

การผลิตรงควัตถุ กรดไขมัน คุณค่าทางโภชนาการ และต้นทุนการผลิต ในการเพาะเลี้ยง *Spirulina platensis* (Nordstedt) Geiteler: โดยใช้ทำทิ้งจากโรงอาหาร
Pigment production, γ -linoleic acid, nutritional value and production cost in cultivation of *Spirulina platensis* (Nordstedt) Geiteler: using cafeteria wastewater

จกมล พรหมยะ¹ และ ศิริเพ็ญ ตริย์ไชยาพร²

¹ คณะเทคโนโลยีการประมง และทรัพยากรทางน้ำ มหาวิทยาลัยแม่โจ้

² หน่วยงานวิจัยสาหร่าย และคุณภาพน้ำ ภาควิชาชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

บทคัดย่อ

การเพาะเลี้ยงสาหร่าย *Spirulina platensis* ในน้ำทิ้งโรงอาหาร (cafeteria wastewater) ความเข้มข้น 90 และ 100% (90%Cw และ 100%Cw) และ modified Zarrouk's medium (modified Zm) โดยมีวัตถุประสงค์ เพื่อเปรียบเทียบปริมาณรงควัตถุ คุณค่าทางโภชนาการ กรดไขมันและต้นทุนการผลิตสาหร่ายสไปรูลิना ในอาหารเพาะเลี้ยงมี N:P= 6-8:1 ค่าความเป็นกรด-ด่าง 8.73-9.77 ผลการศึกษาพบว่า สไปรูลิनाที่เพาะเลี้ยงด้วยอาหารดังกล่าว สามารถผลิตรงควัตถุ β -carotene ปริมาณ 0.29 มิลลิกรัม/ กรัม ใน modified Zm และ 100%Cw แต่ค่า C-phycoerythrin มากถึง 17.95 มิลลิกรัม/ กรัม ใน 100%Cw มีต้นทุนการผลิต 310.6 บาท/กก. ในสูตรอาหาร modified Zm สาหร่ายสไปรูลิनाที่เพาะเลี้ยงด้วย modified Zm มี γ -linoleic acid เท่ากับ 0.302 มิลลิกรัม/กรัม ให้ผลผลิตมวลชีวภาพ และโปรตีนสูงกว่าในน้ำทิ้งโรงอาหารอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % สรุปได้ว่า สาหร่ายสไปรูลิना สามารถเพาะเลี้ยงในน้ำทิ้งจากโรงอาหาร ความเข้มข้น 100%Cw ได้ดี มี β -carotene (0.29 มิลลิกรัม/ กรัม), C-phycoerythrin (17.95 มิลลิกรัม/ กรัม) ส่วนคุณค่าทางโภชนาการมีโปรตีน 41.86 % และ ทำให้คุณภาพน้ำดีขึ้น

ABSTRACT

Spirulina platensis (Nordstedt Geiteler) were cultured in 3 experimental cultured medias; 90%, 100% cafeteria wastewater (90%Cw, 100%Cw) and modified Zarrouk medium (modified Zm). The aims of current study were to compare pigment production, nutritional value, γ -linoleic acid contents and production cost of *S. platensis* among the 3 experimental cultured medias. The N:P ratio and pH values of the medias ranged between 6-8:1 and pH 8.73-9.77 respectively. The results revealed that the highest level of β -carotene were achieved in modified Zm and 100%Cw medias (0.29 mg g⁻¹), while the highest levels of C-phycoerythrin was obtained in 100%Cw media (17.95 mg g⁻¹). The dry weight of *S. platensis* cultured in modified Zm contained the significantly (p>0.05) highest γ -linoleic acid content (0.302 mg g⁻¹) and required the highest production cost (310.6 Baht kg⁻¹). Implications of using *S. platensis* for producing 0.29 mg g⁻¹ β -carotene and 17.95 mg g⁻¹ C-

phycocyanin with 41.86% D. W protein content, and simultaneously improve the water quality and considerably favorable.

