รายงานผลการวิจัย

เรื่อง การเปรียบเทียบคุณค่าทางโภชนาการของ สาหร่ายสไปรูลินาสายพันธุ์ แม่โจ้ กับสายพันธุ์อื่นๆ ในระบบการผลิตที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม

Nutritional fact comparison of *Spirulina* MaeJo strain and other species in Eco friendly aquaculture

โครงการวิจัยย่อยภายใต้ชุดโครงการ : ระบบการผลิตที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม เพื่ออาหารปลอดภัย และเพิ่มมูลค่าของทรัพยากรทางน้ำ

ได้รับการจัดสรรงบประมาณวิจัย ประจำปี 2556
จำนวน 209,500 บาท

หัวหน้าโครงการ นาย จงกล พรมยะ
ผู้ร่วมโครงการ นาย ชนกันต์ จิตมนัส

งานวิจัยเสร็จสิ้นสมบูรณ์

30 เมษายน 2557

คำนิยม

รายงานผลงานวิจัยฉบับนี้สำเร็จลุล่วงเป็นอย่างดี คณะผู้จัดทำขอขอบพระคุณ สำนักวิจัยและส่งเสริมวิชาการการเกษตร มหาวิทยาลัยแม่โจ้ ที่ได้ให้การสนับสนุนทุนอุดหนุนการวิจัย ซึ่งได้รับการจัดสรรงบประมาณการวิจัยประจำปี 2556 ในการทำวิจัยในครั้งนี้ ขอขอบพระคุณ คณาจารย์ ข้าราชการเจ้าหน้าที่ และนักศึกษา คณะเทคโนโลยีการประมง และทรัพยากรทางน้ำ มหาวิทยาลัยแม่โจ้ ที่ให้ความช่วยเหลือด้านอุปกรณ์ เครื่องมือ ตลอดจนสถานที่ทำการวิจัย ขอขอบพระคุณผู้ที่เกี่ยวข้อง และคณะผู้ร่วมทำงาน ที่ให้ความร่วมมือช่วยเหลือ ทำให้งานวิจัยสมบูรณ์ยิ่งขึ้น

คณะผู้วิจัย

สำนักหอสมุด มหาวิทยาลัยแม่โจ้
B : .....
I : .....
วันที่ 3 กย. 2557
เลขเรียกหนังสือ

สารบัญ

	หน้า
สารบัญตาราง	ข
สารบัญตารางภาคผนวก	ค-ง
สารบัญภาพ	จ-ช
บทคัดย่อ	1
คำนำ	4
การตรวจเอกสาร	5
อุปกรณ์และวิธีการวิจัย	11
ผลการวิจัย	16
วิจารณ์ผลการวิจัย	33
สรุปผลการวิจัย	36
เอกสารอ้างอิง	37
ภาคผนวก	40

สารบัญตาราง

		หน้า
ตารางที่ 1	แสดงค่าเฉลี่ยคุณภาพน้ำทางกายภาพ และเคมี ในการเพาะเลี้ยงสาหร่ายในบ่อซีเมนต์กลม	26
ตารางที่ 2	แสดงค่าเฉลี่ยคุณภาพน้ำทางกายภาพ และเคมี ในการเพาะเลี้ยงสาหร่ายในบ่อ Raceway pond	33

สารบัญตารางภาคผนวก

หน้า

ตารางภาคผนวกที่ 1 ผลการวิเคราะห์ปริมาณเซลล์สาหร่ายที่มีลักษณะเป็นเกลียว(%) ของสาหร่าย ที่เพาะเลี้ยงในที่เพาะเลี้ยงในห้องปฏิบัติการแต่ละชุดการทดลอง 41

ตารางภาคผนวกที่ 2 ผลการวิเคราะห์ จำนวนเซลล์ของสาหร่าย (x 10^4 cell/mL) ของสาหร่าย ที่เพาะเลี้ยงในห้องปฏิบัติการ แต่ละชุดการทดลอง 41

ตารางภาคผนวกที่ 3 ผลการวิเคราะห์ค่าความหนาแน่น (optical density;Units) ของสาหร่าย ที่เพาะเลี้ยงในห้องปฏิบัติการแต่ละชุดการทดลอง 41

ตารางภาคผนวกที่ 4 ผลการวิเคราะห์ ปริมาณผลผลิตของสาหร่ายแห้ง และปริมาณสารสีแคโรทีนอยด์ ของสาหร่ายโดยน้ำหนักแห้ง ที่เพาะเลี้ยงในห้องปฏิบัติการแต่ละชุดการทดลอง 41

ตารางภาคผนวกที่ 5 ผลการวิเคราะห์ปริมาณเซลล์สาหร่ายที่มีลักษณะเป็นเกลียว(%) ของสาหร่าย ที่เพาะเลี้ยงในที่เพาะเลี้ยงในบ่อซีเมนต์กลม แต่ละชุดการทดลอง 42

ตารางภาคผนวกที่ 6 ผลการวิเคราะห์ จำนวนเซลล์ของสาหร่าย (x 104 cell/mL) ของสาหร่าย ที่เพาะเลี้ยงในที่เพาะเลี้ยงในบ่อซีเมนต์กลม แต่ละชุดการทดลอง 42

ตารางภาคผนวกที่ 7 ผลการวิเคราะห์ค่าความหนาแน่น (optical density;Units) ของสาหร่าย ที่เพาะเลี้ยงในที่เพาะเลี้ยงในบ่อซีเมนต์กลม แต่ละชุดการทดลอง 42

ตารางภาคผนวกที่ 8 การวิเคราะห์ ผลผลิต ปริมาณสารสี และ ต้นทุนผันแปรในการผลิตสาหร่าย โดยน้ำหนักแห้ง ของสาหร่ายที่เพาะเลี้ยงในบ่อซีเมนต์กลม แต่ละชุดการทดลอง 43

ตารางภาคผนวกที่ 9 การวิเคราะห์ คุณค่าทางโภชนาการ โดยน้ำหนักแห้ง ของสาหร่ายที่เพาะเลี้ยง ในบ่อซีเมนต์กลมแต่ละชุดการทดลอง 43

ตารางภาคผนวกที่ 10 การวิเคราะห์ คุณภาพน้ำทางกายและเคมี ในการเพาะเลี้ยงสาหร่าย ในบ่อซีเมนต์กลมแต่ละชุดการทดลอง 43

ตารางภาคผนวกที่ 11 การวิเคราะห์ คุณภาพน้ำทางกายและเคมี ในการเพาะเลี้ยงสาหร่าย ในบ่อซีเมนต์กลมแต่ละชุดการทดลอง 44

ตารางภาคผนวกที่ 12 ผลการวิเคราะห์ปริมาณเซลล์สาหร่ายที่มีลักษณะเป็นเกลียว(%) ของสาหร่าย ที่เพาะเลี้ยงในที่เพาะเลี้ยงในบ่อแบบลู่วิ่ง (raceway pond) แต่ละชุดการทดลอง 44

ตารางภาคผนวกที่ 13 ผลการวิเคราะห์ จำนวนเซลล์ของสาหร่าย (x 10^4 cell/mL) ของสาหร่าย ที่เพาะเลี้ยงในที่เพาะเลี้ยงในบ่อแบบลู่วิ่ง (raceway pond) แต่ละชุดการทดลอง 44

ตารางภาคผนวกที่ 14 ผลการวิเคราะห์ค่าความหนาแน่น (optical density;Units) ของสาหร่าย ที่เพาะเลี้ยงในที่เพาะเลี้ยงในบ่อแบบลู่วิ่ง (raceway pond) แต่ละชุดการทดลอง 45

สารบัญตารางภาคผนวก (ต่อ)

หน้า

ตารางภาคผนวกที่ 15 การวิเคราะห์ ผลผลิต ปริมาณสารสี และ ต้นทุนผันแปรในการผลิตสาหร่าย
โดยน้ำหนักแห้งของสาหร่ายที่เพาะเลี้ยงในบ่อแบบลู่วิ่ง แต่ละชุดการทดลอง 45

ตารางภาคผนวกที่ 16 การวิเคราะห์ คุณค่าทางโภชนาการ โดยน้ำหนักแห้ง ของสาหร่ายที่เพาะเลี้ยง
ในบ่อแบบลู่วิ่ง (raceway pond) แต่ละชุดการทดลอง 45

ตารางภาคผนวกที่ 17 การวิเคราะห์ คุณภาพน้ำทางกายและเคมี ในการเพาะเลี้ยงสาหร่าย
ในบ่อแบบลู่วิ่ง (raceway pond) แต่ละชุดการทดลอง 46

ตารางภาคผนวกที่ 18 การวิเคราะห์ คุณภาพน้ำทางกายและเคมี ในการเพาะเลี้ยงสาหร่าย
ในบ่อซีเมนต์กลมแต่ละชุดการทดลอง 46

สารบัญภาพ

หน้า

ภาพที่ 1 สาหร่าย *Spirulina platensis* ขนาด scale 20 um 5

ภาพที่ 2 การเตรียมอาหารวุ้น และการขยาย การเพาะเลี้ยงสาหร่ายแต่สายพันธุ์ 11

ภาพที่ 3 T_1Spi.CMU1 (scale bar เท่ากับ 33 μm) 12

ภาพที่ 4 T_2 Spi. MJU1 (scale bar เท่ากับ 48 μm) 12

ภาพที่ 5 T_3Spi.MJU2 (scale bar เท่ากับ 31 μm) 12

ภาพที่ 6 เพาะเลี้ยงสาหร่ายแต่สายพันธุ์ ในห้องปฏิบัติการแต่ละชุดการการทดลอง 13

ภาพที่ 7 การเพาะเลี้ยงสไปรูลิน่าแต่ละถิ่นกำเนิด ในบ่อซีเมนต์กลม (Cement pond) 13

ภาพที่ 8 การเพาะเลี้ยงสไปรูลิน่าแต่ละสายพันธุ์ ในบ่อแบบ raceway pond 14

ภาพที่ 9 เซลล์สาหร่ายลักษณะเป็นเกลียว เพาะเลี้ยงในห้องปฏิบัติการ แต่ละชุดการการทดลอง 17

ภาพที่ 10 จำนวนเซลล์ (X 10^4 cell/mL) ของสาหร่ายที่เพาะเลี้ยงในห้องปฏิบัติการ 17

ภาพที่ 11 แต่ละชุดการการทดลอง ความหนาแน่น (optical density) ของเซลล์สาหร่าย
ที่เพาะเลี้ยงในห้องปฏิบัติการแต่ละชุดการการทดลอง 18

ภาพที่ 12 ผลผลิตของสาหร่ายโดยน้ำหนักแห้ง (g/L) ของสาหร่ายที่เพาะเลี้ยง
ในห้องปฏิบัติการแต่ละชุดการการทดลอง 18

ภาพที่ 13 ปริมาณสารสี แคโรทีนอยด์ (mg/g) ของสาหร่ายที่เพาะเลี้ยงในห้องปฏิบัติการ
แต่ละชุดการการทดลอง 18

ภาพที่ 14 ปริมาณเซลล์สาหร่าย (%) ที่มีลักษณะเป็นเกลียวเพาะเลี้ยงในบ่อ Cement pond
แต่ละชุดการทดลอง 21

ภาพที่ 15 จำนวนเซลล์ (X 10^4 cell/mL) ของสาหร่ายที่เพาะเลี้ยงในบ่อ Cement pond (%)
แต่ละชุดการทดลอง 21

ภาพที่ 16 ความหนาแน่น (optical density; (OD; Units)) ของเซลล์สาหร่ายที่เพาะเลี้ยง
ในบ่อ Cement pond (%) แต่ละชุดการทดลอง 21

ภาพที่ 17 ปริมาณสาหร่ายโดยน้ำหนักแห้ง (g/L) ของสาหร่ายที่เพาะเลี้ยง
ในบ่อ Cement pond (%)แต่ละชุดการการทดลอง 22

ภาพที่ 18 ปริมาณสาร แคโรทีนอยด์ (mg/g) ของสาหร่ายที่เพาะเลี้ยง
ในบ่อ Cement pond (%)แต่ละชุดการการทดลอง 22

ภาพที่ 19 ปริมาณสารสี C-phycocyanin (mg/g) ของสาหร่ายที่เพาะเลี้ยง
ในบ่อ Cement pond (%) แต่ละชุดการการทดลอง 22

สารบัญภาพ (ต่อ)

หน้า

ภาพที่ 20 ปริมาณ วัตถุแห้ง (Dry matter basic;%) ของสาหร่ายที่เพาะเลี้ยง
ในบ่อ Cement pond (%)แต่ละชุดการการทดลอง 23
ภาพที่21ปริมาณความชื้น (Mointure;%) ของสาหร่ายที่เพาะเลี้ยง
ในบ่อ Cement pond (%) แต่ละชุดการการทดลอง 23
ภาพที่ 22 ปริมาณโปรตีน (%) ของสาหร่ายที่เพาะเลี้ยงในบ่อ Cement pond (%)
แต่ละชุด การการทดลอง 23
ภาพที่ 23 ปริมาณไขมัน (%) ของสาหร่ายที่เพาะเลี้ยงในบ่อ Cement pond (%)
แต่ละชุดการการทดลอง 24
ภาพที่24ปริมาณเถ้า (%) ของสาหร่ายที่เพาะเลี้ยงในบ่อ Cement pond (%)
แต่ละชุดการการทดลอง 24
ภาพที่25ปริมาณเยื่อใย (%) ของสาหร่ายที่เพาะเลี้ยงในบ่อ Cement pond (%)
แต่ละชุดการทดลอง 24
ภาพที่ 26 ปริมาณคาร์โบไฮเดรต (%) ของสาหร่ายที่เพาะเลี้ยงในบ่อ Cement pond (%)
แต่ละชุดการทดลอง 25
ภาพที่ 27 ต้นทุนผันแปร (บาท/กก.) ของสาหร่ายที่เพาะเลี้ยงในบ่อ Cement pond (%)
แต่ละชุดการทดลอง 25
ภาพที่ 28 ปริมาณเซลล์สาหร่ายลักษณะเป็นเกลียวที่เพาะเลี้ยงในบ่อ raceway pond (%)
แต่ละชุดการทดลอง 28
ภาพที่ 29 จำนวนเซลล์ (X 10^4 cell/mL) ของสาหร่ายที่เพาะเลี้ยงในบ่อ Raceway pond (%)
แต่ละชุดการการทดลอง 28
ภาพที่ 30 ความหนาแน่น (optical density; (OD; Units)) ของเซลล์สาหร่ายที่เพาะเลี้ยง
ในบ่อ Raceway pond (%) แต่ละชุดการการทดลอง 29
ภาพที่ 31 ปริมาณสาหร่ายโดยน้ำหนักแห้ง (g/L) ของสาหร่ายที่เพาะเลี้ยง
ในบ่อ Raceway pond (%)แต่ละชุดการการทดลอง 29
ภาพที่ 32 ปริมาณสารสี แคโรทีนอยด์ (mg/g) ของสาหร่ายที่เพาะเลี้ยงในบ่อ Raceway pond (%)
แต่ละชุดการการทดลอง 29
ภาพที่ 33 ปริมาณสารสี C-Phycocyanin (mg/g) ของสาหร่ายที่เพาะเลี้ยงในบ่อ Raceway pond (%)
แต่ละชุดการการทดลอง 30
ภาพที่ 34 ปริมาณ Dry matter basic (%) ของสาหร่ายที่เพาะเลี้ยงในบ่อ Raceway pond (%)
แต่ละชุดการการทดลอง 30

สารบัญภาพ (ต่อ)

หน้า

ภาพที่ 35 ปริมาณ ความชื้น (Mointure;%) ของสาหร่ายที่เพาะเลี้ยงในบ่อ Raceway pond (%) แต่ละชุดการการทดลอง 30
ภาพที่ 36 ปริมาณโปรตีน (Protein;%) ของสาหร่ายที่เพาะเลี้ยงในบ่อ Raceway pond (%) แต่ละชุดการการทดลอง 31
ภาพที่ 37 ปริมาณไขมัน (Fat;%) ของสาหร่ายที่เพาะเลี้ยงในบ่อ Raceway pond (%) แต่ละชุดการการทดลอง 31
ภาพที่ 38 ปริมาณเถ้า (Ash;%) ของสาหร่ายที่เพาะเลี้ยงในบ่อ Raceway pond (%) แต่ละชุดการการทดลอง 31
ภาพที่ 39 ปริมาณเยื่อใย (Fiber;%) ของสาหร่ายที่เพาะเลี้ยงในบ่อ Raceway pond (%) แต่ละชุดการการทดลอง 32
ภาพที่ 40 ปริมาณคาร์โบไฮเดรต (%) ของสาหร่ายที่เพาะเลี้ยงในบ่อ Raceway pond (%) แต่ละชุดการการทดลอง 32
ภาพที่ 41 ปริมาณต้นทุนผันแปร (บาท/กก.) ของสาหร่ายที่เพาะเลี้ยงในบ่อ raceway pond (%) แต่ละชุดการการทดลอง 32

การเปรียบเทียบคุณค่าทางโภชนาการของ สาหร่ายสไปรูลินาสายพันธุ์ แม่โจ้กับสายพันธุ์อื่นๆ ในระบบการผลิตที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม

Nutritional Fact Comparison of *Spirulina* MaeJo Strain and Other Species In Eco Friendly Aquaculture

จงกล พรมยะ และชนกันต์ จิตมนัส

Jongkon Promya and Chanagun Jimanus

คณะเทคโนโลยีการประมง และทรัพยากรทางน้ำ

มหาวิทยาลัยแม่โจ้

บทคัดย่อ

การวิจัยมีวัตถุประสงค์เพื่อเปรียบเทียบการเจริญเติบโต คุณค่าทางโภชนาการ สารสี และคุณภาพน้ำของสาหร่าย สไปรูลินาแต่ละถิ่นกำเนิด ในระบบการเพาะเลี้ยงที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม ณ ฐานเรียนรู้สาหร่าย และแพลงก์ตอน คณะเทคโนโลยีการประมงและทรัพยากรทางน้ำ มหาวิทยาลัยแม่โจ้ จังหวัดเชียงใหม่ โดยแบ่งเป็น 3 การทดลองดังนี้ 1) การสำรวจ สไปรูลินาแต่ละถิ่นกำเนิด มาเพาะเลี้ยงในห้องปฏิบัติการ 2) การเพาะเลี้ยง สไปรูลินาแต่ละถิ่นกำเนิดในบ่อซีเมนต์กลม 3) การเพาะเลี้ยง สไปรูลินาแต่ละถิ่นกำเนิด ในบ่อแบบลู่วิ่ง (raceway pond) ทั้ง 3 การทดลอง วางแผนการทดลองแบบ CRD แบ่งเป็น 3 ชุดการทดลองๆ 3 ซ้ำ ดังนี้ 1) การเพาะเลี้ยง สไปรูลิน่าสายพันธุ์ปกติที่เคยเพาะเลี้ยง (T_1 Spi.CMU1) 2) การเพาะเลี้ยง สไปรูลิน่าที่มีถิ่นกำเนิดจากภาคกลางของประเทศไทย (T_2 Spi.MJU1) และ 3) การเพาะเลี้ยง สไปรูลิน่าที่มีถิ่นกำเนิดจากมหาวิทยาลัยแม่โจ้ (T_3 Spi.MJU2) การทดลองที่ 1 การสำรวจ สไปรูลินาแต่ละถิ่นกำเนิด มาเพาะเลี้ยงในห้องปฏิบัติการ เก็บข้อมูลการเจริญเติบโต ระยะเวลา 90 วัน พบว่า T_3Spi. MJU2 ปริมาณเซลล์สาหร่ายที่เป็นเกลียว จำนวนเซลล์ ความหนาแน่นของเซลล์ ปริมาณผลผลิตโดยน้ำหนักแห้ง เท่ากับ 0.40 g/l และ ปริมาณสารสีแคโรทีนอยด์ มากกว่า T_2 Spi.MJU1 และ T_1 Spi.CMU1 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) การทดลองที่ 2 การเพาะเลี้ยง สไปรูลินาแต่ละถิ่นกำเนิด ในบ่อซีเมนต์กลม เก็บข้อมูลการเจริญเติบโต คุณค่าทางโภชนาการ สารสี และคุณภาพน้ำ ระยะเวลา 120 วัน พบว่า T_3Spi. MJU2 มีปริมาณเซลล์ของสาหร่ายที่เป็นเกลียว จำนวนเซลล์ ความหนาแน่นของเซลล์ ปริมาณผลผลิตโดยน้ำหนักแห้ง 0.42±0.03 g/l สารสีแคโรทีนอยด์ 706.47±53.72 mg/g สารสี C-phycocyanin 5.10 mg/g และ โปรตีนมีค่า 43.34±1.37% ซึ่งมากกว่า T_1Spi.CMU1 และ T_2Spi.MJU1 แต่ T_2Spi.MJU1 มีต้นทุนผันแปรในการผลิตสาหร่ายแห้ง 517.13±27.73 บาท/กิโลกรัม

ปริมาณเถ้า 3.95±0.26% เยื่อใย 1.89±0.06% และคาร์โบไฮเดรต 31.48±1.14% ซึ่งมากกว่า T_1Spi.CMU1 และT_3Spi.MJU2 แต่T_1Spi.CMU1 มีค่าวัตถุแห้ง 71.11±1.32% ความชื้น 28.89±1.32% ไขมัน 2.28±0.40% มากกว่า T_2 Spi.MJU1 และ T_3Spi.MJU2 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

การทดลองที่ 3 การเพาะเลี้ยง สไปรูลินาแต่ละถิ่นกำเนิด ในบ่อแบบลู่วิ่ง (raceway pond) เก็บข้อมูลการเจริญเติบโต คุณค่าทางโภชนาการ สารสี และคุณภาพน้ำ ระยะเวลา 120 วัน พบว่า T_3Spi.MJU2 มีปริมาณเซลล์สาหร่ายที่เป็นเกลียว จำนวนเซลล์ ความหนาแน่นของเซลล์ โปรตีน 46.91±0.80% และต้นทุนผันแปรในการผลิตสาหร่ายแห้ง 377.80±43.38 บาท/กิโลกรัม ซึ่งมากกว่า T_1Spi.CMU1 และT_2Spi.MJU1 แต่ T_2Spi.MJU1 มีผลผลิตสาหร่ายโดยน้ำหนักแห้ง 0.35±0.05 g/l สารสี C-phycocyanin 9.45±0.84 mg/g ความชื้น 23.87±0.89% คาร์โบไฮเดรต 24.97±1.46% ซึ่งมากกว่า T_1Spi.CMU1 และ T_3Spi.MJU2 แต่ T_1Spi.CMU1 มีสารสี แคโรทีนอยด์ 675.19±22.24 mg/g วัตถุแห้ง 76.13±0.88% ไขมัน 3.17±0.88% เถ้า 4.02±0.19% เยื่อใย 1.97±0.03% ซึ่งมากกว่า T_3Spi.MJU2 และ T_2Spi.MJU1 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) สรุปได้ว่า การเพาะเลี้ยงไปรูลิน่าแต่ละถิ่นกำเนิด ในห้องปฏิบัติการ บ่อซีเมนต์กลม และบ่อแบบลู่วิ่ง (raceway pond) พบว่า T_3Spi.MJU2 ที่เพาะเลี้ยงในห้องปฏิบัติการ และบ่อซีเมนต์กลม มีปริมาณเซลล์สาหร่ายที่มีลักษณะเป็นเกลียว จำนวนเซลล์ ความหนาแน่นของเซลล์ ผลผลิตโดยน้ำหนักแห้ง 0.40-0.42 g/l สารสีแคโรทีนอยด์ 706.47±53.72 mg/g มากกว่า T_1Spi.CMU1 และ T_2Spi. MJU1 แต่ การเพาะเลี้ยง สไปรูลิน่า (T_3Spi.MJU2) ในบ่อแบบลู่วิ่ง (raceway pond) พบว่ามีโปรตีน 46.91±0.80% และ มีสารสี C-phycocyanin 9.36±0.55 mg/g มากกว่า T_1Spi.CMU1 และT_2Spi. MJU1 และคุณภาพน้ำทางกายภาพ และเคมี ในการเพาะเลี้ยง สไปรูลิน่าทั้ง 3 การทดลอง ไม่มีความแตกต่างทางสถิติ และมีค่าต่างๆ อยู่ในเกณฑ์มาตรฐานของการเพาะเลี้ยง เช่น อุณหภูมิอยู่ระหว่าง 15–50 องศาเซลเซียส pH อยู่ระหว่าง 9.5–10 และอัตราส่วนของ N:P เท่ากับ 7-8:1

คำสำคัญ: การเพาะเลี้ยง สไปรูลินา ถิ่นกำเนิด ในระบบการผลิตที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม

Abstract

The research aims to comparison: growth, nutrition value, pigments and water quality of *Spirulina platensis* individual habitats, in Eco friendly aquaculture. The Algae and Plankton Knowledge Base, Faculty of Fisheries Technology and Aquatic Resources, Maejo University. The three experiments: the first experiment of *S. platensis* individual habitats cultured in laboratory, the second experiment of *S. platensis* individual habitats cultured in the cement pond and the third experiment of *S. platensis* individual habitats cultured in raceway pond. The three experiments conducted CRD divided into three treatment, with 3 replications: 1). *S. platensis* commonly been

cultured (T_1 Spi.CMU1) 2) cultivation of *S. platensis* was native of central Thailand (T_2 Spi.MJU1) and 3) the cultivation of *S. platensis* originated from Maejo University (T_3 Spi.MJU2). The first experiment of *S. platensis* individual habitats cultured in laboratory to compare growth for a 90-day period: showed that T_3 Spi.MJU2 with spiral cell, cell number, optical density, dry weight yield was 0.40 g/l and carotenoid more than T_2 Spi.MJU1 and T_1 Spi.CMU1 statistically significant ($p \leq 0.05$). The second experiment of *S. platensis* individual habitats cultured in rounded cement pond 100-liter to compare growth, nutrition value, pigments and water quality for a 120-day period: showed that T_3 Spi.MJU2 with spiral cell, cell number, optical density, dry weight yield 0.42 ± 0.03 g/l, carotenoid 706.47 ± 53.72 mg/g, C-phycocyanin 5.10 mg/g and protein 43.34±1.37% more than T_1Spi.CMU1 and T_2Spi.MJU1. But T_2Spi.MJU1 were variable cost 517.13 ± 27.73 baht/kg, ash 3.95 ± 0.26%, fiber 1.89 ± 0.06% and carbohydrates 31.48 ± 1.14% more than T_1Spi.CMU1 and T_3Spi.MJU2. But T_1Spi.CMU1 were dry matter basic 71.11 ± 1.32%, moisture 28.89 ± 1.32% and fat 2.28 ± 0.40% more than T_2 Spi.MJU1 and T_3Spi.MJU2 statistically significant ($p < 0.05$).

The third experiment of *S. platensis* individual habitats cultured in raceway pond 100-liter to compare growth, nutrition value, pigments and water quality for a 120-day period: showed that T_3 Spi.MJU2 with spiral cell, cell number, optical density, protein 46.91±0.80%, variable costs 377.80±43.38 baht/kg more than T_1Spi.CMU1 and T_2Spi. MJU1. But T_2Spi.MJU1 were dry weight yield 0.35 ± 0.05 g/l, C-phycocyanin 9.45 ± 0.84 mg/g, moisture 23.87± 0.89% and carbohydrate more than T_1Spi.CMU1 and T_3Spi.MJU2. But T_1Spi.CMU1 were carotenoid 675.19 ± 22.24 mg/g, dry matter basic 76.13 ± 0.88%, fat 3.17 ± 0.88%, ash 4.02 ± 0.19% and fiber 1.97 ± 0.03.% more than T_2Spi.MJU1 and T_3Spi.MJU2 statistically significant ($p < 0.05$). It can be concluded that the *S. platensis* individual habitats cultured in laboratory, the cement pond and *S. platensis* cultured in raceway pond: found that T_3Spi.MJU2 cultured in the laboratory and the cement pond with spiral cell, cell number, optical density, dry weight yield 0.40-0.42 g/l, carotenoid 706.47 ± 53.72 mg/g more than T1Spi.CMU1 and T2Spi. MJU1. But the *S. platensis* cultured in raceway pond: found that T_3Spi.MJU2 had protein 46.91±0.80% and C-phycocyanin 9.36±0.55 mg/g more than T_1Spi.CMU1 and T_2Spi. MJU1. The physical and chemical water quality of *S. platensis* individual habitats cultured all three experiments, no significantly difference and standard of *S. platensis* cultured as temperatures between 15-50 °C and pH between 9.5-10 and the ratio of N:P ratio 7-8:1.

