สามารถจำหน่ายได้ราคาสูง และใช้เสริมในอาหารสำหรับสัตว์ปีกเพิ่มให้ไข่มีสีแดง เช่น เป็ด ไก่ เป็นต้น และเมื่อนำไปผสมกับอาหารเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ สัตว์จะดูดซึมรงควัตถุได้ดี นอกจากนี้รงควัตถุบางชนิดยังเป็นสาร antioxidant ที่มีประสิทธิภาพในการกำจัดอนุมูลอิสระ (free radical) ได้ดี (Bocanegra *et al.,* 2004) ด้วยเหตุนี้จึงสามารถลดความเสี่ยงในการเกิดเนื้องอกและโรคมะเร็งรวมทั้งยังช่วยเสริมสร้างระบบภูมิคุ้มกันให้สูงขึ้น และเมื่อพิจารณาถึงแนวโน้มการบริโภคในปัจจุบัน พบว่าผู้คนส่วนใหญ่เริ่มมีความระมัดระวังในการบริโภคอาหารที่มีสารสังเคราะห์เจือปน (food additive) โดยเฉพาะสีผสมอาหารจากสารเคมี ดังนั้นการใช้รงควัตถุสารสี ที่ได้จากธรรมชาติน่าจะปลอดภัยและได้รับความไว้วางใจจากผู้บริโภคมากกว่า ดังนั้นรงควัตถุสารสีจึงมีแนวโน้มที่จะเป็นอาหารเสริมสำหรับการบริโภคของมนุษย์ได้อีกทางหนึ่ง

สุมนทิพย์ และปิยะดา (2532) ได้วิเคราะห์คุณค่าทางอาหารของ *Oscillatoria* sp. พบว่าโปรตีน และไขมัน มี 44.57$\pm$0.16% และ 1.88$\pm$0.10% ตามลำดับ ซึ่งจัดว่าคุณค่าทางอาหารอยู่ในปริมาณสูง และในอนาคตอาจจะสามารถนำมาใช้ทดแทนวัตถุดิบอาหารบางชนิดได้ เช่น กากถั่วเหลือง หรือปลายข้าว ซึ่งวัตถุดิบทั้ง 2 ชนิดนี้มีราคาแพง ทำให้น่าสนใจที่จะนำสาหร่าย *Oscillatoria* sp. มาผสมเป็นอาหารสำหรับเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำต่อไป ในธรรมชาติมีสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินหลายชนิดที่สามารถผลิตรงควัตถุได้ แต่ปริมาณที่ผลิตได้อยู่ในระดับแตกต่างกันขึ้นอยู่กับชนิดของสาหร่าย Fuenmayor *et al*. (2009) กล่าวว่าปริมาณแคโรทีนอยด์ของ *Oscillatoria* sp. MOF-06 เท่ากับ 604$\pm$0.44 µg/ml จงกล และคณะ (2545) กล่าวว่าการวิเคราะห์แคโรทีนอยด์ของ *Spirulina platensis* พบว่ามีปริมาณแคโรทีนอยด์ 187.89 µg/g โดยน้ำหนักแห้ง จากเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง จะเห็นได้ว่าสาหร่าย *Oscillatoria* sp. มีคุณค่าทางโภชนาการค่อนข้างสูง ดังนั้นในการวิจัยครั้งนี้จึงได้ศึกษาการเพาะเลี้ยงสาหร่าย *Oscillatoria* sp.ในสูตรอาหารที่ต่างกันเพื่อหาสูตรอาหารที่เหมาะสมในการเจริญเติบโต และมีการเปรียบเทียบคุณค่าทางโภชนาการ และรงควัตถุ เพื่อเป็นข้อมูลสำหรับการผลิตในระดับอุตสาหกรรมต่อไป

อุปกรณ์และวิธีการทดลอง

1. การเตรียมหัวเชื้อตั้งต้น

นำหัวเชื้อสาหร่าย *Oscillatoria* sp.จากคณะเทคโนโลยีการประมงและทรัพยากรทางน้ำ ไปเพาะเลี้ยงในสูตรอาหาร Zarrouk's ปรับปรุงจาก จงกล และขจรเกียรติ์ (2548) เป็น stock culture ใส่หัวเชื้อปริมาตร 10% โดยปรับ pH ให้เท่ากับ 10$\pm$1 อุณหภูมิ 30$\pm$2°C ให้อากาศอย่างต่อเนื่องโดยใช้ปั๊มลม ให้แสงสว่างอย่างต่อเนื่องตลอด 24 ชั่วโมง ด้วยหลอดไฟสีขาวที่ความเข้มแสง 5,000 Lux เพาะเลี้ยงเป็นเวลา 15 วัน เพื่อนำไปทดลองต่อไป

2. การเพาะเลี้ยงสาหร่าย *Oscillatoria* sp. ในสูตรอาหารที่แตกต่างกัน

วางแผนการทดลองแบบสุ่มตลอด (Completely randommized design; CRD) โดยทำการเพาะเลี้ยงในสูตรอาหารที่แตกต่างกัน โดยปรับ pH เริ่มต้นเท่ากับ 10.0 และอุณหภูมิ 30$\pm$2°C ให้อากาศอย่างต่อเนื่องโดยใช้ปั๊มลม ให้แสงสว่างอย่างต่อเนื่องตลอด 24 ชั่วโมง ที่ความเข้มแสง 5,000 Lux โดยแบ่งการทดลองออกเป็น 4 ชุดทดลองๆ ละ 3 ซ้ำ คือ สูตรอาหารที่ 1-4 ตามลำดับ (ตารางที่ 1) ทำการเพาะเลี้ยงสาหร่ายในสูตรอาหาร แต่ละสูตรด้วยปริมาตร 8 ลิตร ภายในโหลขนาด 10 ลิตร ณ คณะเทคโนโลยีการประมงและทรัพยากรทางน้ำ มหาวิทยาลัยแม่โจ้ เชียงใหม่

ตารางที่ 1 สูตรอาหารที่แตกต่างกันใช้ในการเพาะเลี้ยงสาหร่าย *Oscillatoria* sp.