บทนำ

สาหร่าย *Spirulina platensis* เป็นพวก Cyanobacteria ที่นิยมใช้เป็นอาหารเสริมสุขภาพของคน เพราะมีวิตามิน เกลือแร่ และโดยเฉพาะโปรตีนที่มีอยู่ปริมาณสูงถึง 70 % ของน้ำหนักแห้ง นอกจากนี้ยังมีรงควัตถุที่มีมูลค่าสูงอีกหลายชนิด เช่น C-phycocyanin 18%, β - carotene 1.7%, Chlorophyll-a 1.6% และกรดไขมันจำเป็นไม่อิ่มตัว เช่น γ -linolenic acid (GLA) อยู่ร้อยละ 26 –30 ของกรดไขมันทั้งหมด GLA เป็นกรดไขมันจำเป็นตัวหนึ่งซึ่งได้รับความสนใจทางการแพทย์ และอุตสาหกรรม เนื่องจากมีคุณสมบัติในการยับยั้งการแข็งตัวของเลือด ลดระดับความดันโลหิต ลดปริมาณ คอลเลสเตอรอล ควบคุมฮอร์โมน Prostaglandin ช่วยรักษาเกี่ยวกับโรคหัวใจ และโรคภูมิแพ้ และรงควัตถุ C-phycocyanin และ allophycocyanin สามารถนำมาใช้เป็นสารติดตามในงานด้าน immunoassays microcopy เนื่องจากมีคุณสมบัติในการเรืองแสง (Nakamura, 1982 ; Bold and Wynne, 1985) การเพาะเลี้ยงสาหร่าย *S. platensis* เพื่อเป็นอาหารสัตว์นั้น ถ้าใช้สารอนินทรีย์ เป็นอาหารสาหร่าย จะทำให้ต้นทุนการผลิตสาหร่ายสูง จึงมีแนวทางลดต้นทุนการผลิตสาหร่าย เพื่อให้เป็นอาหารสัตว์ โดยการใช้น้ำทิ้งจากแหล่งต่างๆ เพื่อลดต้นทุน เช่น ใช้น้ำทิ้งจากบ่อหมักก๊าซชีวภาพมูลสุกร ความเข้มข้น 50% ได้ผลผลิตมากกว่า ความเข้มข้นอื่นๆ และมีผลทำให้คุณภาพน้ำ ดีขึ้นสามารถปล่อยลงสู่แหล่งน้ำ ธรรมชาติได้ (Canizares, 1993; Promya, 2000) มีการใช้น้ำหมักมูลสุกร 2% เพาะเลี้ยงสาหร่าย *Spirulina* ทำให้สาหร่ายมีการเจริญเติบโตดี และ คุณภาพของน้ำดีขึ้น สามารถลดค่า total nitrogen (TN) 96% และ ค่า total phosphorus (TP) 54% (Olguyn *et al.*, 2000; Chuntapa *et al.*, 2003) Traichiyaporn (2000) กล่าวว่า สาหร่าย *S. platensis* จะใช้ nitrogen ในรูปของ ammonia nitrogen (NH_3 -N) ก่อนหลังจากนั้นจะใช้ nitrate nitrogen (NO_3 -N) เป็นที่น่าสนใจ น้ำทิ้งจากมูลสัตว์ น้ำทิ้งจากแหล่งต่าง ๆ ที่ไม่มีโลหะหนักสามารถนำมาเลี้ยงสาหร่าย *S. platensis* ได้ทำให้ต้นทุนการผลิตสาหร่ายต่ำ และการเพาะเลี้ยงสาหร่าย *S. platensis* แบบหมวมวล ส่วนมากจะให้อาหาร 2 แบบ คือ batch and fed-batch (Stanca and Popovici, 1996; Rangel *et al.*, 2004) จุดประสงค์การศึกษาครั้งนี้เพื่อนำน้ำทิ้ง จากโรงอาหารมาเพาะเลี้ยง *Spirulina platensis* เปรียบเทียบผลผลิตของสาหร่าย β - carotene, C-phycocyanin γ -linolenic acid และคุณค่าทางโภชนาการ ซึ่งน้ำทิ้งดังกล่าวอาจทำให้ *S. platensis* สามารถเจริญได้ดี เพราะในน้ำทิ้งจากโรงอาหารมี pH อยู่ระหว่าง 8-9 เป็น pH ที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของสาหร่ายๆ ผลผลิตสาหร่ายที่ได้ สามารถนำไปเป็น อาหารปลา อาหารสัตว์ ทดแทนปลาป่น หรือกากถั่วเหลือง และหลังทดลอง มีผลทำให้คุณภาพน้ำ ดีขึ้นสามารถปล่อย ลงสู่แหล่งน้ำ ธรรมชาติได้

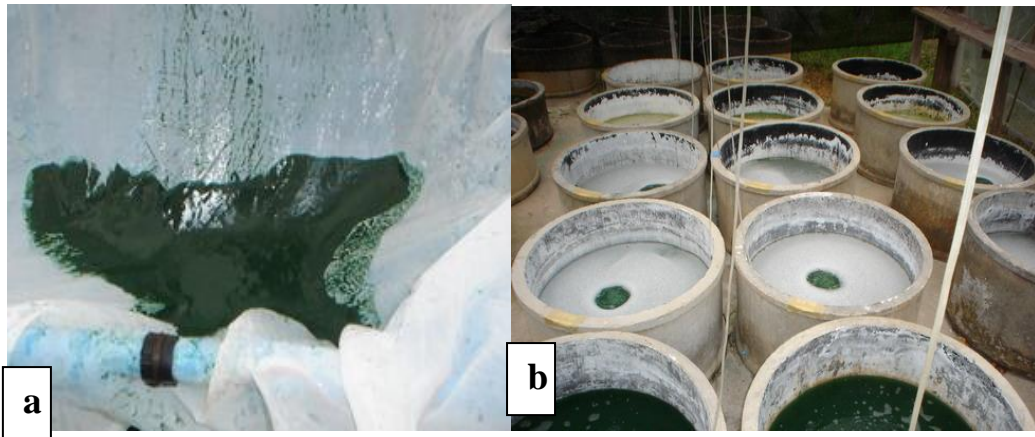
อุปกรณ์ และวิธีการทดลอง

1. การเตรียม Stock สำหรับ *S. platensis* ในสูตรอาหาร modified Zarrouk's medium (Stock Zm) โดยสูตร modified Zm มีส่วนประกอบของ NaHCO_3 2 กรัม/ลิตร NaCl 1 กรัม/ลิตร MgSO_4 1 กรัม/ลิตร NaNO_3 0.5 กรัม/ลิตร และ N:P:K (16:16:16) 1 กรัม/ลิตร ปรับ pH ให้ได้ pH 10 ± 0.5 โดยใช้สาร NaOH 6 N ทำการเพาะเลี้ยงในขวดโหลขนาด 5 ลิตรจนได้ค่า optical density ($\text{OD}_{560\text{nm}} = 1$) วัด spectrophotometer ที่ความยาวคลื่นแสง 560 nm ใช้ระยะเวลาการเพาะเลี้ยง 2 สัปดาห์ (Promya, 2000)