Keywords: *Spirulina platensis* of cultured, Individual habitats, In Eco friendly aquaculture

คำนำ

สาหร่าย *Spirulina platensis* เป็นสาหร่ายที่เป็นที่รู้จักกันอย่างกว้างขวางมานานว่ามีโปรตีนสูงกว่าสาหร่ายชนิดอื่นๆ โดยมีโปรตีนร้อยละ 55–60 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักแห้ง (Venkataraman, 1985) และสาหร่าย *Spirulina* มีฤทธิ์ต้านการอักเสบในหนูขาว (Peerapornpisal *et al*., 2007) สไปรูลินามีกรดไขมันจำเป็นไม่อิ่มตัว เช่น Gamma- linolenic acid : GLA อยู่ร้อยละ 26–30 ของกรดไขมันทั้งหมด GLA เป็นกรดไขมันจำเป็นตัวหนึ่งซึ่งได้รับความสนใจทางการแพทย์ และอุตสาหกรรม เนื่องจากมีคุณสมบัติในการยับยั้งการแข็งตัวของเลือด ลดระดับความดันโลหิต ลดปริมาณคลอเลสเตอรอล ควบคุมฮอร์โมน Prostaglandin โรคภูมิแพ้ และรงควัตถุ Phycocyanin และ allophycocyanin สามารถนำมาใช้เป็นสารคิดตามในงานด้าน immunnoassays microcopy เนื่องจากมีคุณสมบัติในการเรืองแสง (Nakamura, 1982 ; Venkataraman, 1985) โดยทั่วไปการเลี้ยงสาหร่ายสไปรูลินาเพื่อเป็นอาหารเสริมของคน ใช้สารอาหารมาตรฐาน Zarrouk's medium มีส่วนประกอบของสารอาหาร ดังนี้ $NaHCO_3$ 16.80 กรัม / ลิตร K_2HPO_4 0.50 กรัม / ลิตร $NaNO_3$ 2.50 กรัม / ลิตร NaCl 1.00 กรัม / ลิตร $MgSO_4$ 0.20 กรัม / ลิตร $FeSO_4$ 0.50 กรัม / ลิตร K_2SO_4 1.00 กรัม / ลิตร $CaCl_2$ 0.04 กรัม / ลิตร และ EDTA 0.08 กรัม / ลิตร และการเลี้ยงสาหร่าย สไปรูลินา เพื่อเป็นอาหารสัตว์ใช้สารอาหาร Zarrouk's medium ปรับปรุง มีส่วนประกอบของสารอาหาร ดังนี้ $NaHCO_3$ 6 กรัม / ลิตร $NaNO_3$ 1 กรัม / ลิตร NaCl 1 กรัม / ลิตร $MgSO_4$ 1 กรัม / ลิตร และ N:P:K (16:16:16) 0.6 กรัม / ลิตร (จงกล และขจรเกียรติ์, 2548)

สามารถเพาะเลี้ยงสาหร่ายสไปรูลินาเพื่อเป็นอาหารสัตว์ โดยใช้น้ำเสียจากฟาร์มสุกร ผลผลิตของสาหร่าย *Spirulina platensis* มีโปรตีนสูงถึง 51 เปอร์เซ็นต์ (จงกล, 2543) มีการเพาะเลี้ยง *S. platensis* ในน้ำทิ้งจากหอพักนักศึกษามหาวิทยาลัยแม่โจ้ พบว่าที่ความเข้มข้นของน้ำทิ้งหอพักนักศึกษาที่ความเข้มข้น 70 เปอร์เซ็นต์ มีคุณภาพน้ำทางเคมี ดังนี้ NH_3-N 1.44 $\pm$ 0.56 mg/l, NO_3-N 0.68 $\pm$ 0.07 mg/l, PO_4-P 0.49 $\pm$ 0.12 mg/l สาหร่าย *S. platensis* มีโปรตีนมากถึง 48 – 50 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักแห้ง และมี Carotenoids 187.89 ไมโครกรัมต่อน้ำหนักสาหร่ายแห้ง 1 กรัม (จงกล, 2545) และมีการเพาะเลี้ยงสาหร่าย *Spirulina* ในน้ำทิ้งจากโรงอาหารที่ระดับความเข้มข้นของน้ำทิ้ง 100% สาหร่ายเจริญเติบโตดีที่สุด ซึ่งได้ผลผลิตเท่ากับ 0.70 กรัม/ลิตร โดยน้ำหนักแห้ง (Promya *et al*., 2006)

สาหร่ายที่สามารถเจริญได้สภาวะ heterotropic โดยไม่ใช้แสง หรือสาหร่ายที่สามารถเจริญได้ในน้ำพุร้อน เป็นอีกสิ่งหนึ่งที่น่าจะมีการศึกษามากขึ้น เพราะเป็นการใช้ประโยชน์จากความหลากหลายของทรัพยากรทางชีวภาพเพื่อให้ได้สาหร่ายที่มีคุณสมบัติพิเศษที่จะนำไปพัฒนาเพื่อการใช้ประโยชน์ได้ในอนาคต เช่น สามารถแยกสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงิน *Choococcdiopsis* จากน้ำพุร้อนสันกำแพงและฝาง ที่มีอัตราการเจริญสูงที่อุณหภูมิ 50 ^{0}C และทนความเข้มข้นของคาร์บอนไดออกไซด์สูง (Peerapornpisal *et al*., 2007) สาหร่ายเหล่านี้มีศักยภาพในการบำบัดคาร์บอนไดออกไซด์จากอุตสาหกรรมโดยที่ไม่จำเป็นต้องมีขั้นตอนการลดอุณหภูมิน้ำก่อนและที่อุณหภูมิสูงนี้จะช่วยลดการปนเปื้อนของสิ่งมีชีวิตอื่นๆ ในระบบลงได้ การบำบัดคาร์บอนไดออกไซด์โดยเปลี่ยนมาเป็นมวลชีวภาพนี้เป็นวิธีการหนึ่งที่จะช่วยลดปัญหาคาร์บอนไดออกไซด์ ใน

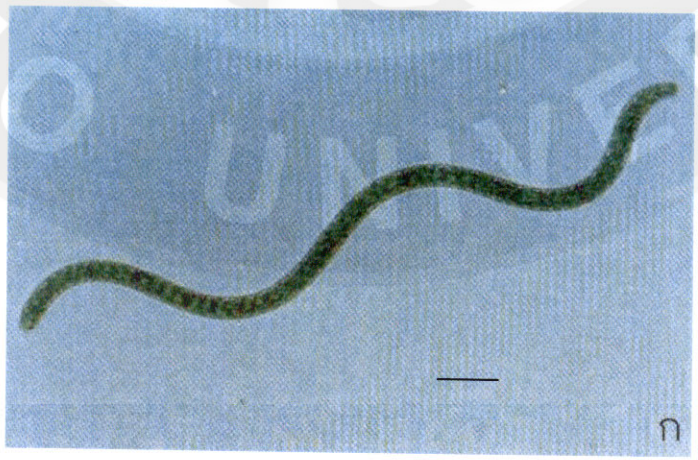
บรรยากาศที่เป็นสาเหตุของปัญหาเรือนกระจก (greenhouse effect) ปัจจุบันมี การเพาะเลี้ยงสาหร่ายหลากหลายชนิด และรูปแบบการเลี้ยงแตกต่างกันไป และสาหร่ายต่างชนิดกันมีคุณค่าทางโภชนาการต่างกัน เช่น สภาวะการเลี้ยงเซลล์ของ สไปรูลินาที่ทำให้ปริมาณกรดไขมันและ GLA สูงขึ้น ก็คือ การเลี้ยงเซลล์ในความเข้มแสงที่ต่ำหรือ เลี้ยงเซลล์ที่ความหนาแน่นของเซลล์สูงๆ ในระบบการเลี้ยงแบบ batch และ semi-continuous culture ในขณะที่ความเค็มของอาหารเลี้ยงเชื้อที่มีผลทำให้อัตราการเจริญลดลงนั้น ไม่ได้ช่วยเพิ่มปริมาณกรดไขมันแต่อย่างใด นอกจากนี้การลดอุณหภูมิของการเลี้ยงลงต่ำกว่าอุณหภูมิปกติ เช่น การเลี้ยงที่อุณหภูมิ 25 ^{0}C จะทำให้ปริมาณ GLA เพิ่มขึ้น (Siangdung *et al.*,1996)

ดังนั้นคณะผู้วิจัยจึง ทำการเพาะเลี้ยงสาหร่ายสไปรูลินาที่มีถิ่นกำเนิดในมหาวิทยาลัยแม่โจ้ เพื่อเปรียบเทียบคุณค่าทางโภชนาการ สารสี และกลุ่มสารที่สำคัญ กับสาหร่ายสไปรูลินาจากถิ่นกำเนิดอื่นๆ ในระบบการผลิตแบบ บ่อซีเมนต์กลม มีระบบลม บ่อแบบ raceway pond ระบบปิด และในระบบ photobioractor ที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม เพื่อเพิ่มมูลค่าของทรัพยากรน้ำ และทางเศรษฐกิจ ส่งเสริมการเพาะเลี้ยงสาหร่ายสไปรูลินาสายพันธุ์แม่โจ้ ซึ่งเป็นสายพันธุ์ที่มีเซลล์ ขนาดใหญ่ เก็บเกี่ยวผลผลิตง่ายกว่าสาหร่ายสไปรูลินาจากถิ่นกำเนิดอื่นๆ ทำให้ได้ผลผลิตสาหร่ายจำนวนมากและมีคุณภาพ ซึ่งจะเป็นประโยชน์ต่อการเพิ่มผลผลิตเชิงพาณิชย์ และเพิ่มศักยภาพการแข่งขัน เป็นการพัฒนาสาหร่ายสไปรูลินา เป็นอาหารสัตว์ และอาหารสุขภาพของคน (functional food) ชนิดใหม่ต่อไป

การตรวจเอกสาร

สาหร่ายสไปรูลินา

การจัดจำแนกสาหร่ายสไปรูลินา *Spirulina platensis* (ภาพที่ 1) ในแง่ของอนุกรมวิธาน ได้ยึดตามหลักของ Bold and Wynne (1978) และ Venkataraman (1983) ดังนี้ Kingdom Monera Division Cyanophyta Class Cyanophyceae Oeder Oscillatoriales Family Oscillatoriaceae Genus *Spirulina* Species *Spirulina platensis*



20 *u*m

ภาพที่ 1 สาหร่าย *Spirulina platensis* ขนาด scale 20 *u*m

คุณประโยชน์ของสาหร่ายสไปรูลินาสาหร่ายสไปรูลินา จัดเป็นแหล่งอาหารที่มีคุณค่าทางโภชนาการที่สำคัญโดยเฉพาะ อุดมไปด้วยโปรตีนที่มีอยู่ปริมาณสูงถึง 50–70% ของน้ำหนักเซลล์แห้ง มี คาร์โบไฮเดรท อยู่ประมาณ ร้อยละ 12-20 นอกจากนี้สาหร่ายสไปรูลินา ยังเป็นแหล่งที่มีศักยภาพในการผลิตสารเคมีสำคัญซึ่งไม่ค่อยพบในสิ่งมีชีวิตหรือแหล่งอาหารอื่น โดยประกอบไปด้วย กรดอมิโน ที่จัดเรียงกันอย่างได้สัดส่วนสมดุลถึง 18 ตัว กรดไขมันไม่อิ่มตัวที่มีพันธะคู่หลายพันธะ (Polyunsaturated fatty acid, PUFA) โดยเฉพาะกรดแกมม่าลิโนเลนิค หรือ GLA (g – linolenic acid, 18:3 w 6) มีวิตามินที่มีคุณค่าหลายชนิด เช่น วิตามินบี 1, 2, 3 และ บี 12 วิตามินซี และวิตามินอี นอกจากนี้ยังประกอบด้วยรงควัตถุธรรมชาติ เช่น ไฟโคไซยานิน (Phycocyanin) และแคโรทีนอยด์ ชนิด Myxoxanthophyll, Zeaxanthin และสารพวกโพลีแซคคาไรด์ (Polysaccharides) เป็นต้น (มารศรี, 2549)

จงกล และขจรเกียรติ์ (2548) ได้ทำการรวบรวมองค์ความรู้เกี่ยวกับคุณค่าทางโภชนาการที่สำคัญของสาหร่ายสไปรูลินาไว้ซึ่งมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

คุณค่าทางโภชนาการของสาหร่ายสไปรูลินา

1. สารสีหรือรงควัตถุ (Pigment)

สาหร่ายสไปรูลินามีองค์ประกอบของสารสีหรือรงควัตถุหลายชนิด ได้แก่ คลอโรฟิลล์ เอ แคโรทีนอยด์ และไฟโคบิลิน (phycobilin) และแคโรทีน (carotene) โดยสาหร่ายสไปรูลินามี แคโรทีนอยด์ทั้งหมด 1.7 มิลลิกรัมต่อกรัมของน้ำหนักแห้ง สามารถแยกออกเป็นชนิดต่างๆ ดังนี้ เบต้าแค-โรทีน (beta -carotene) 26 เปอร์เซ็นต์, เบต้าแคโรทีน 5, 6 อีพ็อกไซด์ (beta carotene-5,6–epoxide) 5 เปอร์เซ็นต์เอ็ค–ไคนิโนน (echinenone) 7 เปอร์เซ็นต์ คริฟโตแซนธิน (cryptoxanthin) 23 เปอร์เซ็นต์ มิกโซแซนโธฟิลล์ (myxoxanthopyll) 24 เปอร์เซ็นต์ และซีแซนธิน (xexanthin) 9 เปอร์เซ็นต์ รงควัตถุเหล่านี้เป็นสารที่ทำให้เกิดสีเหลือง ส้ม หรือ สีแดง จึงสามารถช่วยเพิ่มสีสันในปลาโดยเฉพาะปลาสวยงามให้มีสีสวยงาม

2. โปรตีน (Protein)

โดยทั่วไปสาหร่ายสไปรูลินา (*S. platensis*) แห้งมีเปอร์เซ็นต์โปรตีนอยู่ระหว่าง 50-70 เปอร์เซ็นต์ ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับชนิดของสารเคมีหรือสูตรอาหารที่ใช้ในการเพาะเลี้ยง โดยประกอบด้วยกรดอะมิโนที่จำเป็นหลายชนิดได้แก่ ไอโซลิวซีน (isoleucine), ลิวซีน (leucine), ไลซีน(lysine), เมทไธโอนีน (methionine), พีนิลอะ-ลานีน (phenylalanine), ธีระโอนีน (threonine), ทริบโตเฟน (tryptophan), วาลีน (valine), อาจีนีน (arginine) และฮีสติดีน (histidine)

3. ไขมัน (lipids) และกรดไขมัน (fatty acid)

สาหร่ายสไปรูลินามีเปอร์เซ็นต์ไขมันระหว่าง 2 – 7.3 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักแห้ง และ ไขมันในสาหร่ายสไปรูลินาส่วนใหญ่ ประกอบด้วยกรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัว โดยเฉพาะกรด ลิโนเลนิค (linoleic acid) ซึ่งเป็นกรดไขมันชนิดที่จำเป็นต่อปลา ซึ่งสภาวะแวดล้อมในการเพาะเลี้ยงสาหร่ายสไปรูลินามีส่วนสำคัญ ในการควบคุมการสังเคราะห์ไขมัน และกรดไขมันของสาหร่าย สไปรูลินา ปัจจัยที่สำคัญในการควบคุมการสังเคราะห์ ได้แก่ ปริมาณสารอาหาร เช่น ปริมาณไนโตรเจน คือปริมาณไนโตรเจนในสารอาหารลดลง

ปริมาณไขมันในเซลล์สาหร่ายก็จะลดลงภายในระยะเวลา 2-3 วัน การเสริมสาหร่ายสไปรูลินาในสูตรอาหารในการเลี้ยงปลาน้ำจืด จะมีผลต่อการเจริญเติบโต การพัฒนาของอวัยวะสืบพันธุ์ และการเจริญพันธุ์ (สมศักดิ์, 2547)

4. วิตามินและเกลือแร่

สาหร่ายสไปรูลินาเป็นแหล่งของวิตามินและเกลือแร่หลายชนิด โดยสาหร่ายสไปรูลินาแห้งประกอบไปด้วยวิตามิน 10 ชนิด ปริมาณต่อกิโลกรัม คือ ไบโอติน (biotin) 0.4 มิลลิกรัม วิตามินบี 2 มิลลิกรัม แคลเซียมแพนโทธิเนต (Ca – pantothenate) 11 มิลลิกรัม กรดโฟลิค (folic acid) 0.5 มิลลิกรัม อินโนซิทอล (inosital) 350 มิลลิกรัม กรดนิโคทินิค (nicotinic acid) 118 มิลลิกรัม ไฟริด็อกซิน (pyridoxine) 3 มิลลิกรัม ไรโบฟลาวิน (ryboflavine) 40 มิลลิกรัม ไธอะมีน (thiamine) 55 มิลลิกรัม และวิตามินอี 190 มิลลิกรัม สำหรับสาหร่ายสไปรูลินาแห้ง จะประกอบไปด้วยเกลือแร่หลายชนิด คือ แคลเซียม 1,315 มิลลิกรัม ฟอสฟอรัส 8,942 มิลลิกรัม เหล็ก 580 มิลลิกรัม โซเดียม 412 มิลลิกรัม คลอไรด์ 4,400 มิลลิกรัม แมกนีเซียม 1,915 มิลลิกรัม แมงกานีส 25 มิลลิกรัม สังกะสี 39 มิลลิกรัม และโพแทสเซียม 15,400 มิลลิกรัม (Vankataraman, 1983)

รงควัตถุ phycocyanin และ allophycocyanin ในสไปรูลิน่า สามารถนำมาใช้เป็นสารติดตามในงานด้าน immunno assays microscopy เนื่องจากมีคุณสมบัติในการเรืองแสง และเป็นสารสร้างภูมิคุ้มกันให้กับสิ่งมีชีวิต (Nakamura, 1982; Venkataraman, 1983) สไปรูลินาเป็นแหล่งที่มาของวิตามิน 10 ชนิด คือ ไบโอติน วิตามิน บี แคลเซียม แพนโทธิเนต กรดโพลิด อินโนซิทอล กรดนิโคทินิด ไพริด็อกซิน ไรโบฟลาวิน ไธอะมีน และวิตามินอี โดยเฉพาะวิตามินซี วิตามินบี มีคุณสมบัติ ต้านอนุมูลอิสระ (ขุวดี, 2546)

ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการเจริญเติบโตของ *S. platensis*

<u>ปัจจัยทางด้านกายภาพและเคมี</u>

S. platensis สามารถเจริญอยู่ได้ในอุณหภูมิ 15–50 องศาเซลเซียส แต่เจริญได้ดีที่ 32–42 องศาเซลเซียส (ดีที่สุดที่ 35 องศาเซลเซียส) การเจริญจะลดลงเมื่ออุณหภูมิสูงกว่า 44 องศาเซลเซียส และตายถ้าอุณหภูมิสูงกว่า 50 องศาเซลเซียส (Nakamura, 1982) pH ที่เหมาะสมสำหรับ *S. platensis* คือ 9.5–10 ที่ pH 11 ขึ้นไปสาหร่ายจะมีการเจริญลดลงและ มีสาหร่าย *Osicillatoria* sp. Bloom มาก (จงกล ,2543 (ข)) ถ้าสภาพของแหล่งน้ำที่มีความเค็มและสภาพด่อนข้างเป็นด่าง *S. platensis* จะเจริญได้ดี *S. platensis* มีอัตราการเจริญต่ำสุดที่ความเข้มแสง 2,500 Lux ถ้าความเข้มแสง 5,000 – 10,000 Lux อัตราการเจริญของสาหร่ายจะเพิ่มขึ้น ส่วนความเข้มแสงที่เหมาะสมคือ 4,000 – 5,000 Lux สาหร่ายจะเปลี่ยนเป็นสีน้ำตาลเมื่อได้รับความเข้มแสงมากกว่า 8,000 Lux เป็นเวลานาน (Nakamura, 1982)

<u>ปัจจัยทางด้านสารอาหาร</u>

S. platensis ต้องการธาตุอาหารเพื่อการเจริญเติบโตประมาณ 20 ชนิด เช่นเดียวกับพืชอื่น ธาตุอาหารที่สาหร่ายต้องการปริมาณมาก (macronutrients) มี 11 ธาตุ คือ C H O N P K S Mg Ca Na และ Cl แต่ละธาตุพบในขี้เถ้าของสาหร่าย (ash-free dry weight) ได้ > 0.1 % ส่วนธาตุที่เหลืออีก 9 ธาตุ ซึ่ง

สาหร่ายต้องการในปริมาณน้อย (micronutrients) แต่มีความสำคัญต่อสาหร่ายไม่น้อยธาตุอาหารหลัก ได้แก่ Fe Mn Cu Zn B Si Mo V และ Co ซึ่งมักพบในขี้เถ้า < 0.1 % โดยน้ำหนักแห้ง ไนโตรเจน (Nitrogen) เป็นธาตุอาหารที่สำคัญของสาหร่าย เพื่อใช้ในการสังเคราะห์กรดอะมิโนและโปรตีน ซึ่งมีอยู่ 1/8 หรือ 1/6 ของน้ำหนักสาหร่าย ซึ่งสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินตรึงก๊าซไนโตรเจนจากอากาศ สาหร่ายใช้ไนโตรเจนหลายรูปแบบ เช่น NH_3-N , NO_3-N , NO_2-N รวมทั้งสารประกอบอินทรีย์ไนโตรเจนที่ละลายน้ำปริมาณต่ำสุดพบในเซลล์สาหร่าย 3–4 % ของน้ำหนักแห้ง แพลงก์ตอนพืชจะเลือกดูด NH_3-N ไปใช้ก่อน เมื่อปริมาณ NH_3-N ลดลงจึงจะใช้ไนเตรทและไนไตรท์ โดยจะทำการลดออกซิเจนให้เป็นแอมโมเนียก่อน โดยใช้เอนไซม์ nitrae-nitrite reductase ความเข้มข้นของไนโตรเจนที่พอเหมาะต่อการเจริญเติบโตในการเพาะเลี้ยงสาหร่ายที่มีค่าระหว่าง 1.3 – 6.5 mg/l (ศิริเพ็ญ, 2537)

ฟอสฟอรัส (phosphorus) ที่พบในแหล่งน้ำธรรมชาติมีทั้งสารอินทรีย์และสารอนินทรีย์ สารประกอบฟอสฟอรัสที่สำคัญในน้ำจืดและทะเล คือ ออร์โธฟอสเฟต (PO_4-P) หรือ Suluble reactive phosphorus (SRP) เซลล์ของแพลงก์ตอนพืชบางชนิดสามารถสะสม PO_4-P ไว้มากเมื่อระดับของฟอสฟอรัสในน้ำสูง จึงเป็นธาตุอาหารที่ช่วยให้เซลล์เติบโตได้โดยไม่ขาดตอน (ลัดดา, 2539) สาหร่ายสามารถใช้สารประกอบอินทรีย์ฟอสฟอรัสได้ โดยการผลิตเอนไซม์ alkaline phosphatease ช่วยในการดึงเอา SRP ออกมาใช้ มันจะสร้างเอนไซม์นี้ขึ้นมาในสภาวะที่มีความเข้มข้นของ PO_4-P น้อย ในขณะเดียวกันถ้าน้ำมี pH สูง หรือในสภาวะที่เป็นด่างจะทำให้ฟอสเฟตยึดกับอนุภาคของดินและโดยเฉพาะเมื่อดินมีธาตุเหล็กและอลูมิเนียมสูงจะทำให้ฟอสฟอรัสอยู่ในรูปเกลือและสาหร่ายไม่สามารถนำไปใช้ได้ อย่างไรก็ตามสาหร่ายแต่ละชนิดขณะเพาะเลี้ยงจะมีความต้องการ PO_4-P ในปริมาณแตกต่างกันขึ้นอยู่กับชนิดและสภาวะแวดล้อม ปริมาณออร์โธฟอสเฟตที่เหมาะสมต่อการเจริญของสาหร่าย 0.1 – 2 mg/l (ศิริเพ็ญ, 2537)

สูตรอาหารที่นิยมใช้เลี้ยง *S. platensis* ทั่วไปในห้องปฏิบัติการคือ Zarrouk's medium ในสูตรอาหาร Zarrouk's ได้ใช้โซเดียมไบคาร์บอเนต ($NaHCO_3$) ในปริมาณมากถึง 16 g/l เพื่อเป็นแหล่งคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) นอกจากนี้ยังสามารถใช้ CO_2 เป็นแหล่งคาร์บอนสำหรับ *S. platensis* ได้โดยตรง แต่มีขีดจำกัดคือ CO_2 มีผล ทำให้น้ำเลี้ยงสาหร่ายเน่า จึงต้องคอยระวังให้ pH อยู่ระหว่าง 8.5–10 (Nakamura, 1982 ; Vendataraman, 1983) การกวนน้ำเป็นการทำให้น้ำหมุนเวียน ช่วยให้สาหร่ายที่อยู่ระดับน้ำต่าง ๆ มีโอกาสสับเปลี่ยนกันรับแสงอย่างสม่ำเสมอ สาหร่ายจะแพร่กระจายไปทั่วทุกมวล น้ำจึงสัมผัสกับธาตุอาหารอย่างทั่วถึง ทำให้เซลล์สาหร่ายสามารถดูดซึมธาตุอาหารต่าง ๆ ไปใช้ได้อย่างมีประสิทธิภาพ ความเข้มข้นเริ่มต้นที่เหมาะสมสำหรับ *S. platensis* เป็นสิ่งจำเป็น ถ้าเริ่มต้นด้วยความเข้มต่ำไปอาจทำให้สาหร่ายชนิดอื่นขึ้นมาทดแทน หรือ เซลล์แตก เนื่องจากเกิดโฟโตออกซิเดชั่น (photooxidation) ถ้าเริ่มต้นด้วยความเข้มข้นสูงเกินไปจะเกิดการบังแสงกัน ทำให้การสังเคราะห์แสงลดลง ความเข้มข้นเริ่มต้นที่เหมาะสมสำหรับ *S. maxima* เมื่อวัดค่า optical density (OD) ที่ความยาวคลื่นแสง 560 nm มีค่าเท่ากับ 0.35 (Venkataraman, 1983 ; Leduy and Therien, 1977)