สารอาหาร	สูตรที่ 1	สูตรที่ 2	สูตรที่ 3	สูตรที่ 4
ปุ๋ยนา N : P : K (16:16:16)	0.6 g/l	0.6 g/l	0.6 g/l	-
ปุ๋ย Urea N : P : K (46:0:0)	1 g/l	-	-	-
ปุ๋ยมูลไก่	-	10%	-	-
Na_2HCO_3	-	-	1 g/l	2 g/l
NaCl	-	-	-	1 g/l
$MgSO_4$	-	-	-	1 g/l

หมายเหตุ : ปุ๋ยมูลไก่หมักนาน 3 สัปดาห์ อัตราการหมัก (ตอนหมัก มูลไก่ 1 : น้ำ 5) แล้วกรองน้ำนำมาผสมในอาหารสำหรับเลี้ยงสาหร่าย *Oscillatoria* sp.

3. การวัดค่าการเจริญเติบโต

การวัดค่าการเจริญเติบโตของสาหร่ายโดยการหาความหนาแน่นของเซลล์ (OD, optical density) โดยนำน้ำเลี้ยงสาหร่ายมาใส่หลอด จากนั้นทำการวัดความหนาแน่นของเซลล์สาหร่ายเริ่มต้นที่ค่า OD เท่ากับ 0.01 โดยวัดจากเครื่อง Spectrophotometer รุ่น DR/4000U version 2.42 ที่ความยาวคลื่นแสง 560 nm ทำการวิเคราะห์ความหนาแน่นของเซลล์ทุกๆ วัน เป็นเวลา 15 วัน

การหาน้ำหนักเซลล์แห้ง (cell dry weight) โดยทำการวัดในวันที่เริ่มต้นการทดลอง (วันที่ 0), ระหว่างการทดลอง (วันที่ 7) และสิ้นสุดการทดลอง (วันที่ 14) นำเซลล์สาหร่ายที่ทำการเพาะเลี้ยงอยู่ในอาหารเหลวมากรองผ่านกระดาษกรอง GF/C ต่อชุดกรองเข้ากับเครื่อง vacuum pump เพื่อดึงน้ำเลี้ยงออกเหลือแต่เซลล์สาหร่ายติดอยู่บนเยื่อกรอง ตามวิธีของ สุดสายชล (2541)

4. การตรวจวัดคุณภาพน้ำ ทางด้านกายภาพ และเคมี

โดยทำการตรวจวัดคุณภาพน้ำ ด้านกายภาพ และเคมี ได้แก่ อุณหภูมิน้ำ, อุณหภูมิอากาศ, ออกซิเจนที่ละลายน้ำ (DO), pH, ammonia (NH_3-N), nitrate (NO_3-N) และ orthophosphate (PO_4-P) ตามวิธีของ

ศิริเพ็ญ (2543); สมศักดิ์ และสุฤทธิ์ (มปป.) ในวันที่เริ่มต้นการทดลอง (วันที่ 0), ระหว่างการทดลอง (วันที่ 7) และสิ้นสุดการทดลอง (วันที่ 14)

5. การวิเคราะห์คุณค่าโภชนาการ และการตรวจวัดหาปริมาณรงควัตถุสารสี

โดยทำการวิเคราะห์คุณค่าโภชนาการ ได้แก่ โปรตีน, ไขมัน, ความชื้น, เถ้า, เยื่อใย และคาร์โบไฮเดรต ตามวิธีของ นิวุฒิ (2548) และการตรวจวัดหาปริมาณรงควัตถุ total carotenoid ตามวิธีของ Sommer *et al*. (1992)

6. การวิเคราะห์ข้อมูลนำค่าต่างๆ

ในข้อ 2-5 ทำการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างชุดการทดลองโดยวิเคราะห์ one-way ANOVA เปรียบเทียบค่าเฉลี่ย Duncan's new multiple โดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป

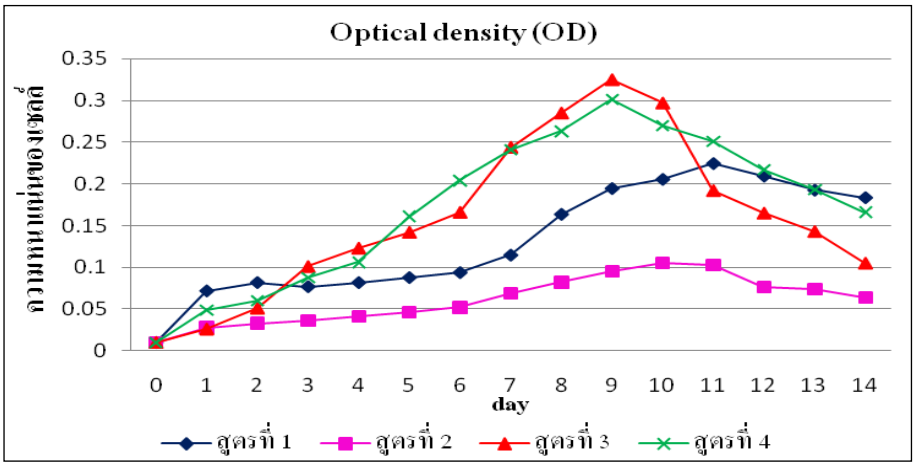
ผลและวิจารณ์ผลการทดลอง

1. การวัดค่าการเจริญเติบโต

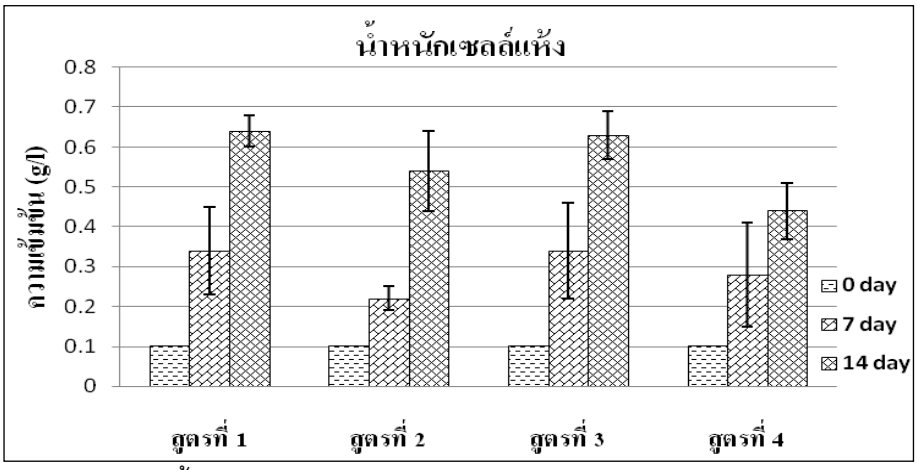
1.1 การวัดความหนาแน่นของเซลล์ (OD, optical density) ของสาหร่าย *Oscillatoria* sp. โดยทำการวัดความหนาแน่นของเซลล์ทุกๆ วัน เป็นเวลา 15 วัน โดยความหนาแน่นของเซลล์เริ่มต้นวันที่ 0 เท่ากับ 0.01$\pm$0.00 พบว่าในอาหารสูตรที่ 3 มีความหนาแน่นของเซลล์สูงที่สุดในวันที่ 9 เท่ากับ 0.325$\pm$0.03 เมื่อนำมาวิเคราะห์ความแตกต่างทางสถิติ พบว่าไม่มีความแตกต่างจากสูตรอาหารที่ 4 โดยมีค่าเท่ากับ 0.301$\pm$0.05 แต่จะมีความแตกต่างจากสูตรอาหารที่ 1 และสูตรอาหารที่ 2 โดยมีค่าเท่ากับ 0.195$\pm$0.03 และ 0.095$\pm$0.02 ตามลำดับ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น ($p \leq 0.05$) ความหนาแน่นของเซลล์สูงสุดอยู่ในช่วงวันที่ 8 - 10 (ภาพที่ 1) เนื่องจากสาหร่าย *Oscillatoria* sp. อยู่ในระยะ exponential phase จึงเจริญเติบโตสูงสุด (ลัดดา, 2544) ซึ่งแตกต่างกับงานวิจัยของ Fuenmayor *et al*. (2009) กล่าวว่าสาหร่าย *Oscillatoria* sp. MOF-06 ความหนาแน่นของเซลล์ ที่ความยาวคลื่นแสง 750 nm เท่ากับ 0.94$\pm$0.07 ในวันที่ 21 ของการทดลอง, Bender *et al*. (1994) กล่าวว่าสาหร่าย *Oscillatoria* sp. ความหนาแน่นของเซลล์สูงสุดในวันที่ 12 ของการทดลอง ที่ความยาวคลื่นแสง 610 nm เท่ากับ 1.4 เป็นระยะเวลา 15 วัน จงกล (2552) กล่าวว่าสาหร่าย *Spirulina platensis* เมื่อเพาะเลี้ยงประมาณ 7 วัน ค่า OD เท่ากับ 0.8 - 1 เก็บเกี่ยวผลผลิตของสาหร่ายสดทุกๆ 7 วัน จากการทดลองอาจกล่าวได้ว่า ความหนาแน่นของเซลล์สาหร่าย *Oscillatoria* sp. ที่มีความหนาแน่นของเซลล์ต่ำ เนื่องจากปัจจัยทางด้านสูตรอาหาร เพราะในการทดลองครั้งนี้ใช้สูตรอาหารดัดแปลงชนิดต้นทุนต่ำ หรือการกระจายตัวของเซลล์สาหร่ายไม่สม่ำเสมอ การวัดความหนาแน่นของเซลล์เหมาะกับสาหร่ายชนิดเส้นสาย

1.2 การหาน้ำหนักเซลล์แห้ง (cell dry weight) โดยทำการวัดในวันที่เริ่มต้นการทดลอง (วันที่ 0), ระหว่างการทดลอง (วันที่ 7) และสิ้นสุดการทดลอง (วันที่ 14) พบว่าในวันที่ 0 สูตรอาหารทั้ง 4 สูตร มีน้ำหนักเซลล์แห้งเริ่มต้น เท่ากับ 0.10$\pm$0.00 g/l ในวันที่ 14 มีน้ำหนักเซลล์แห้งสูงที่สุดพบในสูตรอาหารที่ 1 และสูตร

อาหารที่ 3 มีค่ามากที่สุดเท่ากับ 0.65±0.04 g/l และ 0.64±0.06 g/l ตามลำดับ เมื่อนำมาวิเคราะห์ความแตกต่างทางสถิติ พบว่าไม่มีความแตกต่างจากสูตรอาหารที่ 2 โดยมีค่าเท่ากับ 0.54±0.10 g/l แต่จะมีความแตกต่างจากสูตรอาหารที่ 4 โดยมีค่าเท่ากับ 0.44±0.07 g/l อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น ($p \leq 0.05$) (ภาพที่ 2) ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Issa (1999) กล่าวว่าสาหร่าย *Oscillatoria angustissma* ที่เพาะเลี้ยงเป็นระยะเวลา 10 วัน มีน้ำหนักเซลล์แห้งสูงที่สุดอยู่ที่ 0.449±0.07 g/l ที่อุณหภูมิ 30°C, จงกล (2543) กล่าวว่าสาหร่าย *Spirulina platensis* ที่เพาะเลี้ยงจากน้ำทิ้งจากบ่อหมักก๊าซชีวภาพมูลสุกร มีมวลชีวภาพ (biomass) ตลอดการทดลอง 0.02 - 0.32 g/l น้ำหนักเซลล์แห้ง จงกล และคณะ (2552) กล่าวว่าสาหร่าย *Spirulina platensis* ที่เลี้ยงด้วยสูตรอาหาร MZm และน้ำทิ้งจากโรงอาหาร (cafeteria water; Cw) พบว่าสาหร่ายที่เลี้ยงด้วยสูตรอาหาร MZm และ Cw 100%, 90% และ 80% มีผลผลิตในรูปของสาหร่ายแห้งอยู่ระหว่าง 0.55 - 0.85 g/l



ภาพที่ 1 ความหนาแน่นของเซลล์ (optical density) ของสาหร่าย *Oscillatoria* sp.