2. การเพาะเลี้ยงสำหรับ *S. platensis* ในสูตรอาหาร cafeteria wastewater (Stock Cw) นำน้ำทิ้งจากโรงอาหาร มหาวิทยาลัยแม่โจ้ 100 ลิตร มาพักให้ตกตะกอนในบ่อซีเมนต์ ประมาณ 3 สัปดาห์ หลังจากนั้นกรองตะกอนโดยใช้ ถูกรองแพลงก์ตอน ขนาด 80 ไมครอน นำน้ำที่กรองได้ ไปวิเคราะห์ pH, total nitrogen (TN) โดยวิธี Macro Kjeldahl และ total phosphorus (TP) โดยวิธี persulfate digestion และวิเคราะห์โดยวิธี stannous chloride (APHA and WPCF, 1998; Traichaiyaporn, 2000) ทำการเพาะเลี้ยงสูตรอาหาร 100%Cw ในตู้กระจกขนาด 50 ลิตร โดยนำเชื้อ *S. platensis* จาก stock Zm ทำการเพาะเลี้ยงจนได้ค่า OD = 1 ระยะเวลา 2 สัปดาห์ เชื้อสาหร่ายดังกล่าวสามารถนำไปใช้ในการทดลองต่อไป

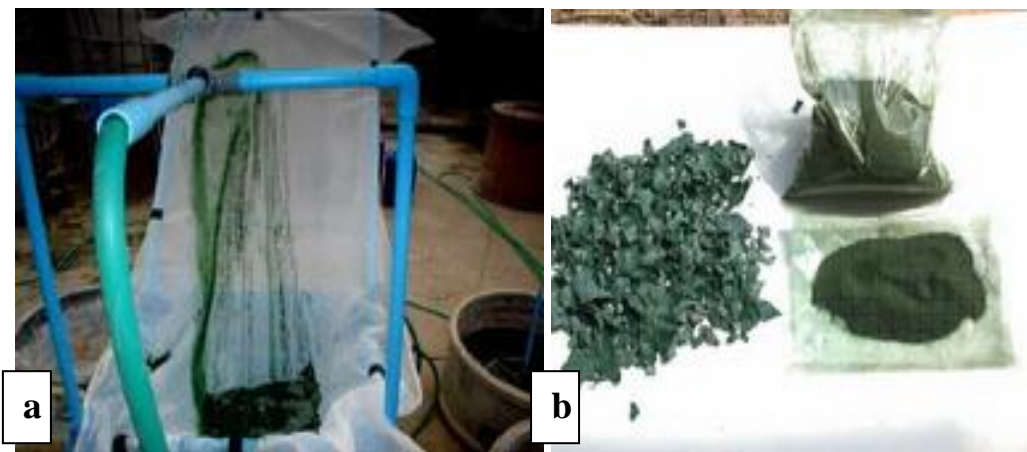
3. แผนการทดลองเพาะเลี้ยงสำหรับ *S. platensis* ในบ่อซีเมนต์กลางแจ้ง ทำการคัดเลือกสูตรอาหารจากการเพาะเลี้ยงในห้องปฏิบัติการ ที่นำเสนอใน International Journal of Agriculture & Biology (Promya *et al.*, 2008) นำสูตรอาหารที่มีผลผลิตของสาหร่ายสูงมา 3 สูตร ดังนี้ modified Zm, 90%Cw and 100%Cw และวางแผนการทดลองแบบ Completely randomized design (CRD) มี 3 หน่วยทดลองๆ ละ 3 ซ้ำ (ภาพ 1b) ทดลองในบ่อซีเมนต์ปริมาตรน้ำ 100 ลิตร จำนวน 9 บ่อ ดังนี้ modified Zm (modified Zm; R₁- R₃), 100%Cw (100%Cw; R₁- R₃) and 90%Cw (90%Cw; R₁- R₃) เตรียมน้ำทิ้ง และสารอาหารในบ่อตามสูตรอาหาร แต่ละหน่วยทดลอง