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

สาหร่าย *Spirulina*, *Chlorella*, *Scenedesmus* มีการเพาะเลี้ยงในระบบเปิด ทั้งแบบบ่อเปิด (open pond) และบ่อแบบลู่วิ่ง (race way pond) (Milledge,2010) โดย เฉพาะการเพาะเลี้ยงสาหร่าย *Spirulina* มีขั้นตอนการเลี้ยง และเก็บผลผลิตค่อยข้างง่าย ซึ่งคณะผู้วิจัยได้ส่งเสริมการเพาะเลี้ยงแก่เกษตรกร เช่นการเพาะเลี้ยงสาหร่าย *Spirulina* ในน้ำทิ้งจากโรงอาหารที่ระดับความเข้มข้นของน้ำทิ้ง 100 % สาหร่ายเจริญเติบโตดีที่สุด ซึ่งได้ผลผลิตเท่ากับ 0.70 กรัม/ลิตร มีโปรตีน 48-50 เปอร์เซ็นต์ และไขมัน 10-15 เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนักแห้ง ด้วยใช้น้ำทิ้งจากโรงอาหารสามารถลดต้นการผลิตได้ผลดี (Promya *et al*., 2006)

การเพาะเลี้ยงสาหร่ายขนาดเล็กเพื่อผลิตเป็นพลังงานชีวภาพสามารถทำได้หลายวิธีด้วยกัน แต่สามารถแบ่งได้แบบกว้าง ๆ 2 แบบ คือ การเพาะเลี้ยงในระบบปิด (close system) และระบบเปิด (open system) ซึ่งที่เป็นที่นิยมที่สุดในการวิจัยคือการเพาะเลี้ยงแบบปิด โดยอาศัย photobioreactor เนื่องจากสามารถควบคุมสภาวะได้ง่าย โดยเฉพาะอย่างยิ่งการปนเปื้อนจากจุลินทรีย์หรือสาหร่ายชนิดอื่น (Chisti, 2007) แต่มีข้อเสียคือการลงทุนเริ่มต้นที่มีราคาแพงจนไม่คุ้มค่าแก่การใช้เพาะเลี้ยงสาหร่ายเพื่อผลิตน้ำมันชีวภาพ (Lee, 2001)

มีการเพาะเลี้ยงสาหร่าย *Spirulina* ที่ความเข้มข้นของน้ำทิ้งหอพักนักศึกษาที่ความเข้มข้น 70 เปอร์เซ็นต์ มีคุณภาพน้ำทางเคมี ดังนี้ NH_3-N 1.44 ± 0.56 mg/l, NO_3-N 0.68 ± 0.07 mg/l, PO_4-P 0.49 ± 0.12 mg/l สาหร่าย *S. platensis* มีโปรตีนมากถึง 48 – 50 เปอร์เซ็นต์ และไขมัน 8-15 เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนักแห้ง และมี Carotenoids 187.89 ไมโครกรัมต่อน้ำหนักสาหร่ายแห้ง 1 กรัม (จงกล, 2545) และการเพาะเลี้ยงสาหร่าย *Spirulina* ในน้ำทิ้งจากโรงอาหารที่ระดับความเข้มข้นของน้ำทิ้ง 100 % สาหร่ายเจริญเติบโตดีที่สุด ซึ่งได้ผลผลิตโดยน้ำหนักแห้งเท่ากับ 0.70 กรัม/ลิตร มีโปรตีน 48 เปอร์เซ็นต์ และไขมัน 10เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนักแห้ง (Promya *et al*., 2006)

การเพาะเลี้ยง *Spirulina* ในน้ำเสียจากโรงงานผลิตแป้งสาคู เมื่อวิเคราะห์น้ำได้ค่าเฉลี่ย C : N : P เท่ากับ 24 : 0.14 : 1 มีอัตราการเจริญโดยเฉลี่ย 0.51 μg/day เมื่อเติมอาหารพวก inorganic kosaric medium ได้ค่าอัตราการเจริญเท่ากับ 0.54 μg/day เมื่อเก็บผลผลิตได้ค่า Biomass 0.02 g/l เมื่อนำไปวิเคราะห์คุณค่าคุณค่าทางโภชนาการของ *S. platensis* ได้ค่า โปรตีน คาร์โบไฮเดรต ไขมัน เฉลี่ย 68 , 23 และ 11 % ตามลำดับ สามารถลดค่า COD, NH_3-N, PO_4-P ได้ 98, 99.9 และ 99.4% ตามลำดับ (Phang *et al*., 2000)

การเพาะเลี้ยงสาหร่ายขนาดเล็กเพื่อผลิตเป็นพลังงานชีวภาพสามารถทำได้หลายวิธีด้วยกัน แต่สามารถแบ่งได้แบบกว้าง ๆ 2 แบบ คือ การเพาะเลี้ยงในระบบปิด (close system) และระบบเปิด (open system) ซึ่งที่เป็นที่นิยมที่สุดในการวิจัยคือการเพาะเลี้ยงแบบปิด โดยอาศัย photobioreactor เนื่องจากสามารถควบคุมสภาวะได้ง่าย โดยเฉพาะอย่างยิ่งการปนเปื้อนจาก จุลินทรีย์หรือสาหร่ายชนิดอื่น (Chisti, 2007) แต่มีข้อเสียคือการลงทุนเริ่มต้นที่มีราคาแพงจนไม่คุ้มค่าแก่การใช้เพาะเลี้ยงสาหร่ายเพื่อผลิตน้ำมันชีวภาพ (Lee, 2001) แต่ในทางการผลิตมวลชีวภาพจากสาหร่ายในระดับอุตสาหกรรมในปัจจุบันนิยมใช้การเพาะเลี้ยงในระบบเปิด ทั้งแบบบ่อเปิด (open pond) และบ่อแบบลู่วิ่ง (raceway pond) (Milledge,2010) มีการเพาะเลี้ยงสาหร่าย *Spirulina* ที่ความเข้มข้นของน้ำทิ้งหอพักนักศึกษาที่ความเข้มข้น 70 เปอร์เซ็นต์ มีคุณภาพน้ำ

ทางเคมี ดังนี้ NH_3-N 1.44 $\pm$ 0.56 mg/l, NO_3-N 0.68 $\pm$ 0.07 mg/l, PO_4-P 0.49 $\pm$ 0.12 mg/l สาหร่าย *S. platensis* มีโปรตีนมากถึง 48 – 50 เปอร์เซ็นต์ และไขมัน 8-15 เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนักแห้ง และมี Carotenoids 187.89 ไมโครกรัมต่อน้ำหนักสาหร่ายแห้ง 1 กรัม (จงกล, 2545) และการเพาะเลี้ยงสาหร่าย *Spirulina* ในน้ำทิ้งจากโรงอาหารที่ระดับความเข้มข้นของน้ำทิ้ง 100 % สาหร่ายเจริญเติบโตดีที่สุด ซึ่งได้ผลผลิตเท่ากับ 0.70 กรัม/ลิตร มีโปรตีน 48 เปอร์เซ็นต์ และไขมัน 10เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนักแห้ง (Promya *et al.*, 2006)

การเพาะเลี้ยงสาหร่าย สามารถทำได้หลายวิธีด้วยกัน แต่สามารถแบ่งการเพาะเลี้ยงแบบกว้าง ๆ ได้ 2 แบบ คือ การเพาะเลี้ยงในระบบปิด (close system) และระบบเปิด (open system) แต่ในการผลิตมวลชีวภาพ จากสาหร่ายในระดับอุตสาหกรรมปัจจุบันนิยมใช้การเพาะเลี้ยงในระบบบ่อเปิด (open pond) และบ่อเปิดแบบลู่วิ่ง (raceway pond) (Milledge,2010) การเปรียบเทียบ การเจริญเติบโต และองค์ประกอบทางเคมีสาร สี ของ *Spirulina* สามสายพันธุ์คือ *S. platensis, S. laxissima and S. lonar* เมื่อสิ้นสุดการทดลองพบว่า *S. platensis* มีการเจริญเติบโต และสารสีกลุ่ม chlorophyll-a, phycobiliproteins, β-carotene ดีที่สุด (Bhattacharya and Shivaprakash, 2006)

การผลิตสารสี กรดไขมัน และคุณค่าทางโภชนาการ ในการเพาะเลี้ยง *Spirulina plateneis* โดยใช้น้ำทิ้งจากโรงอาหารความเข้มข้น 90% และ 100% และ modified Zarrouk's medium (modified Zm) พบว่า สไปรูลินา สามารถเพาะเลี้ยงในน้ำทิ้งจากโรงอาหารความเข้มข้น 100% ได้ดี มีเบต้าแคโรทีน 0.29 มิลลิกรัม/กรัม, ซี –ไฟโคไซยานีน 17.95 มิลลิกรัม/กรัม และโปรตีนโดยน้ำหนักแห้ง 41.86 % (จงกล และศิริเพ็ญ, 2553) การบำบัดน้ำทิ้งจากโรงงานผลิตขนมจีน โดยใช้สาหร่ายสไปรูลินา ในความเข้มข้น 0, 25, 50, 75 และ 100% เป็นระยะเวลา 15 วัน พบว่า สาหร่ายสไปรูลินาสามารถเจริญเติบโตได้ในน้ำทิ้งทุกความเข้มข้น ซึ่งในแต่ละความเข้มข้นมีอัตราการเจริญเติบโตแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% (ศิรินภาและสุมนทิพย์, 2552) การใช้น้ำหมักมูลสุกร 20% เพาะเลี้ยงสาหร่าย *Spirulina platensis* ทำให้สาหร่ายมีการเจริญเติบโตดี และ คุณภาพของน้ำดีขึ้น สามารถลดค่า total nitrogen (TN) 96% และ ค่า total phosphorus (TP) 54% (Olguyn et al., 2000) การบำบัดน้ำปัสสาวะมนุษย์โดยสาหร่ายสไปรูลินา *Spirulina platensis* พบว่า สาหร่ายสไปรูลินาสามารถสังเคราะห์น้ำปัสสาวะมนุษย์เป็นอาหารได้อย่างต่อเนื่องแสดงให้เห็นว่า สาหร่ายสไปรูลินาสามารถใช้ N, Cl, K และ S ในปัสสาวะของมนุษย์ได้อย่างมีประสิทธิภาพและสามารถดึงไปใช้ได้ถึง 99.9%, 75.0%, 83.7% และ 96.0% ตามลำดับ (Chenliang *et al.*, 2008)

มีรายงานการวิจัยพบว่า ส่วนสกัดน้ำของสาหร่าย มีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ เมื่อทดสอบในการทดลองฤทธิ์กำจัดอนุมูล DPPH ฤทธิ์กำจัดอนุมูล superoxide และฤทธิ์ยับยั้งการเกิด lipid peroxidation ในหลอดทดลอง (*in vitro*) สไปรูลินา มีบทบาทในการพัฒนาอวัยวะสืบพันธุ์ และระบบภูมิคุ้มกันโรค มีการนำสไปรูลินา มาใช้ในการรักษาโรค เช่น การลดปริมาณโคเลสเตอรอล ป้องกันมะเร็ง กระตุ้นระบบภูมิคุ้มกันโรค เพิ่มปริมาณจุลินทรีย์ที่เป็นประโยชน์ (Lactobacillus) ในลำไส้ และปรับปรุงระบบการย่อยและดูดซึมสารอาหาร เนื่องมาจากมีผนังเซลล์ที่ไม่หนา สัตว์สามารถย่อยได้ง่ายจึงเหมาะในการใช้เป็นอาหารกุ้งและอาหารปลา จะทำให้ปลามี อัตราการรอดตายสูงและมีอัตราการเจริญเติบโตดี (อมรรัตน์และบุษกร, 2543) สารคาโรทีนอยด์ทำ

หน้าที่ให้สีแก่สัตว์หลายชนิด มีประโยชน์ในการอำพรางกำบังตัว Astaxanthin และ β-carotene ยังเป็นสารตั้งต้นในการผลิตวิตามินเอ ในสัตว์ปีกและปลา จากการศึกษาพบว่า Astaxanthin สามารถป้องกันการเหม็นหืนของไขมันได้ดีกว่า β-carotene ถึง 10 เท่า และสูงกว่า วิตามินอี ถึง 100 เท่า นอกจากนี้ยังมีประโยชน์ในการกระตุ้นการสร้างภูมิคุ้มกันโรค และเป็นการเพิ่มสีของเนื้อปลา Salmon (วุฒิพรและอัญชลี, 2548)

อุปกรณ์และวิธีการวิจัย

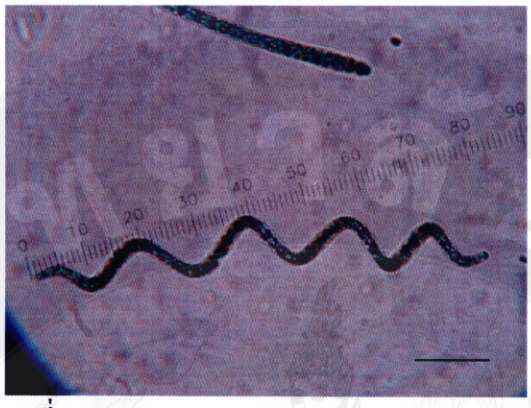
<u>การเตรียมการทดลองในปีที่ 1</u> ปีงบประมาณ 2556

1. การสำรวจหาพันธุ์สาหร่ายในแหล่งน้ำ การเตรียมอาหารวุ้น วัสดุ /สารอาหารต่างๆ และเครื่องมืออุปกรณ์ นำเชื้อสไปรูลิน่าแต่ละถิ่นกำเนิด มาเพาะเลี้ยงในอาหารวุ้น และในขวดรูปชมพู ใน สูตรอาหาร Zarrouk's medium ตลอดระยะเวลา 3 เดือน (ดังภาพที่ 2) เพื่อใช้เป็นสาหร่ายตั้งต้นในการเพาะเลี้ยงต่อไป

ภาพที่ 2 การเตรียมอาหารวุ้น และการขยาย การเพาะเลี้ยงสาหร่ายแต่สายพันธุ์

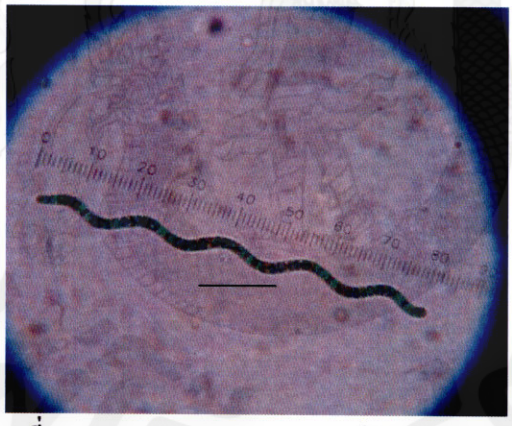
2. <u>การทดลองที่ 1</u> การเพาะเลี้ยงสไปรูลิน่า แต่ละถิ่นกำเนิด ในห้องปฏิบัติการวางแผนการทดลองแบบ CRD ทำการเพาะเลี้ยง สาหร่ายในสูตรอาหาร (จงกล และขจรเกียรติ์, 2548) ในห้องปฏิบัติการแบ่งเป็น 3 ชุดการทดลองๆ 3 ซ้ำ เป็นเวลา 3 เดือน (ภาพที่ 6) ดังนี้

ชุดการทดลองที่ 1 เพาะเลี้ยงสาหร่ายสไปรูลิน่า สายพันธุ์ปกติที่เคยเพาะเลี้ยงมาคือ *Spirulina platensis* (T_1 Spi. CMU1) ภาพที่ 3



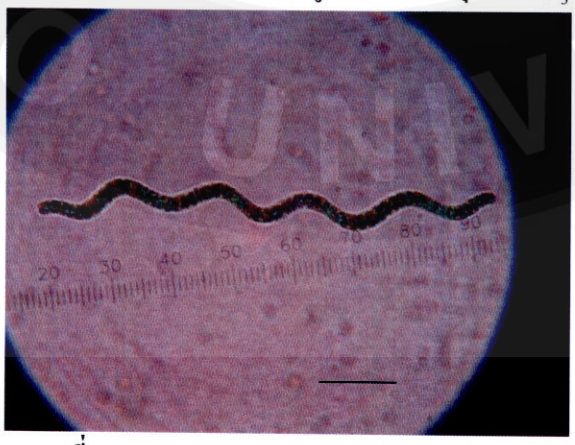
ภาพที่ 3 T_1Spi.CMU1 (scale bar เท่ากับ 33 μm)

ชุดการทดลองที่ 2 เพาะเลี้ยงสาหร่ายสไปรูลิน่า สายพันธุ์จากภาคกลางของประเทศไทย *Spirulina* sp. (T_2 Spi.MJU1) ภาพที่ 4

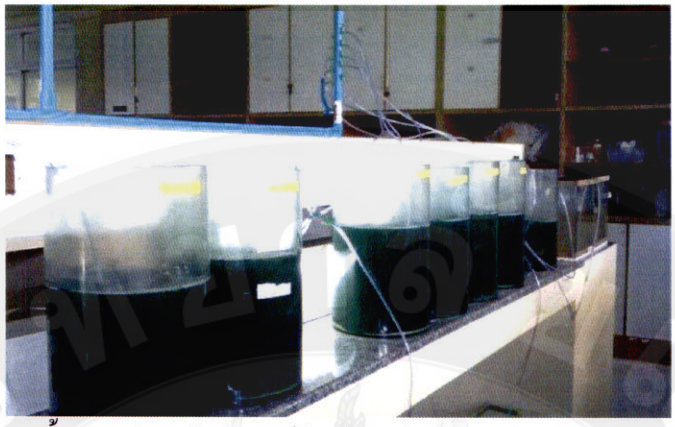


ภาพที่ 4 T_2 Spi. MJU1 (scale bar เท่ากับ 48 μm)

ชุดการทดลองที่ 3 เพาะเลี้ยงสาหร่ายสไปรูลิน่า สายพันธุ์แม่โจ้ (T_3Spi.MJU2) ภาพที่ 5



ภาพที่ 5 T_3Spi.MJU2 (scale bar เท่ากับ 31 μm)



ภาพที่ 6 เพาะเลี้ยงสาหร่ายแต่สายพันธุ์ ในห้องปฏิบัติการแต่ละชุดการการทดลอง

3. <u>การทดลองที่ 2</u> เพาะเลี้ยงสไปรูลิน่าแต่ละสายพันธุ์ ในบ่อซีเมนต์กลม (ภาพที่ 7) มีระบบลมโดยใช้หัวทราย และวางแผนการทดลองแบบ CRD ทำการเพาะเลี้ยง ในสูตรอาหาร (จงกล และ ขจรเกียรติ์, 2548) ระยะเวลา 4 เดือน โดยวางแผนการทดลองเป็น 3 ชุดการทดลองๆ 3 ซ้ำดังนี้

ชุดการทดลองที่ 1 เพาะเลี้ยงสาหร่ายสไปรูลิน่า สายพันธุ์ปกติที่เคยเพาะเลี้ยงมาคือ *Spirulina platensis* (T_1 Spi. CMU1)

ชุดการทดลองที่ 2 เพาะเลี้ยงสาหร่ายสไปรูลิน่า ที่มีถิ่นกำเนิดจากภาคกลางของ ประเทศไทย *Spirulina platensis* (T_2 Spi. MJU1)

ชุดการทดลองที่ 3 เพาะเลี้ยงสาหร่ายสไปรูลิน่า ที่มีถิ่นกำเนิดใน มหาวิทยาลัยแม่โจ้ *Spirulina platensis* (T_3 Spi. MJU2)

ภาพที่ 7 การเพาะเลี้ยง สไปรูลิน่าแต่ละถิ่นกำเนิด ในบ่อซีเมนต์กลม (Cement pond)

4. <u>การทดลองที่ 3</u> เพาะเลี้ยงสไปรูลิน่าแต่ละสายพันธุ์ ในบ่อซีเมนต์แบบ raceway pond และวางแผนการทดลองแบบ CRD (ภาพที่ 8) ทำการเพาะเลี้ยง ในสูตรอาหาร (จงกล และขจรเกียรติ์, 2548) ระยะเวลา 4 เดือน โดยวางแผนการทดลองเป็น 3 ชุดการทดลองๆ 3 ซ้ำดังนี้

ชุดการทดลองที่ 1 การเพาะเลี้ยงสาหร่ายสไปรูลิน่า สายพันธุ์ปกติที่เคยเพาะเลี้ยงมาคือ *Spirulina platensis* (T_1 Spi. CMU1)

ชุดการทดลองที่ 2 การเพาะเลี้ยง สาหร่ายสไปรูลิน่า ที่มีถิ่นกำเนิดจากภาคกลางของประเทศไทย *Spirulina platensis* (T_2 Spi. MJU1)

ชุดการทดลองที่ 3 การเพาะเลี้ยงสาหร่ายสไปรูลิน่า ที่มีถิ่นกำเนิดใน มหาวิทยาลัยแม่โจ้ *Spirulina platensis* (T_3 Spi. MJU2)

ภาพที่ 8 การเพาะเลี้ยงสไปรูลิน่าแต่ละสายพันธุ์ ในบ่อแบบ raceway pond

<u>ในปีที่ 2</u> ปีงบประมาณ 2557

การทดลองที่ 4 เพาะเลี้ยงสไปรูลิน่าแต่ละสายพันธุ์ ในระบบ photobioreactor และวางแผนการทดลองแบบ CRD ทำการเพาะเลี้ยง ในสูตรอาหาร (จงกล และขจรเกียรติ์, 2548) โดยวางแผนการทดลองเป็น 3 ชุดการทดลองๆ 3 ซ้ำดังนี้

ชุดการทดลองที่ 1 การเพาะเลี้ยงสาหร่ายสไปรูลิน่า สายพันธุ์ปกติที่เคยเพาะเลี้ยงมาคือ *Spirulina platensis* (T_1 Spi. CMU1)

ชุดการทดลองที่ 2 การเพาะเลี้ยง สาหร่ายสไปรูลิน่า ที่มีถิ่นกำเนิดจากภาคกลางของประเทศไทย *Spirulina platensis* (T_2 Spi. MJU1)

ชุดการทดลองที่ 3 การเพาะเลี้ยงสาหร่ายสไปรูลิน่า ที่มีถิ่นกำเนิดใน มหาวิทยาลัยแม่โจ้ *Spirulina platensis* (T_3 Spi. MJU2)

โดย ทั้ง 3 การทดลอง ในการทดลองปีที่ 1 และ ปีที่ 2 นำหัวเชื้อ สไปรูลินา ในความหนาแน่นของเซลล์สาหร่ายเริ่มต้นที่ค่า OD เท่ากับ 0.30 โดยวัดจากเครื่อง Spectrophotometer รุ่น DR 2000 ที่ค่า optical density (OD) ที่ความยาวคลื่นแสง 560 นาโนเมตร เมื่อเพาะเลี้ยงประมาณ 10 วัน วัดค่า OD เท่ากับ 0.8-1 วัดการเจริญเติบโต เปรียบเทียบผลผลิต ของสาหร่ายในรูปสด และสาหร่ายแห้งทุกๆ 10 วัน (จงกล และขจรเกียรติ์, 2548)

3. นำผลผลิตสไปรูลิน่าแต่ละถิ่นกำเนิด ไปอบที่อุณหภูมิ 60 °C นาน 48 ชั่วโมง นำไปวิเคราะห์โปรตีน ไขมัน เยื่อใย เถ้า ความชื้น คาร์โบไฮเดรต ปริมาณ C- phycocyanin ปริมาณแคโรทีนอยด์ และกลุ่มสารที่สำคัญอื่นๆ ตามวิธีของ (AOAC, 1990; Jauncey and Ross, 1982; Berns *et al.*, 1963)

4. วิเคราะห์ คุณภาพน้ำทางกายภาพ และเคมี ก่อน ระหว่าง และหลังการทดลอง ในแต่ละชุดการทดลอง ทำการวิเคราะห์ปัจจัยคุณภาพน้ำทางกายภาพ และเคมี ทุก 3 วัน (ศิริเพ็ญ, 2543) จนเสร็จสิ้นการทดลอง ได้แก่

- อุณหภูมิอากาศและน้ำ โดยใช้ Thermometer
- ค่าความเป็นกรด – ด่างโดยใช้ pH meter (Schott-Gerate CG 840)
- ปริมาณออกซิเจนละลายน้ำ โดยวิธี Azide modification
- ปริมาณออร์โธฟอสเฟตฟอสฟอรัส โดยวิธี Stannous chloride
- ปริมาณแอมโมเนียไนโตรเจน โดยวิธี Direct Nesslerization
- ปริมาณไนเตรทไนโตรเจน โดยวิธี Phenoldisulfonic acid

5. การวิเคราะห์ทางสถิติ

นำข้อมูลไปวิเคราะห์ทางสถิติ โดยวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) เพื่อศึกษาความแตกต่างของแต่ละทรีตเมนต์ จากนั้นเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของทรีตเมนต์ โดยวิธีของ Tukey's Test ที่ระดับนัยสำคัญทางสถิติ $p< 0.05$ โดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป SPSS

6. สถานที่ทำการทดลอง

ฐานเรียนรู้สาหร่าย และแพลงก์ตอน คณะเทคโนโลยีการประมงและทรัพยากรทางน้ำ มหาวิทยาลัยแม่โจ้ อำเภอสันทราย จังหวัดเชียงใหม่

7. ระยะเวลาทำการวิจัย และแผนการดำเนินงานตลอดโครงการวิจัย

ตารางที่ 1 ระยะเวลาทำการวิจัย และแผนการดำเนินงาน

ปี/เดือน	2555			2556								
งานที่ปฏิบัติ	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1. เตรียมบ่อ วัสดุ /วัตถุดิบต่างๆและเครื่องมือที่ใช้	←	→										
2. จัดหาและรวบรวมสายพันธุ์สาหร่าย		←	→									
3. ทำการเพาะเลี้ยงในห้องปฏิบัติการ				←	→							
4. ทำการเพาะเลี้ยง ในบ่อซีเมนต์กลม และบ่อ raceway pond กลางแจ้ง และวิเคราะห์คุณค่าทางโภชนาการ สารสี สารที่สำคัญ และคุณภาพน้ำ							←	→		←	→	
5.เก็บข้อมูลและ วิเคราะห์ข้อมูล											↔	
6.สรุปผลรายงานความก้าวหน้า ปีที่ 1												↔

ปี/เดือน	2556			2557								
งานที่ปฏิบัติ	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1. เตรียมอุปกรณ์เตรียมบ่อ photobio.	←	—	→									
2. ทำการเพาะเลี้ยงในห้องปฏิบัติการ			←	—	→							
3. ทำการเพาะเลี้ยง ในบ่อซีเมนต์กลม และบ่อ raceway pond กลางแจ้ง และวิเคราะห์คุณค่าทางโภชนาการ สารสี สารที่สำคัญ และคุณภาพน้ำ				←	—	—	—	→				
4.เก็บข้อมูลและ วิเคราะห์ข้อมูล อบรมเกษตรกรและผู้สนใจ									←	—	→	
5.สรุปผลรายงานความก้าวหน้า ปีที่ 2											←	→
6.ทำรายงานฉบับสมบูรณ์												← →

ผลการวิจัยในปีงบประมาณ 2556

1. การเพาะเลี้ยงสไปรูลิน่า แต่ละถิ่นกำเนิดในห้องปฏิบัติการ ได้ผลการวิเคราะห์ปริมาณเซลล์สาหร่ายที่มีลักษณะเป็นเกลียว จำนวนเซลล์ของสาหร่าย ความหนาแน่น (optical density) ผลผลิตของสาหร่ายโดยน้ำหนักแห้ง และปริมาณสารสีแคโรทีนอยด์ แต่ละชุดการการทดลอง ได้ผลการทดลองดังนี้

1.1 ปริมาณเซลล์สาหร่ายที่มีลักษณะเป็นเกลียว (%) พบว่า สไปรูลิน่าที่มีถิ่นกำเนิดในมหาวิทยาลัยแม่โจ้ (T_3Spi. MJU2) มีเปอร์เซนต์เซลล์สาหร่ายที่มีลักษณะเป็นเกลียวโดยเฉลี่ย โดยเฉพาะ ในวันที่ 9 ของการเพาะเลี้ยงมากกว่า สไปรูลิน่าสายพันธุ์ปกติที่เคยเพาะเลี้ยง (T_1Spi. CMU1) และสไปรูลิน่าที่มีถิ่นกำเนิดจากภาคกลางของประเทศไทย (T_2Spi. MJU1) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) ดังภาพที่ 9