ภาพที่ 2 น้ำหนักเซลล์แห้ง (cell dry weight) ของสาหร่าย *Oscillatoria* sp.

2. ผลของคุณภาพน้ำทางกายภาพ และเคมี

โดยทำการตรวจวัดคุณภาพน้ำ ด้านกายภาพ และเคมี ได้แก่ อุณหภูมิน้ำ, อุณหภูมิอากาศ, ออกซิเจนที่ละลายน้ำ (DO), pH, ammonia (NH_3-N), nitrate (NO_3-N) และ orthophosphate (PO_4-P) โดยทำการตรวจวัดในวันที่เริ่มต้นการทดลอง (วันที่ 0), ระหว่างการทดลอง (วันที่ 7) และสิ้นสุดการทดลอง (วันที่ 14)

2.1 ออกซิเจนที่ละลายน้ำ (DO) พบว่าจะเพิ่มสูงขึ้นเรื่อยๆ ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.9$\pm$0.49 - 7.7$\pm$0.09 mg/l ซึ่งจากอาหารทั้ง 4 สูตร จะไม่พบความแตกต่างทางสถิติที่ ($p \leq 0.05$) ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของนุชนรี (2543) พบว่าสาหร่าย *Oscillatoria* sp. ต้องการปริมาณ DO อยู่ในช่วง 5.45 - 7.5 mg/l, Kumar *et al*. (2010) กล่าวว่าสาหร่าย *Oscillatoria* sp. ที่เพาะเลี้ยงในสูตรอาหาร BG - 11 มีปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำ 6.2$\pm$0.14 mg/l และจงกล (2543) กล่าวว่าสาหร่าย *Spirulina platensis* ที่เพาะเลี้ยงจากน้ำทิ้งจากบ่อหมักก๊าซชีวภาพมูลสุกร มีออกซิเจนที่ละลายน้ำตลอดการทดลอง มีค่าเท่ากับ 2.3 - 7.25 mg/l

2.2 pH จะลดลงต่ำเรื่อยๆ ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 10$\pm$0.00 - 8.05$\pm$0.36 ซึ่งอาหารทั้ง 4 สูตร จะไม่มีความแตกต่างทางสถิติที่ ($p \leq 0.05$) ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของนุชนรี (2543); Mohan (2010); Prerna (1999) กล่าวว่าสาหร่าย *Oscillatoria* sp. ระดับ pH ที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของสาหร่าย *Oscillatoria* sp. คือ 7.6 - 9.09, Fuenmayor *et al*. (2009) กล่าวว่าสาหร่าย *Oscillatoria* sp. MOF - 06 มีระดับ pH ที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโต เท่ากับ pH 8 - 9 และจงกล (2552) กล่าวว่าระดับ pH ที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของสาหร่าย *Spirulina platensis* มีค่าอยู่ระหว่าง 9.5 - 10.5

2.3 อุณหภูมิน้ำเฉลี่ยเท่ากับ 29$\pm$2°C และอุณหภูมิอากาศเฉลี่ยเท่ากับ 30$\pm$1°C ซึ่งอาหารทั้ง 4 สูตร จะไม่มีความแตกต่างทางสถิติที่ ($p \leq 0.05$) ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Wangwibulkit *et al*. (2008) กล่าวว่าสาหร่าย *Oscillatoria* sp. ที่เลี้ยงในสูตรอาหารปรับปรุง BG -11 อุณหภูมิที่เหมาะสมเท่ากับ 28.5$\pm$1.3 °C, Kumar *et al*. (2010) กล่าวว่าสาหร่าย *Oscillatoria* sp. ที่เพาะเลี้ยงในสูตรอาหาร BG - 11 มีอุณหภูมิที่เหมาะสมเท่ากับ 30°C อุณหภูมิมีผลต่อการดูดซึมธาตุอาหาร และกระบวนการเมตาบอลิซึมของเซลล์ ถ้าอุณหภูมิต่ำทำให้อัตราการดูดซึมไนเตรดลดลงแต่อย่างไรก็ตาม ถ้าอุณหภูมิสูงเกินไปจะจำกัดการเจริญเติบโตของสาหร่าย (จงกล, 2552)

2.4 ความเข้มข้นของ Ammonia (NH_3-N) และ Nitrate (NO_3-N) พบว่าวันที่ 0 มีความเข้มข้นสูง และจะลดต่ำลงเรื่อยๆ สูตรอาหารที่ 2 มีความเข้มข้นของ ammonia สูงสุด และความเข้มข้นของ ammonia ต่ำสุดในสูตรอาหารที่ 4 ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 1.535$\pm$0.11 - 0.622$\pm$0.01 mg/l เมื่อนำมาวิเคราะห์ความแตกต่างทางสถิติ พบว่ามีความแตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น ($p \leq 0.05$) (ภาพที่ 3) ส่วนความเข้มข้นของ nitrate พบว่าวันที่ 0 มีความเข้มข้นสูง และจะลดต่ำลงเรื่อยๆ สูตรอาหารที่ 3 มีความเข้มข้นของ nitrate สูงสุด และความเข้มข้นของ nitrate ต่ำสุดในสูตรอาหารที่ 4 ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 3.710$\pm$0.33 - 0.257$\pm$0.13 mg/l เมื่อนำมาวิเคราะห์ความแตกต่างทางสถิติ พบว่ามีความแตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น ($p \leq 0.05$) (ภาพที่ 4) ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ จงกล (2543; 2552) กล่าวว่าสาหร่าย *Spirulina platensis* ที่เพาะเลี้ยงจากน้ำทิ้ง