นำเชื้อ *S. platensis* สด (ภาพ 1a) จาก stock Cw เติมน้ำในบ่อ แต่ละหน่วยทดลอง โดยให้ได้ ค่า OD เริ่มต้นเท่ากับ 0.30 ทำการเพาะเลี้ยงประมาณ 10-15 วัน และมีการตรวจคุณภาพน้ำ ทุกๆ 5 วันเพื่อวิเคราะห์ คุณหมูมิน้ำ pH, DO, BOD, COD, $\text{NH}_3\text{-N}$, $\text{NO}_3\text{-N}$, $\text{NO}_2\text{-N}$, organic nitrogen (ON), total Kjeldahl nitrogen (TKN), total oxidized nitrogen (TON), TN and TP (APHA and WPCF, 1985) ทำการเพาะเลี้ยงจนได้ค่า OD เท่ากับ 1 เก็บผลผลิตของสาหร่าย โดยใช้ถูกรองแพลงก์ตอนขนาด 120ไมครอน (ภาพ 2a) นำไปตากแดด หรืออบที่เครื่อง tray-dried ที่อุณหภูมิ 70 °C นาน 5 ชั่วโมง หลังจากนั้นนำสาหร่ายไปบดผง (ภาพ 2b) วิเคราะห์ต้นทุนการผลิตของสาหร่าย β -carotene, C-phycocyanin, GLA และคุณค่าทางโภชนาการ โดยวิธีของ (De Silva, 1986; Berns *et al.*, 1963; AOAC, 1990; Simonne *et al.*, 1996)



ภาพที่ 1 (a) *S. platensis* สด

(b) บ่อทดลองเพาะเลี้ยงสาหร่าย *S. platensis*



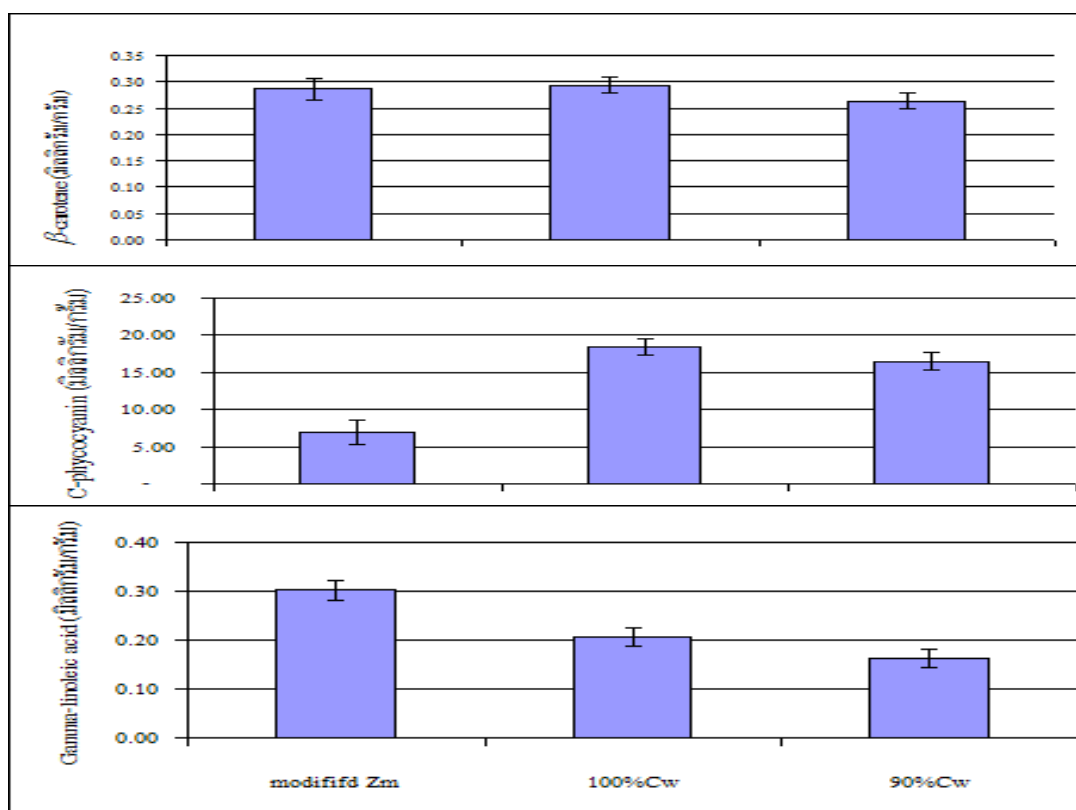
ภาพ 2 (a) การกรอง *S. platensis* โดยถุงกรองแพลงก์ตอน (b) สาหร่ายแห้ง และสาหร่ายผง

4. การวิเคราะห์ทางสถิติ นำข้อมูลที่ได้มาหาค่าเฉลี่ยในแต่ละหน่วยทดลอง สรุปในรูปกราฟ ตาราง และวิเคราะห์ผลทางสถิติค่าเฉลี่ย โดยวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) ของค่าเฉลี่ย โดยวิธี Duncan test ที่ระดับนัยสำคัญทางสถิติ $p < 0.05$ และเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยแต่ละหน่วยทดลองโดย Least Significant Different (LSD) แต่ละ treatment โดยโปรแกรม Statistic Package Social Science (SPSS Inc., Chicaco, USA, Ver.15)

ผลและวิจารณ์ผลการทดลอง

1. รงควัตถุ (pigment) และกรดไขมัน GLA สาหร่าย *S. platensis* ในสูตรอาหาร modified Zm, 100%Cw และ 90%Cw มี β -carotene เท่ากับ 0.29, 0.29 และ 0.26 มิลลิกรัม/กรัม ตามลำดับ มีสาร C-phycocyanin 6.94, 18.44 และ 16.31 มิลลิกรัม/กรัม ตามลำดับ (ภาพที่ 3) การทดลองในครั้งนี้ ใช้สูตรอาหาร modified Zarrouk's medium (Zm) ไม่ได้ใช้สูตรอาหาร standard Zarrouk's medium จึงทำให้ค่า β -carotene และ C-phycocyanin ต่ำกว่าสูตร standard Zarrouk's medium มีค่า 1.5 มิลลิกรัม/กรัม และ