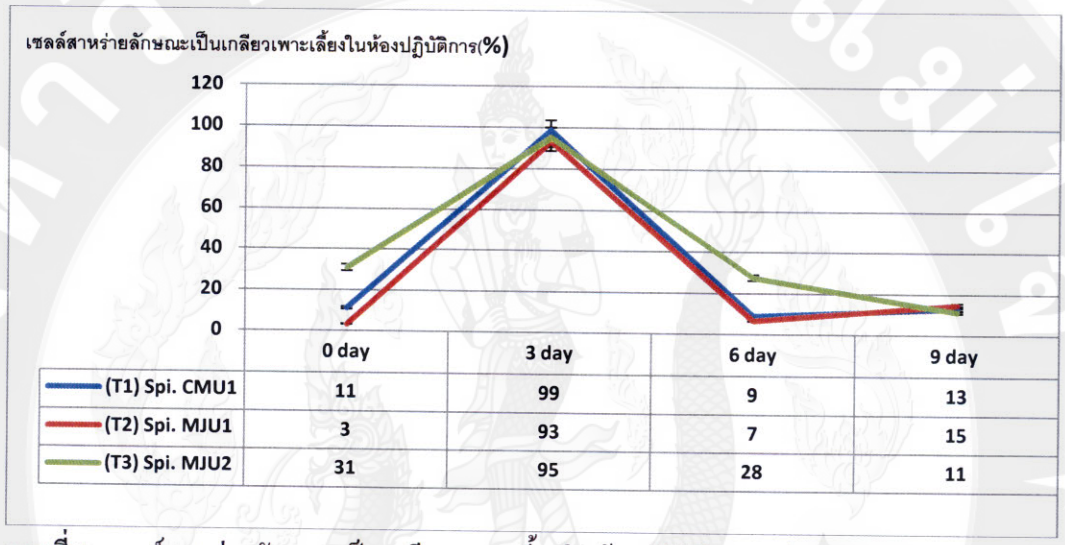
1.2 จำนวนเซลล์ของสาหร่าย (cell/mL) พบว่า สไปรูลิน่าที่มีถิ่นกำเนิดในมหาวิทยาลัยแม่โจ้ (T_3Spi. MJU2) มีจำนวนเซลล์โดยเฉลี่ย โดยเฉพาะ ในวันที่ 6 และวันที่ 9 ของการเพาะเลี้ยงมากกว่า สไปรูลิน่าสายพันธุ์ปกติที่เคยเพาะเลี้ยง (T_1 Spi. CMU1) และสไปรูลิน่าที่มีถิ่นกำเนิดจากภาคกลางของประเทศไทย (T_2Spi. MJU1) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) ดังภาพที่ 10

1.3 ความหนาแน่น (optical density; Units) พบว่า สไปรูลิน่าที่มีถิ่นกำเนิดในมหาวิทยาลัยแม่โจ้ (T_3Spi. MJU2) มีค่าความหนาแน่น โดยเฉพาะ ในวันที่ 6 ของการเพาะเลี้ยงมีค่าเท่ากับ 0.567 Units และมากกว่า สไปรูลิน่าสายพันธุ์ปกติที่เคยเพาะเลี้ยง (T_1 Spi. CMU1) และสไปรูลิน่าที่มีถิ่นกำเนิดจากภาคกลางของประเทศไทย (T_2Spi. MJU1) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) ดังภาพที่ 11

1.4 ปริมาณ ผลผลิตของสาหร่ายโดยน้ำหนักแห้ง (g/l) พบว่า สไปรูลิน่าที่มีถิ่นกำเนิดในมหาวิทยาลัยแม่โจ้ (T_3Spi. MJU2) มีค่าผลผลิตของสาหร่ายโดยน้ำหนักแห้ง เท่ากับ 0.40 g/l และมากกว่า สไปรูลิน่าสาย

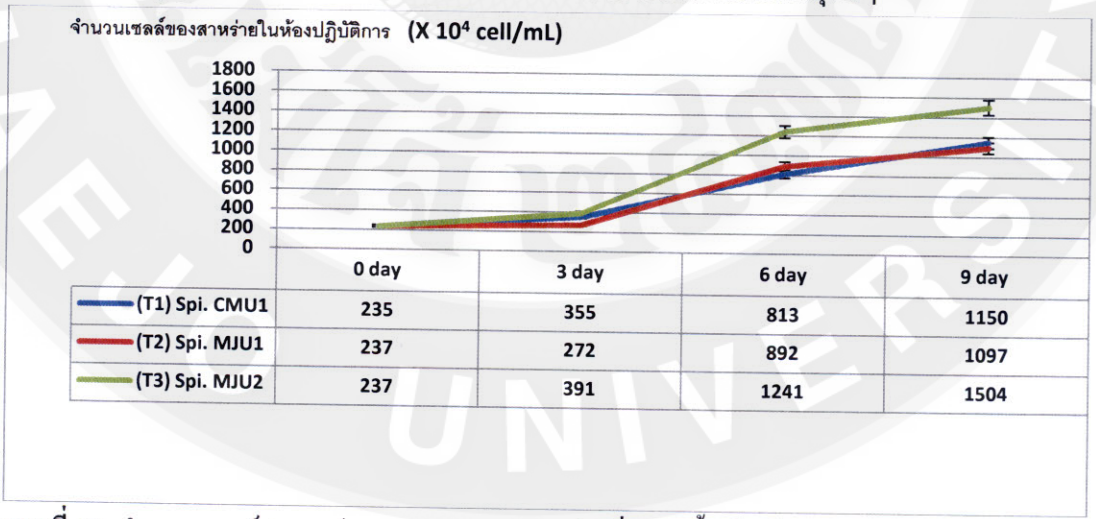
พันธุ์ปกติที่เคยเพาะเลี้ยง (T_1 Spi. CMU1) และสไปรูลิน่าที่มีถิ่นกำเนิดจากภาคกลางของประเทศไทย (T_2Spi. MJU1) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) ดังภาพที่ 12

1.5 ปริมาณสารสี แคโรทีนอยด์ (mg/g) พบว่า สไปรูลิน่าที่มีถิ่นกำเนิดในมหาวิทยาลัยแม่โจ้ (T_3Spi. MJU2) มีค่าปริมาณสารสี แคโรทีนอยด์ โดยน้ำหนักแห้ง เท่ากับ 706.47 mg/g และมากกว่า สไปรูลิน่าสายพันธุ์ปกติที่เคยเพาะเลี้ยง (T_1Spi. CMU1) และสไปรูลิน่าที่มีถิ่นกำเนิดจากภาคกลางของประเทศไทย (T_2Spi. MJU1) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) ดังภาพที่ 13



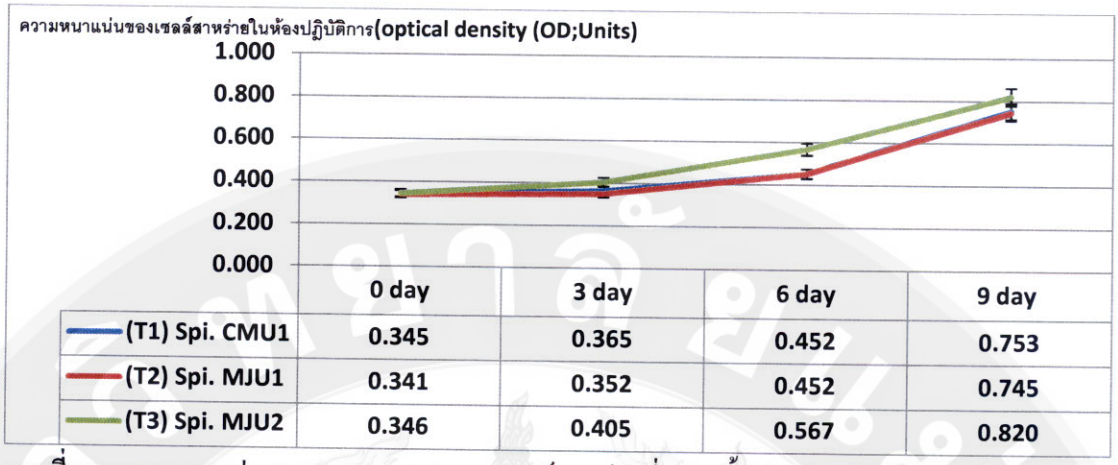
	0 day	3 day	6 day	9 day
(T1) Spi. CMU1	11	99	9	13
(T2) Spi. MJU1	3	93	7	15
(T3) Spi. MJU2	31	95	28	11

ภาพที่ 9 เซลล์สาหร่ายลักษณะเป็นเกลียว เพาะเลี้ยงในห้องปฏิบัติการ แต่ละชุดการการทดลอง พบว่า T_3Spi. MJU2 เซลล์สาหร่าย มีลักษณะเป็นเกลียวมากกว่าสายพันธุ์อื่นๆ



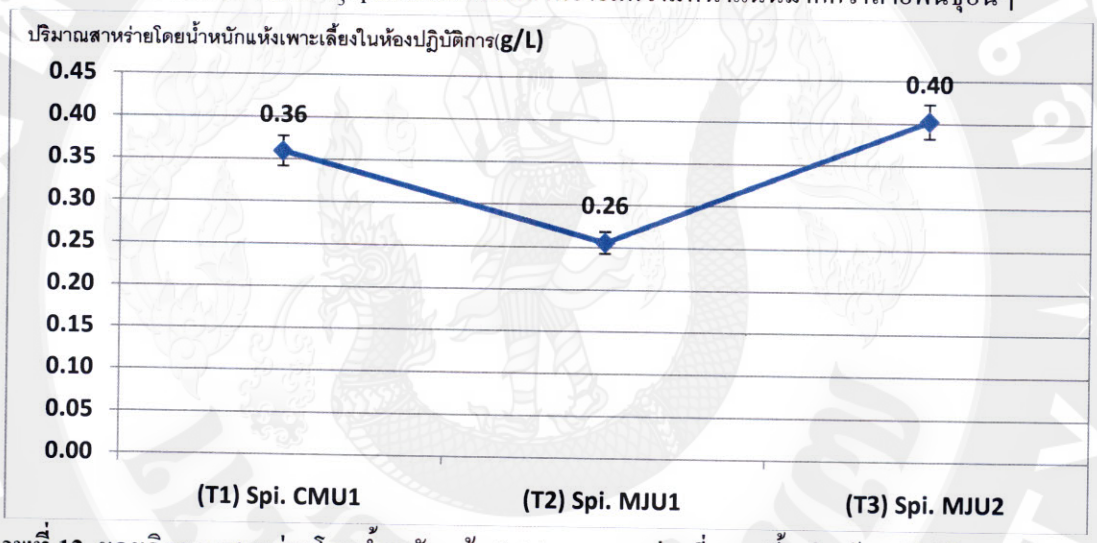
	0 day	3 day	6 day	9 day
(T1) Spi. CMU1	235	355	813	1150
(T2) Spi. MJU1	237	272	892	1097
(T3) Spi. MJU2	237	391	1241	1504

ภาพที่ 10 จำนวนเซลล์ (X 10^4 cell/mL) ของสาหร่ายที่เพาะเลี้ยงในห้องปฏิบัติ การแต่ละชุดการการทดลอง พบว่า T_3Spi. MJU2 เซลล์สาหร่ายมีจำนวนเซลล์มากกว่าสายพันธุ์อื่นๆ

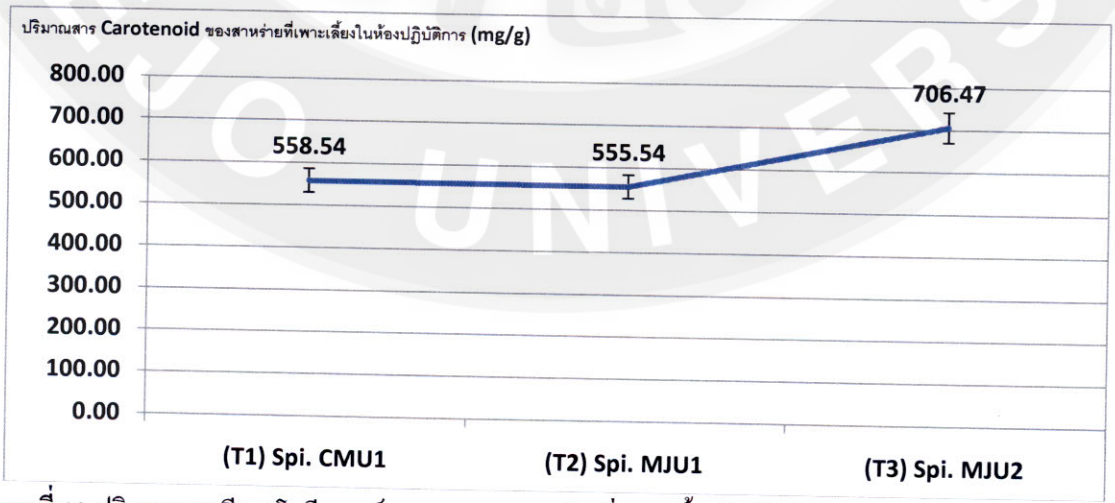


	0 day	3 day	6 day	9 day
(T1) Spi. CMU1	0.345	0.365	0.452	0.753
(T2) Spi. MJU1	0.341	0.352	0.452	0.745
(T3) Spi. MJU2	0.346	0.405	0.567	0.820

ภาพที่ 11 ความหนาแน่น (optical density) ของเซลล์สาหร่ายที่เพาะเลี้ยงในห้องปฏิบัติการแต่ละชุดการการทดลอง พบว่า T_3Spi. MJU2 เซลล์สาหร่ายมีความหนาแน่นมากกว่าสายพันธุ์อื่นๆ



ภาพที่ 12 ผลผลิตของสาหร่ายโดยน้ำหนักแห้ง (g/L) ของสาหร่ายที่เพาะเลี้ยงในห้องปฏิบัติการแต่ละชุดการการทดลอง พบว่า T_3Spi. MJU2 มีน้ำหนักแห้งมากกว่าสายพันธุ์อื่นๆ



ภาพที่ 13 ปริมาณสารสี แคโรทีนอยด์ (mg/g) ของสาหร่ายที่เพาะเลี้ยงในห้องปฏิบัติการแต่ละชุดการการทดลอง พบว่า T3 Spi. MJU2 มีสาร แคโรทีนอยด์ มากกว่าสายพันธุ์อื่นๆ

2. การเพาะเลี้ยงสไปรูลิน่า แต่ละถิ่นกำเนิด ในบ่อซีเมนต์กลม (Cement pond) ได้ผลการวิเคราะห์ปริมาณเซลล์สาหร่ายที่มีลักษณะเป็นเกลียว จำนวนเซลล์ของสาหร่าย ความหนาแน่น (optical density) ผลผลิตของสาหร่ายโดยน้ำหนักแห้ง ปริมาณสารสีแคโรทีนอยด์ และปริมาณสารสี C-phycocyanin วัตถุแห้ง ความชื้น โปรตีน ไขมัน เถ้า เยื่อใย คาร์โบไฮเดรต และต้นทุนผันแปรในการผลิตสาหร่าย แต่ละชุดการการทดลอง ได้ผลการทดลองดังนี้

2.1 ปริมาณเซลล์สาหร่ายที่มีลักษณะเป็นเกลียว (%) พบว่า สไปรูลิน่าที่มีถิ่นกำเนิดในมหาวิทยาลัยแม่โจ้ (T_3Spi. MJU2) มีเปอร์เซนต์เซลล์สาหร่ายที่มีลักษณะเป็นเกลียวโดยเฉลี่ย โดยเฉพาะ ในวันที่ 6 และวันที่ 9 ของการเพาะเลี้ยงมากกว่า สไปรูลิน่าสายพันธุ์ปกติที่เคยเพาะเลี้ยง (T_1Spi. CMU1) และ สไปรูลิน่าที่มีถิ่นกำเนิดจากภาคกลางของประเทศไทย (T_2Spi. MJU1) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) ดังภาพที่ 14

2.2 จำนวนเซลล์ของสาหร่าย (cell/mL) พบว่า สไปรูลิน่าที่มีถิ่นกำเนิดในมหาวิทยาลัยแม่โจ้ (T_3Spi. MJU2) มีจำนวนเซลล์โดยเฉลี่ย โดยเฉพาะ ในวันที่ 6 และวันที่ 9 ของการเพาะเลี้ยงมากกว่า สไปรูลิน่าสายพันธุ์ปกติที่เคยเพาะเลี้ยง (T_1 Spi. CMU1) และสไปรูลิน่าที่มีถิ่นกำเนิดจากภาคกลางของประเทศไทย (T_2Spi. MJU1) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) ดังภาพที่ 15

2.3 ความหนาแน่น (optical density; Units) พบว่า สไปรูลิน่าที่มีถิ่นกำเนิดในมหาวิทยาลัยแม่โจ้ (T_3Spi. MJU2) มีค่าความหนาแน่น โดยเฉพาะ ในวันที่ 6 และ วันที่ 9 ของการเพาะเลี้ยงมากกว่า สไปรูลิน่าสายพันธุ์ปกติที่เคยเพาะเลี้ยง (T_1 Spi. CMU1) และสไปรูลิน่าที่มีถิ่นกำเนิดจากภาคกลางของประเทศไทย (T_2Spi. MJU1) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) ดังภาพที่ 16

2.4 ปริมาณ ผลผลิตของสาหร่ายโดยน้ำหนักแห้ง (g/l) พบว่า สไปรูลิน่าที่มีถิ่นกำเนิดในมหาวิทยาลัยแม่โจ้ มีค่าเท่ากับ 0.42±0.03 g/l ซึ่งมีค่ามากกว่า สไปรูลิน่าสายพันธุ์ปกติที่เคยเพาะเลี้ยง (0.35±0.05 g/l) และสไปรูลิน่าที่มีถิ่นกำเนิดจากภาคกลางของประเทศไทย (0.25±0.01 g/l) ตามลำดับอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) ดังภาพที่ 17

2.5 ปริมาณสารสี แคโรทีนอยด์ (mg/g) พบว่า สไปรูลิน่าที่มีถิ่นกำเนิดในมหาวิทยาลัยแม่โจ้ มีค่า เท่ากับ 706.47±53.72 mg/g ซึ่งมีค่ามากกว่า สไปรูลิน่าสายพันธุ์ปกติที่เคยเพาะเลี้ยง (591.87±58.58 mg/g) และสไปรูลิน่าที่มีถิ่นกำเนิดจากภาคกลางของประเทศไทย(588.87±53.63 mg/g) ตามลำดับอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) ภาพที่ 18

2.6 ปริมาณสารสี C-phycocyanin (mg/g) พบว่า สไปรูลิน่าที่มีถิ่นกำเนิดในมหาวิทยาลัยแม่โจ้ มีค่าเท่ากับ 5.10 mg/g ซึ่งมีค่ามากกว่าสไปรูลิน่าที่มีถิ่นกำเนิดจากภาคกลางของประเทศไทย (4.03±0.87 mg/g) และสไปรูลิน่าสายพันธุ์ปกติที่เคยเพาะเลี้ยง (2.45±0.43 mg/g) ตามลำดับอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) ภาพที่ 19

2.7 วัตถุแห้ง (Dry matter basic;%) พบว่า สไปรูลิน่าสายพันธุ์ปกติที่เคยเพาะเลี้ยง มีค่าเท่ากับ 71.11±1.32% สไปรูลิน่าที่มีถิ่นกำเนิดจากภาคกลางของประเทศไทย มีค่าเท่ากับ 78.41±1.51% และสไปรูลิน่า

ที่มีถิ่นกำเนิดในมหาวิทยาลัยแม่โจ้ มีค่าเท่ากับ76.25±2.26% และทั้ง 3 ชุดการทดลองไม่มีความแตกต่างทางสถิติ (ภาพที่ 20)

2.8 ความชื้น (%) พบว่า สไปรูลิน่าสายพันธุ์ปกติที่เคยเพาะเลี้ยง มีค่าเท่ากับ 28.89±1.32% ซึ่งมีค่ามากกว่า สไปรูลิน่าที่มีถิ่นกำเนิดในมหาวิทยาลัยแม่โจ้ (23.75±2.26%) และสไปรูลิน่าที่มีถิ่นกำเนิดจากภาคกลางของประเทศไทย (21.59±1.51%) ตามลำดับอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) ภาพที่ 21

2.9 โปรตีน (%) พบว่า สไปรูลิน่าที่มีถิ่นกำเนิดในมหาวิทยาลัยแม่โจ้ มีค่าเท่ากับ 43.34±1.37% ซึ่งมีค่ามากกว่า สไปรูลิน่าที่มีถิ่นกำเนิดจากภาคกลางของประเทศไทย (38.88±1.51%) และ สไปรูลิน่าสายพันธุ์ปกติที่เคยเพาะเลี้ยง (37.75±0.92% ตามลำดับอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) ภาพที่ 22

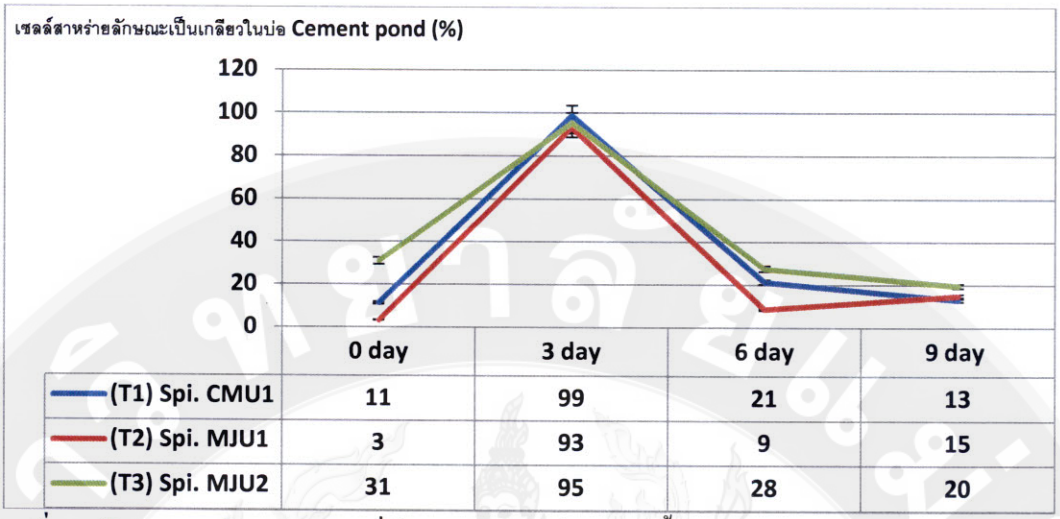
2.10 ไขมัน (%) พบว่า สไปรูลิน่าสายพันธุ์ปกติที่เคยเพาะเลี้ยง มีค่าเท่ากับ 2.28±0.40% สไปรูลิน่าที่มีถิ่นกำเนิดจากภาคกลางของประเทศไทย มีค่าเท่ากับ 2.21±0.47% และสไปรูลิน่าที่มีถิ่นกำเนิดในมหาวิทยาลัยแม่โจ้ มีค่าเท่ากับ 2.22±0.24% และทั้ง 3 ชุดการทดลองไม่มีความแตกต่างทางสถิติ (ภาพที่ 23)

2.11 เถ้า (%) พบว่า สไปรูลิน่าที่มีถิ่นกำเนิดจากภาคกลางของประเทศไทย มีค่าเท่ากับ 3.95±0.26% ซึ่งมีค่ามากกว่า สไปรูลิน่าสายพันธุ์ปกติที่เคยเพาะเลี้ยง (3.85±0.79%) และสไปรูลิน่าที่มีถิ่นกำเนิดในมหาวิทยาลัยแม่โจ้ (3.52±0.23%) ตามลำดับอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) ภาพที่ 24 และตารางภาคผนวกที่

2.12 เยื่อใย (%) พบว่า สไปรูลิน่าที่มีถิ่นกำเนิดจากภาคกลางของประเทศไทย มีค่าเท่ากับ 1.89±0.06% ซึ่งมีค่ามากกว่า สไปรูลิน่าสายพันธุ์ปกติที่เคยเพาะเลี้ยง (1.77±0.20%) และสไปรูลิน่าที่มีถิ่นกำเนิดในมหาวิทยาลัยแม่โจ้ (1.69±0.16%) ตามลำดับอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) ภาพที่ 25

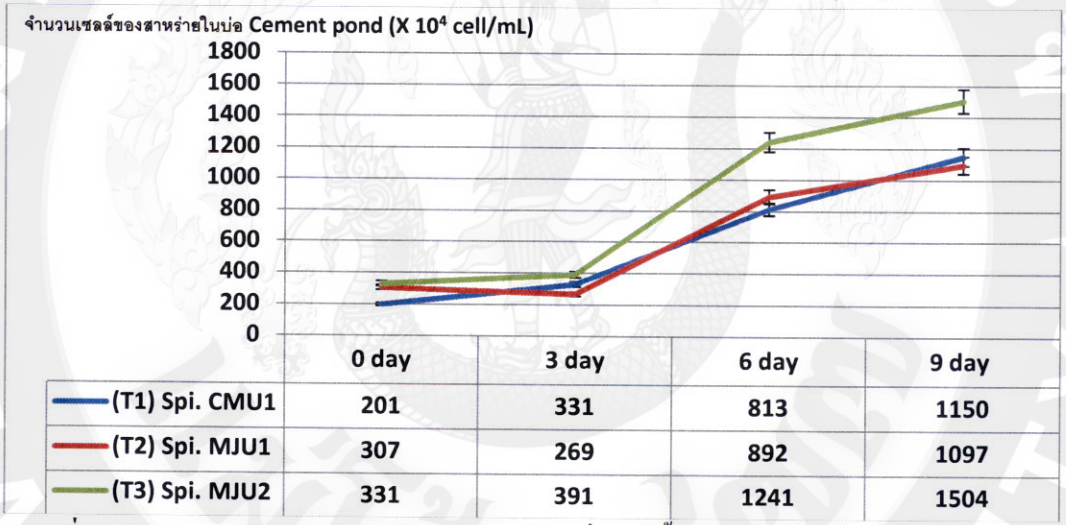
2.13 คาร์โบไฮเดรต (%) พบว่า สไปรูลิน่าที่มีถิ่นกำเนิดจากภาคกลางของประเทศไทย มีค่าเท่ากับ 31.48±1.14% ซึ่งมีค่ามากกว่า สไปรูลิน่าที่มีถิ่นกำเนิดในมหาวิทยาลัยแม่โจ้ (25.48±0.82%) และสไปรูลิน่าสายพันธุ์ปกติที่เคยเพาะเลี้ยง (25.46±1.03%) ตามลำดับอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) ภาพที่ 26

2.14 ต้นทุนผันแปรในการผลิตสาหร่ายแห้ง (บาท/กก.) พบว่า สไปรูลิน่าที่มีถิ่นกำเนิดจากภาคกลางของประเทศไทย มีค่าเท่ากับ 517.13±27.73 บาท/กิโลกรัม ซึ่งมีค่ามากกว่า สไปรูลิน่าสายพันธุ์ปกติที่เคยเพาะเลี้ยง (364.44±55.67 บาท/กิโลกรัม) และสไปรูลิน่าที่มีถิ่นกำเนิดในมหาวิทยาลัยแม่โจ้ (305.68±20.06 บาท/กิโลกรัม) ตามลำดับอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) ภาพที่ 27