จากบ่อหมักก๊าซชีวภาพมูลสุกร มี ammonia ตลอดการทดลอง มีค่าเท่ากับ 0.05 - 71.7 mg/l และความเข้มข้นของ nitrate ตลอดการทดลอง มีค่าเท่ากับ 0.01 - 1.51 mg/l สารอินทรีย์ไนโตรเจน ได้แก่ แอมโมเนีย (ammonia), ไนไตรท์ (nitrite) และไนเตรท (nitrate) แอมโมเนียจะถูกสาหร่ายนำไปใช้ก่อน ไนเตรท ส่วนไนไตรท์สาหร่ายต้องการในปริมาณน้อย หรืออาจจะไม่ใช้เลย สำหรับไนเตรทนั้นถ้าสาหร่ายนำไปใช้เมื่อดูดซึมเข้าสู่เซลล์แล้ว ต้องเปลี่ยนเป็นแอมโมเนียก่อนจึงจะนำไปใช้ได้ (จงกล และขจรเกียรติ์, 2548)

2.5 ความเข้มข้นของ Orthophosphate (PO_4-P) พบว่าวันที่ 0 มีความเข้มข้นสูง และจะลดต่ำลงเรื่อยๆค่าเฉลี่ยทั้งหมดความเข้มข้นของ orthophosphate ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 2.662$\pm$0.08 - 0.741$\pm$0.19 mg/l เมื่อนำมาวิเคราะห์ความแตกต่างทางสถิติ พบว่ามีความแตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น ($p \leq 0.05$) (ภาพที่ 5) ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ จงกล (2543) กล่าวว่าสาหร่าย *Spirulina platensis* ที่เพาะเลี้ยงจากน้ำทิ้งจากบ่อหมักก๊าซชีวภาพมูลสุกร มี orthophosphate ตลอดการทดลอง มีค่าเท่ากับ 2.74 - 54.4 mg/l, Lobban *et al*. (1985) กล่าวว่าสาหร่ายดูดซับฟอสฟอรัสในรูปของอิออน orthophosphate ได้ดีที่สุด ซึ่งฟอสเฟตที่อยู่ในรูปของไอออนที่สามารถละลายน้ำได้ดี และสาหร่ายน้ำไปใช้ประโยชน์ได้คือ PO^{3-}_4, HPO^{2-}_4 และ $H_2PO^-_4$ สาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินจะมีความต้องการฟอสฟอรัสมากกว่าสาหร่ายกลุ่มอื่น ถ้าสาหร่ายขาดฟอสฟอรัสจะมีผลเสียต่อการเจริญเติบโต ทำให้ปริมาณสารสีชนิด chlorophyll-*a*, RNA และ DNA ลดลง มีผลทำให้รูปร่างของเซลล์เปลี่ยนแปลงไปจากเดิม (จงกล และขจรเกียรติ์, 2548)

3. ผลของคุณค่าโภชนาการ และปริมาณรงควัตถุสารสี

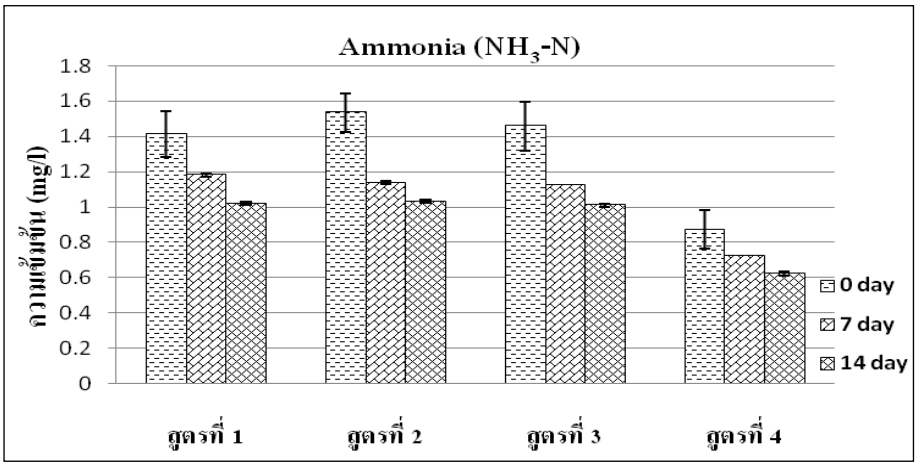
3.1 โดยทำการวิเคราะห์คุณค่าโภชนาการ ได้แก่ ความชื้น, เถ้า, โปรตีน, ไขมัน, เยื่อใย และคาร์โบไฮเดรต ทำการวิเคราะห์เมื่อสิ้นสุดการทดลอง พบว่าในสูตรอาหารที่ 3 มีความชื้นสูงที่สุดเท่ากับ 9.583$\pm$0.17% โดยน้ำหนักแห้ง, เถ้าสูงที่สุดพบในสูตรอาหาร ที่ 4 เท่ากับ 15.185$\pm$0.07% โดยน้ำหนักแห้ง, โปรตีนสูงที่สุดพบในสูตรอาหารที่ 3 เท่ากับ 27.190$\pm$0.82% โดยน้ำหนักแห้ง, ไขมันสูงที่สุดพบในสูตรอาหารที่ 1 เท่ากับ 2.379$\pm$0.32% โดยน้ำหนักแห้ง, เยื่อใยสูงที่สุดพบในสูตรอาหารที่ 4 เท่ากับ 1.419$\pm$0.02% โดยน้ำหนักแห้ง และคาร์โบไฮเดรตที่สุดพบในสูตรอาหารที่ 1 เท่ากับ 55.130$\pm$2.06% โดยน้ำหนักแห้ง (ตารางที่ 2) ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ จงกล และคณะ (2552) ได้วิเคราะห์คุณค่าโภชนาการของสาหร่าย *Spirulina platensis* พบว่าความชื้น 6.65 - 11.15%, เถ้า 4.25 - 26.58%, โปรตีน 31.94 - 55.44%, ไขมัน 1.79 - 3.57%, เยื่อใย 2.12 - 10.11% และคาร์โบไฮเดรต 15.82 - 25.24% แต่จะแตกต่างกับงานวิจัยของ สุมนทิพย์ และปิยะดา (2532) ได้วิเคราะห์คุณค่าทางอาหารของ *Oscillatoria* sp. พบว่าความชื้น 12.37$\pm$0.12%, เถ้า 11.85$\pm$0.68%, โปรตีน 44.57$\pm$0.16%, ไขมัน 1.88$\pm$0.10%, เยื่อใย 1.45$\pm$0.13% และคาร์โบไฮเดรต 27.87%, Mohan *et al*. (2010) ได้วิเคราะห์คุณค่าโภชนาการของสาหร่าย *Oscillatoria* sp. พบว่าโปรตีน 14.24 μg/ml, ไขมัน 18.99 μg/ml และคาร์โบไฮเดรต 61.71 μg/ml, Fuenmayor *et al*. (2009) ได้วิเคราะห์คุณค่าโภชนาการของสาหร่าย *Oscillatoria* sp. MOF-06 พบว่าโปรตีน 486.07$\pm$26.78 μg/ml และคาร์โบไฮเดรต 6.91$\pm$0.11 μg/ml เนื่องจากความแตกต่างทางด้านสูตรอาหาร เพราะใช้สูตรอาหารชนิดตุ้นทุนต่ำ