60.70 มิลลิกรัม/กรัม (Carlos *et al.*, 2003) ค่า GLA ของสาหร่าย *S. platensis* ในสูตรอาหาร modified Zm เท่ากับ 0.302 มิลลิกรัม/กรัม สูงกว่าสูตรอาหาร 100%Cw และ 90%Cw อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น $p < 0.05$ แต่ค่าใกล้เคียงกับสูตรอาหาร standard Zarrouk's medium ซึ่งมีค่าเท่ากับ 0.29 มิลลิกรัม/กรัม เป็นสูตรที่มีอาหารที่มีสารอาหารครบ (Eugenia *et al.*, 2000)



ภาพที่ 3 ค่า β -carotene, C-phycoerythrin และ γ -linolenic acid ของสาหร่าย *S. platensis* ที่เพาะเลี้ยงในสูตรอาหาร modified Zm, 100%Cw และ 90%Cw ระยะเวลา 15 วัน

2. ต้นทุนผันแปร และมวลชีวภาพของสาหร่าย (ดังตารางที่ 1) อาหารสูตร 100%Cw มีต้นทุนในการผลิต 276.60 บาท/กก. ต้นทุนต่ำกว่าสูตร modified Zm ประมาณ 10.9% และสูตรอาหาร 90%Cw ต้นทุนต่ำ modified Zm ประมาณ 2.6% ผลผลิตสาหร่าย *S. platensis* 100%Cw และ modified Zm มีผลผลิตน้ำหนักแห้งใกล้เคียงกัน (0.82 และ 0.84 กรัม/ลิตร) ซึ่งทั้ง 2 สูตรมีผลผลิตสูงกว่าสูตรอาหาร 90%Cw (0.77 กรัม/ลิตร) คล้ายกับการเพาะเลี้ยงสาหร่าย *S. platensis* ในน้ำหมักมูลสุกร ได้ผลผลิต 0.77 กรัม/ลิตร (Eugenia *et al.*, 2002) และการทดลองครั้งนี้ผลผลิตสูงกว่า การเพาะเลี้ยงสาหร่าย *S. platensis* ในน้ำหมักก๊าซชีวภาพมูลสุกร ได้ผลผลิต 0.32 กรัม/ลิตร (Promya and Traichaiyaporn, 2003)

3. คุณค่าทางโภชนาการของสาหร่าย *S. platensis* (ตารางที่ 1) สูตรอาหาร modified Zm มีโปรตีน 54.44% สูงกว่าสูตรอาหาร 100%Cw (35.86% น้ำหนักแห้ง) อย่างไรก็ตามไขมันที่สูตรอาหาร 100%Cw สูงกว่า modified Zm ประมาณ 60% จะเห็นได้ว่า 100%Cw มีประมาณไขมันสูง น้ำดังกล่าวเป็นน้ำทิ้งจากโรง

อาหาร เยื่อใยในสูตรอาหาร 100%Cw และ 90%Cw มีเยื่อใยเป็น 4 เท่าของ สูตรอาหาร modified Zm อาจเป็นเพราะน้ำทิ้งจากโรงอาหารมี คาร์โบไฮเดรต ไขมัน และน้ำมัน เป็นแหล่ง คาร์บอน เมื่อเปรียบเทียบกับ modified Zm มี sodium bicarbonate เป็นแหล่ง คาร์บอน ปริมาณ เถ้าในสูตรอาหาร 100%Cw และ 90%Cw มากเป็น 7 เท่า ของสูตร modified Zm อาจเป็นเพราะในสูตรอาหาร Cw อาจมีสารอินทรีย์ บางตัวปนอยู่ เช่น ผงซักฟอง มีสารพวก ฟอสฟอรัส (P) สูง มีผลทำให้ เถ้าในสาหร่ายสูง ผลการทดลองครั้งนี้จะเห็นว่า ผลผลิตของสาหร่ายที่ได้สามารถเป็นแหล่งโปรตีนในอาหารสัตว์ โดยเฉพาะอาหารปลา เพราะอาหารปลาที่จำหน่ายในท้องตลาด ในอาหารปลากินพืช มีโปรตีนอยู่ระหว่าง 20-3% (Mahajan and Kamat, 1995)

ตารางที่ 1 ผลการวิเคราะห์ทางสถิติ (ค่าเฉลี่ย \pm SD) ของ ต้นทุนผันแปร มวลชีวภาพ และคุณค่าทางโภชนาการ ของสาหร่าย *S. platensis* ที่เพาะเลี้ยงในสูตรอาหาร modified Zm, 100%Cw และ 90%Cw

