

วิทยานิพนธ์

เรื่อง

การเพาะเลี้ยงสาหร่ายสไปรูลินา (*Spirulina platensis*)
ในระดับนำร่องด้วยผลิตภัณฑ์ถั่วเหลือง

PILOT SCALE FOR CULTIVATION OF SPIRULINA ALGAE
(*Spirulina platensis*) FORM SOYBEAN PRODUCT



นางสาวอรุณทัตย์ ไธสิงห์

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของความสมบูรณ์ของการศึกษาตามหลักสูตร

วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาปฐพีศาสตร์

โครงการบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยแม่โจ้

พ.ศ. 2546



ใบรับรองวิทยานิพนธ์

โครงการบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยแม่โจ้ เชียงใหม่

วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต (ปฐพีศาสตร์)

ปริญญา

สาขาวิชา ปฐพีศาสตร์

ภาควิชา ทรัพยากรดินและสิ่งแวดล้อม

เรื่อง การเพาะเลี้ยงสาหร่ายสไปรูลินา (*Spirulina platensis*) ในระดับนำร่อง
ด้วยผลิตภัณฑ์ถั่วเหลือง

PILOT SCALE FOR CULTIVATION OF SPIRULINA ALGAE

(*Spirulina platensis*) FROM SOYBEAN PRODUCT

นามผู้วิจัย นางสาวอรุณทัย โยธสิงห์

ได้พิจารณาเห็นชอบโดย

ประธานกรรมการที่ปรึกษา

(อาจารย์ ดร.อานัฐ ตันโช)

วันที่ 4 เดือน มี.ค. พ.ศ. 2546

กรรมการที่ปรึกษา

(รองศาสตราจารย์ ดร.ยุวดี พิรพรพิศาล)

วันที่ 4 เดือน มี.ค. พ.ศ. 2546

กรรมการที่ปรึกษา

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ประสิทธิ์ ไนรี)

วันที่ 4 เดือน มี.ค. พ.ศ. 2546

หัวหน้าภาควิชา

(รองศาสตราจารย์บรรพต ดันติเสรี)

วันที่ 4 เดือน มี.ค. พ.ศ. 2546

โครงการบัณฑิตวิทยาลัยรับรองแล้ว
แทน

(รองศาสตราจารย์ ดร.เทพ พงษ์พานิช)

ประธานกรรมการโครงการบัณฑิตวิทยาลัย

วันที่ 17 เดือน มี.ค. พ.ศ. 2546

บทคัดย่อ

การเพาะเลี้ยงสาหร่ายสไปรูลินา (*Spirulina platensis*)

ในระดับน้ำร่อดด้วยผลิตภัณฑ์ถั่วเหลือง

โดย

นางสาวอรุณทัย โยธสิงห์

มีนาคม 2546

ประธานกรรมการที่ปรึกษา: อาจารย์ ดร.อานัฐ ตันโช

ภาควิชา/คณะ:

ภาควิชาทรัพยากรดินและสิ่งแวดล้อม

คณะผลิตกรรมการเกษตร

การเพาะเลี้ยงสาหร่ายสไปรูลินา ระดับห้องปฏิบัติการในสภาพห้องปฏิบัติการและสภาพกลางแจ้ง จากนั้นขยายผลสู่ระดับน้ำร่อด โดยในระดับปฏิบัติการ ทำการเพาะเลี้ยงสาหร่ายสไปรูลินาในสูตรอาหารที่แตกต่างกัน 7 สูตร คือสูตรที่ 1 Zarrouk, สูตรที่ 2 modified Zarrouk ไม่มีจุลธาตุ, สูตรที่ 3 กากถั่วเหลือง 0.1 กรัมต่อ 800 มล., สูตรที่ 4 กากถั่วเหลือง 0.5 กรัมต่อ 800 มล., สูตรที่ 5 ถั่วเหลืองดิบ 0.1 กรัมต่อ 800 มล., สูตรที่ 6 ถั่วเหลืองดิบ 0.5 กรัมต่อ 800 มล. และสูตรที่ 7 กากถั่วเหลือง 5 กรัมต่อ 800 มล. โดยที่สูตรอาหารที่ใช้ถั่วเหลืองดิบ และกากถั่วเหลืองเติมสารเคมี 3 ชนิดคือ NaHCO_3 8.5 กรัมต่อลิตร, NaNO_3 1.5 กรัมต่อลิตร และ K_2HPO_4 0.5 กรัมต่อลิตร ในแต่ละสูตรใช้สาหร่ายเข้มข้น 5 เปอร์เซ็นต์ ปรับความเป็นกรดเบสที่ระดับ 10 ± 1 ปริมาณสารอาหาร 800 มิลลิตร เพาะเลี้ยงเป็นเวลา 35 วัน ในสภาพห้องปฏิบัติการและสภาพกลางแจ้ง พบว่า จำนวนเซลล์เฉลี่ยสูงสุดคือสูตรที่ 3 เท่ากับ 20.66×10^3 เซลล์ต่อมล. น้ำหนักแห้งเฉลี่ยสูงสุดคือสูตรที่ 7 เท่ากับ 1.37 กรัมต่อ 800 มล. ในสภาพห้องปฏิบัติการ และสูตรที่ 1 เท่ากับ 18.44×10^3 เซลล์ต่อมล. น้ำหนักแห้งเฉลี่ยสูงสุดเท่ากับ 1.71 กรัมต่อ 800 มล. ในสภาพกลางแจ้ง โปรตีนเฉลี่ยสูงสุดคือสูตรที่ 7 45.69 เปอร์เซ็นต์ ในสภาพห้องปฏิบัติการ และสูตรที่ 2 เท่ากับ 49.69 เปอร์เซ็นต์ ในสภาพกลางแจ้ง แคโรทีนอยด์เฉลี่ยสูงสุดคือสูตรที่ 7 ทั้งสอง

สภาพการเพาะเลี้ยง เท่ากับ 2.49 มิลลิกรัม/กรัมน้ำหนักแห้ง ในสภาพห้องปฏิบัติการ และ 1.07 มิลลิกรัม/กรัมน้ำหนักแห้ง ในสภาพกลางแจ้ง ไฟโคไซยานินเจดีย์สูงสุดคือสูตรที่ 1 เท่ากับ 7.51 มิลลิกรัม/กรัมน้ำหนักแห้ง ในสภาพห้องปฏิบัติการ และสูตรที่ 2 เท่ากับ 5.31 มิลลิกรัม/กรัมน้ำหนักแห้ง ในสภาพกลางแจ้ง

ส่วนในระดับนําร่อง เพาะเลี้ยงสาหร่ายสไปรูลินาในถังกลมขนาด 460 ลิตร เส้นผ่าศูนย์กลาง 1.26 เมตร ความสูง 45 เซนติเมตร ใช้มอเตอร์เป็นตัวกวนน้ำ เพาะเลี้ยงแบบ semicontinuous culture ระยะเวลา 63 วัน ทำการเก็บเกี่ยวผลผลิต 2 ครั้ง รวมน้ำหนักสด 1,565.71 กรัม น้ำหนักแห้ง 150.46 กรัม

ABSTRACT

PILOT SCALE FOR CULTIVATION OF SPIRULINA
(*Spirulina platensis*) FROM SOYBEAN PRODUCT

BY

ARUNOTHAI YOTHASING

MARCH 2003

Chairman: Dr.Arnat Tancho

Department: Soil Science

Faculty: Agricultural Production

In this study, a pilot scale on the cultivation of *Spirulina platensis* has been done under the laboratory and field conditions. On the laboratory scale, *S. platensis* has been tested in seven different nutrient solutions of Zarrouk, modified Zarrouk, soybean residue at 0.1 and 0.5 gram per 800 ml, soybean powder at 0.1, 0.5 and 5 gram per 800 ml. All five nutrient solution that used soybean products were added NaHCO_3 8.5 g l^{-1} , NaNO_3 1.5 g l^{-1} and K_2HPO_4 0.5 g l^{-1} . All nutrient solutions have been added *Spirulina* inoculation for 5 percents of the volume of 800 ml at pH range between 10 ± 1 . The cultivation was carried out for 35 days. The maximum cell population was found in treatment 3 (soybean residue at 0.1 gram per 800 ml) at $20.66 \times 10^3 \text{ cell.ml}^{-1}$ under laboratory condition and treatment 1 (Zarrouk nutrient solution) at $18.44 \times 10^3 \text{ cell.ml}^{-1}$ under field conditions. The maximum dry weight was found in treatment 7 (soybean powder at 5 gram per 800 ml) at 1.37 g under laboratory condition and treatment 1 (Zarrouk nutrient solution) at 1.71 g under field conditions. The maximum protein were also found in treatment 7 at 45.69% under laboratory condition and treatment 2 (modified Zarrouk) at 49.69% under field condition. The maximum yield of carotenoids was found in treatment 7 at 2.49 mg/g dry weight under laboratory condition and 1.07 mg/g dry weight under field condition. The maximum of phycocyanin

was found in treatment 1 at 7.5 mg/g dry weight under laboratory condition and treatment 2 at 5.31 mg/g dry weight under field condition.

In a pilot scale, *S. platensis* was cultivated in cylindrical pot of 1.26 meters in diameter and 0.45 meters in height with 460 liters in capacity. The mixing of solution has been done by motor in the cylindrical pot with semi-continuous culture during cultivation of 63 days. The yield was cultivated two times with fresh weight of 1,565.71 g and converted to the dry weight yield of 150.46 g.

กิตติกรรมประกาศ

ขอกราบขอบพระคุณท่านอาจารย์ ดร.อานัฐ ดันโซ ประธานกรรมการที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ให้คำปรึกษาแนะแนวทางเกี่ยวกับงานวิจัย ให้ความรู้ ตลอดจนการตรวจแก้ไขวิทยานิพนธ์เสร็จสมบูรณ์ ขอกราบขอบพระคุณท่านรองศาสตราจารย์ ดร.ยุวดี พิรพรพิศาล กรรมการที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ที่กรุณาให้คำปรึกษาวิทยานิพนธ์ พร้อมทั้งตรวจแก้ไขให้สมบูรณ์ยิ่งขึ้น ขอกราบขอบพระคุณท่านผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ประสิทธิ์ โนรี กรรมการที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ที่กรุณาให้คำแนะนำแก้ไขวิทยานิพนธ์ให้สมบูรณ์ยิ่งขึ้น ขอขอบพระคุณมูลนิธิโครงการหลวง ที่ให้ทุนในการสนับสนุนทำงานวิจัยครั้งนี้ ให้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี ขอขอบพระคุณอาจารย์ โฉมยง ไชยอุบล ที่กรุณาให้คำปรึกษาการทำวิทยานิพนธ์ ขอขอบพระคุณภาควิชาชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยแม่โจ้ ที่กรุณาให้ความเอื้อเฟื้ออุปกรณ์และสารเคมีบางชนิดในการทำการทดลองครั้งนี้ ให้สำเร็จตามประสงค์

ขอขอบพระคุณคณาจารย์ ภาควิชาทรัพยากรดินและสิ่งแวดล้อมทุกท่าน ตลอดจนถึงบุคลากรภาควิชาทุกท่าน ที่กรุณาให้ความสะดวกในการทำวิทยานิพนธ์ในครั้งนี้ ขอขอบคุณเจ้าหน้าที่สำนักงานพัฒนาที่ดินเขต 5 ทุกท่าน และสำนักวิจัยและพัฒนาการเกษตรเขตที่ 1 ทุกท่านที่กรุณาวิเคราะห์ปริมาณโปรตีน ขอขอบคุณ พี่ๆ เพื่อนๆ น้องๆ ทุกท่านที่ได้ให้ความช่วยเหลือในการทำวิจัย และให้กำลังใจที่ดีตลอดมา และขอกราบขอบพระคุณบิดามารดา ญาติพี่น้องที่คอยให้กำลังใจ ทุ่มเทใจ ที่ดีเสมอมา และอีกหลายท่านที่ไม่ได้เอ่ยนามในครั้งนี้ ขอขอบพระคุณไว้ ณ ที่นี้ด้วย

อรุณทัย โยธสิงห์

มีนาคม 2546

สารบัญเรื่อง

	หน้า
บทคัดย่อ	(3)
ABSTRACT	(5)
กิตติกรรมประกาศ	(7)
สารบัญเรื่อง	(8)
สารบัญตาราง	(10)
สารบัญภาพ	(11)
สารบัญภาคผนวก	(13)
สารบัญภาพผนวก	(14)
บทนำ	1
ที่มาของปัญหา	2
วัตถุประสงค์	2
ผลที่คาดว่าจะได้รับ	2
ขอบเขตการทดลอง	3
สถานที่ทำการวิจัย	3
ระยะเวลาการวิจัย	3
การตรวจเอกสาร	4
สารรายสัปดาห์	4
คุณค่าทางโภชนาการของสารรายสัปดาห์	10
ธาตุอาหาร	17
ประโยชน์	19
การเพาะเลี้ยง	22
การวัดการเจริญ	26
การเก็บเกี่ยว	27
การทำแห้ง	28

สารบัญเรื่อง (ต่อ)