ตารางที่ 2 คุณค่าทางโภชนาการของสาหร่าย *Oscillatoria* sp. โดยน้ำหนักแห้ง หลังสิ้นสุดการทดลอง

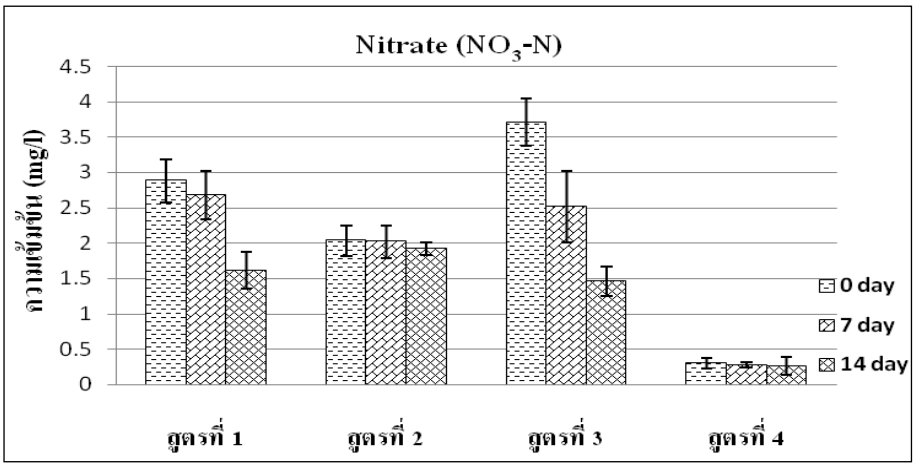
	สูตรอาหารที่ 1	สูตรอาหารที่ 2	สูตรอาหารที่ 3	สูตรอาหารที่ 4
ความชื้น	9.220±0.15[b]	9.160±0.19[b]	9.583±0.17[a]	8.698±0.17[c]
เถ้า	15.319±0.64[ns]	14.666±0.23[ns]	14.732±0.02[ns]	15.185±0.07[ns]
โปรตีน	16.566±1.56[c]	21.338±1.31[bc]	27.190±0.82[a]	23.692±0.77[b]
ไขมัน	2.379±0.32[a]	1.616±0.07[b]	1.729±0.14[b]	1.415±0.16[b]
เยื่อใย	1.387±0.02[ab]	1.363±0.03[b]	1.351±0.01[bc]	1.419±0.02[a]
คาร์โบไฮเดรต	55.130±2.06[a]	51.856±1.24[ab]	45.640±0.64[c]	49.591±0.79[bc]

หมายเหตุ : ตัวอักษรภาษาอังกฤษที่แตกต่างกันในแนวนอน มีความแตกต่างกันทางสถิติที่ ($p \leq 0.05$)