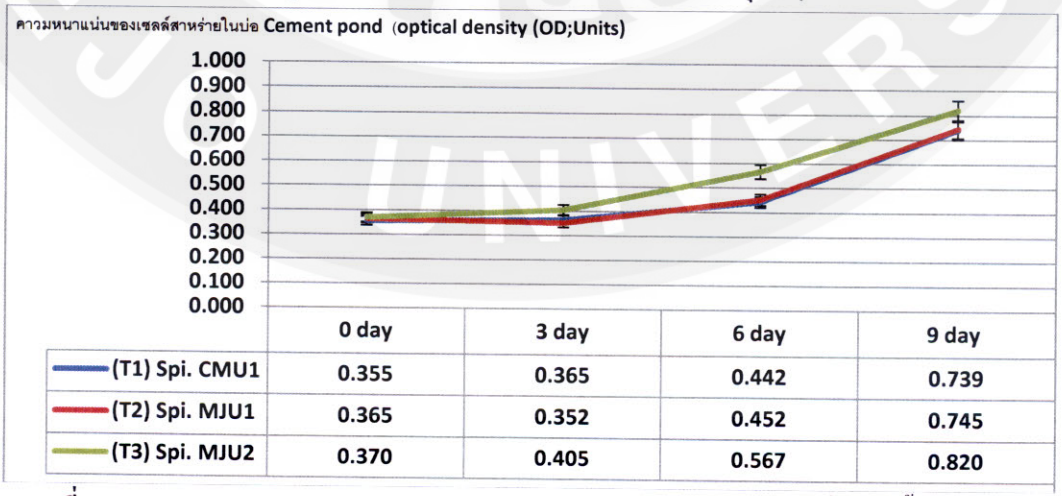
	0 day	3 day	6 day	9 day
(T1) Spi. CMU1	11	99	21	13
(T2) Spi. MJU1	3	93	9	15
(T3) Spi. MJU2	31	95	28	20

ภาพที่ 14 ปริมาณเซลล์สาหร่าย (%) ที่มีลักษณะเป็นเกลียวเพาะเลี้ยงในบ่อ Cement pond แต่ละชุดการทดลอง พบว่า T_3Spi. MJU2 เซลล์สาหร่ายเป็นเกลียว มากกว่าสายพันธุ์อื่นๆ



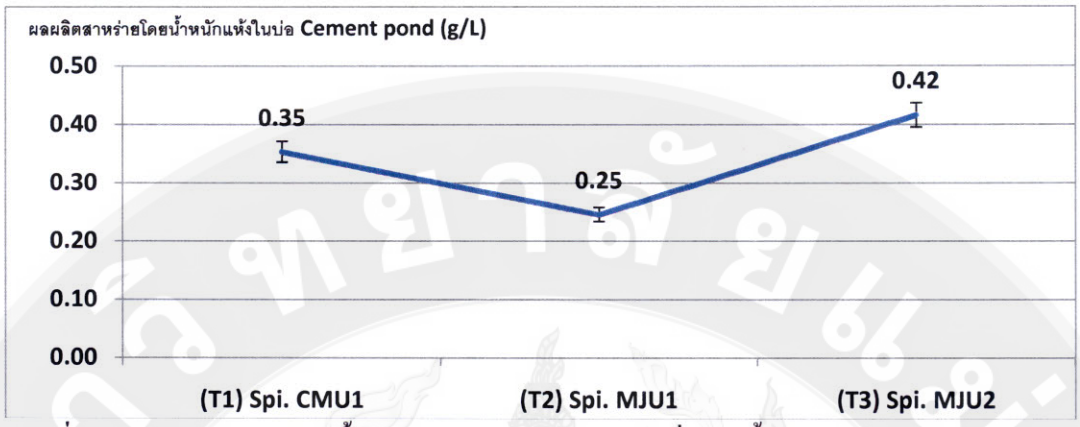
	0 day	3 day	6 day	9 day
(T1) Spi. CMU1	201	331	813	1150
(T2) Spi. MJU1	307	269	892	1097
(T3) Spi. MJU2	331	391	1241	1504

ภาพที่ 15 จำนวนเซลล์ (X 10^4 cell/mL) ของสาหร่ายที่เพาะเลี้ยงในบ่อ Cement pond (%) แต่ละชุดการทดลอง พบว่า T_3Spi. MJU2 มีจำนวนเซลล์ มากกว่าสายพันธุ์อื่นๆ

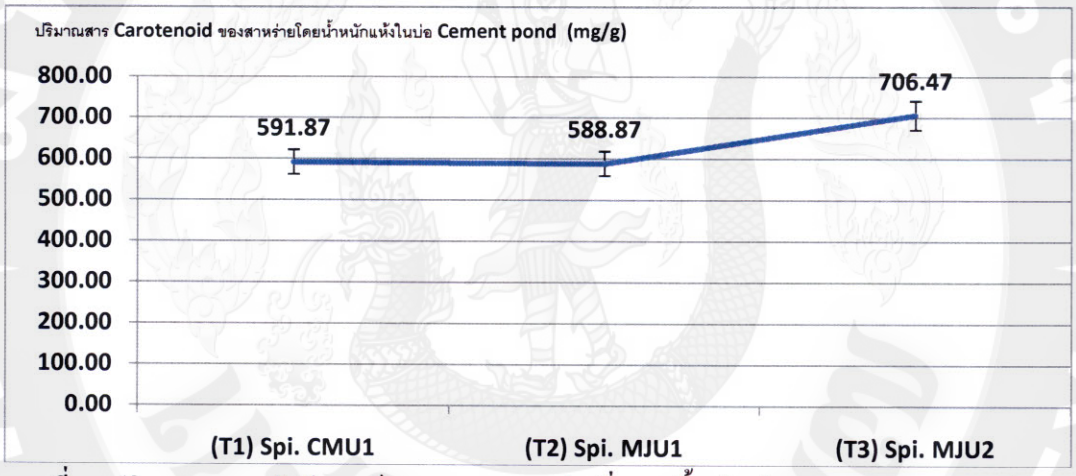


	0 day	3 day	6 day	9 day
(T1) Spi. CMU1	0.355	0.365	0.442	0.739
(T2) Spi. MJU1	0.365	0.352	0.452	0.745
(T3) Spi. MJU2	0.370	0.405	0.567	0.820

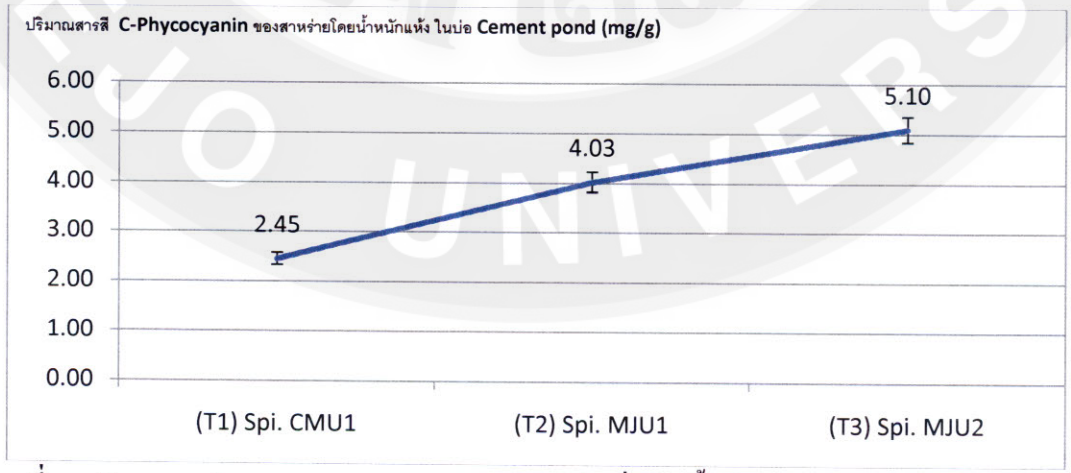
ภาพที่ 16 ความหนาแน่น (optical density; (OD; Units)) ของเซลล์สาหร่ายที่เพาะเลี้ยงในบ่อ Cement pond (%) แต่ละชุดการทดลอง พบว่า T_3Spi. MJU2 มีค่ามากกว่าสายพันธุ์อื่นๆ



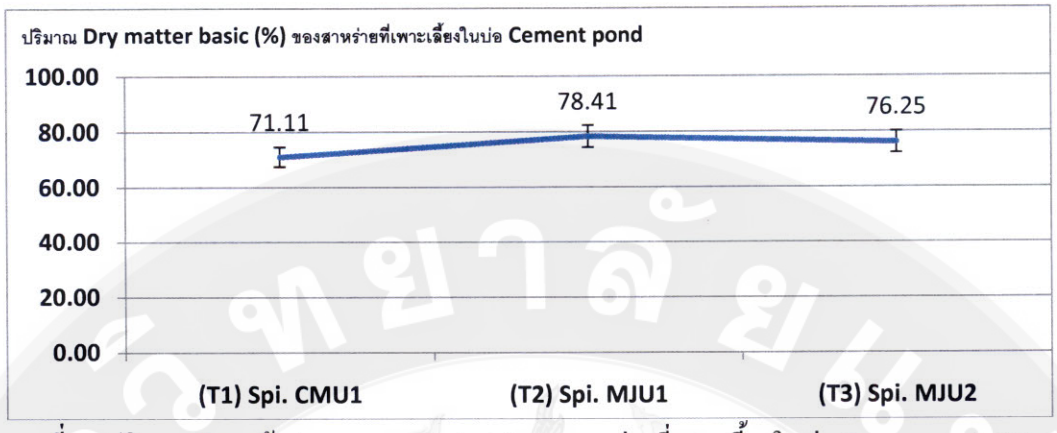
ภาพที่ 17 ปริมาณสาหร่ายโดยน้ำหนักแห้ง (g/L) ของสาหร่ายที่เพาะเลี้ยงในบ่อ Cement pond (%) แต่ละชุดการการทดลอง พบว่า T_3Spi. MJU2 มีผลผลิตมากกว่าสายพันธุ์อื่นๆ



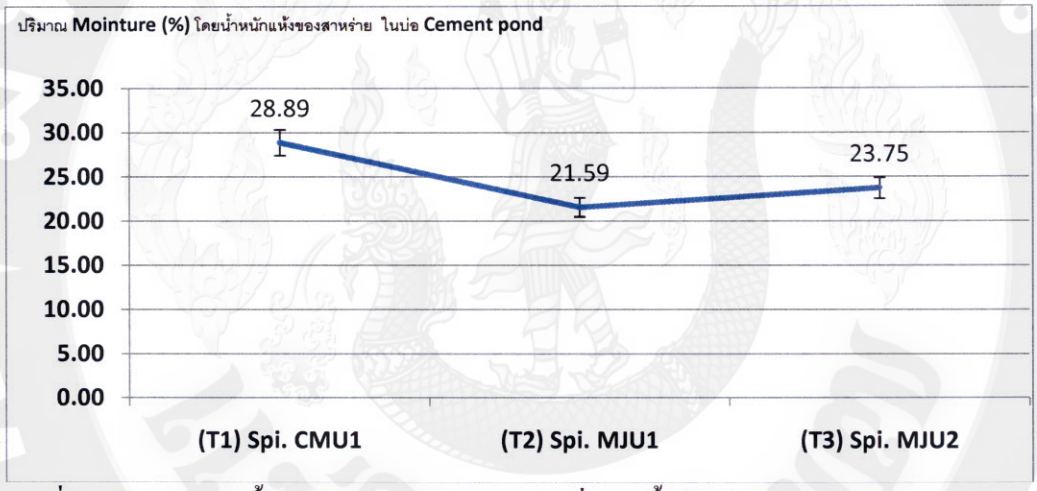
ภาพที่ 18 ปริมาณสาร แคโรทีนอยด์ (mg/g) ของสาหร่ายที่เพาะเลี้ยงในบ่อ Cement pond (%) แต่ละชุดการการทดลอง พบว่า T_3Spi. MJU2 มีแคโรทีนอยด์มากกว่าสายพันธุ์อื่นๆ



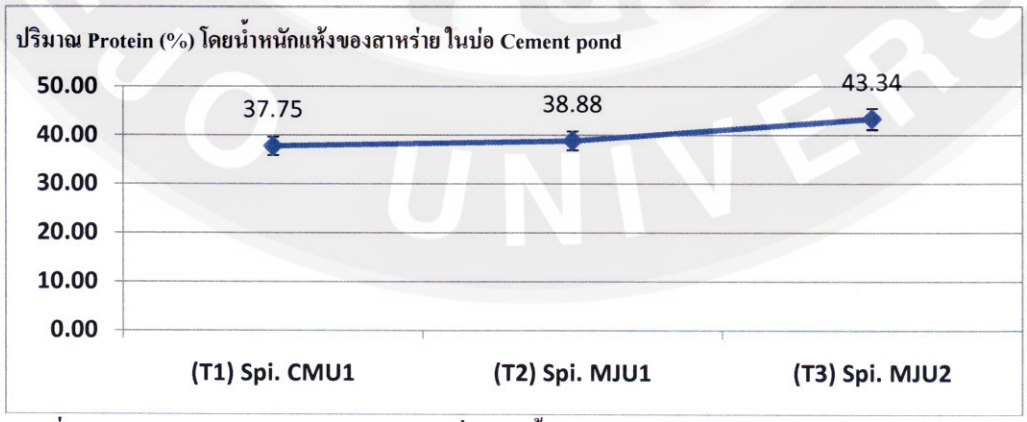
ภาพที่ 19 ปริมาณสารสี C-phycocyanin (mg/g) ของสาหร่ายที่เพาะเลี้ยงในบ่อ Cement pond (%) แต่ละชุดการการทดลอง พบว่า T_3Spi. MJU2 มีแคโรทีนอยด์มากกว่าสายพันธุ์อื่นๆ



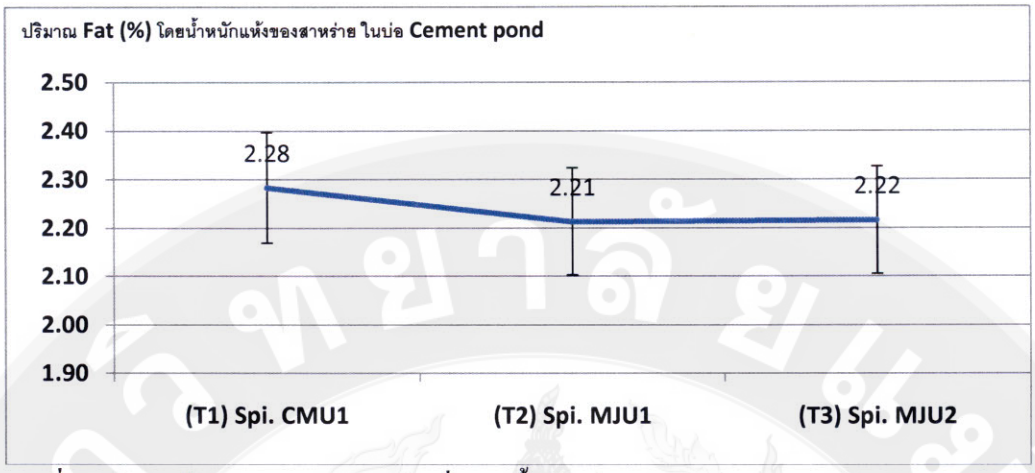
ภาพที่ 20 ปริมาณ วัตถุแห้ง (Dry matter basic;%) ของสาหร่ายที่เพาะเลี้ยงในบ่อ Cement pond (%) แต่ละชุดการการทดลอง พบว่า ไม่มีความแตกต่างทางสถิติ



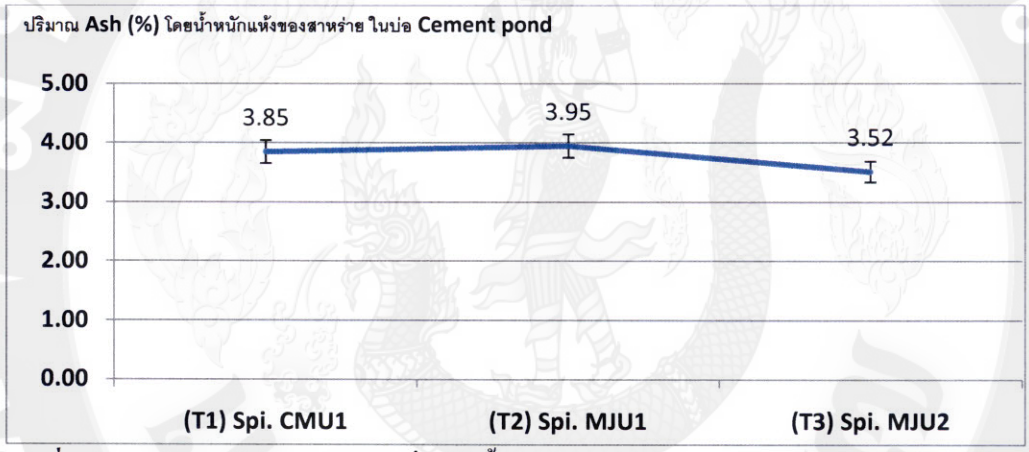
ภาพที่ 21 ปริมาณความชื้น (Mointure;%) ของสาหร่ายที่เพาะเลี้ยงในบ่อ Cement pond (%) แต่ละชุดการการทดลอง พบว่า T_1Spi. CMU1 มีความชื้นมากกว่าสายพันธุ์อื่นๆ



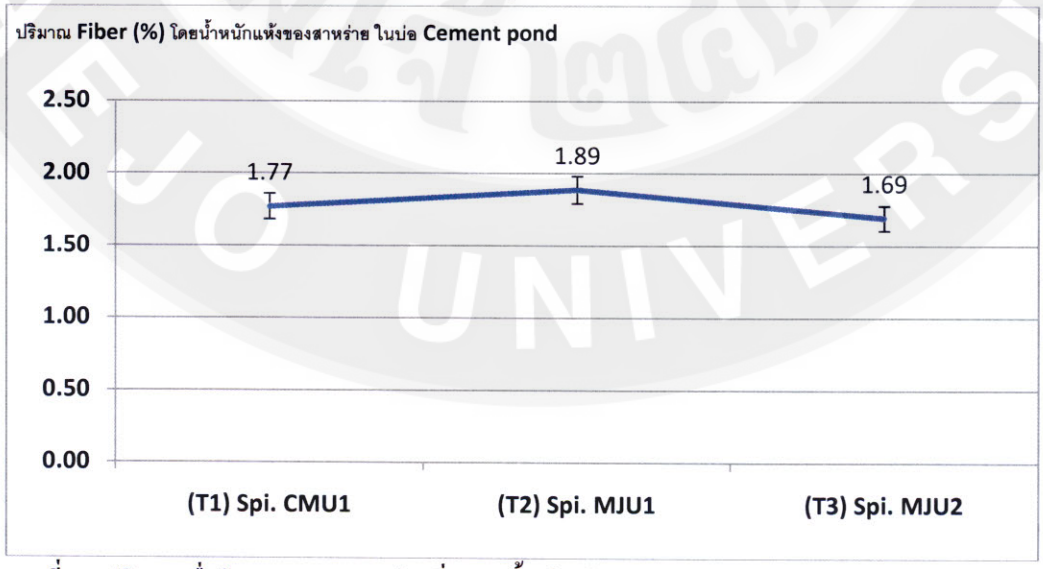
ภาพที่ 22 ปริมาณโปรตีน (%) ของสาหร่ายที่เพาะเลี้ยงในบ่อ Cement pond (%) แต่ละชุดการการทดลอง พบว่า T_3Spi. MJU2 มีโปรตีนมากกว่าสายพันธุ์อื่นๆ



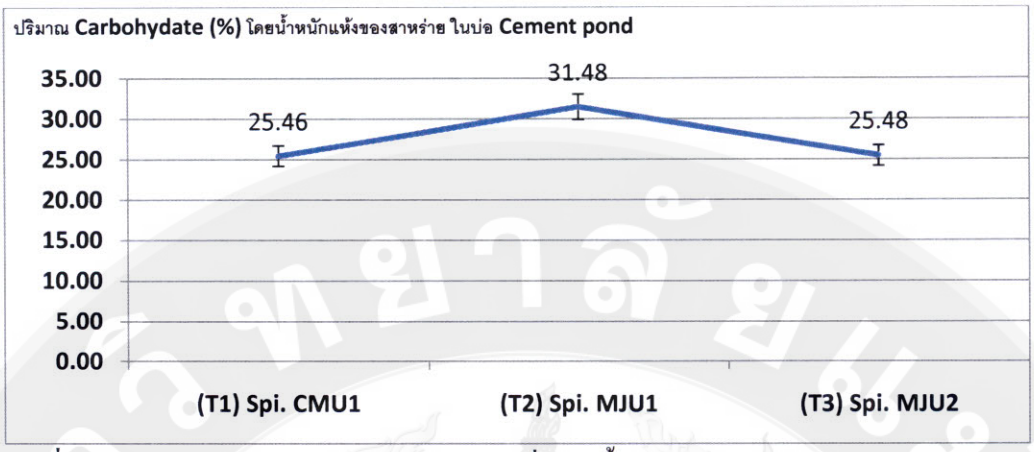
ภาพที่ 23 ปริมาณไขมัน (%) ของสาหร่ายที่เพาะเลี้ยงในบ่อ Cement pond (%) แต่ละชุดการการทดลอง พบว่า ไม่มีความแตกต่างทางสถิติ



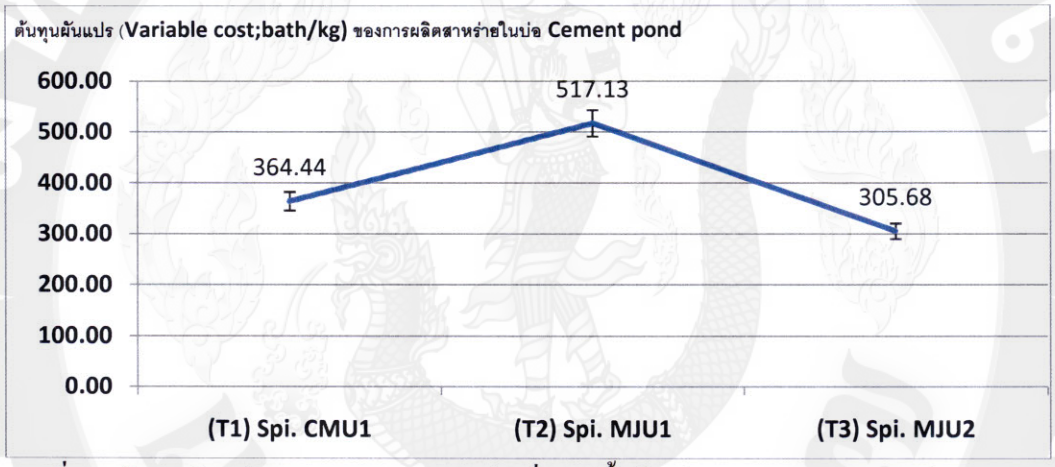
ภาพที่ 24 ปริมาณเถ้า (%) ของสาหร่ายที่เพาะเลี้ยงในบ่อ Cement pond (%) แต่ละชุดการการทดลอง พบว่า T_2Spi. MJU1 มีเถ้ามากกว่า T_3Spi. MJU2



ภาพที่ 25 ปริมาณเยื่อใย (%) ของสาหร่ายที่เพาะเลี้ยงในบ่อ Cement pond (%) แต่ละชุดการทดลอง พบว่า ไม่มีความแตกต่างทางสถิติ



ภาพที่ 26 ปริมาณคาร์โบไฮเดรต (%) ของสาหร่ายที่เพาะเลี้ยงในบ่อ Cement pond (%) แต่ละชุดการทดลอง พบว่า T_2 Spi. MJU1 มีคาร์โบไฮเดรตมากกว่าสายพันธุ์อื่นๆ



ภาพที่ 27 ต้นทุนผันแปร (บาท/กก.) ของสาหร่ายที่เพาะเลี้ยงในบ่อ Cement pond (%) แต่ละชุดการทดลอง พบว่า T_2 Spi. MJU1 มีต้นทุนผันแปร มากกว่าสายพันธุ์อื่นๆ

2.15 คุณภาพน้ำทางกายภาพและเคมี ของสาหร่ายที่เพาะเลี้ยงในบ่อซีเมนต์กลม

ค่าเฉลี่ยอุณหภูมิของน้ำ มีค่าเท่ากับ 26.75±0.00 ^{0}C ค่าเฉลี่ยอุณหภูมิอากาศ มีค่าตั้งแต่ 25.42±0.43-25.58±0.29 ^{0}C ความเป็นกรด-ด่าง (pH) มีค่าตั้งแต่ 9.68±0.02-9.71±0.02 ออกซิเจนที่ละลายน้ำ (Dissolved oxygen) มีค่าตั้งแต่ 5.50±0.24-5.54±0.12 mg/L แอมโมเนีย-ไนโตรเจน (Ammonia-nitrogen; NH_3–N) มีค่าตั้งแต่ 0.58±0.02-0.62±0.03 mg/L ไนเตรท-ไนโตรเจน (Nitrate-nitrogen; NO_3–N) มีค่าตั้งแต่ 14.05±0.58-14.64±0.82 mg/L สารอินทรีย์-ไนโตรเจน (Organic-N) มีค่าตั้งแต่ 2.05±0.06-2.17±0.03 mg/L ฟอสฟอรัสรวม (total-phosphorus) มีค่าตั้งแต่ 2.47±0.11-2.74±0.14 mg/L และอัตราส่วน ไนโตรเจน/ ฟอสฟอรัส มีค่าตั้งแต่ 6:1- 7:1 คุณภาพน้ำในบ่อซีเมนต์ในบ่อเพาะเลี้ยงสาหร่าย สไปรูลิน่า ทั้ง 3 ชุดการทดลอง ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ (ตารางที่ 1)

ตารางที่ 1 แสดงค่าเฉลี่ยคุณภาพน้ำทางกายภาพ และเคมี ในการเพาะเลี้ยงสาหร่ายในบ่อซีเมนต์กลม

Parameter	(T_1) Spi. CMU1	(T_2) Spi. MJU1	(T_3) Spi. MJU2
Air Tem.(^{0}C)	26.75±0.00^{ns}	26.75±0.00^{ns}	26.75±0.00^{ns}
water Tem.(^{0}C)	25.58±0.29^{ns}	25.52±0.29^{ns}	25.42±0.43^{ns}
pH	9.71±0.02^{ns}	9.68±0.02^{ns}	9.68±0.02^{ns}
DO (mg/L)	5.50±0.24^{ns}	5.54±0.12^{ns}	5.52±0.12^{ns}
NH_3 –N (mg/L)	0.62±0.03^{ns}	0.60±0.04^{ns}	0.58±0.02^{ns}
NO_3 –N (mg/L)	14.64±0.82^{ns}	14.05±0.58^{ns}	14.63±0.86^{ns}
Organic-N (mg/L)	2.06±0.13^{ns}	2.05±0.06^{ns}	2.17±0.03^{ns}
Total-P (mg/L)	2.74±0.14^{ns}	2.64±0.10^{ns}	2.47±0.11^{ns}
N:P	6 : 1	6 : 1	7 : 1

หมายเหตุ : ตัวอักษรภาษาอังกฤษที่แตกต่างกันในแนวนอน หมายความว่ามีความแตกต่างกันอย่างมี นัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) และ ns หมายความว่าไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p>0.05$)

3. การเพาะเลี้ยงสไปรูลิน่า แต่ละถิ่นกำเนิด ในบ่อ raceway pond ได้ผลการวิเคราะห์ปริมาณเซลล์สาหร่ายที่มีลักษณะเป็นเกลียว จำนวนเซลล์ของสาหร่าย ความหนาแน่น (optical density) ผลผลิตของสาหร่ายโดยน้ำหนักแห้ง ปริมาณสารสีแคโรทีนอยด์ และปริมาณสารสี C-phycocyanin วัตถุแห้ง ความชื้น โปรตีน ไขมัน เถ้า เยื่อใย คาร์โบไฮเดรต และต้นทุนผันแปรในการผลิตสาหร่าย แต่ละชุดการการทดลอง ได้ผลการทดลองดังนี้