	หน้า
ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับถั่วเหลือง	29
อุปกรณ์และวิธีการวิจัย	33
อุปกรณ์และเครื่องมือ	33
วิธีการทำวิจัย	34
ผลการทดลอง	42
1. การเพาะเลี้ยงสาหร่ายสไปรูลินา (<i>Spirulina platensis</i>) ในสูตรอาหาร ที่แตกต่างกัน ระดับห้องปฏิบัติการ ในสภาพห้องปฏิบัติการ และสภาพกลางแจ้ง	42
2. การเพาะเลี้ยงสาหร่ายสไปรูลินา (<i>Spirulina platensis</i>) ในระดับนําร่อง	54
อภิปรายผลการทดลอง	57
สรุปผลการทดลอง	63
ข้อเสนอแนะ	65
เอกสารอ้างอิง	66
ภาคผนวก	75
ประวัติผู้เขียน	86

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า	
1	เปรียบเทียบปริมาณโปรตีนในสาหร่ายสไปรูลินากับอาหารชนิดอื่น ๆ	11
2	เปรียบเทียบปริมาณกรดอะมิโนที่จำเป็นในสาหร่ายสไปรูลินากับ สาหร่ายคลอเรลลา ถั่วเหลือง เนื้อวัว ไข่ ปลาทู ปลาอินทรี และปริมาณมาตรฐาน FAO	12
3	ปริมาณโปรตีนจากสาหร่ายสไปรูลินาที่เลี้ยงในน้ำทิ้งจากโรงงาน อุตสาหกรรมบางประเภทและน้ำหมักพืชผักบางชนิด	13
4	แสดงปริมาณแร่ธาตุ ในสาหร่ายสไปรูลินา	16
5	แสดงคุณค่าทางโภชนาการของอาหารจากถั่วเหลืองประเภทต่าง ๆ เปรียบเทียบกับแหล่งโปรตีนจากเนื้อสัตว์	30
6	คุณค่าทางโภชนาการของถั่วเหลือง เนื้อถั่วเหลือง และนมถั่วเหลืองใน 100 กรัม	32
7	คุณค่าทางโภชนาการถั่วเหลืองเปรียบเทียบกับถั่วเมล็ดแห้ง (หน่วยต่อน้ำหนักแห้งกรัม)	32
8	การเจริญเติบโตเป็นจำนวนเซลล์ ($\times 10^3$ cell.ml ⁻¹) ของสไปรูลินา ที่เพาะเลี้ยงระดับห้องปฏิบัติการ ในสภาพห้องปฏิบัติการ	42
9	การเจริญเติบโตเป็นจำนวนเซลล์ ($\times 10^3$ cell.ml ⁻¹) ของสไปรูลินา ที่เพาะเลี้ยงระดับห้องปฏิบัติการ ในสภาพกลางแจ้ง	44
10	ค่าวิเคราะห์ ปริมาณโปรตีน ปริมาณไฟโคไซยานิน แคโรทีนอยด์ ของสาหร่ายสไปรูลินาที่เพาะเลี้ยงในสภาพที่แตกต่างกัน	54
11	ค่าวิเคราะห์ จำนวนเซลล์ น้ำหนักสด น้ำหนักแห้ง pH OD ของสาหร่ายสไปรูลินาที่เพาะเลี้ยงในสภาพที่แตกต่างกัน	55

สารบัญภาพ

ภาพที่	หน้า
1 แผนภูมิการทำงานมดหัวเหลืองในระดับครัวเรือน	31
2 รูปร่างลักษณะของสาหร่ายสไปรูลินา (<i>Spirulina platensis</i>)	35
3 การเพาะเลี้ยงสาหร่ายสไปรูลินาในสภาพห้องปฏิบัติการ	36
4 การเพาะเลี้ยงสาหร่ายสไปรูลินาในสภาพกลางแจ้ง	37
5 ไดอะแกรมแสดงขั้นตอนการวิเคราะห์ไนโตรเจน	38
6 ไดอะแกรมแสดงขั้นตอนการหาปริมาณไฟโคไซยานิน	38
7 ไดอะแกรมแสดงขั้นตอนการหาปริมาณแคโรทีนอยด์	39
8 การเพาะเลี้ยงสาหร่ายสไปรูลินาในระดับน้ำร่อง	40
9 การกรองสาหร่ายสไปรูลินาในระดับน้ำร่อง	41
10 อุปกรณ์ต่าง ๆ ที่ใช้ในการวัดค่าพารามิเตอร์ของสารอาหารต่างที่ใช้ เพาะเลี้ยงสาหร่ายสไปรูลินา	41
11 แสดงการเจริญเติบโตของสาหร่ายสไปรูลินาเป็นจำนวนเซลล์ ($\times 10^3$ cell.ml ⁻¹) ในสภาพห้องปฏิบัติการ	43
12 แสดงการเจริญเติบโตของสาหร่ายสไปรูลินาเป็นจำนวนเซลล์ ($\times 10^3$ cell.ml ⁻¹) ในสภาพกลางแจ้ง	44
13 เปรียบเทียบการเจริญเติบโตของสาหร่ายสไปรูลินาเป็นจำนวนเซลล์เฉลี่ย ($\times 10^3$ cell.ml ⁻¹) ในสภาพห้องปฏิบัติการและสภาพกลางแจ้ง	45
14 การเจริญเติบโตของสาหร่ายสไปรูลินาที่เพาะเลี้ยงด้วยสูตรอาหารที่แตกต่างกัน ระดับห้องปฏิบัติการ ในสภาพห้องปฏิบัติการ แสดงด้วยค่า OD	46
15 การเจริญเติบโตของสาหร่ายสไปรูลินาที่เพาะเลี้ยงด้วยสูตรอาหารที่แตกต่างกัน ระดับห้องปฏิบัติการ ในสภาพห้องปฏิบัติการ แสดงด้วยค่า OD	47

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่	หน้า
16 เปรียบเทียบค่า absorbance เฉลี่ยสไปรูลินาที่เพาะเลี้ยงระดับห้องปฏิบัติการ ในสภาพห้องปฏิบัติการ และสภาพกลางแจ้ง	47
17 เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยปริมาณโปรตีนของสาหร่ายสไปรูลินาเพาะเลี้ยง ระดับห้องปฏิบัติการ ในสภาพห้องปฏิบัติการและสภาพกลางแจ้ง	48
18 เปรียบเทียบน้ำหนักสดเฉลี่ยสาหร่ายสไปรูลินาที่เพาะเลี้ยง ระดับห้องปฏิบัติการ ในสภาพห้องปฏิบัติการและสภาพกลางแจ้ง	49
19 เปรียบเทียบน้ำหนักแห้งเฉลี่ยสาหร่ายสไปรูลินาที่เพาะเลี้ยง ระดับห้องปฏิบัติการ ในสภาพห้องปฏิบัติการและสภาพกลางแจ้ง	50
20 เปรียบเทียบปริมาณค่าเฉลี่ยไฟโคไซยานินสาหร่ายสไปรูลินาเพาะเลี้ยง ระดับห้องปฏิบัติการ ในสภาพห้องปฏิบัติการและสภาพกลางแจ้ง	51
21 เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยแคโรทีนอยด์สาหร่ายสไปรูลินาเพาะเลี้ยง ระดับห้องปฏิบัติการ ในสภาพห้องปฏิบัติการและสภาพกลางแจ้ง	52
22 เปรียบเทียบค่าเฉลี่ย pH ของสาหร่ายสไปรูลินาที่เพาะเลี้ยง ระดับห้องปฏิบัติการ ในสภาพห้องปฏิบัติการและสภาพกลางแจ้ง	53
23 ค่า absorbance และ pH สาหร่ายสไปรูลินาที่เพาะเลี้ยง ในระดับน้ำร่อง	56

สารบัญภาคผนวก

ภาคผนวกที่		หน้า
1	การทดสอบเบื้องต้น การเพาะเลี้ยงสาหร่ายสไปรูลินา ในระดับห้องปฏิบัติการ	76
2	Modified Zarrouk (not A_5 and B_6)	79
3	การหาปริมาณแคโรทีนอยด์	80
4	การหาปริมาณไฟโคไซยานิน	81
5	การวิเคราะห์หาปริมาณโปรตีน	82

สารบัญภาพผนวก

ภาพผนวกที่		หน้า
1	การเพาะเลี้ยงสาหร่ายสไปรูลีนาในระดับห้องปฏิบัติการ	76
2	การเจริญเติบโตของสไปรูลีนาเป็นจำนวนเซลล์ในสภาพห้องปฏิบัติการ	76
3	การเจริญเติบโตของสไปรูลีนาแสดงด้วยค่า OD ในสภาพห้องปฏิบัติการ	77
4	ปริมาณโปรตีนเฉลี่ยของสไปรูลีนาในแต่ละสูตรอาหาร	77
5	ปริมาณน้ำหนักแห้งเฉลี่ยของสไปรูลีนาในแต่ละสูตรอาหาร	77
6	การเพาะเลี้ยงสไปรูลีนาด้วยผลิตภัณฑ์ถั่วเหลือง	78

บทนำ

ประเทศไทยเป็นประเทศกำลังพัฒนา และปัจจุบันได้มีประชากรเพิ่มขึ้นมากกว่าในอดีตที่ผ่านมา มีผลทำให้เกิดการขาดแคลนอาหารในประเทศ โดยเฉพาะการขาดแคลนอาหารประเภทโปรตีน ดังนั้น นักวิทยาศาสตร์จึงพยายามค้นหาแหล่งโปรตีนแหล่งใหม่เพิ่มเติม จากโปรตีนพืชและสัตว์ ซึ่งผลิตไม่เพียงพอกับความต้องการของผู้บริโภค พบว่าสาหร่ายจากกลุ่มโปรติสต์ เช่น คลอเรลลา (*Chlorella spp.*) และจุลินทรีย์ในกลุ่มโมเนอเรน เช่น สาหร่ายสไปรูลินา เป็นสาหร่ายที่มีโปรตีนสูงถึง 60-70 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักแห้ง และยังมีสารอาหารอื่น ๆ ที่สำคัญได้แก่ไขมันชนิดไม่อิ่มตัวคือ กรดไลโนเลนิก (linolenic acid) สาหร่ายดังกล่าวมีผนังเซลล์เป็นพอกมิวโคโปรตีน (mucoprotein) ทำให้อย่างง่าย และเป็นจุลินทรีย์ที่มีกรดนิวคลีอิกต่ำที่สุดเมื่อเทียบกับจุลินทรีย์ชนิดอื่น ๆ นอกจากนี้ยังมีคาร์โบไฮเดรต วิตามินชนิดต่าง ๆ ซึ่งสูงกว่าในพืชและเนื้อสัตว์ ปัจจุบันมนุษย์นำสาหร่ายสไปรูลินามาใช้ประโยชน์มากมายหลายประการ เช่น ด้านการแพทย์ ด้านอาหารทั้งมนุษย์และสัตว์ เป็นต้น

การผลิตสาหร่ายสไปรูลินามีการใช้ต้นทุนที่สูงมาก เพราะอาหารที่ใช้เลี้ยงเป็นสารประกอบจากสารอินทรีย์หลายชนิด เช่น Zarrouk medium เป็นที่นิยมเพาะเลี้ยงสาหร่ายสไปรูลินา เพื่อเป็นการลดต้นทุนการผลิตให้ต่ำลง จึงมีความพยายามหาสูตรอาหารที่มีราคาถูกและหาง่ายในห้องดินมาทดแทน มีการนำวัสดุเหลือใช้ประเภทน้ำทิ้งจากแหล่งต่าง ๆ มาทดแทนสารเคมีบางตัวที่ใช้ในการเพาะเลี้ยง อันได้แก่ น้ำทิ้งจากโรงงานแปรงมันสำปะหลัง น้ำทิ้งจากมูลสัตว์ น้ำกากส่าเหล้าจากโรงงานผลิตสุรา เป็นต้น จากการวิจัยต่อเนื่องพบว่า ประสบความสำเร็จในระดับหนึ่ง การเพิ่มผลผลิตสาหร่ายสไปรูลินามีแนวทางหรือวิธีการหลายวิธี เช่น การเติม Zarrouk medium ลงในน้ำทิ้งจากโรงงานต่าง ๆ หรือการเติมลงในน้ำจากแหล่งน้ำต่าง ๆ การใช้ปุ๋ยเคมีและสารอินทรีย์บางชนิดเติมลงไป เพื่อเพิ่มผลผลิตสาหร่ายสไปรูลินาให้มากขึ้น ในการทำงานทดลองครั้งนี้มีวัตถุประสงค์ เพาะเลี้ยงสาหร่ายสไปรูลินาโดยใช้สารอาหารที่มีราคาถูกและหาง่ายในห้องดิน โดยใช้เมล็ดธัญพืช เช่น ถั่วเหลือง และวัสดุเหลือใช้ เช่น กากถั่วเหลืองที่เหลือจากการทำนมถั่วเหลือง มาเป็นแหล่งวิตามินและเกลือแร่ ร่วมกับการใส่สารเคมีบางชนิดคือ NaHCO_3 , NaNO_3 , K_2HPO_4 เป็นแหล่งสารอาหาร สูตรดังกล่าวควรจะมีผลให้สามารถลดต้นทุนในการเพาะเลี้ยงสาหร่ายชนิดนี้ได้มาก และได้ผลผลิตที่มีคุณภาพใกล้เคียงกับการเพาะเลี้ยงในสูตรอาหารมาตรฐาน