ปัจจัยในวิเคราะห์	modified Zm	100%Cw	90%Cw
ต้นทุนผันแปร (บาท/กก.)	310.6 \pm 7.6 ^a	276.6 \pm 9.6 ^b	303.6 \pm 14.7 ^a
มวลชีวภาพ (กรัม/ลิตร นน.แห้ง)	0.84 \pm 0.05 ^a	0.82 \pm 0.02 ^a	0.73 \pm 0.02 ^b
โปรตีน (%)	54.44 \pm 0.63 ^a	35.86 \pm 1 ^c	32.27 \pm 0.91 ^d
ไขมัน (%)	1.93 \pm 0.16 ^c	3.13 \pm 0.02 ^a	2.82 \pm 0.02 ^b
เยื่อใย (%)	2.31 \pm 0.27 ^e	10.65 \pm 0.79 ^a	9.58 \pm 0.71 ^b
ความชื้น (%)	10.95 \pm 0.61 ^a	7.72 \pm 0.24 ^b	6.95 \pm 0.21 ^c
เถ้า (%)	3.94 \pm 0.15 ^c	27.94 \pm 1.56 ^a	25.2 \pm 1.4 ^{ab}

Note: The means \pm SD in the same row with different superscripts are significantly different ($p < 0.05$).

4. คุณภาพน้ำในการเพาะเลี้ยงสาหร่าย *S. platensis* ผลการทดลองดังตารางที่ 2 จะเห็นได้ว่า อัตราส่วนของ N:P ในการทดลองของสูตรอาหารทั้ง 3 สูตรมีค่า 6-8:1 ในการทดลองครั้งนี้ น้ำทิ้งจากโรงอาหาร มีค่า pH อยู่ระหว่าง 9.5-12 ซึ่งเป็น pH ที่เหมาะสมในการเพาะเลี้ยงสาหร่าย (Walach *et al.*, 1987) ในการทดลองได้มีการเพิ่มออกซิเจนที่ละลายน้ำ (DO) ตลอดเวลา ทำให้ค่า DO มากกว่า 5 มิลลิกรัม/ลิตร ซึ่งเป็นค่าที่เหมาะสม (Marquez, 1995) ทำให้น้ำทิ้ง 100%Cw และ 90%Cw มีการลดลงของค่า BOD และ COD มากกว่า 70% ซึ่งใกล้เคียงกับการทดลองเพาะเลี้ยงสาหร่าย *S. platensis* ในน้ำทิ้งจากโรงงานแปงมันสำปะหลัง และการเพาะเลี้ยงในน้ำทิ้งจากบ่อหมักก๊าซชีวภาพมูลสุกร (Canizares, 1993; Promya and Traichaiyaporn, 2005) ค่าฟอสฟอรัสรวม (Total phosphorous) สูตรอาหารทั้ง 3 สูตรมีค่า 3.83-4.35 มิลลิกรัม/ลิตร หลังการทดลองมีค่าลดลง มากกว่า 50% คล้ายการทดลองของ Martinez *et al.* (2000) ค่า แอมโมเนีย-ไนโตรเจน (NH₃-

N) และไนเตรต-ไนโตรเจน (NO₃-N) หลังการทดลองมีค่าลดลง มากกว่า การทดลองของ Martinez *et al.* (2000) ซึ่งค่า แอมโมเนีย-ไนโตรเจน ลดลงต่ำกว่า 1.1 มิลลิกรัม/ลิตร และค่า Total Kjeldahl nitrogen (TKN) ลดลงต่ำกว่า 100 มิลลิกรัม/ลิตร (Pollution Control Department, 1994)

สรุปผลการทดลอง

การเพาะเลี้ยงสาหร่าย *Spirulina platensis* ในน้ำทิ้งจากโรงอาหารความเข้มข้น 90%*Cw*, 100%*Cw* และ modified Zm พบว่า สาหร่าย สไปรูลิน่า สามารถเพาะเลี้ยงในน้ำทิ้งจากโรงอาหารความเข้มข้น 100%*Cw* ได้ดี มีค่า β -carotene 0.29 มิลลิกรัม/กรัม และ C-phycoocyanin 17.95 มิลลิกรัม/กรัม ส่วนคุณค่าทางโภชนาการมีโปรตีน 41.86 % และ คุณภาพน้ำ หลังการเพาะเลี้ยงสาหร่าย *Spirulina platensis* ในน้ำทิ้งจากโรงอาหารความเข้มข้น 90% และ 100% ทำให้ค่า BOD, COD, TP, NH₃-N, ON, TKN, NO₃-N, NO₂-N, TON และ TN ลดลงต่ำกว่ามาตรฐานอาหาร modified Zm

คำนิยม

ขอขอบคุณวิจัยจาก สำนักวิจัย และส่งเสริมการเกษตร มหาวิทยาลัยแม่โจ้ สภาวิจัยแห่งชาติ และ คณะเทคโนโลยีการประมง และทรัพยากรทางน้ำ มหาวิทยาลัยแม่โจ้ ขอขอบคุณ ศาสตราจารย์ ดร. เปี่ยมศักดิ์ เมนะเศวต ภาควิชาวิทยาศาสตร์ทางทะเล คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย และรองศาสตราจารย์ ดร. ทิพย์มณี ภาวะตะศิลาปิน ภาควิชาวิทยาศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

ตาราง 2 ผลการวิเคราะห์ทางสถิติ (ค่าเฉลี่ย \pm SD) ของคุณภาพน้ำ และ เปอร์เซ็นต์การลดลงของคุณภาพน้ำ หลังการเพาะเลี้ยงสาหร่าย *S. platensis* เป็นเวลา 15 วัน