2.1 ปริมาณเซลล์สาหร่ายที่มีลักษณะเป็นเกลียว (%) พบว่า สไปรูลิน่าที่มีถิ่นกำเนิดในมหาวิทยาลัยแม่โจ้ (T_3Spi. MJU2) มีเปอร์เซนต์เซลล์สาหร่ายที่มีลักษณะเป็นเกลียวโดยเฉลี่ย โดยเฉพาะ ในวันที่ 3 และวันที่ 9 ของการเพาะเลี้ยงมากกว่า สไปรูลิน่าสายพันธุ์ปกติที่เคยเพาะเลี้ยง (T_1Spi. CMU1) และ สไปรูลิน่าที่มีถิ่นกำเนิดจากภาคกลางของประเทศไทย (T_2Spi. MJU1) ตามลำดับอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) ดังภาพที่ 28

2.2 จำนวนเซลล์ของสาหร่าย (cell/mL) พบว่า สไปรูลิน่าที่มีถิ่นกำเนิดในมหาวิทยาลัยแม่โจ้ (T_3Spi. MJU2) มีจำนวนเซลล์โดยเฉลี่ย โดยเฉพาะ ในวันที่ 3, 6 และวันที่ 9 ของการเพาะเลี้ยงมากกว่า และสไปรูลิน่าที่มีถิ่นกำเนิดจากภาคกลางของประเทศไทย (T_2Spi. MJU1) และสไปรูลิน่าสายพันธุ์ปกติที่เคยเพาะเลี้ยง (T_1 Spi. CMU1) ตามลำดับอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) ดังภาพที่ 29

2.3 ความหนาแน่น (optical density; Units) พบว่า สไปรูลิน่าที่มีถิ่นกำเนิดในมหาวิทยาลัยแม่โจ้ (T_3Spi. MJU2) มีค่าความหนาแน่น โดยเฉพาะ ในวันที่ 6 และ วันที่ 9 ของการเพาะเลี้ยง มากกว่า สไปรูลิน่าสายพันธุ์ปกติที่เคยเพาะเลี้ยง (T_1 Spi. CMU1) และสไปรูลิน่าที่มีถิ่นกำเนิดจากภาคกลางของประเทศไทย (T_2Spi. MJU1) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) ดังภาพที่ 30

สำนักหอสมุด มหาวิทยาลัยแม่โจ้

2.4 ปริมาณ ผลผลิตของสาหร่ายโดยน้ำหนักแห้ง (g/l) พบว่า สไปรูลิน่าที่มีถิ่นกำเนิดจากภาคกลางของประเทศไทย (0.35±0.05 g/l) ซึ่งมีค่ามากกว่า สไปรูลิน่าสายพันธุ์ปกติที่เคยเพาะเลี้ยง (0.30±0.01 g/l) และสไปรูลิน่าที่มีถิ่นกำเนิดในมหาวิทยาลัยแม่โจ้ (0.28±0.03 g/l) ตามลำดับอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) ดังภาพที่ 31

2.5 ปริมาณสารสี แคโรทีนอยด์ (mg/g) พบว่า สไปรูลิน่าสายพันธุ์ปกติที่เคยเพาะเลี้ยง มีค่าเท่ากับ 675.19±22.24 mg/g ซึ่งมีค่ามากกว่า สไปรูลิน่าที่มีถิ่นกำเนิดในมหาวิทยาลัยแม่โจ้ (591.43±46.56 mg/g) และสไปรูลิน่าที่มีถิ่นกำเนิดจากภาคกลางของประเทศไทย (519.16±12.60 mg/g) ตามลำดับอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) ภาพที่ 32

2.6 ปริมาณสารสี C-phycocyanin (mg/g) พบว่า สไปรูลิน่าที่มีถิ่นกำเนิดจากภาคกลางของประเทศไทย มีค่าเท่ากับ 9.45±0.84 mg/g และ สไปรูลิน่าที่มีถิ่นกำเนิดในมหาวิทยาลัยแม่โจ้ (9.36±0.55 mg/g) มีค่ามากกว่า สไปรูลิน่าสายพันธุ์ปกติที่เคยเพาะเลี้ยง (8.21±0.39 mg/g) ตามลำดับอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) ภาพที่ 33

2.7 วัตถุแห้ง (Dry matter basic;%) พบว่า สไปรูลิน่าสายพันธุ์ปกติที่เคยเพาะเลี้ยง มีค่าเท่ากับ 76.13±0.88% สไปรูลิน่าที่มีถิ่นกำเนิดจากภาคกลางของประเทศไทย มีค่าเท่ากับ 76.72±1.76% และสไปรูลิน่าที่มีถิ่นกำเนิดในมหาวิทยาลัยแม่โจ้ มีค่าเท่ากับ 75.39±1.17% และทั้ง 3 ชุดการทดลองไม่มีความแตกต่างทางสถิติ (ภาพที่ 34)

2.8 ความชื้น (%) พบว่า สไปรูลิน่าสายพันธุ์ปกติที่เคยเพาะเลี้ยง มีค่าเท่ากับ 23.87±0.89% สไปรูลิน่าที่มีถิ่นกำเนิดจากภาคกลางของประเทศไทย มีค่าเท่ากับ 23.28±1.77% และ สไปรูลิน่าที่มีถิ่นกำเนิดในมหาวิทยาลัยแม่โจ้ มีค่าเท่ากับ 24.61±1.17% และทั้ง 3 ชุดการทดลองไม่มีความแตกต่างทางสถิติ (ภาพที่ 35)

2.9 โปรตีน (%) พบว่า สไปรูลิน่าที่มีถิ่นกำเนิดในมหาวิทยาลัยแม่โจ้ มีค่าเท่ากับ 46.91±0.80% ซึ่งมีค่ามากกว่า สไปรูลิน่าที่มีถิ่นกำเนิดจากภาคกลางของประเทศไทย (43.85±0.54%) และ สไปรูลิน่าสายพันธุ์ปกติที่เคยเพาะเลี้ยง (42.49±1.27% ตามลำดับอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) ภาพที่ 36 และตารางภาคผนวกที่

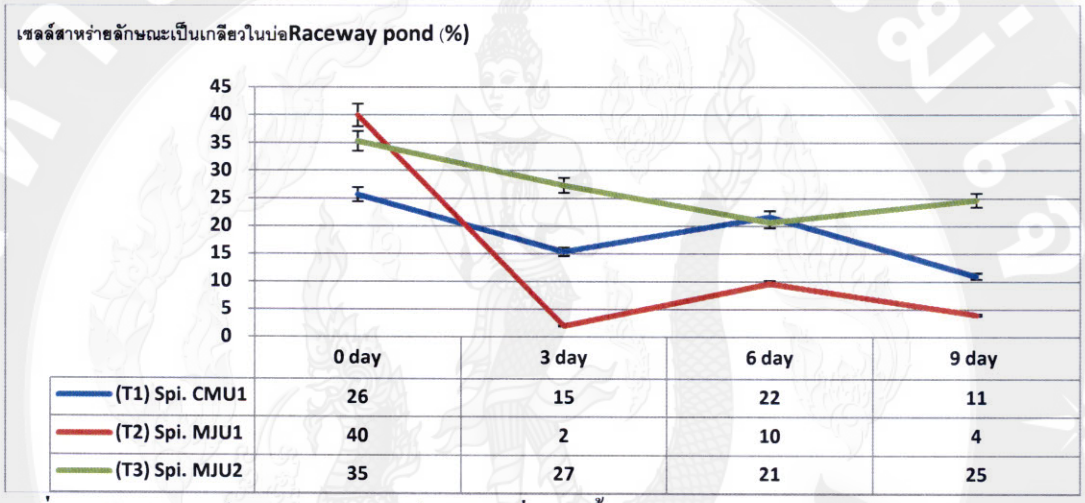
2.10 ไขมัน (%) พบว่า สไปรูลิน่าสายพันธุ์ปกติที่เคยเพาะเลี้ยง มีค่าเท่ากับ 3.17±0.88% สไปรูลิน่าที่มีถิ่นกำเนิดจากภาคกลางของประเทศไทย มีค่าเท่ากับ 3.18±1.76% และสไปรูลิน่าที่มีถิ่นกำเนิดในมหาวิทยาลัยแม่โจ้ มีค่าเท่ากับ 3.04±1.67% และทั้ง 3 ชุดการทดลองไม่มีความแตกต่างทางสถิติ (ภาพที่ 37

2.11 เถ้า (%) พบว่า สไปรูลิน่าสายพันธุ์ปกติที่เคยเพาะเลี้ยง มีค่าเท่ากับ 4.02±0.19% และสไปรูลิน่าที่มีถิ่นกำเนิดในมหาวิทยาลัยแม่โจ้ มีค่าเท่ากับ 3.96±0.16% ซึ่งมีค่ามากกว่า สไปรูลิน่าที่มีถิ่นกำเนิดจากภาคกลางของประเทศไทย (3.35±0.55%) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) ภาพที่ 38 และตารางภาคผนวกที่

2.12 เยื่อใย (%) พบว่า สไปรูลิน่าสายพันธุ์ปกติที่เคยเพาะเลี้ยง มีค่าเท่ากับ 1.97±0.03% ซึ่งมีค่ามากกว่า สไปรูลิน่าที่มีถิ่นกำเนิดในมหาวิทยาลัยแม่โจ้ (1.56±0.35%) และสไปรูลิน่าที่มีถิ่นกำเนิดจากภาคกลางของประเทศไทย (1.37±0.11%) ตามลำดับอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) ภาพที่ 39

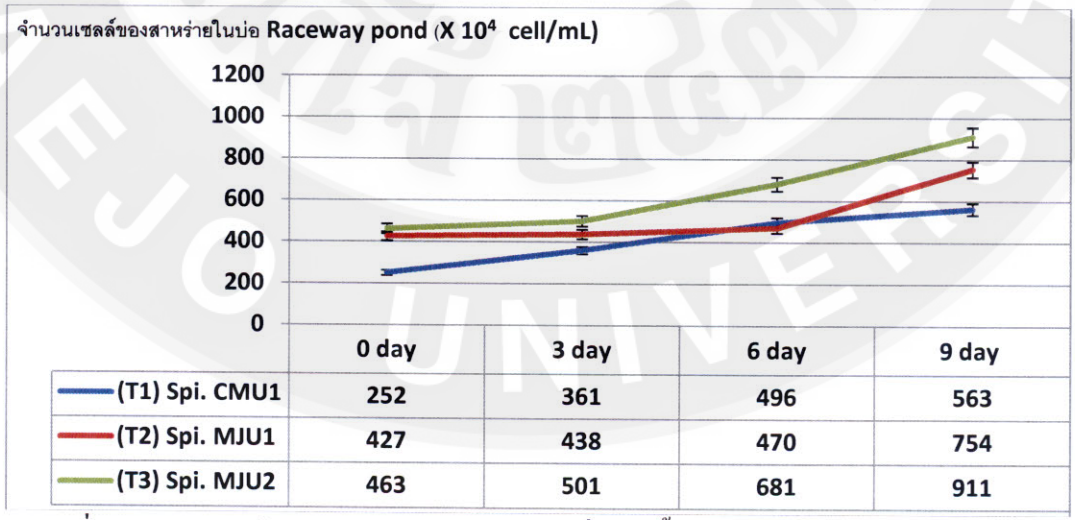
2.13 คาร์โบไฮเดรต (%) พบว่า สไปรูลิน่าที่มีถิ่นกำเนิดจากภาคกลางของประเทศไทย มีค่าเท่ากับ 24.97±1.46% และสไปรูลิน่าสายพันธุ์ปกติที่เคยเพาะเลี้ยง (24.48±1.44%) ซึ่งมีค่ามากกว่า สไปรูลิน่าที่มีถิ่นกำเนิดในมหาวิทยาลัยแม่โจ้ (19.93±1.69%) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) ภาพที่ 40

2.14 ต้นทุนผันแปรในการผลิตสาหร่ายแห้ง (บาท/กก.) พบว่า สไปรูลิน่าที่มีถิ่นกำเนิดในมหาวิทยาลัยแม่โจ้ มีค่าเท่ากับ 377.80±43.38 บาท/กิโลกรัม ซึ่งมีค่ามากกว่า สไปรูลิน่าสายพันธุ์ปกติที่เคยเพาะเลี้ยง (355.95±17.35 บาท/กิโลกรัม) และสไปรูลิน่าที่มีถิ่นกำเนิดจากภาคกลางของประเทศไทย (309.69±38.36 บาท/กิโลกรัม) ตามลำดับอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) ภาพที่ 41



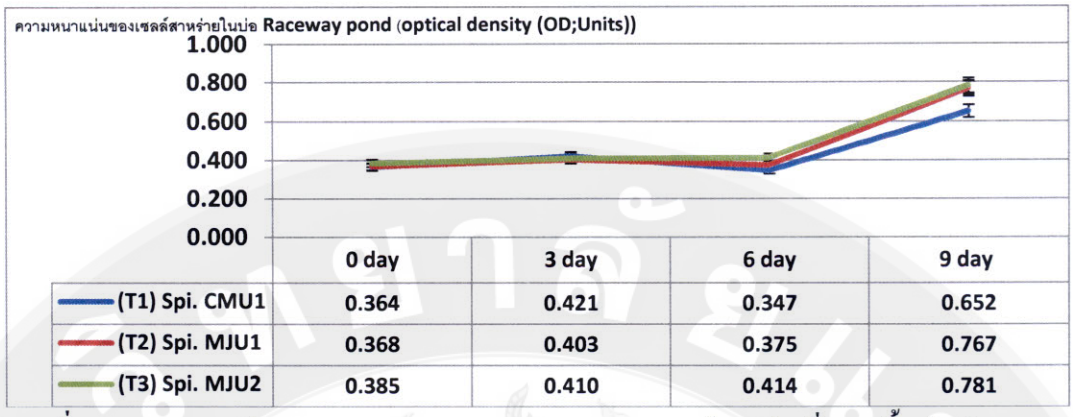
	0 day	3 day	6 day	9 day
(T1) Spi. CMU1	26	15	22	11
(T2) Spi. MJU1	40	2	10	4
(T3) Spi. MJU2	35	27	21	25

ภาพที่ 28 ปริมาณเซลล์สาหร่ายลักษณะเป็นเกลียวที่เพาะเลี้ยงในบ่อ raceway pond (%) แต่ละชุดการทดลอง พบว่า T3 Spi. MJU2 เซลล์สาหร่ายเป็นเกลียว มากกว่าสายพันธุ์อื่นๆ



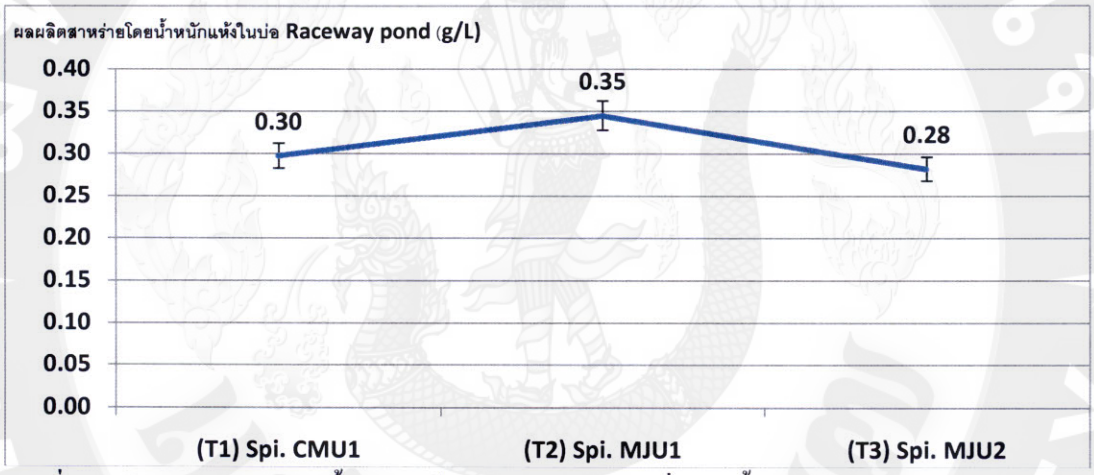
	0 day	3 day	6 day	9 day
(T1) Spi. CMU1	252	361	496	563
(T2) Spi. MJU1	427	438	470	754
(T3) Spi. MJU2	463	501	681	911

ภาพที่ 29 จำนวนเซลล์ (X 10^4 cell/mL) ของสาหร่ายที่เพาะเลี้ยงในบ่อ Raceway pond (%) แต่ละชุดการการทดลอง พบว่า T3 Spi. MJU2 มีจำนวนเซลล์ มากกว่าสายพันธุ์อื่นๆ

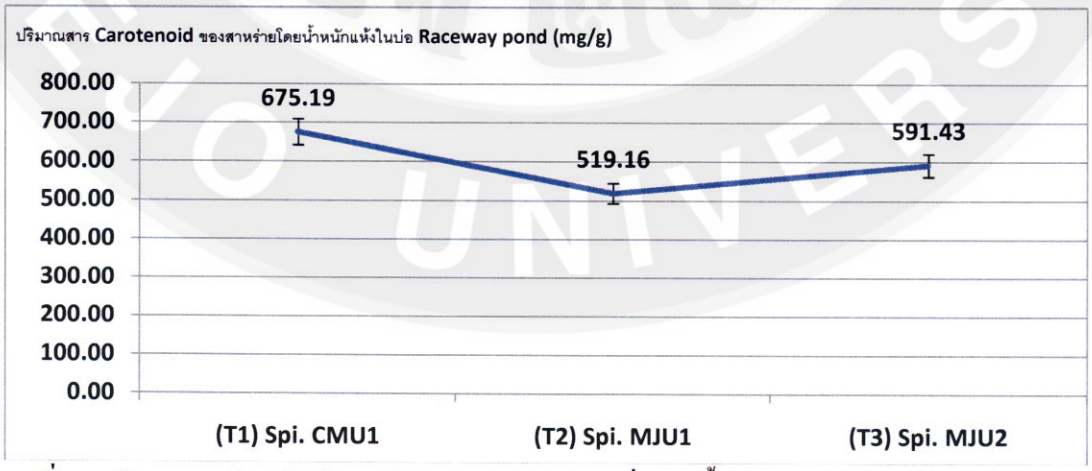


	0 day	3 day	6 day	9 day
(T1) Spi. CMU1	0.364	0.421	0.347	0.652
(T2) Spi. MJU1	0.368	0.403	0.375	0.767
(T3) Spi. MJU2	0.385	0.410	0.414	0.781

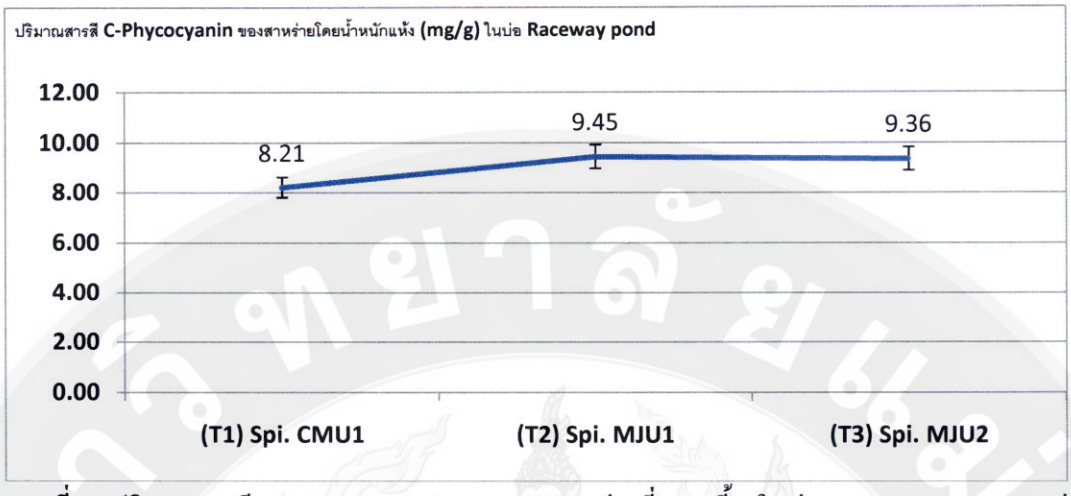
ภาพที่ 30 ความหนาแน่น (optical density; (OD; Units)) ของเซลล์สาหร่ายที่เพาะเลี้ยงในบ่อ Raceway pond (%) แต่ละชุดการการทดลอง พบว่า ค่า OD ใกล้เคียงกัน



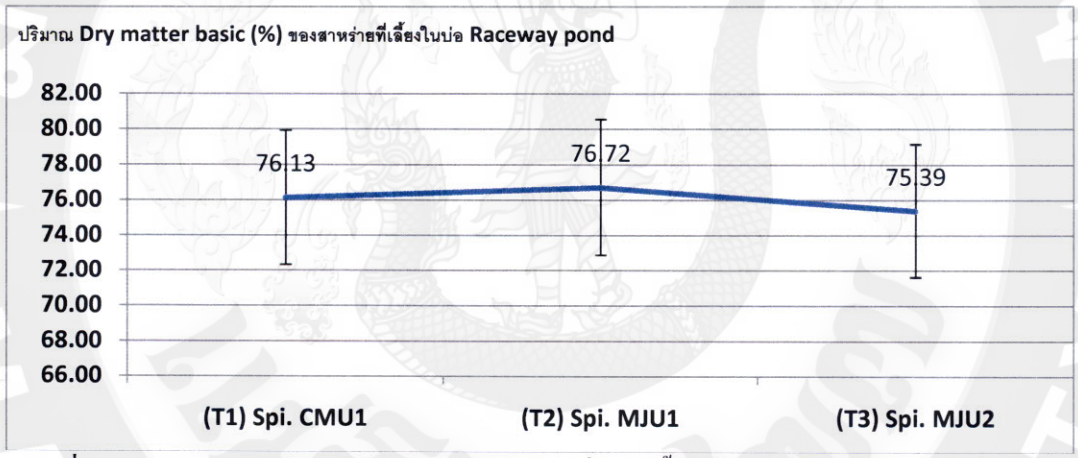
ภาพที่ 31 ปริมาณสาหร่ายโดยน้ำหนักแห้ง (g/L) ของสาหร่ายที่เพาะเลี้ยงในบ่อ Raceway pond (%) แต่ละชุดการการทดลอง พบว่า T2 Spi. MJU1 มีผลผลิตมากกว่าสายพันธุ์อื่นๆ



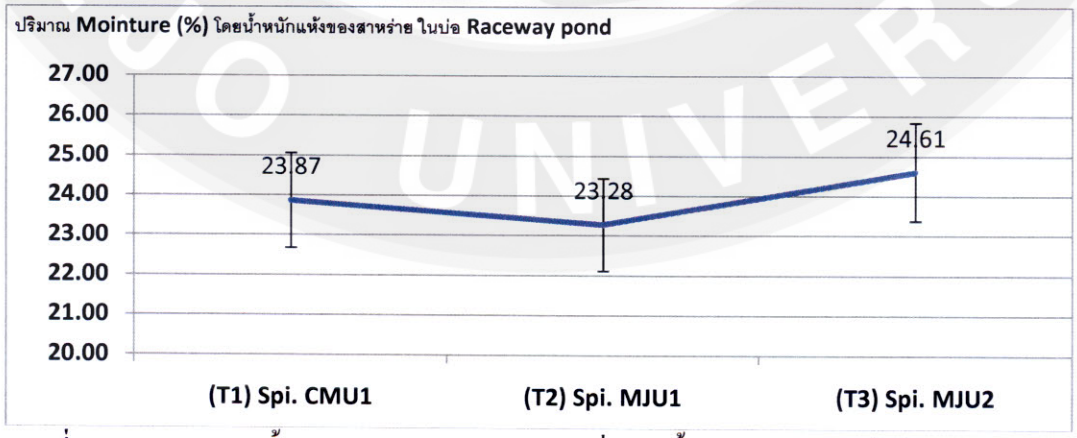
ภาพที่ 32 ปริมาณสารสี แคโรทีนอยด์ (mg/g) ของสาหร่ายที่เพาะเลี้ยงในบ่อ Raceway pond (%) แต่ละชุดการการทดลอง พบว่า T1 Spi.CMU1 มีแคโรทีนอยด์มากกว่าสายพันธุ์อื่นๆ



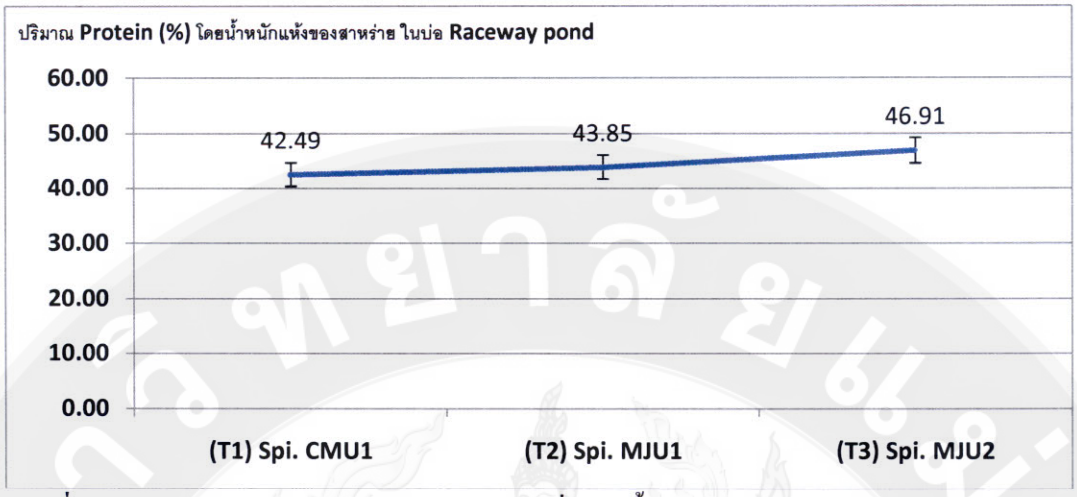
ภาพที่ 33 ปริมาณสารสี C-Phycocyanin (mg/g) ของสาหร่ายที่เพาะเลี้ยงในบ่อ Raceway pond (%) แต่ละชุดการการทดลอง พบว่า T2 Spi.MJU1 และ T3 Spi.MJU2 มากกว่าสายพันธุ์อื่นๆ



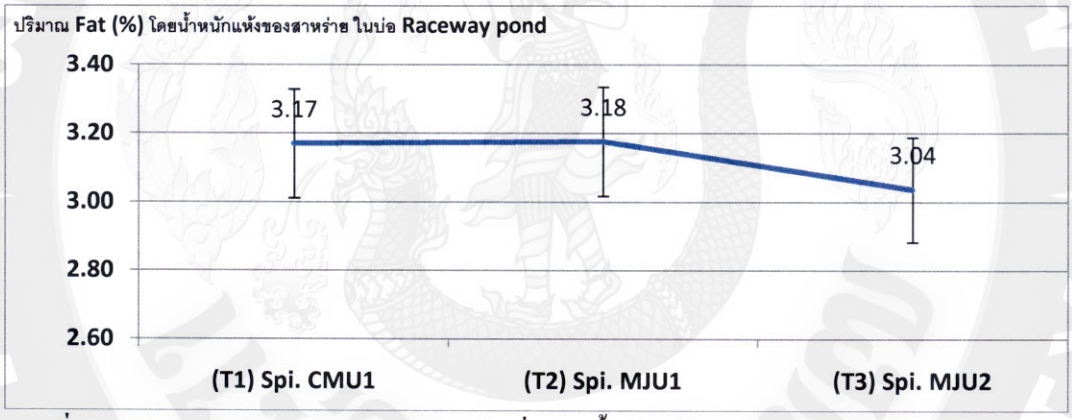
ภาพที่ 34 ปริมาณ Dry matter basic (%) ของสาหร่ายที่เพาะเลี้ยงในบ่อ Raceway pond (%) แต่ละ ชุดการการทดลอง พบว่า ไม่มีความแตกต่างทางสถิติ