ที่มาของปัญหา

ปัจจุบันประเทศไทยมีประชากรเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว แหล่งอาหารจึงมีความสำคัญและจำเป็นต่อการดำรงชีวิตของมนุษย์ แหล่งโปรตีนมีความสำคัญอีกประการหนึ่งของการดำรงชีพของมนุษย์ ในสภาวะปัจจุบันแหล่งโปรตีนที่มีความเหมาะสมต่อการเพาะเลี้ยงคือ โปรตีนจากจุลินทรีย์ โดยเฉพาะจุลินทรีย์ในกลุ่มโมเนอแรน เช่น สไปรูลินา (*Spirulina platensis*) สามารถเพาะเลี้ยงได้จากการใช้สารเคมีที่มีราคาแพงเช่น Zarrouk

การทดลองครั้งนี้ทำการเพาะเลี้ยงสาหร่ายสไปรูลินาด้วยเมล็ดถั่วเหลือง และวัสดุเหลือใช้จากการทำนมถั่วเหลืองคือ กากถั่วเหลืองรวมกับการใช้สารเคมีบางชนิดที่ราคาถูก เพื่อลดต้นทุนในการเพาะเลี้ยงสาหร่ายสไปรูลินา และให้ได้สาหร่ายที่มีคุณภาพใกล้เคียงกับการเพาะเลี้ยงในสูตรอาหารมาตรฐาน

วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาการเพาะเลี้ยงสาหร่ายสไปรูลินาในสูตรอาหารแตกต่างกัน และช่วงเวลาที่เหมาะสมในการเพาะเลี้ยงทั้งระดับห้องปฏิบัติการและนาร่อง
2. เพื่อวิเคราะห์ปริมาณโปรตีนและรงควัตถุจากสาหร่ายสไปรูลินาที่เพาะเลี้ยงได้ในสูตรอาหารที่กำหนด

ผลที่คาดว่าจะได้รับ

1. ทำให้ทราบถึงสูตรอาหารและช่วงเวลาที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของสาหร่ายสไปรูลินา
2. ช่วยลดต้นทุนในการผลิตสาหร่ายสไปรูลินา
3. เป็นพื้นฐานในการทดลองและวิจัยในขั้นต่อไป
4. เป็นแนวทางเผยแพร่สู่เกษตรกรต่อไป

ขอบเขตการทดลอง

1. ทำการเพาะเลี้ยงสาหร่ายสไปรูลินาด้วยสูตรอาหารชนิดต่าง ๆ ในระดับห้องปฏิบัติการสภาพห้องปฏิบัติการ และสภาพกลางแจ้ง
2. วิเคราะห์และเปรียบเทียบปริมาณโปรตีนที่มีอยู่ในสาหร่ายสไปรูลินาได้จากการเพาะเลี้ยงในสูตรอาหารที่แตกต่างกันในระดับห้องปฏิบัติการ
3. ขยายผลสู่การเพาะเลี้ยงในระดับนําร่อง หรือในครัวเรือนต่อไป

สถานที่ทำการวิจัย

อาคารปฏิบัติการและฝึกอบรมทางดินและปุ๋ยชั้นสูง ภาควิชาทรัพยากรดินและสิ่งแวดล้อม คณะผลิตกรรมการเกษตร มหาวิทยาลัยแม่โจ้ อำเภอสันทราย จังหวัดเชียงใหม่ 50290

ระยะเวลาการวิจัย

กันยายน 2544 - พฤศจิกายน 2545

การตรวจเอกสาร

สาหร่ายสไปรูลินา

ประวัติความเป็นมาของสาหร่ายสไปรูลินา

มนุษย์นำสาหร่ายสไปรูลินามาเป็นอาหาร ตั้งแต่ 800 ปีก่อนพุทธกาล โดยมีหลักฐานพบว่าชนเผ่า Aztecs อยู่ในประเทศเม็กซิโกทวีปอเมริกากลาง เก็บสาหร่ายสไปรูลินาจากทะเลสาบ Texcoco นำมาเป็นอาหารมีชื่อพื้นเมืองว่า เทคุทเลท (Tecuitlate) และในช่วงปี พ.ศ. 2370 หรือศตวรรษที่ 19 พบว่า สาหร่ายสไปรูลินาถูกนำมาใช้ เป็นอาหารประจำวันในเผ่า คาเนมบู (Kanembu) ซึ่งอาศัยอยู่ในประเทศชาด (Chad) ทวีปแอฟริกา ตั้งอยู่ในทะเลทรายซาฮารา โดยชนเผ่า คาเนมบู เก็บสาหร่ายสไปรูลินา ที่เจริญเติบโตอยู่ตามธรรมชาติ ในทะเลสาบชาด (Chad) ด้วยการใช้ตะกร้าช้อนสาหร่ายสไปรูลินาขึ้นมา แล้วนำไปตากแห้ง บดเป็นผง นำไปผสมในขนมปัง หรือซूप เป็นอาหารพื้นเมืองมีชื่อว่า ไดฮี (Dihe) (Venkataraman, 1983) ต่อมาปี พ.ศ. 2387 นักวิทยาศาสตร์ตั้งชื่อวิทยาศาสตร์สาหร่ายสไปรูลินาว่า *Spirulina jennei platensis* ในปี พ.ศ. 2505 Dr. Clement ชาวฝรั่งเศสได้ค้นพบว่ามีสาหร่ายสไปรูลินาเจริญเติบโตอย่างอุดมสมบูรณ์ที่ทะเลสาบชาด (Chad) หลังจากนั้นอีก 4 ปีตรงกับ พ.ศ. 2509 ศาสตราจารย์ อิโรชิ นากามูระ ชาวญี่ปุ่น ได้เริ่มทำการวิจัยเกี่ยวกับสาหร่ายสไปรูลินาที่ประเทศญี่ปุ่น และในปี พ.ศ. 2516 สาหร่ายสไปรูลินาได้รับการประกาศว่าเป็นอาหารที่ดีที่สุด สำหรับอนาคต (The best food for tomorrow) ในการประชุมองค์การอาหารและเกษตรแห่งสหประชาชาติ (FAO) (กรีนโดมอนด์, 2544)

ลักษณะทางสัณฐานวิทยา

ยูวดี (2544) กล่าวว่า สาหร่ายสไปรูลินามีความหมายว่า "เกลียว" หรือ "เกลียวเล็ก" และกาญจนาภรณ์ (2527) รายงานว่าเนื่องจากสาหร่ายมีเส้นสาย (filament) ที่ขดกันเป็นเกลียว สาหร่ายชนิดนี้จัดอยู่ในกลุ่มสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงิน (blue-green algae) เนื่องจากมีคลอโรฟิลล์ช่วยในการสังเคราะห์แสง หรืออาจจะเรียกได้ว่าเป็นแบคทีเรียประเภทไซยาโนแบคทีเรีย (cyanobacteria) เนื่องจากเป็นสิ่งมีชีวิตประเภทโปรแคริโอท (procaryote) คือนิวเคลียสไม่มีเยื่อหุ้ม ยูวดี (2542) กล่าวว่า บางครั้งมีคลอโรฟิลล์ช่วยในการสังเคราะห์แสง

ทำให้หลายคนคิดว่าเป็นพืชสาหร่ายชนิดนี้ห่างไกลจากความเป็นพืชอยู่มาก สาหร่ายชนิดนี้กำเนิดในยุคแรก ๆ ของกำเนิดของสิ่งมีชีวิตในโลก คือยุคพรีแคมเบรียน (precambrian) ซึ่งนับเป็นเวลาพันล้านปี อาจเป็นกลุ่มสิ่งมีชีวิตประเภทที่สองรองจากแบคทีเรีย ซึ่งกำเนิดในโลกก่อนสิ่งมีชีวิตอื่น ในด้านรูปร่างโครงสร้างนั้นยังคงไม่เปลี่ยนไปจากยุคที่กำเนิดขึ้นมามากนัก ยังมีเยื่อหุ้มเซลล์เป็นสารพวกโพลีแซคคาไรด์ สามารถย่อยง่ายต่างกับพืชชั้นสูง หรือแม้กระทั่งสาหร่ายสีเขียว เช่น สาหร่ายคลอเรลลา (*Chlorella spp.*) ใน Division Chlorophyta ซึ่งมีผนังเซลล์เป็นเซลลูโลสยากแก่การย่อย เจียมจิตต์ (2544) สยามแอลจีจำกัด (2532) และยุวดี (2542) พบว่าคุณสมบัติเด่นอีกอย่างหนึ่งของสาหร่ายชนิดนี้ คือจะพบในแหล่งน้ำธรรมชาติที่มีความเป็นด่างสูง โดยมีค่า pH 10 ± 1 ซึ่งสิ่งมีชีวิตชนิดอื่นเจริญอยู่ค่อนข้างยาก จึงเท่ากับว่าเกือบจะเป็นสิ่งมีชีวิตชนิดเดียวในแหล่งน้ำที่พบสาหร่ายชนิดนี้ หรือถ้านำไปเพาะเลี้ยงก็จะมี การปนเปื้อนจากสิ่งมีชีวิตอื่นได้น้อย (ยุวดีและคณะ, 2535)

สาหร่าย *Spirulina spp.* นี้มีอยู่ด้วยกันประมาณ 35 สปีชีส์ (species) เช่น *Spirulina platensis*, *S. major*, *S. princeps*, *S. laxissima*, *S. subtilissima* เป็นต้น แต่ละชนิดมีความแตกต่างกันทั้งขนาดความยาวและลักษณะของเกลียว แต่ชนิดที่ได้รับการคัดสรรแล้วว่ามีความเหมาะสมในการเพาะเลี้ยง เพื่อนำมาเป็นอาหารมนุษย์หรือสัตว์คือ *Spirulina platensis* ลักษณะของสาหร่ายชนิดนี้เป็นเส้นสายประกอบด้วยเซลล์ที่เรียงต่อกัน ไม่แตกแขนง เรียกเส้นสายนี้ว่า ทริโคม (trichome) เส้นสายนี้บิดเป็นเกลียว ลักษณะของเกลียวแตกต่างกันตามสปีชีส์ ขนาดความยาวประมาณ 300-500 ไมโครเมตร ความกว้างประมาณ 8 ไมโครเมตร ทริโคมของสาหร่ายชนิดนี้ประกอบด้วยเซลล์หลายเซลล์มาต่อกัน ผนังเซลล์ เป็นผนังหลายชั้น ประกอบด้วยสารมิวโคโปรตีนและเพคติน ชั้นนอกเป็นสารโพลีแซคคาไรด์ มีแวคิวโอล (vacuole) ขนาดใหญ่ ทำให้ลอยน้ำได้ นิวเคลียสไม่มีเยื่อหุ้ม กรดนิวคลีอิกกระจายอยู่ทั่วเซลล์ (Venkataraman, 1983) การสืบพันธุ์ของสาหร่ายชนิดนี้จะมีเฉพาะแบบไม่อาศัยเพศ โดยการขาดออกเป็นท่อน (fragmentation) และท่อนที่ขาดไปนี้สามารถแบ่งเซลล์ใหม่ ทำให้ทริโคมยืดยาวออกได้ (กาญจนาภาชน์, 2527) เส้นสายของสาหร่ายนี้อาจยาวบางสั้นบาง ขึ้นอยู่กับอายุและความอุดมสมบูรณ์ แม้แต่ความเป็นเกลียวบางครั้งไม่คงที่ อาจบิดเป็นเกลียวชัดเจนสวยงาม หรือบางครั้งเกลียวจะคลายออกคล้ายเส้นตรง ซึ่งขึ้นอยู่กับปัจจัยของการเพาะเลี้ยง อาจจะเป็นความอุดมสมบูรณ์ของสารอาหาร แสง อุณหภูมิ หรือ pH ซึ่งยังไม่มีคำตอบชัดเจน (สมชาย, 2531)

การจัดจำแนกสาหร่าย *Spirulina platensis*

ในแง่ของอนุกรมวิธานได้ยึดตามหลักของ Bold and Wynne (1978) และ Venkataraman (1983) ซึ่งจัดไว้ดังนี้

Kingdom Monera

Division Cyanophyta

Class Cyanophyceae

Order Oscillatoriales

Family Oscillatoriaceae

Genus *Spirulina*

Species *platensis*

มีความสับสนกันระหว่างการใช้ชื่อจีนัสของสาหร่ายชนิดนี้ว่าควรจะใช้ชื่อ *Spirulina* หรือ *Arthrospira* Tamaselli (1997) ได้กล่าวไว้ว่า Castenholz ในปี 1989 จัดให้สาหร่ายชนิดนี้อยู่ในจีนัส *Arthrospira* ตามการจัดและการตั้งชื่อของจีนัสของ Stizenberger ซึ่งได้ตั้งไว้ในปี 1852 และอยู่ใน Order Oscillatoriales ซึ่งถ้าจะศึกษาลึกให้ถึงสปีชีส์ก็จะได้ชื่อวิทยาศาสตร์ว่า *Arthrospira platensis* (Nordst.) ของ Gomont ในปี 1892 แต่เมื่อปี 1925 และ 1932 Geitler ได้เปลี่ยนชื่อจีนัสของสาหร่ายชนิดนี้เป็น *Spirulina* สรุปว่าแท้ที่จริงเป็นจีนัสเดียวกัน

วงจรชีวิตของสาหร่ายสไปรูลินา

วงจรชีวิตของสาหร่ายสไปรูลินาเริ่มจากไตรโคมที่โตเต็มที่แล้ว จะเปลี่ยนแปลงเป็นเซลล์พิเศษที่เรียกว่า นิคริเดีย (necredia) หลังจากนั้น นิคริเดียจะแตกออกเป็นชิ้นส่วนเล็ก ๆ หลายสาย แต่ละสายประกอบด้วย 2-4 เซลล์ เรียกแต่ละสายว่า ฮอร์โมโกเนีย (hormogonia) จากนั้นปลายทั้งสองด้านของฮอร์โมโกเนียจะค่อย ๆ ม้วนเป็นเกลียว เซลล์ของฮอร์โมโกเนียเพิ่มจำนวนโดยวิธี cell fusion และเจริญต่อไปเป็นไตรโคม (ลักษณะและคณะ, 2540)

ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการเจริญเติบโตของสาหร่ายสไปรูลินา

1. อุณหภูมิ สาหร่ายสไปรูลินาจะเจริญได้ดี ในที่มีอุณหภูมิเฉลี่ยตลอดปี ประมาณ 28-34 องศาเซลเซียส ถ้าอุณหภูมิต่ำกว่า 20 หรือสูงกว่า 37 องศาเซลเซียส จะไม่เหมาะสมกับการเจริญเติบโตของสาหร่ายสไปรูลินา และในช่วงอุณหภูมิ 30-35 องศาเซลเซียส จะเป็นช่วงที่เหมาะสมที่สุดต่อการเจริญเติบโตของสาหร่ายสไปรูลินา (Venkataraman, 1983, สุนนทิพย์, 2529 และ ยวดี, 2544)

2. แสงสว่าง การเจริญเติบโตของสาหร่ายสไปรูลินามีลักษณะคล้ายพืชสีเขียวทั่ว ๆ ไป กล่าวคือต้องอาศัยแสงสว่าง เพื่อใช้ในการสังเคราะห์แสง ในประเทศอินเดียมีการเพาะเลี้ยงสาหร่ายชนิดนี้พบว่า สาหร่ายเจริญดีที่ความเข้มแสง 3.0-3.5 กิโลลักซ์ (Venkataraman, 1983) สำหรับการเพาะเลี้ยงในประเทศไทย ในระดับอุตสาหกรรมสามารถเพาะเลี้ยงในถังขนาดใหญ่ และให้ได้รับแสงสว่างจากดวงอาทิตย์โดยตรง ปรากฏว่าให้ผลผลิตสูง (นฤมล และคณะ, 2528) สรวีศ (2543) กล่าวว่า สาหร่ายได้รับความเข้มข้นแสงต่ำกว่าระดับที่เหมาะสม ทำให้สาหร่ายมีการเจริญเติบโตช้า ในขณะที่เดียวกันถ้าได้รับแสงเข้มข้นสูงเกินไป (Photoinhibition) ทำให้ผลผลิตสาหร่ายลดลง ความเข้มข้นแสงยังมีผลต่อองค์ประกอบชีวเคมีภายในเซลล์ การสังเคราะห์แสงของสาหร่ายจะใช้พลังงานจากแสงในช่วงคลื่นที่เรียกว่า photosynthesis active radiation (PAR) มีความยาวคลื่นระหว่าง 400 – 700 nm สรวีศ (2543) อ้างถึง Vonshak 1988 รายงานว่า การเกิด photoinhibition ทำให้ผลผลิตของสาหร่ายสไปรูลินา ที่เลี้ยงในบ่อกลางแจ้งลดลง 30 เปอร์เซ็นต์ การคัดเลือกสายพันธุ์สาหร่ายสไปรูลินา เพื่อเลี้ยงในบ่อเปิดกลางแจ้งจึงจำเป็นต้องพิจารณาสายพันธุ์ที่ทนความเข้มข้นแสงสูง ๆ ได้ดี ซึ่ง Vonshak 1988 ได้กำหนดคุณลักษณะสายพันธุ์ของสาหร่ายสไปรูลินา ให้เหมาะสมกับการเพาะเลี้ยงในบ่อกลางแจ้งดังนี้คือ ต้องทนต่อความเข้มข้นสูง มีอัตราการหายใจต่ำ (low respiration) เนื่องจากการหายใจสาหร่ายในเวลากลางคืนอาจจะทำให้สูญเสียผลผลิตไปได้ถึง 35% มีความทนต่อปริมาณความเข้มข้นของออกซิเจนสูง ๆ ได้ดี เนื่องจากออกซิเจนที่ปลดปล่อยออกมาจากการสังเคราะห์แสง ของสาหร่ายในน้ำจะทำให้ปริมาณออกซิเจนละลายน้ำเพิ่มสูงขึ้นกว่าจุดอิ่มตัวได้ถึง 500% โดยเฉพาะเมื่อการหมุนเวียนของน้ำในบ่อเลี้ยงไม่ดี ต้องทนต่อการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิในรอบวัน โดยเฉพาะการเลี้ยงสาหร่ายในพื้นที่ที่อุณหภูมิต่ำในเวลากลางคืน และทนต่อการเปลี่ยนแปลงของแรงดันออสโมติก และความเค็มของน้ำ เมื่อมี

การระเหยของน้ำเกิดขึ้นในระหว่างการเลี้ยง เมื่อน้ำมีความเค็มสูงขึ้นจะทำให้สาหร่ายมีอัตราการหายใจ (dark respiration) เพิ่มขึ้นเพื่อสร้างพลังงานสำหรับปรับแรงดันออสโมติกภายในเซลล์ ทำให้ผลผลิตลดลง

3. ความเป็นกรดเบส สาหร่ายสไปรูลินาเจริญเติบโตได้ดีในสภาพที่เป็นด่าง คือ ความเป็นกรดเบสค่อนข้างสูง ในช่วงระหว่าง 9-11 ถ้าความเป็นกรดเบสต่ำกว่า 8 และสูงกว่า 11 การเจริญเติบโตสาหร่ายจะลดลง Venkataraman (1983) และสุนนทิพย์ (2529) รายงานว่าค่าความเป็นกรดเบส ของอาหารเป็นตัวกำหนด ความสามารถในการละลายก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ และแร่ธาตุอื่น ๆ นอกจากนี้ยังมีอิทธิพลทั้งทางตรง และทางอ้อมต่อขบวนการเมตาโบลิซึมของสาหร่าย Danesi et al. (2002) รายงานว่า ที่ pH 11 สาหร่ายสไปรูลินาสามารถดูดคาร์บอนเนต และไบคาร์บอนเนตมาใช้ประโยชน์ได้มากที่สุด

4. เชื้อตั้งต้น (inoculum size) การเพาะเลี้ยงสาหร่ายสไปรูลินาที่มีปริมาณมาก ถ้าจะให้ประสบความสำเร็จต้องใช้เชื้อตั้งต้นในปริมาณพอเหมาะ ถ้าหากใช้เชื้อตั้งต้นในปริมาณน้อยเกินไปความเข้มของแสงสูงเป็นเหตุให้เกิดการตาย สาเหตุมาจาก photo-oxidation ถ้าหากเชื้อตั้งต้นมีปริมาณมากเกินไปจะทำให้สาหร่ายบดบังแสงสว่างกันเอง ปริมาณความหนาแน่นเริ่มต้นที่เหมาะสมของสาหร่ายสไปรูลินาควรอยู่ระหว่าง 225-250 มิลลิกรัมของน้ำหนักแห้งต่ออาหารที่เพาะเลี้ยง 1 ลิตร (Venkataraman, 1983) ความหนาแน่นของเชื้อตั้งต้นที่เหมาะสมสำหรับ *Spirulina maxima* เมื่อวัดค่า optical density ที่ความยาวคลื่น 560 นาโนเมตร มีค่าเท่ากับ 0.35 (Faucher et al. 1979; Lenduy and Therien, 1977) หลังจากนั้นอัตราการเติบโตลดลง ส่วน *Spirulina platensis* ที่ความหนาแน่นเริ่มต้น 0.6 อัตราการเจริญเติบโตที่เพิ่มขึ้นต่อวันสูงที่สุด (พิมพรรณ และอารักษ์, 2531)

5. การหมุนเวียนของสารอาหารและระดับความลึกที่ใช้เพาะเลี้ยง การหมุนเวียนของสารอาหารเป็นปัจจัยสำคัญอย่างหนึ่ง เพราะเป็นการช่วยให้สาหร่ายที่อยู่ในระดับต่าง ๆ ได้รับแสงสว่างและสัมผัสกับธาตุอาหารอย่างทั่วถึง ลดการตกตะกอนของสาหร่าย ซึ่งจะทำให้สาหร่ายใช้ธาตุอาหาร และกิจกรรมของเซลล์ดำเนินไปอย่างมีประสิทธิภาพ ถ้าสารอาหารไม่มีการหมุนเวียน อุณหภูมิที่ผิวหน้าสารอาหารจะสูงถึงระดับหนึ่ง จะทำให้เกิดการยับยั้งการสังเคราะห์แสงได้ (ชินจิตร, 2530 และ Venkataraman, 1983) การกวน หรือ agitation เป็นปัจจัยสำคัญอย่างหนึ่งของการเพาะเลี้ยงสาหร่ายสไปรูลินา การกวนมีผลให้เซลล์สาหร่ายที่อยู่

ด้านล่างมีโอกาสนั้นมารับแสง ซึ่งจะทำให้สาหร่ายที่อยู่ด้านล่างไม่ตาย นอกจากนี้ยังทำให้สารอาหารซึ่งอาจมีการเติมลงไปใหม่ในระหว่างการเพาะเลี้ยงได้ละลายไปทั่วบ่อ หรือภาชนะที่ใช้เพาะเลี้ยง และมีผลให้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในอากาศละลายลงในสารอาหารได้บ้าง การกวนอาจจะใช้วิธีง่าย ๆ เช่น ใช้ไม้พาย หรือไม้กวาดที่มีลักษณะคล้ายแปรง (broom bush) กวนลงไปในการนั้น มีรายงานว่ามีการกวน 2 ครั้งต่อวัน ครั้งละ 15 นาที ก็สามารถทำให้สาหร่ายเจริญได้ดี (ยุวดี, 2544)

6. แหล่งคาร์บอน สาหร่ายสไปรูลินาจะใช้คาร์บอนไดออกไซด์เป็นแหล่งคาร์บอน ในกระบวนการสังเคราะห์แสง การพ่นก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ลงในอาหารโดยตรง จะทำให้สารอาหารที่ใช้เพาะเลี้ยงมีสภาพเป็นกรด ต้องรักษาระดับความเป็นกรดเบสให้อยู่ในระดับเสมอ ในช่วง 8.5-10.0 อาจจะใช้สารที่มีไบคาร์บอเนตประมาณ 4.5 กรัมต่อลิตร แทนคาร์บอนไดออกไซด์ก็ได้ผลดี (Venkataraman, 1983, นฤมล และคณะ, 2528)

7. ธาตุอาหาร ธาตุอาหารที่สำคัญต่อการเจริญเติบโตของสาหร่าย ได้แก่ ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียม ไนโตรเจนเป็นส่วนประกอบที่สำคัญของโปรตีน สาหร่ายนำไปใช้เป็นโครงสร้าง และใช้ในกิจกรรมต่าง ๆ ของเซลล์ ไนโตรเจนเป็นส่วนประกอบของคลอโรฟิลล์ และเป็นองค์ประกอบของเอนไซม์ ส่วนฟอสฟอรัสมีบทบาทเกี่ยวข้องกับการสังเคราะห์แสงและการเจริญเติบโตของสาหร่าย เกี่ยวข้องกับการแบ่งเซลล์และการขยายขนาดเซลล์ การเคลื่อนย้ายพลังงาน การสร้างโปรตีน การหายใจและใช้ในกิจกรรมต่าง ๆ ที่สำคัญ ของเซลล์ ถ้าขาดฟอสฟอรัสทำให้มีการสะสมไขมันในเซลล์เป็นจำนวนมาก ส่วนโพแทสเซียมมีบทบาทในการสร้างโปรตีน ช่วยควบคุมความเป็นกรดเบส ช่วยให้สาหร่ายมีความต้านทานต่อการเปลี่ยนแปลงของสภาวะแวดล้อมต่าง ๆ ได้ดี ในสภาวะที่มีโพแทสเซียมต่ำจะทำให้การเจริญเติบโตและการสังเคราะห์แสงต่ำ ในขณะเดียวกันจะทำให้การหายใจเพิ่มมากขึ้น (ชินจิตร, 2530)

8. การระเหยของน้ำ ในการผลิตสาหร่ายสไปรูลินาในสภาพกลางแจ้ง จะทำให้มีการสูญเสียน้ำเนื่องจากการระเหยของน้ำทำให้ปริมาณของสารอาหารลดลง ความเข้มข้นของสารละลายเพิ่มขึ้น และทำให้อุณหภูมิของสารละลายเพิ่มขึ้น ซึ่งจะมีผลกระทบต่อเจริญเติบโตของสาหร่ายสไปรูลินา (ยุวดี, 2544)

9. น้ำที่ใช้ในการเพาะเลี้ยง โดยปกติการเพาะเลี้ยงสาหร่ายสไปรูลินาจะใช้น้ำจืด แต่ถ้าใช้น้ำทะเลมาใช้เพาะเลี้ยงจะพบว่า การเจริญเติบโตของสาหร่ายไม่ดี เนื่องจากน้ำทะเล

จะมีคาร์บอนเต ฟอสเฟต ไนโตรเจนต่ำ และมีแคลเซียม แมกนีเซียมสูงไม่เหมาะต่อการเจริญของสาหร่ายสไปรูลินา เพราะนอกจากแมกนีเซียมในน้ำทะเลจะยับยั้งการเจริญของสาหร่ายแล้ว แมกนีเซียมและแคลเซียมจะไปจับคาร์บอนเต หรือฟอสเฟตที่เติมลงไปทำให้เกิดการตกตะกอน (Venkataraman, 1983)