Chemistry Parameter	Modified Zm			100%Cw			90%Cw			Standard Limits	References
	Zm ก่อนการเพาะเลี้ยง	หลังการเพาะเลี้ยง 15 วัน	% การลดลง	100%Cw ก่อนการเพาะเลี้ยง	หลังการเพาะเลี้ยง 15 วัน	% การลดลง	90%Cw ก่อนการเพาะเลี้ยง	หลังการเพาะเลี้ยง 15 วัน	% การลดลง		
Air tem. (°C)	30	29	-	30	29	-	30	29	-	-	
Water tem. (°C)	28.1	27.9	-	28.2	27.93	-	28.1	27.97	-	< 40 °C	Pollution Control Department, 1994
pH	8.73	9.7	-	9.3	9.71		9.54	9.77	-	5.5 - 9	Pollution Control Department, 1994
DO (mg L ⁻¹)	3.73 \pm 0.15 ^a	7.20 \pm 0.10 ^a	-	0.2 \pm 0.05 ^b	6.12 \pm 0.12 ^b	-	0.3 \pm 0.05 ^b	7 \pm 0.26 ^a	-	> 5 (mg L ⁻¹)	Pollution Control Department, 1994
BOD (mg L ⁻¹)	9.99 \pm 0.5 ^a	6.11 \pm 0.10 ^c	38.8 \pm 2.1 ^b	18.71 \pm 0.61 ^a	5.15 \pm 0.11 ^a	72.74 \pm 0.1 ^a	16.84 \pm 0.55 ^b	4.87 \pm 0.10 ^b	71.08 \pm 0.1 ^a	< 20 (mg L ⁻¹)	Pollution Control Department, 1994
COD (mg L ⁻¹)	13.21 \pm 1.00 ^c	7.20 \pm .25 ^{ab}	45.1 \pm 3.8 ^b	28.07 \pm 0.64 ^a	7.69 \pm 0.35 ^a	72.6 \pm 1.2 ^a	25.26 \pm 0.58 ^b	6.93 \pm 0.32 ^b	73 \pm 1 ^a	< 120 (mg L ⁻¹)	Pollution Control Department, 1994
TP (mg L ⁻¹)	4.35 \pm 0.39 ^a	2.17 \pm 0.06 ^a	50 \pm 6 ^{ns}	4.25 \pm 0.13 ^{ab}	2.11 \pm 0.14 ^a	50.4 \pm 1.8 ^{ns}	3.83 \pm 0.12 ^b	1.9 \pm 0.13 ^b	50.4 \pm 1.9 ^{ns}	< 0.4 (mg L ⁻¹)	Pollution Control Department, 1994
NH ₃ -N (mg L ⁻¹)	0.03 \pm 0.01 ^c	0.01 \pm 0.006 ^b	67 \pm 18 ^b	7.03 \pm 0.06 ^a	0.14 \pm 0.006 ^a	98.0 \pm 0.1 ^a	5.75 \pm 0.14 ^b	0.13 \pm 0.005 ^a	97.8 \pm 0.1 ^a	< 1.1 (mg L ⁻¹)	Pollution Control Department, 1994
Org. N (mg L ⁻¹)	0.04 \pm 0.00 ^c	0.02 \pm 0.004 ^c	50 \pm 0.002 ^b	15.53 \pm 0.50 ^a	0.54 \pm 0.014 ^a	96.52 \pm 0.02 ^a	14.55 \pm 0.36 ^b	0.48 \pm 0.015 ^b	96.7 \pm 0.02 ^a	< 10 (mg L ⁻¹)	Pollution Control Department, 1994
TKN (mg L ⁻¹)	0.07 \pm 0.01 ^c	0.05 \pm 0.01 ^b	70 \pm 16 ^b	22.56 \pm 0.56 ^a	0.68 \pm 0.02 ^a	97.0 \pm 0.2 ^a	20.3 \pm 0.50 ^b	0.61 \pm 0.02 ^a	97 \pm 0.2 ^a	< 100 (mg L ⁻¹)	Pollution Control Department, 1994
NO ₃ -N (mg L ⁻¹)	30.73 \pm 1.00 ^a	1.78 \pm 0.07 ^a	94.2 \pm 0.2 ^b	3.8 \pm 0.9 ^b	0.03 \pm 0.01 ^b	99.2 \pm 0.3 ^a	3.47 \pm 0.69 ^b	0.027 \pm 0.01 ^b	99.2 \pm 0.2 ^a	< 0.5 (mg L ⁻¹)	Pollution Control Department, 1994
NO ₂ -N (mg L ⁻¹)	0.003 \pm 0.001 ^b	0.001 \pm 0.001 ^b	67 \pm 33 ^{ns}	0.009 \pm 0.001 ^a	0.003 \pm 0.001 ^b	65 \pm 15 ^{ns}	0.008 \pm 0.001 ^a	0.002 \pm 0.001 ^b	73 \pm 15 ^{ns}	-	-
TON (mg L ⁻¹)	30.73 \pm 1.00 ^a	1.78 \pm 0.07 ^a	94.18 \pm 0.07 ^b	3.809 \pm 0.901 ^b	0.033 \pm 0.011 ^b	99.15 \pm 0.09 ^a	3.478 \pm 0.691 ^b	0.029 \pm 0.011 ^b	99.19 \pm 0.16 ^a	< 0.5 (mg L ⁻¹)	Pollution Control Department, 1994
TN (mg L ⁻¹)	30.8 \pm 1.01 ^a	1.83 \pm 0.08 ^a	94.03 \pm 0.10 ^b	26.37 \pm 1.46 ^b	0.713 \pm 0.031 ^{ab}	97.30 \pm 0.04 ^a	23.778 \pm 1.191 ^c	0.639 \pm 0.031 ^b	97.31 \pm 0.01 ^a	< 4 (mg L ⁻¹)	Pollution Control Department, 1994

Note: The means \pm SD in the same row with different superscripts are significantly different ($p < 0.05$).