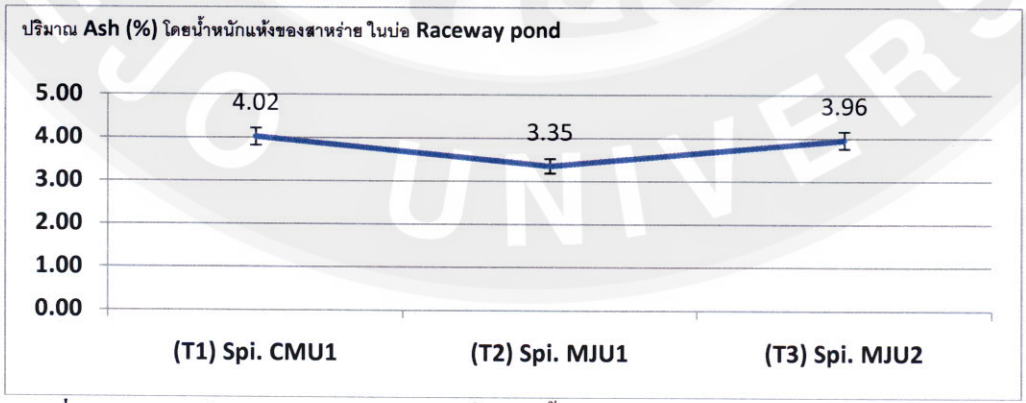
ภาพที่ 35 ปริมาณ ความชื้น (Mointure;%) ของสาหร่ายที่เพาะเลี้ยงในบ่อ Raceway pond (%) แต่ละชุดการการทดลอง พบว่า ไม่มีความแตกต่างทางสถิติ



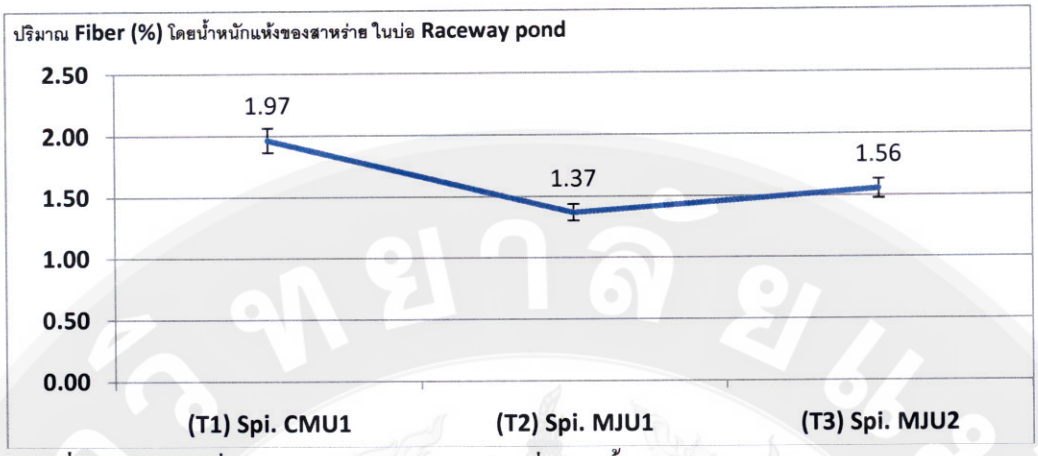
ภาพที่ 36 ปริมาณโปรตีน (Protein;%) ของสาหร่ายที่เพาะเลี้ยงในบ่อ Raceway pond (%) แต่ละชุดการการทดลอง พบว่า T3 Spi.MJU2 มากกว่าสายพันธุ์อื่นๆ



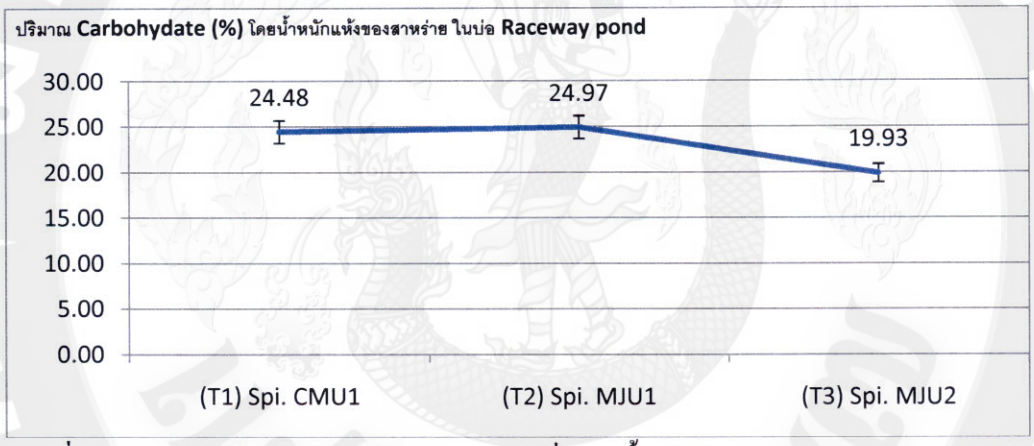
ภาพที่ 37 ปริมาณไขมัน (Fat;%) ของสาหร่ายที่เพาะเลี้ยงในบ่อ Raceway pond (%) แต่ละชุดการการทดลอง พบว่า ไม่มีความแตกต่างทางสถิติ



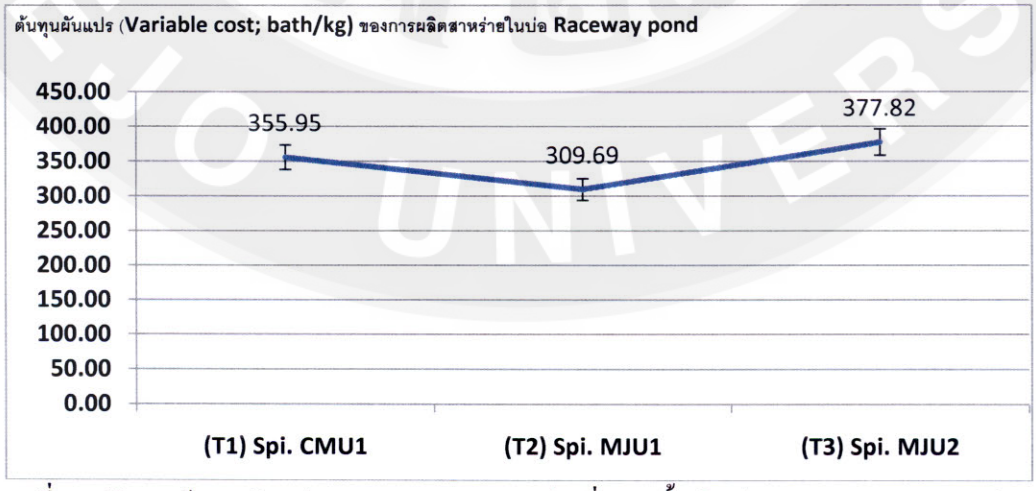
ภาพที่ 38 ปริมาณเถ้า (Ash;%) ของสาหร่ายที่เพาะเลี้ยงในบ่อ Raceway pond (%) แต่ละชุดการการทดลอง พบว่า T1 Spi.CMU1 และ T3 Spi.MJU2 มากกว่าสายพันธุ์อื่นๆ



ภาพที่ 39 ปริมาณเยื่อใย (Fiber;%) ของสาหร่ายที่เพาะเลี้ยงในบ่อ Raceway pond (%) แต่ละชุดการการทดลอง พบว่า T1 Spi.CMU1 มากกว่าสายพันธุ์อื่นๆ



ภาพที่ 40 ปริมาณคาร์โบไฮเดรต (%) ของสาหร่ายที่เพาะเลี้ยงในบ่อ Raceway pond (%) แต่ละชุดการการทดลอง พบว่า T1 Spi.CMU1 และ T2 Spi.MJU1 มากกว่าสายพันธุ์อื่นๆ



ภาพที่ 41 ปริมาณต้นทุนผันแปร (บาท/กก.) ของสาหร่ายที่เพาะเลี้ยงในบ่อ raceway pond (%) แต่ละชุดการการทดลอง พบว่า T1 Spi.CMU1 และ T3 Spi.MJU2 มากกว่าสายพันธุ์อื่นๆ

2.15 คุณภาพน้ำทางกายภาพและเคมี ของสาหร่ายที่เพาะเลี้ยงในบ่อ Raceway pond

ค่าเฉลี่ยอุณหภูมิของน้ำ มีค่าเท่ากับ 26.75±0.00 ^{0}C ค่าเฉลี่ยอุณหภูมิอากาศ มีค่าตั้งแต่ 25.42±0.43-25.58±0.29 ^{0}C ความเป็นกรด-ด่าง (pH) มีค่าตั้งแต่ 9.68±0.02-9.70±0.02 ออกซิเจนที่ละลายน้ำ (Dissolved oxygen) มีค่าตั้งแต่ 5.14±0.11-5.23±0.10 mg/L แอมโมเนีย-ไนโตรเจน (Ammonia-nitrogen; NH_3–N) มีค่าตั้งแต่ 0.56±0.04-0.57±0.05 mg/L ไนเตรท-ไนโตรเจน (Nitrate-nitrogen; NO_3–N) มีค่าตั้งแต่ 16.27±0.76-17.31±0.86 mg/L สารอินทรีย์-ไนโตรเจน (Organic-N) มีค่าตั้งแต่ 2.30±0.12-2.40±0.18 mg/L ฟอสฟอรัสรวม (total-phosphorus) มีค่าตั้งแต่ 2.85±0.12-3.02±0.16 mg/L และอัตราส่วน ไนโตรเจน/ฟอสฟอรัส มีค่าตั้งแต่ 6:1- 7:1 คุณภาพน้ำใน Raceway pond ในการเพาะเลี้ยงสาหร่ายสไปรูลิน่า ทั้ง 3 ชุดการทดลอง ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ (ตารางที่ 2)

ตารางที่ 2 แสดงค่าเฉลี่ยคุณภาพน้ำทางกายภาพ และเคมี ในการเพาะเลี้ยงสาหร่ายในบ่อ Raceway pond

Parameter	(T_1) Spi. CMU1	(T_2) Spi. MJU1	(T_3) Spi. MJU2
Air Tem.(^{0}C)	26.75±0.00^{ns}	26.75±0.00^{ns}	26.75±0.00^{ns}
water Tem.(^{0}C)	25.58±0.29^{ns}	25.42±0.43^{ns}	25.58±0.29^{ns}
pH	9.70±0.02^{ns}	9.68±0.02^{ns}	9.69±0.02^{ns}
DO (mg/L)	5.23±0.10^{ns}	5.14±0.11^{ns}	5.21±0.12^{ns}
NH_3 –N (mg/L)	0.57±0.05^{ns}	0.56±0.04^{ns}	0.57±0.02^{ns}
NO_3 –N (mg/L)	16.27±0.76^{ns}	16.56±0.98^{ns}	17.31±0.86^{ns}
Organic-N (mg/L)	2.39±0.26^{ns}	2.30±0.12^{ns}	2.40±0.18^{ns}
Total-P (mg/L)	2.98±0.10^{ns}	3.02±0.16^{ns}	2.85±0.12^{ns}
N:P	6 : 1	6 : 1	7 : 1

หมายเหตุ : ตัวอักษรภาษาอังกฤษที่แตกต่างกันในแนวนอน หมายความว่ามีความแตกต่างกันอย่างมี นัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) และ ns หมายความว่าไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p>0.05$)

ในปัจจุบันได้ อยู่ระหว่างการดำเนินการเตรียมหัวเชื้อสาหร่ายทั้ง 3 สายพันธุ์ เพื่อทดลองใน ระบบ photobioreacter ต่อไป ในปีงบประมาณ 2557

วิจารณ์ผลการวิจัย

1. การเพาะเลี้ยงสไปรูลิน่า แต่ละถิ่นกำเนิดในห้องปฏิบัติการ

โดยการเพาะเลี้ยงสาหร่ายสไปรูลินาดังกล่าวใช้สูตรอาหาร Zarrouk's medium ปรับปรุง มีส่วนประกอบของสารอาหาร ดังนี้ $NaHCO_3$ 6 กรัม / ลิตร $NaNO_3$ 1 กรัม / ลิตร NaCl 1 กรัม / ลิตร $MgSO_4$ 1 กรัม / ลิตร และ N:P:K (16:16:16) 0.6 กรัม / ลิตร (จงกล และคณะ, 2548) และ พบว่า สไปรูลิ

น่าที่มีถิ่นกำเนิดในมหาวิทยาลัยแม่โจ้ (T_3Spi. MJU2) มีปริมาณเซลล์สาหร่ายที่มีลักษณะเป็นเกลียว จำนวนเซลล์ ความหนาแน่นของเซลล์ ปริมาณผลผลิตโดยน้ำหนักแห้ง เท่ากับ 0.40 g/l และ ปริมาณสารสีแคโรทีนอยด์ มากกว่า สไปรูลิน่าสายพันธุ์ปกติที่เคยเพาะเลี้ยง (T_1Spi. CMU1) และสไปรูลิน่าที่มีถิ่นกำเนิดจากภาคกลางของประเทศไทย (T_2Spi. MJU1) และสูตรอาหารดังกล่าวมีการใช้โซเดียมไบคาร์บอเนต ($NaHCO_3$) เพื่อเป็นแหล่งคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) ทำให้สามารถรักษาระดับ pH อยู่ระหว่าง 8.5–10 ทำให้สาหร่ายสไปรูลิน่า เจริญได้ดี และไม่มีสิ่งมีชีวิตอื่นเจือปน (Nakamura, 1982 ; Vendataraman, 1983)

2. การเพาะเลี้ยงสไปรูลิน่า แต่ละถิ่นกำเนิด ในบ่อซีเมนต์กลม (Cement pond)

พบว่า สไปรูลิน่าที่มีถิ่นกำเนิดในมหาวิทยาลัยแม่โจ้ (T_3Spi. MJU2) มีปริมาณเซลล์ของสาหร่ายที่มีลักษณะเป็นเกลียว จำนวนเซลล์ ความหนาแน่นของเซลล์ ปริมาณผลผลิตโดยน้ำหนักแห้ง เท่ากับ 0.42±0.03 g/l ปริมาณสารสีแคโรทีนอยด์เท่ากับ 706.47±53.72 mg/g ปริมาณสารสี C-phycocyaninเท่ากับ 5.10 mg/g และ โปรตีนเท่ากับ 43.34±1.37% ซึ่งมากกว่า สไปรูลิน่าสายพันธุ์ปกติที่เคยเพาะเลี้ยง (T_1Spi. CMU1) และสไปรูลิน่าที่มีถิ่นกำเนิดจากภาคกลางของประเทศไทย (T_2Spi. MJU1) และค่าปริมาณสารสีแคโรทีนอยด์ ดีกว่าการเพาะเลี้ยงสาหร่าย *Spirulina* ที่ความเข้มข้นของน้ำทิ้งหอพักนักศึกษาที่ความเข้มข้น 70 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งมีค่าสารสีแคโรทีนอยด์โดยน้ำหนักแห้ง 187.89 mg/g (จงกล, 2545) แต่สไปรูลิน่าที่มีถิ่นกำเนิดจากภาคกลางของประเทศไทย (T_2Spi. MJU1) มีต้นทุนผันแปรในการผลิตสาหร่ายแห้ง มีค่าเท่ากับ 517.13±27.73 บาท/กิโลกรัม มีปริมาณเถ้าเท่ากับ 3.95±0.26% เยื่อใย 1.89±0.06% คาร์โบไฮเดรต มีค่าเท่ากับ 31.48±1.14% ซึ่งมีค่ามากกว่าสไปรูลิน่าสายพันธุ์ปกติที่เคยเพาะเลี้ยง (T_1Spi. CMU1) และสไปรูลิน่าที่มีถิ่นกำเนิดในมหาวิทยาลัยแม่โจ้ (T_3Spi. MJU2) และสไปรูลิน่าสายพันธุ์ปกติที่เคยเพาะเลี้ยง (T_1Spi. CMU1) มีค่าวัตถุแห้ง (Dry matter basic) เท่ากับ 71.11±1.32% ความชื้นเท่ากับ 28.89±1.32% ไขมัน เท่ากับ 2.28±0.40% ซึ่งมากกว่า สไปรูลิน่าที่มีถิ่นกำเนิดจากภาคกลาง (T_2Spi. MJU1) และสไปรูลิน่าที่มีถิ่นกำเนิดในมหาวิทยาลัยแม่โจ้ (T_3Spi. MJU2) และมีคุณค่าทางโภชนาการของสาหร่ายสไปรูลิน่า ใกล้เคียงกับ การเพาะเลี้ยงสาหร่ายสไปรูลินาในสูตรอาหาร Zarrouk's medium ปรับปรุง และนำไปแห้งโดยวิธีการต่างๆ: อบที่อุณหภูมิ 30 องศา 40 องศา 50 องศา ตากแดด และการพ่นแห้งแบบ spray dry มีคุณค่าทางโภชนาการ ค่าเฉลี่ยดังนี้ โปรตีน 47.45 -54.66% ไขมัน 1.01-2.43% คาร์โบไฮเดรต 26.68-40.78% ความชื้น 3.93 -14.84% เถ้า 3.60-4.95% เยื่อใย 2.09-3.09% และ carotenoids 264.23-518.54 mg/g (Promya and Traichaiyapore, 2001)

3. การเพาะเลี้ยงสไปรูลิน่า แต่ละถิ่นกำเนิด ในบ่อ Raceway pond

พบว่า สไปรูลิน่าที่มีถิ่นกำเนิดในมหาวิทยาลัยแม่โจ้ (T_3Spi. MJU2) มีปริมาณเซลล์สาหร่ายที่เป็นเกลียว มีจำนวนเซลล์ทั้งหมดอยู่ระหว่าง 252 $x10^4$ - 911$x10^4$ cell/mL มีความหนาแน่นของเซลล์ (OD) อยู่ระหว่าง 0.348-0.781 มีโปรตีนสูงเท่ากับ 46.91±0.80% และต้นทุนผันแปรของสาหร่ายแห้ง 377.80±43.38 บาท/กิโลกรัม ซึ่งมีค่ามากกว่า สไปรูลิน่าสายพันธุ์ปกติที่เคยเพาะเลี้ยง (T_1Spi.CMU1) และสไปรูลิน่าที่มีถิ่นกำเนิดจากภาคกลางของประเทศไทย (T_2Spi.MJU1) ซึ่งการเพาะเลี้ยงสาหร่าย สามารถทำได้หลายวิธีด้วยกัน

แต่สามารถแบ่งการเพาะเลี้ยงแบบกว้าง ๆ ได้ 2 แบบ คือ การเพาะเลี้ยงในระบบปิด (close system) และระบบเปิด (open system) แต่ในการผลิตมวลชีวภาพ จากสาหร่ายในระดับอุตสาหกรรมปัจจุบันนิยมใช้การเพาะเลี้ยงในระบบบ่อเปิด (open pond) และบ่อเปิดแบบลู่วิ่ง (raceway pond) สามารถผลิตสาหร่ายที่มีต้นทุนไม่สูงมาก (Milledge, 2010) และจากการวิจัยสาหร่ายมีจำนวนเซลล์ และความหนาแน่นของเซลล์ (OD) ใกล้เคียงกับ การเพาะเลี้ยง *Spirulina platensis* ในสูตรอาหาร Zarrouk's medium ปรับปรุง (ชุดควบคุม) มีจำนวนเซลล์อยู่ระหว่าง 240 $x10^4$ - $880x10^4$cell/mL และความหนาแน่นของเซลล์ อยู่ระหว่าง 0.348-0.710 (ศิริพร และคณะ2556) และมีปริมาณโปรตีนของสาหร่ายใกล้เคียงกับ การเพาะเลี้ยงสาหร่าย *Spirulina* ในน้ำทิ้งจากโรงอาหารที่ระดับความเข้มข้นของน้ำทิ้ง 100% โปรตีน 48 เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนักแห้ง (Promya *et al.*, 2006) แต่สไปรูลิน่าที่มีถิ่นกำเนิดจากภาคกลางของประเทศไทย (T_2Spi.MJU1) มีผลผลิตของสาหร่ายโดยน้ำหนักแห้งเท่ากับ 0.35±0.05 g/l ปริมาณสารสี C-phycocyanin เท่ากับ 9.45±0.84 mg/g ความชื้น เท่ากับ 23.87±0.89% คาร์โบไฮเดรต เท่ากับ 24.97±1.46% ซึ่งมากกว่า สไปรูลิน่าสายพันธุ์ปกติที่เคยเพาะเลี้ยง (T_1Spi. CMU1) และสไปรูลิน่าที่มีถิ่นกำเนิดในมหาวิทยาลัยแม่โจ้ (T_3Spi.MJU2) แต่สไปรูลิน่าสายพันธุ์ปกติที่เคยเพาะเลี้ยง (T_1Spi.CMU1) มีปริมาณสารสี แคโรทีนอยด์ เท่ากับ 675.19±22.24 mg/g วัตถุแห้ง (Dry matter basic) มีค่าเท่ากับ 76.13±0.88% ไขมันเท่ากับ 3.17±0.88% เถ้าเท่ากับ 4.02±0.19% เยื่อใยเท่ากับ 1.97±0.03% ซึ่งมีค่ามากกว่า สไปรูลิน่าที่มีถิ่นกำเนิดในมหาวิทยาลัยแม่โจ้ (T_3Spi. MJU2) และสไปรูลิน่าที่มีถิ่นกำเนิดจากภาคกลางของประเทศไทย (T_2Spi. MJU1)

4. คุณภาพน้ำทางกายภาพ และเคมี ของสาหร่ายที่เพาะเลี้ยง ในบ่อซีเมนต์กลม และบ่อเปิดแบบลู่วิ่ง (raceway pond) มีคุณภาพน้ำใกล้เคียงกันดังนี้

ค่าเฉลี่ยอุณหภูมิของน้ำ มีค่าเท่ากับ 26.75±0.00 ^{0}C ค่าเฉลี่ยอุณหภูมิอากาศ มีค่าตั้งแต่ 25.42±0.43-25.58±0.29 ^{0}C ความเป็นกรด-ด่าง (pH) มีค่าตั้งแต่ 9.68±0.02-9.71±0.02 ออกซิเจนที่ละลายน้ำ (Dissolved oxygen) มีค่าตั้งแต่ 5.50±0.24-5.54±0.12 mg/L แอมโมเนีย-ไนโตรเจน (Ammonia-nitrogen; NH_3–N) มีค่าตั้งแต่ 0.58±0.02-0.62±0.03 mg/L ไนเตรท-ไนโตรเจน (Nitrate-nitrogen; NO_3–N) มีค่าตั้งแต่ 14.05±0.58-14.64±0.82 mg/L สารอินทรีย์-ไนโตรเจน (Organic-N) มีค่าตั้งแต่ 2.05±0.06-2.17±0.03 mg/L ฟอสฟอรัสรวม (total-phosphorus) มีค่าตั้งแต่ 2.47±0.11-2.74±0.14 mg/L และอัตราส่วน ไนโตรเจน/ ฟอสฟอรัส มีค่าตั้งแต่ 6:1- 7:1 คุณภาพน้ำในการเพาะเลี้ยงสาหร่ายสไปรูลิน่า ทั้ง 3 การทดลอง และค่าต่างๆ อยู่ในเกณฑ์มาตรฐานของการเพาะเลี้ยงสไปรูลิน่า เช่น อุณหภูมิอยู่ระหว่าง 15–50 องศาเซลเซียส และ pH ที่เหมาะสมสำหรับ *S. platensis* คือ 9.5–10 (จงกล, 2543) และอัตราส่วนของ N:P เท่ากับ 7-8 : 1 (Traichaiyaporn, 2000)

สรุปผลการวิจัย

การเพาะเลี้ยงสไปรูลิน่า แต่ละถิ่นกำเนิด ในห้องปฏิบัติการ บ่อซีเมนต์กลม และบ่อแบบลู่วิ่ง (raceway pond) พบว่า T_3Spi.MJU2 ที่เพาะเลี้ยงในห้องปฏิบัติการ และบ่อซีเมนต์กลม มีปริมาณเซลล์สาหร่ายที่มีลักษณะเป็นเกลียว จำนวนเซลล์ ความหนาแน่นของเซลล์ ผลผลิตโดยน้ำหนักแห้ง 0.40-0.42 g/l สารสีแคโรทีนอยด์ 706.47±53.72 mg/g มากกว่า T_1Spi.CMU1 และ T_2Spi. MJU1 แต่ การเพาะเลี้ยงสไปรูลิน่า (T_3Spi.MJU2) ในบ่อซีเมนต์แบบ raceway pond พบว่ามีโปรตีน 46.91±0.80% และ มีสารสี C-phycocyanin 9.36±0.55 mg/g มากกว่า T_1Spi.CMU1 และT_2Spi. MJU1

คุณภาพน้ำทางกายภาพ และเคมี ของสาหร่ายที่เพาะเลี้ยง เช่น อุณหภูมิของน้ำ มีค่าเท่ากับ 26.75±0.00 ^{0}C อุณหภูมิอากาศ มีค่าตั้งแต่ 25.42±0.43-25.58±0.29 ^{0}C ความเป็นกรด-ด่าง (pH) มีค่าตั้งแต่ 9.68±0.02-9.71±0.02 ออกซิเจนที่ละลายน้ำ (Dissolved oxygen) มีค่าตั้งแต่ 5.50±0.24-5.54±0.12 mg/L แอมโมเนีย-ไนโตรเจน (Ammonia-nitrogen; NH_3–N) มีค่าตั้งแต่ 0.58±0.02-0.62±0.03 mg/L ไนเตรท-ไนโตรเจน (Nitrate-nitrogen; NO_3–N) มีค่าตั้งแต่ 14.05±0.58-14.64±0.82 mg/L สารอินทรีย์-ไนโตรเจน (Organic-N) มีค่าตั้งแต่ 2.05±0.06-2.17±0.03 mg/L ฟอสฟอรัสรวม (total-phosphorus) มีค่าตั้งแต่ 2.47±0.11-2.74±0.14 mg/L และค่าต่างๆ อยู่ในเกณฑ์มาตรฐานของการเพาะเลี้ยงสาหร่าย

คำขอบคุณ

ทุนสนับสนุนการวิจัย จากสำนักวิจัยและส่งเสริมวิชาการ การเกษตร มหาวิทยาลัยแม่โจ้ สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ (วช.) และคณะเทคโนโลยีการประมง และทรัพยากรทางน้ำ มหาวิทยาลัยแม่โจ้ อำเภอสันทราย จังหวัดเชียงใหม่

เอกสารอ้างอิง

จงกล พรมยะ. 2543(ก). การเพาะเลี้ยงสาหร่าย *Spirulina platensis* ในน้ำทิ้งจากบ่อหมักก๊าซชีวภาพมูลสุกร. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต ภาควิชาชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.

จงกล พรมยะ 2543. การเพาะเลี้ยงสาหร่าย *Spirulina* ในน้ำทิ้งจากบ่อหมักก๊าซชีวภาพมูลสุกร. วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต สาขาชีววิทยา มหาวิทยาลัยเชียงใหม่. 2545. รายงานผลงานวิจัย การเพาะเลี้ยงสาหร่าย *Spirulina platensis* (Nordsted) Geiteler เพื่อปรับปรุงคุณภาพน้ำจากบ่อบำบัดน้ำเสียจากหอพักนักศึกษา มหาวิทยาลัยแม่โจ้. เชียงใหม่.