10. การปนเปื้อน อาจพบพวกสาหร่ายสีเขียว ซึ่งพบจำนวนน้อยเนื่องจากสภาพไม่เหมาะสม แบคทีเรีย พวกบาซิลลัส นอกจากนี้ก็พวกไดอะตอม ตัวอ่อนของแมลงพวก Ephydra and Anopheles (Venkataraman, 1983)

คุณค่าทางโภชนาการของสาหร่ายสไปรูลินา

ยูวดีและคณะ (2535) รายงานว่า ได้ทำการวิเคราะห์คุณค่าทางโภชนาการของสาหร่ายสไปรูลินาที่เลี้ยงด้วยสูตรน้ำกากส่าเหล้าความเข้มข้น 0.5 เปอร์เซ็นต์ พบว่ามีปริมาณเฉลี่ยคิดเป็นร้อยละ(กรัมต่อ 100 กรัมน้ำหนักแห้ง) ดังนี้ โปรตีน 68.63 คาร์โบไฮเดรต 12.99 ไขมัน 6.57 เถ้า 6.05 ความชื้น 5.76 เส้นใยอาหาร 7.38 ปริมาณแร่ธาตุโดยเฉลี่ยคิดเป็น มิลลิกรัมต่อ 100 กรัมน้ำหนักแห้ง ดังนี้ แคลเซียม 1230.12 ฟอสฟอรัส 700.06 โพแทสเซียม 510.04 แมกนีเซียม 390.04 โซเดียม 370.02 แมงกานีส 2.74 เหล็ก 24.95 สังกะสี 3.87 โคโรเมียม 0.12 ทองแดง 3.59 วิเคราะห์พลังงานได้ 5.31 กิโลแคลอรีต่อกรัมน้ำหนักแห้ง และไม่พบความเป็นพิษของสาหร่ายสไปรูลินา ปริมาณสาหร่ายที่ทำให้สัตว์ทดลองตายกึ่งหนึ่ง (LD₅₀) มีค่ามากกว่า 10,666.67 มิลลิกรัมต่อน้ำหนักตัว 1 กิโลกรัม ผู้มีน้ำหนักตัว 50 กิโลกรัม สามารถรับประทานได้ 533.25 กรัมต่อวัน Venkataramen (1983) กล่าวว่า องค์ประกอบทางเคมีของสาหร่ายจะแตกต่างกันตามสภาพแวดล้อมที่มีผลต่อการเจริญ ได้แก่ อุณหภูมิ ความเป็นกรด – เบส และสารอาหาร อย่างเช่น เปอร์เซ็นต์ของกรดอะมิโนที่มีกำมะถันเป็นองค์ประกอบ (Sulphur amino acid) ขึ้นกับค่าความเป็นกรด – เบส และปริมาณไนโตรเจนในอาหารที่ใช้เลี้ยงสาหร่าย Weimin *et al.* (2001) รายงานว่า สาหร่ายสไปรูลินาเลี้ยงในสูตร Zarrouk พบปริมาณโปรตีน 61.44% สูงกว่าคลอเรลลา พบ 52.64% และมีปริมาณ คาร์โบไฮเดรต 10.57%, ไลปิด (lipid) 10.30%, เถ้า (ash) 4.34%, ความชื้น (moisture) 8.04% สไปรูลินา และคลอเรลลา เกิดการระเหยกลายเป็นไอ (devolatilized) ที่อุณหภูมิ 190-560°C, 150-540°C ตามลำดับ อุณหภูมินี้เกิดการระเหยเป็นไอได้ 71% ของสาหร่ายทั้งหมด พลังงาน

ที่เกิดการเผาไหม้ (pyrolysis) ของคลอเรลลา $4.22-5.22 \times 10^4$ ต่ำกว่าของสไปรูลิना $7.62-9.70 \times 10^4$ ผลตกค้างการเผาไหม้ครั้งสุดท้ายของ คลอเรลลาพบ 14-15.14% ต่ำกว่าสไปรูลิनाอยู่ 2-3% แสดงว่าคลอเรลลาเกิดการเผาไหม้ (pyrolysis) มากกว่าสไปรูลิना

โปรตีน-กรดอะมิโน

สาหร่ายสไปรูลิनाแห้งจะมีโปรตีนอยู่ระหว่าง 55 – 72% คุณภาพของโปรตีนขึ้นอยู่กับความสมดุลในปริมาณของกรดอะมิโนจำเป็น (essential amino acid) และความยากง่ายในการย่อย (digestibility) จากการวิเคราะห์องค์ประกอบของกรดอะมิโนในสาหร่ายสไปรูลินาพบว่าอยู่ในเกณฑ์สมดุลทั้งในด้านปริมาณและคุณภาพ (ยุวดี และคณะ, 2535) เจียมจิตต์ (2544) ได้แสดงปริมาณโปรตีนของสาหร่ายสไปรูลินาเมื่อเทียบกับอาหารชนิดอื่น ๆ (ตารางที่ 1) และปริมาณกรดอะมิโนในสาหร่ายสไปรูลินาเมื่อเทียบกับอาหารชนิดอื่น ๆ (ตารางที่ 2) ปริมาณโปรตีนจากการเพาะเลี้ยงสาหร่ายสไปรูลินาจากน้ำทิ้งโรงงานอุตสาหกรรมบางประเภท (ตารางที่ 3)

ตารางที่ 1 เปรียบเทียบปริมาณโปรตีนในสาหร่ายสไปรูลินา กับอาหารชนิดอื่น ๆ

ชนิดของสารอาหาร	ปริมาณโปรตีน (กรัม/100กรัมน้ำหนักแห้ง)
สาหร่ายสไปรูลินา	69.5-71.0
สาหร่ายคลอเรลลา	40.0-56.0
เนื้อวัว	18.0-20.0
ไข่	10.0-25.0
ข้าวสาลี	6.0-10.0
ข้าวเจ้า	7.0
ถั่วเหลือง	33.0-35.0
ปลาทู ปลาอินทรี	20.0

ที่มา : เจียมจิตต์ (2544)

ตารางที่ 2 เปรียบเทียบปริมาณกรดอะมิโนที่จำเป็นในสหาร่ายสไปรูลินากับสหาร่าย
คลอเรลลา ถั่วเหลือง เนื้อวัว ไข่ ปลาทู ปลาอินทรี และปริมาณ
มาตรฐาน FAO

กรดอะมิโน	สหาร่าย สไปรูลินา	สหาร่าย คลอเรลลา	ถั่วเหลือง	เนื้อวัว	ไข่	ปลาทู ปลาอินทรี	ปริมาณ FAO
ไอโซลิวซีน	3.3-3.9	3.9	1.8	0.93	0.67	0.83	4.2
ลิวซีน	5.9-6.5	6.01	2.70	1.7	1.08	1.28	4.8
ไลซีน	2.6-3.3	3.6	2.58	1.76	0.89	1.95	4.2
เมทริโอนีน	1.3-2.0	0.61	0.48	0.43	0.40	0.58	2.2
ซิสทีน	0.5-0.7	0.48	0.48	0.23	0.35	0.38	4.2
ฟีนิลอะลานีน	2.6-3.3	3.00	1.98	0.86	0.65	0.61	2.8
ไทโรซีน	2.6-3.3	2.53	1.38	0.68	0.49	0.61	-
ทรีโอนีน	3.0-3.6	2.30	1.62	0.86	0.59	0.99	2.8
ทริปโตเฟน	1.0-1.6	0.59	0.55	0.25	0.20	0.30	1.4
วาลีน	4.0-4.6	3.30	1.86	1.05	0.83	1.02	4.2

ที่มา : เจียมจิตต์ (2544)

ตารางที่ 3 ปริมาณโปรตีนจากสาหร่ายสไปรูลินาที่เลี้ยงในน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรม
บางประเภทและน้ำหมักพืชผักบางชนิด

น้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรมบางประเภท และน้ำหมักพืชผักบางชนิดที่ใช้เลี้ยงสาหร่ายสไปรูลินา	ปริมาณโปรตีน (กรัม/100กรัมน้ำหนักแห้ง)
น้ำกากส่าเหล้า	68.63
น้ำเวย์เต้าหู้	55.41
น้ำเวย์นม	54.54
น้ำหมักผักตบชวา	54.75
น้ำหมักผักตบชวาที่ผสมน้ำกากส่าเหล้า	56.65
น้ำทิ้งจากโรงงานทำกระดาษ	54.00

ที่มา : ยวดี (2544)

กรีนโดมอนต์ (2544) รายงานว่าสไปรูลินาเป็นแหล่งสารอาหารที่สำคัญของสมอง เช่นกรดกลูตามิก กรดอะมิโนชนิดหนึ่ง มีความสำคัญในขบวนการเผาผลาญอาหารในสมอง การได้รับกรดกลูตามิกเข้าไปจะช่วยให้เกิดสมดุลทั้งในร่างกาย และระบบประสาท และทำให้สุขภาพของสมองและบุคลิกภาพดีขึ้น และมีทริปโตเฟน เข้าไปกระตุ้นให้สมองหลั่งสารซีโรโทนิน (serotonin) ตัวส่งสัญญาณประสาทที่มีคุณภาพที่มีคุณสมบัติทำให้ร่างกายรู้สึกผ่อนคลาย ช่วยให้นอนหลับสบาย และจิตใจผ่อนคลาย ยังมีวาเลีน ช่วยทำให้ประสาทดีขึ้น และมีความสุขขึ้น ฟีนิลอะลานีน (Phenylalanine) ในสาหร่าย ช่วยส่งผ่านความรู้สึกและรักษาสมดุลของประสาท ไอโซลิวซีน (Isoleucine) ช่วยป้องกันความเสื่อมของประสาท ลิวซีน (Leucine) ไปกระตุ้นสมองส่วนบนช่วยให้ร่างกายตื่นตัวและกระฉับกระเฉง นอกจากนั้นยังมีกรดนิวคลีอิก เป็นสารชนิดหนึ่งที่พบอยู่ในเซลล์ของสิ่งมีชีวิตทุกเซลล์ ประกอบด้วย 2 ส่วน คือ DNA (Deoxyribonucleic acid) ทำหน้าที่นำพาลักษณะพันธุกรรมของสิ่งมีชีวิตนั้น ๆ และ RNA (Ribonucleic acid) มีหน้าที่ในการซ่อมสร้างเซลล์ ควบคุมการเจริญเติบโต และการสังเคราะห์สารต่าง ๆ ภายในเซลล์ โดยทั่วไปแล้วในสาหร่ายขนาดเล็กจะมีปริมาณกรดนิวคลีอิกประมาณ 4-6% กรีนโดมอนต์ (2544) อ้างถึง Hills (1980) ได้รายงานผลการวิเคราะห์ขององค์การอาหาร และเกษตรแห่งสหประชาชาติ

(FAO) ระบุว่าสาหร่ายสไปรูลินามี DNA 3.5% และมี RNA 1.0% ในขณะที่ยีสต์มี 8–12% และแบคทีเรียในอาหารหมักดองมี 20%

รงควัตถุ (pigments)

สาหร่ายสไปรูลินา ประกอบด้วยรงควัตถุหลายชนิด เช่น คลอโรฟิลล์ เอ แคโรทีนอยด์ และไฟโคบิลิน ยูวดีและคณะ (2535) ได้อ้างถึง choubert (1979) กล่าวว่า สาหร่ายสไปรูลินา ประกอบด้วย แคโรทีนอยด์ 1.7 มิลลิกรัม/กรัมของน้ำหนักแห้ง ซึ่งแยกออกเป็นส่วต่าง ๆ ดังนี้คือ เบต้า-แคโรทีน (β -carotene) 26% , β -carotene-5,6-epoxide 5% , echinenone 7%, cryptoxanthin 23%, myxoxanthophyll 27%, xexanthin 9% Pinero *et al.* (2001) รายงานว่า phycobilisomes ในสาหร่ายสไปรูลินาพบว่ามีประมาณ 80-85% มีอยู่สองชนิดที่มีความสำคัญคือ phycocyanin และ allophycocyanin เป็นสารสีน้ำเงินในสไปรูลินา ใช้ในอุตสาหกรรมเครื่องสำอางค์

คลอโรฟิลล์ กรีนไดมอนด์ (2544) กล่าวว่า คุณสมบัติของคลอโรฟิลล์ มีดังนี้คือ

1. คลอโรฟิลล์มีผลทางการเร่งประสิทธิภาพการทำงานของเนื้อเยื่อ และอวัยวะต่าง ๆ ในร่างกายให้สูงขึ้น
2. คลอโรฟิลล์มีผลต่อกล้ามเนื้อหัวใจ คือ การหดตัวของกล้ามเนื้อหัวใจดีขึ้น เพราะระยะการคลายตัวนานขึ้น การทำงานโดยส่วนรวมของหัวใจก็ดีขึ้น เนื่องจากเส้นโลหิตฝอยมีการขยายตัวดีขึ้น
3. คลอโรฟิลล์ช่วยในการขับถ่ายดีขึ้น
4. คลอโรฟิลล์ช่วยให้คลอเลสเตอรอลต่ำ
5. คลอโรฟิลล์ช่วยส่งเสริมการงอกใหม่ของเซลล์
6. คลอโรฟิลล์เป็นสารที่ช่วยเพิ่มปริมาณเลือด
7. คลอโรฟิลล์ทำหน้าที่ขจัดกลิ่นเหม็นของแผล
8. คลอโรฟิลล์มีคุณสมบัติเป็นสารดูดความชื้นทำให้แผลแห้ง
9. รักษาบาดแผลเปื่อยในกระเพาะอาหารและการอักเสบของทางเดินอาหาร