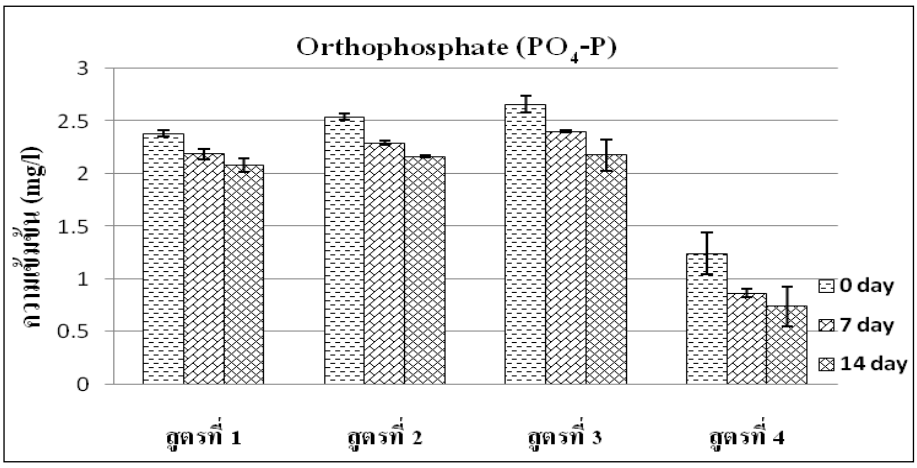
3.2 Total carotenoid ของสาหร่าย *Oscillatoria* sp. โดยทำการตรวจวัดเมื่อสิ้นสุดการทดลอง พบว่าค่าสูงสุดในสูตรอาหารที่ 3 มี total carotenoid เท่ากับ 855.436±108.11 µg/g โดยน้ำหนักแห้ง เมื่อนำมาวิเคราะห์ความแตกต่างทางสถิติ พบว่ามีความแตกต่างจากสูตรอาหารที่ 4, สูตรอาหารที่ 1 และสูตรอาหารที่ 2 โดยมีค่าเท่ากับ 445.513±115.26, 408.654±54.04 และ 258.013±27.94 µg/g โดยน้ำหนักแห้ง ตามลำดับ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น ($p \leq 0.05$) (ภาพที่ 6) ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Fuenmayor *et al*. (2009) กล่าวว่าปริมาณแคโรทีนอยด์ของ*Oscillatoria* sp. MOF-06 เท่ากับ 604±0.44 µg/ml, จงกลและคณะ (2545) กล่าวว่าการวิเคราะห์แคโรทีนอยด์ของ *Spirulina platensis* พบว่ามีปริมาณแคโรทีนอยด์ 187.89 µg/g โดยน้ำหนักแห้ง เนื่องจากสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินมีการสะสมรงควัตถุในเซลล์อยู่สูง



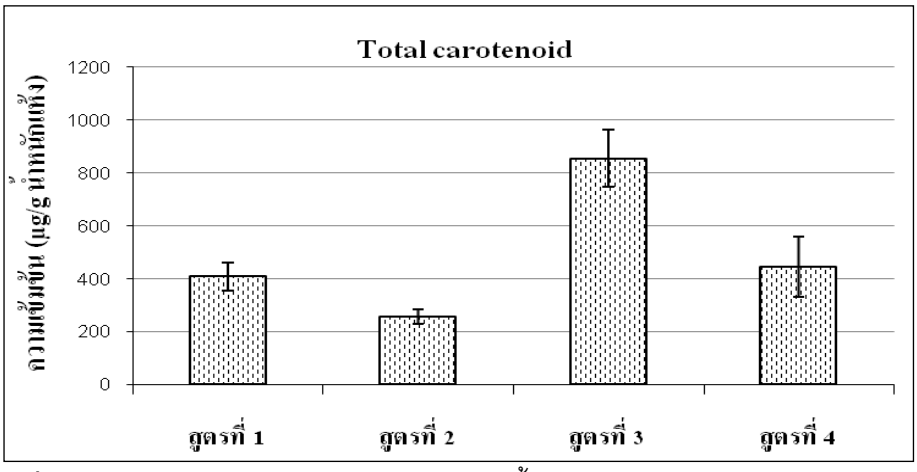
ภาพที่ 3 ความเข้มข้นของ NH_3-N ตลอดการทดลองของสาหร่าย *Oscillatoria* sp.



ภาพที่ 4 ความเข้มข้นของ NO_3-N ตลอดการทดลองของสาหร่าย *Oscillatoria* sp.



ภาพที่ 5 ความเข้มข้นของ PO_4-P ตลอดการทดลองของสาหร่าย *Oscillatoria* sp.



ภาพที่ 6 ปริมาณของแคโรทีนอยด์รวม µg/g โดยน้ำหนักแห้งของสาหร่าย *Oscillatoria* sp.

สรุปผลการทดลอง

จากการทดลองที่กล่าวมาข้างต้น สรุปได้ว่าสูตรอาหารที่ 3 เป็นสูตรอาหารที่มีแนวโน้มดีที่สุด เนื่องจากมีความหนาแน่นของเซลล์สูงสุดเฉลี่ยเท่ากับ 0.325±0.03, DO มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.9±0.49 - 7.7±0.09 mg/l, pH มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 10±0.00 - 8.05±0.36, NH_3-N มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 1.535±0.11 - 0.622±0.01 mg/l, NO_3-N มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 3.710±0.33 - 0.257±0.13 mg/l และ PO_4-P มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 2.662±0.08 - 0.741±0.19 mg/l, ผลของคุณค่าโภชนาการ พบว่าโปรตีนสูงที่สุดเท่ากับ 27.190±0.82% โดยน้ำหนักแห้ง และการตรวจวัดหาปริมาณรงควัตถุ total carotenoid พบว่ามีปริมาณ total carotenoid สูงที่สุดเท่ากับ 855.436±108.11 µg/g โดยน้ำหนักแห้ง

เอกสารอ้างอิง

จงกล พรมยะ. 2543. การเพาะเลี้ยงสาหร่าย *Spirulina platensis* ในน้ำทิ้งจากบ่อหมักก๊าซชีวภาพมูลสุกร. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท. มหาวิทยาลัยเชียงใหม่. 69 น.

_____. 2552. การเพาะเลี้ยงสาหร่าย. เชียงใหม่ : คณะเทคโนโลยีการประมงและทรัพยากรทางน้ำ. มหาวิทยาลัยแม่โจ้. 128 น.

จงกล พรมยะ, จารุวรรณ แผนนาง, ธานินทร์ หรัญรัตน์, จุฑามัณฑก์ ศาลางาม และ ศิริเพ็ญ ตรัยไชยาพร. 2545. Carotenoide Content and Nutritional Value of Some Edible Algae. (In press).