จงกล พรมยะ. 2545. การเพาะเลี้ยงสาหร่าย *Spirulina platensis* เพื่อปรับปรุงคุณภาพน้ำจากบ่อบำบัดน้ำเสียหอพักนักศึกษามหาวิทยาลัยแม่โจ้. รายงานการวิจัยมหาวิทยาลัยแม่โจ้. เชียงใหม่

จงกล พรมยะ และขจรเกียรติ แซ่ตัน. 2548. การเพาะเลี้ยงสาหร่ายสไปรูลินาเพื่อสุขภาพ.ภาคเทคโนโลยีการประมง คณะผลิตกรรมการเกษตร มหาวิทยาลัยแม่โจ้ เชียงใหม่

จงกล พรมยะและศิริเพ็ญ ตรัยไชยาพร. 2553. การผลิตรงควัตถุ กรดไขมัน คุณค่าทางโภชนาการและต้นทุนการผลิต ในการเพาะเลี้ยง *Spirulina plateneis* (Nordtedt) Geiteler : โดยใช้น้ำทิ้งจากโรงอาหาร. วารสารวิจัยคณะเทคโนโลยีการประมง, ปีที่ 4 ฉบับที่ 2. 44 – 53

ลัดดา วงศ์รัตน์. 2539. การศึกษาความหลากหลายของแพลงก์ตอนในประเทศไทย. เอกสารสืบเนื่องจากการสัมมนาเรื่อง ความหลากหลายทางชีวภาพ – การใช้ประโยชน์ – การอนุรักษ์ – การวิจัย 20 – 22 กันยายน 2539, โครงการจัดตั้งศูนย์ศึกษาความหลากหลายทางชีวภาพ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, หน้า 147 – 164.

ลัดดา วงศ์รัตน์. 2542. แพลงก์ตอนพืช. กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

มารศรี เรืองจิตชัชวาล. 2549. สาหร่ายสไปรูลินา. สายวิชาเทคโนโลยีชีวภาพ. กรุงเทพฯ: คณะทรัพยากรชีวภาพและเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี. 35 น.

วุฒิพร พรหมขุนทอง และอัญชลี พิพัฒนวัฒนากุล .2548. ผลของสาหร่ายสไปรูไลนาต่อการเจริญเติบโต และระดับแอนติบอดี ในปลาดุกพันธุ์ผสม (*Clarias macrocephalus* x *Clarias gariepinus* (Burchell) วารสาร สงขลานครินทร์ วิทยาศาสตร์เทคโนโลยี ปีที่ 27 (ฉบับพิเศษ 1) 115-132.

ศิรินภา พงษ์พีระ และสุมนทิพย์ บุณนาค. 2552. การบำบัดน้ำทิ้งจากโรงงานผลิตเส้นขนมจีนโดยใช้สไปรูไลน่า (*Spirulina* sp.) และ คลอเรลลา (*Chlorella* sp.) วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต ภาควิชาชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น ขอนแก่น

ศิริพร ชูเชิด, ขจรเกียรติ์ ศรีนวลสม, สิทธิชัย พัฒนเกียรติชีวิน, จงกล พรมยะ,บัญญัติ มนเทียรอาสน์, ศิริเพ็ญ ตรัยไชยาพร. 2556. การเพาะเลี้ยงสาหร่ายสไปรูลิน่า (*Spirulinaplatensis*) ในสูตรอาหารน้ำหมักต้นทุนต่ำ. วารสารวิจัยเทคโนโลยีการประมง ปีที่ 4 ฉบับที่ 2 กรกฎาคม – ธันวาคม 2553. หน้า 26-33.

ศิริเพ็ญ ตรัยไชยาพร. 2537. สาหร่ายวิทยาประยุกต์. ภาควิชาชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ เชียงใหม่.

ศิริเพ็ญ ตรัยไชยาพร. 2543. การวิเคราะห์คุณภาพน้ำ. พิมพ์ครั้งที่ 2. เชียงใหม่: ภาควิชาชีววิทยา, คณะวิทยาศาสตร์, มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.

สมศักดิ์ วรคามิน. 2547. สาหร่ายอาหารของอนาคต. กรุงเทพฯ: มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ 62 น.

ยุวดี พีรพรพิศาล. 2546. สาหร่ายสไปรูลิน่า. สถาบันวิจัยและพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเชียงใหม่. 76 หน้า.

อมรรัตน์ เสริมวัฒนากุลและบุษกร บำรุงธรรม. 2543. อาหารปลาสวยงาม. สถาบันวิจัยสัตว์น้ำสวยงามและสถานที่แสดงพันธุ์สัตว์น้ำ. กรุงเทพฯ. 16 - 19 หน้า.

AOAC. 1990. Official Method of Analysis of the Association of official Analytical CheMists. Washington D.C. 1015p.

Bhattacharya, S. and Shivaprakash, MK. 2006. Evaluation of three *Spirulina* species grown under similar conditions for their growth and biochemicals. J Sci Food Agric 85:333–336.

Bold, H.C. and M.J. Wynne. 1978. Introduction to the Algae. Structure and Reproduction. Prentice Hall of India Private Limited, New Delhi.

Chenliang Yang, Hong Liu, Ming Li, Chengying Yu, Gurevich Yu.Treating urine by *Spirulina platensis*. *ActaAstronautica, Volume 63, Issues 7–10, October–November 2008, Pages 1049-1054*

Chisti, Y.2007. Bio-oil from microalgae. Biotechnology Advances, 25: 294-306.

Lee, Y.2001.Microalgal mass culture systems and methods : Their limitation and potential. Journal of Applied Phycology, 13 : 307 315.

Milledge, J.J.2010. Commercial application of microalgae other than as biofuels : a brief review. Review in Environmental Science Biotechnology. Publish online 19 August 2010.

Nakamura, H. 1982. *Spirulina* : Food for Hungry World. University of the Tress. Prss, Boulder Creek., 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[c], Bioresour. Technol., 77, 19– 24.

Peerapornpisal, Y., Pekkoh, J., Powangprasit, D., Tonkamdee, T., Hongsirichat, A. and Kunpradid, T. 2007. Assessment of water quality in standing water by using dominant phytoplankton (AARL-PP Score). Journal of Fisheries Technology Resarch, 1(1) : 71-81.

Phang. Siew-Moi, M. S. Miah, B. G. Yeoh, and M. A. Hashim.2000. "*S. platensis* production in a highrate pond treating sago starch factory wastewater", *Proc. 4th Asia-Pacific Conference on Algal Biotechnology*, Hong Kong.

Promya J. and S. Traichaiyapore. 2001. Some nutritional value of *Spirulina platensis* cultivated in waste water from pig manure biogas digester, 26th congresson and Technology of Thailand 18-20 October 2000 Queen Sirikit Wational convention center, Bangkok, Thailand.

Promya j., S. Traichaiyaporn and R. L. Deming. 2006. Phytoremediation of domestic and industrial wastewater by *Spirulina platensis* (Nordstedt) Geiteler, 40th Western Regional Meeting American Chemical Society , 22-25 January 2006 Double Tree Hotel Anaheim/ Orange, CA, USA.

Siangdung, W., Bunnag, B. and Tanticharoen, M. 1996. Effect of temperature and NAD on D – 12 desaturase of *Spirulina platensis*. Poster present at the 1st European Phycological Congress, Aug 11 – 18, 1996, Cologne, Germany.

Traichaiyaporn. S. 2000. "Water quality analysis" (a textbook in Thai), Department of Biology, Faculty of Science, Chiang Mai University.

Venkataraman, L.V. (1983). A monograph on *Spirulina platensis*. Central Food Technological Research Institute, Mysore .

ภาคผนวก

ตารางภาคผนวกที่ 1 ผลการวิเคราะห์ปริมาณเซลล์สาหร่ายที่มีลักษณะเป็นเกลียว(%) ของสาหร่ายที่เพาะเลี้ยงในที่เพาะเลี้ยงในห้องปฏิบัติการแต่ละชุดการทดลอง

Treatment	0 day	3 day	6 day	9 day
T_1 Spi. CMU1	11.00 ± 1.53^{b}	99.00 ± 0.58^{a}	9.00 ± 1.00^{b}	13.00 ± 1.00^{ns}
T_2 Spi. MJU1	3.00 ± 1.53^{c}	93.00 ± 3.06^{b}	7.00 ± 2.52^{b}	15.00 ± 3.46^{ns}
T_3 Spi. MJU2	31.00 ± 7.00^{a}	95.00 ± 2.08^{b}	28.00 ± 1.53^{a}	11.00 ± 1.15^{ns}

หมายเหตุ : ตัวอักษรภาษาอังกฤษที่แตกต่างกันในแนวตั้ง หมายความว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) และns หมายความว่าไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p>0.05$)

ตารางภาคผนวกที่ 2 ผลการวิเคราะห์ จำนวนเซลล์ของสาหร่าย (x 10^4 cell/mL) ของสาหร่ายที่ เพาะเลี้ยงในห้องปฏิบัติการ แต่ละชุดการทดลอง

Treatment	0 day	3 day	6 day	9 day
T_1 Spi. CMU1	23.83 ± 1.88^{d}	76.17 ± 1.88^{a}	0.48 ± 0.06^{d}	1.13 ± 0.18^{c}
T_2 Spi. MJU1	63.42 ± 0.38^{b}	36.58 ± 0.38^{c}	0.22 ± 0.09^{e}	1.02 ± 0.03^{c}
T_3 Spi. MJU2	65.07 ± 1.36^{b}	34.93 ± 1.36^{c}	6.52 ± 0.12^{a}	2.66 ± 0.13^{a}

หมายเหตุ : ตัวอักษรภาษาอังกฤษที่แตกต่างกันในแนวตั้ง หมายความว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) และns หมายความว่าไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p>0.05$)

ตารางภาคผนวกที่ 3 ผลการวิเคราะห์ค่าความหนาแน่น (optical density;Units) ของสาหร่ายที่เพาะเลี้ยงในห้องปฏิบัติการแต่ละชุดการทดลอง

Treatment	0 day	3 day	6 day	9 day
T_1 Spi. CMU1	11.00 ± 1.53^{b}	99.00 ± 0.58^{a}	9.00 ± 1.00^{d}	13.00 ± 1.00^{c}
T_2 Spi. MJU1	3.00 ± 1.53^{c}	93.00 ± 3.06^{b}	7.00 ± 2.52^{e}	15.00 ± 3.46^{c}
T_3 Spi. MJU2	31.00 ± 7.00^{a}	95.00 ± 2.08^{b}	28.00 ± 1.53^{a}	11.00 ± 1.15^{a}

หมายเหตุ : ตัวอักษรภาษาอังกฤษที่แตกต่างกันในแนวตั้ง หมายความว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) และns หมายความว่าไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p>0.05$)

ตารางภาคผนวกที่ 4 ผลการวิเคราะห์ ปริมาณผลผลิตของสาหร่ายแห้ง และปริมาณสารสีแคโรทีนอยด์ ของสาหร่ายโดยน้ำหนักแห้ง ที่เพาะเลี้ยงในห้องปฏิบัติการแต่ละชุดการทดลอง

Treatment	T_1 Spi. CMU1	T_2 Spi. MJU1	T_3 Spi. MJU2
Dried *Spirulina* (g/L)	0.36 ± 0.02^{b}	0.26 ± 0.01^{c}	0.40 ± 0.02^{a}
Carotenoid (mg/g)	558.54 ± 30.12^{b}	555.54 ± 29.09^{b}	706.47 ± 53.72^{a}

หมายเหตุ : ตัวอักษรภาษาอังกฤษที่แตกต่างกันในแนวตั้ง หมายความว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) และns หมายความว่าไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p>0.05$)

ตารางภาคผนวกที่ 5 ผลการวิเคราะห์ปริมาณเซลล์สาหร่ายที่มีลักษณะเป็นเกลียว(%) ของสาหร่ายที่เพาะเลี้ยงในที่เพาะเลี้ยงในบ่อซีเมนต์กลม แต่ละชุดการทดลอง

Treatment	0 day	3 day	6 day	9 day
(T_1) Spi. CMU1	11.00 ± 1.53^{b}	99.00 ± 0.58^{ns}	21.00 ± 2.232^{b}	13.00 ± 1.00^{b}
(T_2) Spi. MJU1	3.00 ± 1.53^{c}	93.00 ± 3.06^{ns}	9.00 ± 4.510^{c}	15.00 ± 3.46^{ab}
(T_3) Spi. MJU2	31.00 ± 7.00^{a}	95.00 ± 2.08^{ns}	28.00 ± 1.53^{a}	20.00 ± 13.28^{a}

หมายเหตุ : ตัวอักษรภาษาอังกฤษที่แตกต่างกันในแนวตั้ง หมายความว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) และns หมายความว่าไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p>0.05$)

ตารางภาคผนวกที่ 6 ผลการวิเคราะห์ จำนวนเซลล์ของสาหร่าย (x 10^4 cell/mL) ของสาหร่ายที่เพาะเลี้ยงในที่เพาะเลี้ยงในบ่อซีเมนต์กลม แต่ละชุดการทดลอง

Treatment	0 day	3 day	6 day	9 day
(T_1) Spi. CMU1	201.00 ± 45.00^{ns}	331.00 ± 46.00^{ns}	813.00 ± 91.00^{b}	$1,150.00\pm44.00^{b}$
(T_2) Spi. MJU1	307.00 ± 34.00^{ns}	269.00 ± 88.00^{ns}	892.00 ± 19.00^{b}	$1,097.00\pm42.00^{b}$
(T_3) Spi. MJU2	331.00 ± 52.00^{ns}	391.00 ± 25.00^{ns}	$1,241.00\pm123.00^{a}$	$1,504.00\pm200.00^{a}$

หมายเหตุ : ตัวอักษรภาษาอังกฤษที่แตกต่างกันในแนวตั้ง หมายความว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) และns หมายความว่าไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p>0.05$)

ตารางภาคผนวกที่ 7 ผลการวิเคราะห์ค่าความหนาแน่น (optical density;Units) ของสาหร่ายที่เพาะเลี้ยงในที่เพาะเลี้ยงในบ่อซีเมนต์กลม แต่ละชุดการทดลอง

Treatment	0 day	3 day	6 day	9 day
(T_1) Spi. CMU1	0.360 ± 0.02^{ns}	0.365 ± 0.003^{ns}	0.442 ± 0.017^{b}	0.739 ± 0.029^{ns}
(T_2) Spi. MJU1	0.365 ± 0.006^{ns}	0.352 ± 0.009^{ns}	0.452 ± 0.012^{b}	0.745 ± 0.003^{ns}
(T_3) Spi. MJU2	0.370 ± 0.003^{ns}	0.405 ± 0.030^{ns}	0.567 ± 0.071^{a}	0.820 ± 0.045^{ns}

หมายเหตุ : ตัวอักษรภาษาอังกฤษที่แตกต่างกันในแนวตั้ง หมายความว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) และ ns หมายความว่าไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p>0.05$)

ตารางภาคผนวกที่ 8 การวิเคราะห์ ผลผลิต ปริมาณสารสี และ ต้นทุนผันแปรในการผลิตสาหร่าย โดยน้ำหนักแห้ง ของสาหร่ายที่เพาะเลี้ยงในบ่อซีเมนต์กลม แต่ละชุดการทดลอง

Treatment	Dry weight (g/L)	Carotenoids (mg/g)	C-phycocyanin (mg/g)	Variable cost (bath/Kg)
(T_1) Spi. CMU1	0.350±0.050^{b}	591.87±58.58^{b}	0.2.45±0.43^{c}	364.44±55.67^{b}
(T_2) Spi. MJU1	0.250±0.025^{c}	588.87±53.63^{b}	4.03±0.87^{b}	517.13±27.73^{a}
(T_3) Spi. MJU2	0.420±0.030^{a}	706.47±53.72^{a}	5.10±0.77^{a}	305.68±20.06^{c}

หมายเหตุ : ตัวอักษรภาษาอังกฤษที่แตกต่างกันในแนวตั้ง หมายความว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) และ ns หมายความว่าไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p>0.05$)

ตารางภาคผนวกที่ 9 การวิเคราะห์ คุณค่าทางโภชนาการ โดยน้ำหนักแห้ง ของสาหร่ายที่เพาะเลี้ยงในบ่อซีเมนต์กลม แต่ละชุดการทดลอง

Treatment	Dry matter basic (%)	Mointure (%)	Protein (%)	Fat (%)	Fiber (%)	Ash (%)	Carbohydate (%)
(T_1) Spi. CMU1	71.11±1.32^{b}	28.09±1.32^{a}	37.75±0.92^{b}	2.28±0.40^{ns}	1.77±0.20^{ab}	3.85±0.79^{a}	25.46±1.03^{b}
(T_2) Spi. MJU1	78.41±1.51^{a}	21.59±1.51^{c}	38.88±1.51^{b}	2.21±0.47^{ns}	1.89±0.06^{a}	3.95±0.26^{b}	31.48±1.14^{a}
(T_3) Spi. MJU2	76.25±2.25^{ab}	23.75±2.25^{b}	43.34±1.37^{a}	2.22±0.24^{ns}	1.69±0.16^{b}	3.52±0.23^{b}	25.48±0.82^{b}

หมายเหตุ : ตัวอักษรภาษาอังกฤษที่แตกต่างกันในแนวตั้ง หมายความว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) และ ns หมายความว่าไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p>0.05$)

ตารางภาคผนวกที่ 10 การวิเคราะห์ คุณภาพน้ำทางกายและเคมี ในการเพาะเลี้ยงสาหร่าย ในบ่อซีเมนต์กลม แต่ละชุดการทดลอง

Treatment	Air Tem. (°C)	water (°C)	pH (Units)	DO (mg/L)
(T_1) Spi. CMU1	26.75±0.00^{ns}	25.58±0.29^{ns}	9.71±0.02^{ns}	5.50±0.24^{ns}
(T_2) Spi. MJU1	26.75±0.00	25.52±0.29^{ns}	9.68±0.02^{ns}	5.54±0.12^{ns}
(T_3) Spi. MJU2	26.75±0.00	25.42±0.43^{ns}	9.68±0.02^{ns}	5.52±0.12^{ns}

หมายเหตุ : ตัวอักษรภาษาอังกฤษที่แตกต่างกันในแนวตั้ง หมายความว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) และ ns หมายความว่าไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p>0.05$)

ตารางภาคผนวกที่ 11 (ต่อ) การวิเคราะห์ คุณภาพน้ำทางกายและเคมี ในการเพาะเลี้ยงสาหร่าย ในบ่อซีเมนต์กลม แต่ละชุดการทดลอง

Treatment	NH_3-N (mg/L)	Organic-N (mg/L)	NO_3-N (mg/L)	Totat-P (mg/L)	N:P
(T_1) Spi. CMU1	0.62 ± 0.03^{ns}	2.06 ± 0.13^{ns}	14.64 ± 0.82^{ns}	2.74 ± 0.14^{ns}	6.20 : 1
(T_2) Spi. MJU1	0.60 ± 0.04^{ns}	2.05 ± 0.06^{ns}	14.05 ± 0.58^{ns}	2.64 ± 0.10^{ns}	6.27 : 1
(T_3) Spi. MJU2	0.58 ± 0.02^{ns}	2.17 ± 0.03^{ns}	14.63 ± 0.86^{ns}	2.47 ± 0.11^{ns}	6.99 : 1

หมายเหตุ : ตัวอักษรภาษาอังกฤษที่แตกต่างกันในแนวตั้ง หมายความว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) และ ns หมายความว่าไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p>0.05$)

ตารางภาคผนวกที่ 12 ผลการวิเคราะห์ปริมาณเซลล์สาหร่ายที่มีลักษณะเป็นเกลียว(%) ของสาหร่ายที่เพาะเลี้ยงในที่เพาะเลี้ยงในบ่อแบบลู่วิ่ง (raceway pond) แต่ละชุดการทดลอง

Treatment	0 day	3 day	6 day	9 day
(T_1) Spi. CMU1	26.00 ± 6.03^{c}	15.00 ± 4.16^{b}	22.00 ± 4.51^{a}	11.00 ± 7.00^{b}
(T_2) Spi. MJU1	40.00 ± 3.20^{a}	2.00 ± 1.00^{c}	10.00 ± 7.23^{b}	4.00 ± 1.00^{c}
(T_3) Spi. MJU2	35.00 ± 6.43^{b}	27.00 ± 4.16^{a}	21.00 ± 2.52^{a}	25.00 ± 0.03^{a}

หมายเหตุ : ตัวอักษรภาษาอังกฤษที่แตกต่างกันในแนวตั้ง หมายความว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) และ ns หมายความว่าไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p>0.05$)

ตารางภาคผนวกที่ 13 ผลการวิเคราะห์ จำนวนเซลล์ของสาหร่าย (x 10^4 cell/mL) ของสาหร่ายที่เพาะเลี้ยงในที่เพาะเลี้ยงในบ่อแบบลู่วิ่ง (raceway pond) แต่ละชุดการทดลอง

Treatment	0 day	3 day	6 day	9 day
(T_1) Spi. CMU1	252.00 ± 91.00^{ns}	361.00 ± 73.00^{b}	496.00 ± 36.00^{b}	563.00 ± 82.00^{c}
(T_2) Spi. MJU1	427.00 ± 84.00^{ns}	438.00 ± 89.00^{ab}	470.00 ± 61.00^{b}	754.00 ± 195.00^{b}
(T_3) Spi. MJU2	463.00 ± 87.00^{ns}	501.00 ± 78.00^{a}	681.00 ± 68.00^{a}	911.00 ± 351.00^{a}

หมายเหตุ : ตัวอักษรภาษาอังกฤษที่แตกต่างกันในแนวตั้ง หมายความว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) และ ns หมายความว่าไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p>0.05$)

ตารางภาคผนวกที่ 14 ผลการวิเคราะห์ค่าความหนาแน่น (optical density;Units) ของสาหร่ายที่เพาะเลี้ยงในที่เพาะเลี้ยงในบ่อแบบลู่วิ่ง (raceway pond) แต่ละชุดการทดลอง

Treatment	0 day	3 day	6 day	9 day
(T_1) Spi. CMU1	0.364 ± 0.012^{ns}	0.421 ± 0.103^{ns}	0.547 ± 0.048^{ns}	0.652 ± 0.60^{b}
(T_2) Spi. MJU1	0.368 ± 0.015^{ns}	0.403 ± 0.077^{ns}	0.347 ± 0.033^{ns}	0.767 ± 0.059^{a}
(T_3) Spi. MJU2	0.370 ± 0.007^{ns}	0.410 ± 0.027^{ns}	0.414 ± 0.037^{ns}	0.781 ± 0.062^{a}

หมายเหตุ : ตัวอักษรภาษาอังกฤษที่แตกต่างกันในแนวตั้ง หมายความว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) และ ns หมายความว่าไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p>0.05$)

ตารางภาคผนวกที่ 15 การวิเคราะห์ ผลผลิต ปริมาณสารสี และ ต้นทุนผันแปรในการผลิตสาหร่าย โดยน้ำหนักแห้ง ของสาหร่ายที่เพาะเลี้ยงในบ่อแบบลู่วิ่ง แต่ละชุดการทดลอง

Treatment	Dry weight (g/L)	Carotenoids (mg/g)	C-phycocyanin (mg/g)	Variable cost (bath/Kg)
(T_1) Spi. CMU1	0.300 ± 0.015^{b}	675.19 ± 22.24^{a}	8.21 ± 0.39^{b}	355.95 ± 17.35^{a}
(T_2) Spi. MJU1	0.350 ± 0.046^{a}	519.16 ± 12.60^{c}	9.45 ± 0.84^{a}	309.69 ± 38.36^{b}
(T_3) Spi. MJU2	0.280 ± 0.031^{b}	591.43 ± 46.56^{b}	9.36 ± 0.55^{a}	377.82 ± 43.38^{a}

หมายเหตุ : ตัวอักษรภาษาอังกฤษที่แตกต่างกันในแนวตั้ง หมายความว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) และ ns หมายความว่าไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p>0.05$)

ตารางภาคผนวกที่ 16 การวิเคราะห์ คุณค่าทางโภชนาการ โดยน้ำหนักแห้ง ของสาหร่ายที่เพาะเลี้ยงในบ่อแบบลู่วิ่ง (raceway pond) แต่ละชุดการทดลอง

Treatment	Dry matter basic (%)	Mointure (%)	Protein (%)	Fat (%)	Fiber (%)	Ash (%)	Carbohydate (%)
(T_1) Spi. CMU1	76.13 ± 0.88^{ns}	23.87 ± 0.88^{ns}	42.49 ± 1.27^{b}	3.17 ± 0.88^{ns}	1.97 ± 0.03^{a}	4.02 ± 0.19^{a}	24.48 ± 1.44^{a}
(T_2) Spi. MJU1	76.72 ± 1.76^{ns}	23.28 ± 1.76^{ns}	43.85 ± 0.54^{b}	3.18 ± 1.76^{ns}	1.37 ± 0.11^{c}	3.35 ± 0.55^{b}	24.97 ± 1.46^{a}
(T_3) Spi. MJU2	75.39 ± 1.17^{ns}	24.61 ± 1.17^{ns}	46.91 ± 0.81^{a}	3.04 ± 1.17^{ns}	1.56 ± 0.35^{b}	3.96 ± 0.16^{a}	19.93 ± 1.69^{b}

หมายเหตุ : ตัวอักษรภาษาอังกฤษที่แตกต่างกันในแนวตั้ง หมายความว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) และ ns หมายความว่าไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p>0.05$)

ตารางภาคผนวกที่ 17 การวิเคราะห์ คุณภาพน้ำทางกายและเคมี ในการเพาะเลี้ยงสาหร่าย ในบ่อแบบลู่วิ่ง (raceway pond) แต่ละชุดการทดลอง

Treatment	Air Tem. (°C)	water (°C)	pH (Units)	DO (mg/L)
(T_1) Spi. CMU1	26.75±0.00^{ns}	25.58±0.29^{ns}	9.70±0.02^{ns}	5.23±0.10^{ns}
(T_2) Spi. MJU1	26.75±0.00	25.42±0.43^{ns}	9.68±0.02^{ns}	5.14±0.11^{ns}
(T_3) Spi. MJU2	26.75±0.00	25.58±0.29^{ns}	9.69±0.02^{ns}	5.21±0.12^{ns}

หมายเหตุ : ตัวอักษรภาษาอังกฤษที่แตกต่างกันในแนวตั้ง หมายความว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) และ ns หมายความว่าไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p>0.05$)

ตารางภาคผนวกที่ 18 (ต่อ) การวิเคราะห์ คุณภาพน้ำทางกายและเคมี ในการเพาะเลี้ยงสาหร่าย ในบ่อซีเมนต์กลม แต่ละชุดการทดลอง

Treatment	NH_3-N (mg/L)	Organic-N (mg/L)	NO_3-N (mg/L)	Totat-P (mg/L)	N:P
(T_1) Spi. CMU1	0.57±0.05^{ns}	2.39±0.26^{ns}	16.27±0.76^{ns}	2.98±0.10^{ns}	6.29 : 1
(T_2) Spi. MJU1	0.56±0.04^{ns}	2.30±0.12^{ns}	16.56±0.98^{ns}	3.02±0.16^{ns}	6.17 : 1
(T_3) Spi. MJU2	0.57±0.02^{ns}	2.40±0.18^{ns}	17.31±0.86^{ns}	2.85±0.12^{ns}	7.11 : 1

หมายเหตุ : ตัวอักษรภาษาอังกฤษที่แตกต่างกันในแนวตั้ง หมายความว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) และ ns หมายความว่าไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p>0.05$)