ไฟโคไซยานิน กรีนไดมอนด์ (2544) กล่าวว่า รงควัตถุที่มีในสไปรูลินาคือไฟโคไซยานิน และได้มีงานวิจัยของญี่ปุ่นศึกษาการสกัดสารไฟโคไซยานิน แล้วนำไปให้หนูทดลองที่เป็นโรคมะเร็งตับกินพบว่า กลุ่มที่ได้รับสาหร่ายสไปรูลินามีอัตราการรอดสูงกว่ากลุ่มควบคุมที่ไม่ได้รับ

สาหร่ายสไปรูลินา แสดงให้เห็นว่าไฟโคไซยานินช่วยทำให้ความต้านทานของร่างกายดีขึ้น ทำลายเซลล์มะเร็ง และป้องกันโรคเสื่อมโทรมของอวัยวะ โดยเพิ่มประสิทธิภาพของภูมิคุ้มกันทั่วไป Madhava *et al.* (2000) รายงานว่า ไฟโคไซยานิน (phycocyanin) ในสไปรูลินา มีคุณสมบัติป้องกันข้อต่ออักเสบในหนู และเป็นตัวยับยั้งกิจกรรมของกรด arachidonic และ enzyme cyclooxygenase ในเซลล์ได้ การเพิ่มขึ้นของปริมาณ ไฟโคไซยานิน (phycocyanin) ส่งผลให้กิจกรรมของ antioxidant เพิ่มขึ้น (Pinero *et al.*, 2001) เมื่อศึกษาความเป็นพิษของไฟโคไซยานินกับหนูเหือกทั้งสองเพศ ในความเข้มข้นสูงคือ 0.25-5.0 g/kg และความเข้มข้นต่ำ 0.5-4.0 g/kg พบว่าไม่มีอันตรายต่ออวัยวะส่วนใด ๆ ของหนูเหือก และไม่เป็นพิษต่อระบบใด ๆ ของหนูเลย (Naidu *et al.*, 1999)

เบต้า-แคโรทีน เป็นสารต้านมะเร็งชนิดหนึ่งที่รู้จักกันมากที่สุดกว่า 12 ปี สาหร่ายสไปรูลินามีเบต้า - แคโรทีนปริมาณมากกว่า 10 เท่าในอาหารชนิดอื่น ๆ ประโยชน์ของเบต้า - แคโรทีน คือ เป็นแหล่งวิตามิน เอ ช่วยลดการเกิดมะเร็งในปอด ป้องกันสารเคมีไม่ให้ก่อเกิดก่อนเนื้อร้าย ป้องกันมิให้มีการเปลี่ยนแปลงโครโมโซมที่จะก่อให้เกิดมะเร็ง ช่วยเพิ่มภูมิคุ้มกันต้านทาน เบต้า - แคโรทีนในสาหร่ายสไปรูลินา และพืชสีเขียวมีสารที่ให้ผลในทางแอนติออกซิเดชั่นมากกว่า เบต้า - แคโรทีนที่ได้จากการสังเคราะห์ (กรีนไดมอนด์, 2544)

ไขมัน (lipid)

ไขมันส่วนใหญ่ในสาหร่ายสไปรูลินา เป็นกรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัว (unsaturated fatty acids) ซึ่งมีประมาณร้อยละ 80 โดยเฉพาะอย่างยิ่งกรดลิโนเลนิก (linolenic acid) มีประมาณร้อยละ 35 เป็นกรดไขมันที่จำเป็นต่อร่างกาย (Venkataraman, 1983) GLA (γ -(gamma)-linolenic acid; 18:3 ω 6) เป็นกรดไขมันที่มีประโยชน์ในทางเภสัชกรรมคือจะช่วยลดปัญหาเรื่องโรคโคเลสเตอรอล (low density lipoprotein) ลดอาการปวดประจำเดือน (pre-menstrual syndrome) และลดผื่นแพ้จากกรรมพันธุ์ (Atopic dermatitis/Eczema) GLA พบมากในพืชโดยเฉพาะ Evening primrose การเลี้ยงสาหร่ายสไปรูลินาเพื่อผลิตกรดไขมันและ GLA เลี้ยงในความเข้มข้นแสงที่ต่ำหรือเลี้ยงเซลล์ที่ความหนาแน่นของเซลล์สูง ๆ การลดอุณหภูมิของการเลี้ยงต่ำกว่าอุณหภูมิปกติทำให้ปริมาณ GLA เพิ่มขึ้น (สรวิศ, 2543)

วิตามินและแร่ธาตุ (Vitamins and Minerals)

ยวดีและคณะ (2535) กล่าวว่า สาหร่ายสไปรูลินาเป็นแหล่งวิตามินหลายชนิด โดยเฉพาะอย่างยิ่งวิตามินบีรวม (B-complex) ส่วนโคบาลามินมีปริมาณสูงกว่าสาหร่ายสีเขียวชนิดอื่น เช่น *Scenedesmus spp.* แร่ธาตุและวิตามินชนิดที่องค์ประกอบของสาหร่ายจะมีปริมาณแตกต่างกันเช่น สาหร่ายสไปรูลินาเลี้ยงในน้ำกากส่าเหล้าเข้มข้น 0.5% มีโปรวิตามินเอ 40.27 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัม น้ำหนักแห้ง วิตามินบี1 0.20 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัม น้ำหนักแห้ง เป็นต้น ดังตารางที่ 4 สาหร่ายสไปรูลินา ช่วยให้การดูดซึมวิตามิน B1 จากอาหารดีขึ้น และช่วยเพิ่มแลคโตบาซิลลัสในลำไส้มากขึ้น นอกจากนี้ยังมีแมงกานีส เป็นแร่ธาตุช่วยในการเสริมประสาทสมอง (กรีนไดมอนด์, 2544)

ตารางที่ 4 แสดงปริมาณแร่ธาตุ ในสาหร่ายสไปรูลินา

แร่ธาตุ	จำนวน ต่อ 10 กรัม	US RDA	%RDA
แคลเซียม	100 มก.	1000 มก.	10%
เหล็ก	15 มก.	18 มก.	83%
สังกะสี	300 มค.ก.	15 มก.	2%
ฟอสฟอรัส	90 มก.	1000 มก.	9%
แมกนีเซียม	40 มก.	400 มก.	10%
ทองแดง	120 มค.ก.	2 มก.	6%
ไอโอดีน	-	150 มค.ก.	-
โซเดียม	60 มก.	2-5 ก.	1%
โพแทสเซียม	160 มก.	6 ก.	3%
แมงกานีส	500 มค.ก.	3 ก.	17%
โครเมียม	28 มค.ก.	200 มค.ก.	16%
เจอร์เมเนียม	6 มค.ก.	-	-
ซิลิเลียม	2 มค.ก.	100 มค.ก.	2%

ที่มา : กรีนไดมอนด์ (2544)

หมายเหตุ: มค.ก. = ไมโครกรัม

มก. = มิลลิกรัม

US = US คือ อเมริกา

RDA = Recommended Dietary Allowances

ธาตุอาหาร

ธาตุอาหารที่จำเป็นต่อการเจริญเติบโตของสาหร่ายสไปรูลินา

ไนโตรเจน สาหร่ายสามารถใช้กลีโคแอมิโนเอมโมเนียมไนเตรท และอินทรีย์สารของไนโตรเจนเป็นแหล่งของไนโตรเจนสำหรับการเจริญเติบโตได้ดี มีบางชนิดที่ใช้ไนโตรเจน หรือ ตรึงไนโตรเจนได้ เช่น สาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงิน สามารถสังเคราะห์แสงและตรึงไนโตรเจน โดยเปลี่ยนวัตถุดิบที่มีอยู่ในอากาศมาเป็น organic matter (จีระพรรณ และคณะ, 2540) สมพร (2536) รายงานว่า ไนเตรทที่ได้จะนำไปใช้ในการสังเคราะห์โปรตีนในวัฏจักรเครบส์โดยเปลี่ยน ketoglutamic acid ให้เป็นกรดอะมิโนกลูตามิกและกรดอะมิโนอื่น ๆ ถ้าสาหร่ายขาดไนโตรเจนจะมีผลต่อการสังเคราะห์แสง และปริมาณรงควัตถุหรือสารสี (pigments) ของเซลล์ และกิจกรรมเอนไซม์บางชนิดลดลง

ฟอสฟอรัส เป็นแร่ธาตุที่มีความสำคัญต่อการเจริญเติบโตของสาหร่ายเป็นอย่างมาก เนื่องจากเป็นองค์ประกอบของ ATP ที่เป็นสารที่ให้พลังงานกับเซลล์ เป็นส่วนประกอบของกรดนิวคลีอิก และนิวคลีโอโปรตีน ทำหน้าที่ควบคุมเมตาโบลิซึม และการถ่ายทอดทางพันธุกรรมของเซลล์สาหร่าย สาหร่ายจะนำฟอสฟอรัสไปใช้ในรูปฟอสเฟต ส่วนปริมาณความต้องการฟอสฟอรัสของสาหร่ายแต่ละชนิดจะแตกต่างกัน (จีระพรรณ และคณะ, 2540) ลัดดา (2541) กล่าวว่า ถ้าสาหร่ายขาดฟอสฟอรัสจะมีผลเสียต่อการเจริญเติบโต คือปริมาณโปรตีน รงควัตถุนิวคลีโอไพลล์-เอ RNA และ DNA จะลดลง แต่แป้งหรือคาร์โบไฮเดรตเพิ่มขึ้น ทำให้รูปร่างเซลล์เปลี่ยนแปลงไปจากเดิม

โพแทสเซียม เป็นสารอาหารที่จำเป็นต่อการเจริญเติบโตของสาหร่ายทุกชนิด มีบทบาทสำคัญเกี่ยวข้องกับเอนไซม์หลายชนิด เกี่ยวข้องกับกระบวนการสังเคราะห์โปรตีนเกี่ยวกับการเคลื่อนย้ายแป้งและน้ำตาลของเซลล์ และทำหน้าที่ควบคุมแรงดันออสโมติกของเซลล์

Singh and Singh (2000) รายงานว่า เซลล์สาหร่ายสไปรูลินาในสภาพที่มี แคลเซียมและฟอสเฟตเพิ่มขึ้นทำให้กิจกรรมของ glutamine synthetase และกิจกรรมของ ATPase เพิ่มมากขึ้นเช่นกัน และในสภาพที่มีความเข้มข้นแสงสูง (40 W/m²) ส่งผลให้กิจกรรมของ glutamine synthetase ลดลง และแคลเซียม ฟอสเฟต ไนโตรเจนลดลงเช่นเดียวกัน

ก้ามะถัน สาหร่ายจะใช้ก้ามะถันในรูปซิลิเกต เป็นองค์ประกอบของอินทรีย์สารพวกโปรตีนหลายชนิด เซลล์จะนำไปใช้เป็นสารประกอบในกรดอะมิโนบางชนิด ในโมเลกุลของเอนไซม์หลายชนิด ก้ามะถันเป็นส่วนประกอบของหมู่ซิลิไฟด์ (จิระพรรณ และคณะ, 2540)

แมกนีเซียม คลอโรฟิลล์มีแมกนีเซียมเป็นองค์ประกอบ Cao et al. (1999) รายงานว่า แมกนีเซียม สามารถยับยั้งกิจกรรมของเอนไซม์ DNase ในสาหร่ายสไปรูลินา ทำให้การเจริญเติบโตช้า อย่างไรก็ตามแมกนีเซียม ยังเป็นธาตุที่มีความจำเป็นต่อการเจริญเติบโตของสาหร่ายสไปรูลินา เพราะเป็นตัวกระตุ้นเอนไซม์บางชนิดในกระบวนการ DNA synthesis และการส่งถ่ายอิเล็กตรอน

คาร์บอน ไฮโดรเจน ออกซิเจน สาหร่ายนำไปใช้ในการสร้างผนังเซลล์และไซโตพลาสซึม แร่ธาตุที่ทำหน้าที่ควบคุมแรงดันออสโมติกของเซลล์ เปลี่ยนแปลงไปตามความเข้มข้นของไอออนได้แก่ Br⁻, Cl⁻, K⁺, H⁺ (จิระพรรณ และคณะ, 2540)

แร่ธาตุที่สาหร่ายนำเข้าใช้ควบคุมการรักษาระดับ กรดเบส ไม่ให้เปลี่ยนแปลงรวดเร็วประกอบไปด้วย Organic ion and inorganic ion คือ PO₄³⁻, HCO₃⁻, CO₂²⁻, H⁺, Na⁺, Ca²⁺, Mg²⁺ (จิระพรรณ และคณะ, 2540) ซิลิเนียมมีหน้าที่เกี่ยวกับวิตามิน อี และเบต้า-แคโรทีน ยับยั้งสารที่ก่อให้เกิดมะเร็ง ช่วยจัดสารพิษพวก แคดเมียม สารหนู เป็นต้น จะพบซิลิเนียมและไอโอดีนในสาหร่ายสไปรูลินา ในช่วงระยะสาหร่ายเจริญเติบโต อยู่ในรูปสารประกอบหลายชนิด ในสารละลายที่ใช้เพาะเลี้ยงสาหร่ายสไปรูลินา (L.M. Mosulishvili et al., 2002) จุลธาตุมีบทบาทคือ มีผลต่อการเจริญเติบโตของสาหร่าย และมีผลโดยตรงต่อระบบสรีรวิทยาการเจริญเติบโตของสาหร่าย ไม่สามารถแทนที่ได้ด้วยธาตุอื่น ๆ ธาตุอาหารที่สำคัญได้แก่ แมงกานีส นิเกิล สังกะสี โบรอน วานาเดียม โคบอลต์ ทองแดงและโมลิบดีนัม (จิระพรรณ และคณะ, 2540) นอกจากนี้สาหร่ายยังต้องการสารอินทรีย์ชนิดต่าง ๆ ในการเจริญเติบโต เช่น วิตามินบี 12 วิตามินบี 1 และไบโอติน สาหร่ายแต่ละชนิดต้องการวิตามินแตกต่างกัน และยังมีสารอีกหลายชนิดที่จำเป็นต่อการเจริญเติบโตของสาหร่ายแต่ละชนิด ซึ่งต้องการ