จงกล พรมยะ, ขจรเกียรติ์ ศรีนวลสม และอนุภาพ วรรณคนาพล. 2552. การเพาะเลี้ยงสาหร่าย *SPIRULINA PLATENSIS* ในน้ำทิ้งจากโรงอาหาร เพื่อเป็นอาหารในการอนุบาล และเลี้ยงปลาแฟนซีคาร๊ฟ แบบยั่งยืน. เชียงใหม่ : คณะเทคโนโลยีการประมงและทรัพยากรทางน้ำ. มหาวิทยาลัยแม่โจ้. 39 น.

จงกล พรมยะ และ ขจรเกียรติ แซ่ตัน. 2548. การเพาะเลี้ยงสาหร่ายสไปรูลินาเพื่อสุขภาพ. ภาควิชาเทคโนโลยีการประมง. คณะผลิตกรรมการเกษตร. มหาวิทยาลัยแม่โจ้ เชียงใหม.

นิวุฒิ หวังชัย. 2549. โภชนาศาสตร์สัตว์น้ำ. คณะเทคโนโลยีการประมงและทรัพยากรทางน้ำ มหาวิทยาลัยแม่โจ้ จังหวัดเชียงใหม่. 226 น.

นุชนรี จันทร์มณี. 2543. ผลของเบนซัลโคเนียมคลอไรด์ คอปเปอร์คีเลท และฟอร์มาลินต่อ *Oscillatoria* ที่พบในบ่อเลี้ยงกุ้งกุลาดำ. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท. มหาวิทยาเกษตรศาสตร์. กรุงเทพมหานคร. 93 น.

ลัดดา วงศ์รัตน์. 2544. แพลงก์ตอนพืช. พิมพ์ครั้งที่ 2. กรุงเทพมหานคร : คณะประมง. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. 851 น.

ศิริเพ็ญ ตรัยไชยาพร. 2543. การวิเคราะห์คุณภาพน้ำ. พิมพ์ครั้งที่ 2. ภาควิชาชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์. มหาวิทยาลัยเชียงใหม่. 125 น.

สมศักดิ์ พิภภิญโญ และ สุฤทธิ์ สมบูรณ์ชัย. มปป. บทปฏิบัติการชลธีวิทยา. ภาควิชาเทคโนโลยีการประมง. มหาวิทยาลัยแม่โจ้. เชียงใหม่. 43 น.

สุดสายชล หอมทอง. 2541. การผลิต astaxanthin จากสาหร่าย *Haematococcus pluvialis*. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. กรุงเทพมหานคร. 163 น.

สุมนทิพย์ บุนนาค และ ปิยะดา ธีระกุลพิศุทธ์. 2532. การเปรียบเทียบคุณค่าทางอาหารระหว่างออสซิลลาทอเรีย (*Oscillatoria* sp.) และสไปรูไลน่า (*Spirulina* sp.). วารสารวิทยาศาสตร์ มข 17 (2): 90-95.

Ahmed A. Issa. 1999. Antibiotic production by the cyanobacteria *Oscillatoria angustissima* and *Calothrix parietina*. Environmental Toxicology and Pharmacology 8: 33-37.

A.R. Domúınguez-Bocanegra, I. Guerrero Legarreta, F. Martinez Jeronimo, and A. Tomasini Campocosio. 2004. Influence of environmental and nutritional factors in the production of astaxanthin from *Haematococcus pluvialis*. Bioresource Technology 92: 209-214.

Dinesh Kumar. R, Manikandavelu. D and Guru Kasirajan. K. 2010. Fixation of Carbon dioxide and oxygen production by photosynthetic simulations in indoor environs. J. Algal Biomass Utln 4: 84-88.

Gisela Fuenmayor, Lorena Jonte, Néstor Rosales-Loaiza and Ever Morales. 2009. Crecimiento de la cianobacteria marina *Oscillatoria* sp. MOF-06 en relación al pH en cultivos discontinuos. Revista de la Sociedad Venezolana de Microbiología. 29: 21-25.

Judith Bender, Susana Rodriguez-Eaton, Udoudo M. Ekanemesang and Peter Phillips. 1994. Characterization of Metal-Binding Bioflocculants Produced by the Cyanobacterial Component of Mixed Microbial Mats. APPLIED AND ENVIRONMENTAL MICROBIOLOG 60: 2311-2315.

Lobban, C.S., P.S. Harrison and M.J. Duncan. 1985. The Physiological Ecology of Seaweeds. Cambridge University Press, London. 242 p.

Mazel, D, Houmard, J, Castets, A. M. and Taodeau de Marsac, N. 1990. Highly repetitive DNA sequences in cyanobacterial genomes. J. Bacteriol. 172: 2755-2761.

Mohan N, Hanumantha Rao P, Ranjith Kumar R and Sivasubramanian V. 2010. TITLE: Mass Cultivation of *Chroococcus turgidus* and *Oscillatoria* sp. and Effective Harvesting of Biomass by Low-cost methods. Vivekananda Institute of Algal Technology. 15 p.

Prerna Ahuja, Rani Gupta and R.K. Saxena. 1999. Zn^{2+} biosorption by *Oscillatoria anguistissima*. Process Biochemistry. 34: 77-85.

Rasmussen, U. and Svenning, M. M. 1998. Fingerprinting of cyanobacteria based on PCR with primers derived from short and long tandemly repeated repetitive sequences. Appl. Environ. Microbiol. 64: 265-272.

Somchai Wangwibulkit, Chalor Limsuwan and Niti Chuchird. 2008. Effects of Salinity and pH on the Growth of Blue-Green Algae, *Oscillatoria* sp. And *Microcystis* sp., Isolated from Pacific White Shrimp (*Litopenaeus vannamei*) Ponds. KASETSART UNIVERSITY FISHERIES RESEARCH BULLETIN 32: 1-9.

Sommer T. R., D,Souza, F. M. L. and Morry N. M. 1992. Pigmentation of adult rainbow trout, *Oncorthnchus mykiss*, using the green alga *Haematococcus pluvialis*. Aquacult. 106: 63-74.