เอกสารอ้างอิง

- APHA, AWW and WPCF. 1985. "Standard Methods for Examination of Water and Waste Water", 16th Edn., American Public Health Association, Washington DC
- AOAC. 1984. "Methods of Analysis", 14th Edn., Arlington, Virginia.
- Berns D.S, H. L. Crespi, and J. J. Katz, "Isolation, amino acid composition and some physico-chemical properties of the protein deuterio-phycoerythrin", *J. Am. Chem. Soc.*, 1963, 85, 8-14
- Bold H. C and M. J. Wynne. 1985. "Introduction to the Algae Structure and Reproduction", 2nd Edn., Prentice-Hall, Englewood Cliff
- Canizares R.O. 1993. "Free and immobilized cultures of *S. maxima* for swine waste treatment in Mexico", *Biotechnol. Lett.*, 15, 321–326.
- Carlos J., B. R. Cossio, D. Lablla, and F. X. Niell. 2003. "The feasibility of industrial production of *S. platensis* in Southern Spain", *Aquaculture*, 217, 179-190.
- Chuntapa B., S. Powtongsook, and P. Menasveta. 2003. "Water quality control using *S. platensis* in shrimp culture tanks", *Aquaculture*, 220, 355– 366.
- De Silva S.S, R. M. Gunasekera, and C. Keembiyahetty. 1986. "Optimum ration and feeding frequency in *Oreochromis niloticus* young", (Eds. J. L. Maclean, L. B. Dizon, and L. V. Hosillos), *Proc. The First Fisheries Forum, Asian Fisheries Society*, Manila, pp. 559-564.
- Eugenia J, O. S. Galicia, O. A. Guerrero and E. Hernandez. 2002. "The effect of low light flux and nitrogen deficiency on the chemical composition of *Spirulina* sp. (*Arthrospira*) grown on digested pig waste", *Bioresource Technol.*, 77, 19-24.
- Mahajan G and M. Kamat. 1995. "γ-Linolenic acid production from *S. platensis*", *Appl. Microbiol. Biotechnol.*, 43, 466– 469.
- Marquez F. 1995. "Inhibitory effect of oxygen accumulation on the growth of *S. platensis*", *Biotechnol. Lett.*, 17, 225-228.
- Martinez M.E., S. Sanchez, J. M. Jimenez, E. I. Yous, and F. L. Munoz. 2000. "Nitrogen and phosphorus removal from urban wastewater by the microalga *Scenedesmus obliquus*", *Bioresource Technol.*, 73, 263–272.
- Nakamura H. 1982. "*S. platensis* : Food for Hungry World, a Pioneer's Story in Aquaculture", University of the Tree Press, California

- Olguyn E.J., S. Galicia, O. Angulo-Guerrero, and E. Hernandez. 2000. "The effect of low light flux and nitrogen deficiency on the chemical composition of *Spirulina* sp. (*Arthrospira*) grown on digested pig waste", *Bioresour. Technol.*, 77, 19– 24.
- Pollution Control Department. 1994. "Laws and Standards on Pollution Control in Thailand", 3rd Edn., Ministry of Science Technology and Environment, Bangkok.
- Promya J. 2000. "The mass culture of *S. platensis* in effluent from pig manure biogas digester", *MSc Thesis*, Chiang Mai University, Thailand.
- Promya J and S. Traichaiyaporn. 2003. "Water quality improvement of effluent from pig manure biogas digester by the culture of *S. platensis* (Nordstedt) Geiteler", *J. Sci. Fac. CMU*, 30, 95-101.
- Rangel-Yagui C.O, E. D. G. Danesi, J. C. M. Carvalho, and S. Sato. 2004. "Chlorophyll production from *S. platensis*: cultivation with urea addition by fed-batch process", *Bioresour. Technol.*, 92, 133– 141.
- Simonne A.H, N. R. Green, and D. I. Bransby. 1996. "Consumer acceptability and β -carotene content of beef as related to cattle finishing diets", *J. Food Sci.*, 61, 1254-1256.
- Stanca D and E. Popovici. 1996. "Urea as nitrogen source in modified Zarrouk's medium", *Rev. Roum. Biol.*, 41, 25–31.
- Traichaiyaporn S. 2000. "Water quality analysis" (a textbook in Thai), Department of Biology, Faculty of Science, Chiang Mai University
- Walach M. R., M. Bazin, and J. Pirt. 1987. "Computer control of carbon–nitrogen ratio in *S. platensis*", *Biotechnol. and Bioengineering*, 29, 520–528.