มากนักไม่เท่ากัน ได้แก่ ในอาซิน กรดพาราแอมมิโนเบนโซอิก กรดโฟลิก กรดแพนโทธินิก ไพรดอกซิน กรดแอลคอรีบิก ไกลซีน และฮิสติดีน(ยูวดี,2542)

ประโยชน์

ประโยชน์ของสาหร่ายสไปรูลินา

1. **ทางการแพทย์** เจียมจิตต์ (2544) กล่าวว่าสาหร่ายสไปรูลินาเป็นสาหร่ายที่ปริมาณสารอาหารครบถ้วน และมีคุณภาพสูงทำให้สาหร่ายสไปรูลินามีประสิทธิภาพเป็นทั้งอาหารและยาที่ให้ผลในการป้องกัน ควบคุม และรักษาโรคต่าง ๆ ได้ เช่น โรคเบาหวาน โรคกระเพาะอาหาร โรคตับ โรคตา โรคจิตส์ดวงทวาร โรคโลหิตจาง โรคความดันโลหิตสูง และแม้แต่โรคมะเร็ง เนื่องจากสาหร่ายสไปรูลินามีผนังเซลล์ที่ไม่ใช่เซลล์ลูโลส ทำให้อย่างง่ายจึงเหมาะสมสำหรับผู้ป่วยที่เพิ่งจะฟื้นไข้และคนชรา การรับประทานสาหร่ายสไปรูลินา สามารถตัดปัญหาเรื่องไขมันสะสมซึ่งทำให้อ้วนเพราะว่าสาหร่ายสไปรูลินามีโคเลสเตอรอลเล็กน้อย ส่วนใหญ่เป็นกรดไขมันไม่อิ่มตัว สุชาติ (2529) รายงานว่า ผู้ป่วยที่เป็นโรคความดันโลหิตสูงต้องการสารโคลีน (choline) ถ้ารับประทานสาหร่ายสไปรูลินาสัปดาห์ละ 2 สัปดาห์ ความดันโลหิตจะลดลง 20-30 มิลลิเมตร สมบูรณ์ (2529) รายงานว่า ในประเทศเม็กซิโกใช้สาหร่ายสไปรูลินา 20-40 กรัม ให้นกกัฬารับประทาน 30-40 วัน พบว่าทำให้กล้ามเนื้อหัวใจดีขึ้น และได้ทดลองในเด็กทารกซึ่งขาดอาหารในประเทศเม็กซิโก โดยใช้สาหร่ายสไปรูลินา ร้อยละ 50 ผสมลงในอาหารสำเร็จรูปปรากฏว่าช่วยให้ทารกมีน้ำหนักตัวเพิ่มขึ้น (สุชาติ, 2529)

2. **อาหารของมนุษย์** สาหร่ายสไปรูลินาถูกนำมาเป็นอาหารของมนุษย์ ในศตวรรษที่ 1 ชาวแอซเทคส์ (Aztecs) ที่อาศัยอยู่ในประเทศเม็กซิโกใช้สาหร่ายสไปรูลินาจากทะเลสาบมาเป็นอาหารเรียกว่า Tecuitlatl (Venkatamaran, 1983) ชนมายา (Maya) ในเม็กซิโกใช้สาหร่ายสไปรูลินาทำเป็นอาหารพวกเค้ก หรือซูป (Nakamura, 1982) ในประเทศสหรัฐอเมริกา นำสาหร่ายสไปรูลินามาผลิตเป็นอาหารมนุษย์ โดยบริษัท Sosatexcoco ร่วมกับองค์การพัฒนาอุตสาหกรรมแห่งสหประชาชาติ และสถาบันผลิตอาหาร แห่งชาติของประเทศเม็กซิโก นำมาทำอุตสาหกรรมสาหร่ายอัดเม็ด ทำเป็นส่วนผสมของขนมปังกรอบ และขนมหวานต่าง ๆ (Hoddy, 1983) ในประเทศสหรัฐอเมริกา และญี่ปุ่นรับประทานสาหร่ายนี้ในรูปเม็ดหรือผง

(นฤมล และคณะ, 2529) ชนเผ่าคาเนบู (Kanebou) ที่อาศัยอยู่แถบทะเลทรายซาฮาราทางภาค ตะวันออกเฉียงเหนือของทะเลสาบชาด นำสาหร่ายสไปรูลินามาตากแห้งเรียกว่า Dihe ซึ่งนำ มาใช้ในการทำซอสสำหรับปรุงอาหารหรือคลุกข้าว (Ciferri and Tiboni, 1985) ในประเทศแถบ เอเชีย จีนได้นำสาหร่ายสไปรูลินามาทำเป็นอาหารโดยเรียกว่า "Lan" ซึ่งเก็บเกี่ยวจากทะเลสาบ น้ำจืดและแหล่งอื่น ๆ ชาวอินโดนีเซียเรียกว่า "Ke-Klap" โดยตากแห้งแล้วนำมาประกอบอาหาร (Hoddy, 1983) ในประเทศอินเดียใช้สาหร่ายสไปรูลินาเป็นอาหารโปรตีน (สุมนทิพย์, 2529) ใน ประเทศเวียดนามมีการทดสอบคุณค่าทางอาหารมนุษย์ ปรากฏว่าอาหารเสริมที่ทำจากสาหร่าย สไปรูลินาชื่อ Linavina สามารถที่จะช่วยรักษาโรคเกี่ยวกับตับได้ ส่วน Lina ช่วยแก้ปัญหา สภาวะการขาดสารอาหารในมนุษย์ และในอาหารเสริมทั้ง 2 ชนิด มีสาร lactogil ช่วยกระตุ้น การไหลของน้ำนมมารดา (Nguyen, 1991) ความปลอดภัยในการบริโภคสาหร่ายสไปรูลินา เจียมจิตต์ (2544) รายงานว่า ศาสตราจารย์ ดร. เคนอิชิ อะกัตซูกะ แห่งมหาวิทยาลัยเมจิ ประเทศญี่ปุ่นได้เขียนไว้ในหนังสือความลับของสาหร่ายสไปรูลินา ผลทางการรักษาโรคที่ นาย แพทย์ญี่ปุ่นค้นพบ อาหารเสริมสุขภาพ คือ สาหร่ายสไปรูลินาต้องมีคุณสมบัติ 4 ประการคือ เป็นผลิตภัณฑ์ที่บริสุทธิ์อย่างแท้จริง ไม่มีผลข้างเคียงแม้ว่าจะใช้ติดต่อกันเป็นเวลานาน หรือ บังเอิญบริโภคเข้าไปมากเกินไปจนขนาด ก็ไม่เกิดพิษหรือผลข้างเคียง เมื่อใช้เป็นประจำทุกวันจะทำให้ ร่างกายแข็งแรง และเพิ่มความต้านทานโรค เมื่อนำสาหร่ายสไปรูลินามาวิเคราะห์ถึงความ เป็นพิษดังกล่าว โดยการวิจัยของมหาวิทยาลัยเมจิพบว่า ปริมาณสาหร่ายที่ทำให้สัตว์ทดลองตายลง กึ่งหนึ่ง (LD₅₀) มีค่ามากกว่า 4,500 มิลลิกรัมต่อน้ำหนักตัวหนู 1 กิโลกรัม ผู้มีน้ำหนักตัว 50 กิโลกรัม สามารถรับประทานได้ 225 กรัมต่อวัน และจากการศึกษาความเป็นพิษในงานวิจัย เรื่อง คุณค่าทางโภชนาการของสาหร่ายสไปรูลินา *Spirulina platensis* ที่เลี้ยงในน้ำกากส่าเหล้า ของ Peerapornpisal et al. (1999) พบว่าปริมาณสาหร่ายที่ทำให้สัตว์ทดลองตายลงกึ่งหนึ่งมี ค่ามากกว่า 10,686 มิลลิกรัมต่อน้ำหนักตัวหนู 1 กิโลกรัม ผู้มีน้ำหนักตัว 50 กิโลกรัม สามารถรับประทานได้ 533 กรัมต่อวัน ซึ่งเป็นตัวเลขที่บ่งบอกถึงความปลอดภัย และไม่มี อันตรายอย่างใด เจียมจิตต์ (2544) กล่าวว่า ศาสตราจารย์ ดร.เคนอิชิ ศึกษาว่าสาหร่าย สไปรูลินาออกฤทธิ์ที่อวัยวะ ไตบ้าง โดยการทดลองกับหนู ผลปรากฏว่าไม่มีผลกระทบอย่างไร ต่ออวัยวะ ไม่ว่าจะเป็นระบบประสาทส่วนกลาง ระบบประสาทรอบนอก การเดินของหัวใจ ความดันโลหิต และระบบหายใจ ดังนั้นการบริโภคสาหร่ายสไปรูลินาจึงมีความปลอดภัย ไม่น่า

วิตกแต่อย่างใด Danesi *et al.* (2002) รายงานว่า ไฟโคไซยานิน (phycocyanin) เป็นสารสีน้ำเงินในสาหร่ายสไปรูลินาที่ใช้ผสมในอาหาร และเครื่องดื่มในประเทศญี่ปุ่น ในประเทศอาร์เจนตินาเพาะเลี้ยงสาหร่ายสไปรูลินาเป็นอาหารในระบบอุตสาหกรรมขนาดใหญ่ เพราะสาหร่ายสไปรูลินามีคุณค่าทางอาหารสูง มีปริมาณโปรตีนสูง 35 – 65% มีกรดอะมิโนที่จำเป็นต่อร่างกาย วิตามิน สารสีตามธรรมชาติ และยังช่วยส่งเสริมการเจริญเติบโตของแลคโตบาซิลลัส และแบคทีเรียชนิดอื่น ๆ (Jose *et al.*, 1998)

3. **อาหารสัตว์** การใช้สาหร่ายสไปรูลินาเป็นส่วนผสมอาหารสัตว์ จะทำให้สัตว์มีน้ำหนักเพิ่มขึ้นในสัตว์ปีกพวกเป็ดไก่ จะช่วยให้ไข่แดงมีสีเข้มน่ารับประทาน เพราะเบต้าแคโรทีนจะถูกเปลี่ยนเป็นวิตามินเอ ซึ่งทำให้ไข่แดงและเนื้อสัตว์มีสีเข้มขึ้น (สุชาติ, 2529 และ Venkatamaran, 1983) สาหร่ายสไปรูลินาในรูปแช่แข็ง และเป็นผงมีคุณสมบัติที่เหมาะสมในการอนุบาลลูกปลามาก เนื่องจากมีขนาดเล็กและย่อยง่าย ยังทำให้อัตราการเจริญเติบโตสูงขึ้น ปลาเจริญถึงระยะเจริญพันธุ์เร็วขึ้น (Nakamura, 1982) การใช้สาหร่ายสไปรูลินาผสมอาหารเม็ดเลี้ยงกุ้ง *Peacus japonicus* ระยะ juveniles อาหารที่มีส่วนผสมของสาหร่ายสไปรูลินาร้อยละ 8 ให้การเจริญเติบโตดี อัตราการอยู่รอดสูงและมีสีเข้มที่สุด เมื่อนำไปเลี้ยงปลา *Plecoglossus altivelis* พบว่า อาหารที่มีสาหร่ายสไปรูลินาร้อยละ 50 จะทำให้ปลามีการเจริญเติบโตดีและยังช่วยให้กลิ่น รส ความละเอียดอ่อนของเนื้อปลาดีขึ้น (Hirano and Suyama, 1986) การผสมสาหร่ายสไปรูลินาในอาหารปลาใน หรือปลาคาร์พจะช่วยให้สีแดงเร็วขึ้น และการผสมสาหร่ายสไปรูลินา 10% ในอาหารปลานิลสีแดง พบว่ามีผลต่อความเข้มข้นสีของลายบนลำตัว หัว และครีบ เมื่อเลี้ยงในระยะเวลา 6 สัปดาห์ (สรวิศ, 2543) ที่ประเทศสหรัฐอเมริกา มีนักวิจัยคือ Grinstead *et al.* (1999) ทำการวิจัยนำสาหร่ายสไปรูลินาเป็นอาหารแก่ลูกหมูหลังหย่านม ให้สาหร่ายสไปรูลินาทดแทนถั่วเหลือง ใช้ร่วมกับอาหารพื้นฐานหลายชนิด เช่น Zinc oxide, Salt เป็นต้น พบว่าลูกหมูหลังหย่านมอายุ 14-28 วัน เมื่อให้สาหร่ายสไปรูลินา 2 g kg^{-1} ค่า ADG (Average daily gain) เพิ่มขึ้นเมื่อเทียบกับ control (ไม่ใช้สาหร่ายสไปรูลินา) และยังพบว่า การให้สาหร่ายสไปรูลินา 2 g kg^{-1} ในสัปดาห์ที่ 2 กับลูกหมูหลังหย่านมอายุ 14-28 วัน และ 0-28 วัน ทำให้ค่า ADFI (Average daily feed intake) สูงกว่า control และยังพบว่า การให้สาหร่ายสไปรูลินาในอาหารไม่มีผลต่อการเจริญเติบโตของลูกหมูทุกช่วงอายุโดยสังเกตจากค่า ADG, ADFI และ F/G (Feed efficiency)

ที่ไม่พบความแตกต่างทางสถิติ อย่างไรก็ตามการให้สาหร่ายสไปรูลีนาในรูปเม็ดให้กับลูกหมูดีกว่าการให้สาหร่ายสไปรูลีนาในรูปผง

4. **การกำจัดน้ำเสีย** จากการศึกษาพบว่าสาหร่ายสไปรูลีนาสามารถกำจัดน้ำเสียได้องค์การอาหารและเกษตรแห่งสหประชาชาติ ได้จัดตั้งโรงงานขึ้นในสิงคโปร์ เพื่อใช้ของเสียจากสัตว์มาเลี้ยงสาหร่าย ซึ่งเป็นการใช้สาหร่ายกำจัดน้ำเสีย และนำสาหร่ายสไปรูลีนาไปเป็นอาหารสัตว์ ในอินเดียก็มีการนำของเสียจากแหล่งชุมชนไปเลี้ยงสาหร่ายสไปรูลีนา เพื่อนำสาหร่ายสไปรูลีนาไปเป็นอาหารของปลาครีฟฟิชอีกทอดหนึ่ง (เจียมจิตต์, 2530)

การเพาะเลี้ยง

วิธีการเพาะเลี้ยงสาหร่ายสไปรูลีนา มักจะใช้ระบบบ่อเปิดขนาดใหญ่ความลึก 15-30 เซนติเมตร มีใบพัดสำหรับทำให้น้ำหมุนเวียนในลักษณะบ่อน้ำวน (raceway pond) สาหร่ายที่ผลิตได้เก็บเกี่ยวแบบกึ่งต่อเนื่องโดยกรองแยกสาหร่ายส่วนหนึ่งออกจากร่อง และนำน้ำกลับคืนลงบ่อเลี้ยง และมีการควบคุมปริมาณสารอาหารต่าง ๆ ให้อยู่ในระดับที่เหมาะสม ผลผลิตที่ได้เมื่อคิดต่อหน่วยพื้นที่ของบ่อเลี้ยงสาหร่าย บริษัทสยามแอลจีในประเทศไทยตกประมาณ 3-3.5 กิโลกรัม/ตารางเมตร/ปี (30-35ตัน/เฮกแตร์/ปี) (สรวิศ, 2543) ยวดี (2544) รายงานว่าจุดประสงค์ในการเพาะเลี้ยงสาหร่ายชนิดนี้คือ

1. เลี้ยงเพื่อเป็นอาหารเสริมของคน โดยจุดประสงค์นี้การเพาะเลี้ยงใช้สารเคมีตามสูตรมาตรฐาน เช่น สูตรของ Zarrouk ซึ่งเป็นที่นิยมกันทั่วไปและให้ผลผลิตสูง ผลผลิตที่ได้ควรจะสะอาด บริสุทธิ์ ไม่มีสิ่งเจือปน วิธีนี้จะใช้ลดต้นทุนในการเพาะเลี้ยงสูง

2. เลี้ยงเพื่อเป็นอาหารสัตว์ ในกรณีนี้ควรลดต้นทุนการผลิต โดยการใช้ของเสียจากโรงงานอุตสาหกรรมบางประเภท มูลสัตว์ หรือน้ำหมักพืชผักต่าง ๆ ผลผลิตอาจไม่ต้องบริสุทธิ์เหมือนที่เลี้ยงเป็นอาหารเสริมของคน แต่คุณค่าทางโภชนาการที่ดีก็ยังคงอยู่ โดยเฉพาะอย่างยิ่งในอาหารสัตว์น้ำเพื่อเร่งสี เนื่องจากสีที่เกิดขึ้นบนตัวปลาโดยทั่วไปแล้ว จะเป็นสีของรงควัตถุหรือสารสี (pigment) ที่เป็นสารกลุ่มแคโรทีนอยด์ ความเข้มข้นของสีที่ปรากฏบนผิวของปลานั้นขึ้นอยู่กับปริมาณแคโรทีนอยด์ที่ได้จากสารอาหาร แคโรทีนอยด์ที่พบในปลาจะมีหลายรูปแบบ ได้แก่ แคโรทีนอยด์อิสระ (free carotenoids) แคโรทีนอยด์เอสเทอร์ (carotenoid esters) และแคโรทีโนโปรตีน (carotenoproteins) carotenoid esters จะพบตามเนื้อเยื่อผิวหนังและ

เม็ดสี ในเนื้อปลาเป็นแคโรทีนอยด์อิสระ ในขณะที่แคโรทีนโปรตีนพบมากตามเปลือกกุ้งและแมลง แคโรทีนอยด์จากสาหร่ายยังเป็นสารตั้งต้นของสารที่มีประโยชน์ ในการเจริญเติบโตของปลา เช่น สารตั้งต้นของวิตามินเอ และฮอร์โมน (สรวิศ, 2543)

3. เลี้ยงเพื่อสกัดสารที่มีประโยชน์ เช่น รงควัตถุพวกแคโรทีนอยด์โดยเฉพาะเบต้าแคโรทีน และรงควัตถุไฟโคไซยานิน กรดไขมัน GLA เป็นต้น ใช้ต้นทุนและเทคโนโลยีระดับสูง (ยุวดี, 2544)

ความเหมาะสมในการส่งเสริมการเพาะเลี้ยงสาหร่ายสไปรูลินา

ยุวดี (2544) กล่าวว่า สาหร่ายสไปรูลินามีคุณสมบัติที่ดีหลายประการคือ

1. เจริญเติบโตในอาหารที่มีราคาถูก มีส่วนประกอบไม่ซับซ้อน และหาง่าย
2. แยกและเก็บเกี่ยวง่าย โดยวิธีการกรองเนื่องจากสาหร่ายมีขนาดเส้นสาย

ใหญ่พอสมควร

3. มีความทนต่อการปนเปื้อนของเชื้ออื่น ๆ
4. ทราบคุณสมบัติทางพันธุกรรม สรีรวิทยา และสามารถปรับปรุงพันธุกรรมได้
5. สามารถใช้แหล่งพลังงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ
6. หลังจากผ่านกระบวนการแล้วมีวัสดุเหลือทิ้งน้อยหรือไม่มีเลย
7. ในพื้นที่เท่ากัน การเพาะเลี้ยงสาหร่ายชนิดนี้ จะให้ผลผลิตโปรตีนได้ถึง 20

เท่าของถั่วเหลือง และประมาณ 500-1000 เท่าของโปรตีนจากสัตว์

8. การเพาะเลี้ยงสามารถเก็บเกี่ยวผลผลิตได้ทุกวัน โดยใช้เครื่องมือน้อยเมื่อเทียบกับพืชผลอย่างอื่น

9. ในการเพาะเลี้ยงสาหร่ายชนิดนี้ พื้นที่ ปุ๋ย และน้ำที่ใช้จะมีปริมาณน้อยกว่าการเพาะปลูกอย่างอื่น เมื่อเปรียบเทียบกับปริมาณโปรตีนที่ได้รับ

10. สามารถใช้ผสมในอาหารได้ถึง 10% โดยไม่ทำให้รสชาติและกลิ่นของอาหารเปลี่ยนไป

การเพาะเลี้ยงสาหร่ายสไปรูลินา

1. การเพาะเลี้ยงสาหร่ายโดยใช้สารเคมี

ปัจจัยที่สำคัญอย่างหนึ่งที่เกี่ยวข้องกับการเจริญของสาหร่ายคือ อาหารที่ใช้เพาะเลี้ยงจะต้องประกอบด้วยสารอินทรีย์ และสารอนินทรีย์ในปริมาณที่เหมาะสม จึงมีผู้ได้คิดหาสูตรอาหารขึ้นมาเป็นจำนวนมาก เพื่อให้เหมาะกับการเจริญของสาหร่ายแต่ละชนิด สูตรที่นิยมใช้เลี้ยง สาหร่ายสไปรูลินาโดยทั่วไปคือสูตร Zarrouk (Venkataraman, 1983) Danesi *et al.* (2002) รายงานว่า คลอโรฟิลล์ของสาหร่ายสไปรูลินาใช้ในอุตสาหกรรมอาหาร ยา สัตววิทยาและเครื่องสำอางค์ ดังนั้นจึงมีความจำเป็นอย่างยิ่งที่ต้องเพิ่มปริมาณของสาหร่ายให้มากขึ้น โดยใช้ยูเรียเป็นแหล่งไนโตรเจนทดแทนโพแทสเซียมไนเตรท ราคาของยูเรียถูกกว่าโพแทสเซียมไนเตรท ยูเรียไม่มีผลต่อปริมาณคลอโรฟิลล์ในการเก็บเกี่ยวครั้งสุดท้าย ผลผลิตสาหร่ายสไปรูลินาเพิ่มสูงสุดเมื่อใช้ยูเรียที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส ความเข้มข้นแสง 3.5 กิโลลักซ์

2. การเพาะเลี้ยงโดยใช้มูลสัตว์

ชินจิตร์ (2530) ทำการศึกษาเปรียบเทียบผลผลิตของสาหร่ายสไปรูลินาที่เพาะเลี้ยงในสูตรอาหาร 10 สูตร ที่ระดับความเป็นกรด-เบสเริ่มต้นของสารอาหาร 4 ระดับ และระยะเวลาในการเพาะเลี้ยง 10 วัน ปรากฏว่า ผลผลิตของสาหร่ายสไปรูลินาสูงที่สุดในสูตรอาหารมูลไก่ผสมปุ๋ยเคมี ระดับความเป็นกรด-เบสเท่ากับ 6 ใช้เวลาในการเพาะเลี้ยง 10 วัน

เจียมจิตต์ และคณะ (2528) สถาบันประมงน้ำจืด ทดลองใช้กากมูลสัตว์หมัก ซึ่งเป็นของเหลวที่ได้จาก บ่อล้นของบ่อหมักก๊าซชีวภาพของมูลสัตว์หลายชนิดปนกัน แล้วนำมาเลี้ยงสาหร่ายสไปรูลินา โดยเติมสารเคมีบางชนิด จากการทดลองพบว่า การเจริญเติบโตของสาหร่ายสไปรูลินาในอาหารที่ผสมกากมูลสัตว์หมักร้อยละ 10 และเติม NaNO_3 16.80 กรัมต่อลิตรและ 18.40 กรัมต่อลิตร จะเจริญได้ดี NaHCO_3 มีความจำเป็นต่อการเจริญของสาหร่ายสไปรูลินามากกว่า NaNO_3 เพราะ NaHCO_3 ทำหน้าที่เป็นแหล่งก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ และในขณะเดียวกันเป็นตัวป้องกันไม่ให้ระดับความเป็นกรด - เบสเปลี่ยนแปลงอย่างรวดเร็ว

วิรัตน์ (2533) ทดลองเลี้ยงสาหร่ายสไปรูลินาในอาหารมูลสัตว์ต่างชนิดกัน โดยเติม NaHCO_3 8.4 กรัมต่อลิตร NaNO_3 2.5 กรัมต่อลิตร สารละลาย A_5 (A_5 solution), สารละลาย B_6 (B_6 solution) อย่างละ 1 มิลลิลิตรต่อลิตร ระยะเวลาในการเพาะเลี้ยง 10 วัน

ปรากฏว่าสาหร่ายสไปรูลินาเจริญได้ดีที่สุดในสูตรอาหารน้ำสกัดจากมูลสุกร ผสมมูลไก่อัตราส่วน 1:1 ระดับความเข้มข้น 12 กรัมต่อลิตร

3. การเพาะเลี้ยงในน้ำที่เตรียมจากดิน

อำนาจ และคณะ (2531) ทำการเพาะเลี้ยงสาหร่ายสไปรูลินาในอาหารที่เตรียมจากดิน พบว่าอาหารที่เตรียมจากดินที่มีความเข้มข้นร้อยละ 80 สาหร่ายสไปรูลินามีการเจริญเติบโตดีที่สุด NaHCO_3 เติม 0.0168 กรัมต่อลิตร การวัดค่าการดูดกลืนคลื่นแสง (OD) เฉลี่ยต่อวันเท่ากับ 1.092 (505 มิลลิกรัมต่อลิตร)

4. การเพาะเลี้ยงจากวัสดุเหลือใช้

สุวิมล (2536) ทำการเพาะเลี้ยงสาหร่ายสไปรูลินาในน้ำทิ้งจากโรงงานผลิตขนมจีน พบว่าสาหร่ายสไปรูลินาที่เพาะเลี้ยงในอาหารต่างชนิดกันมีการเจริญเติบโตแตกต่างกัน อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 95% ($P < 0.05$) โดยสูตรอาหาร Zarrouk ผสมกับน้ำทิ้งจากโรงงานผลิตขนมจีนในอัตราส่วน 1:0 สาหร่ายมีการเจริญเติบโตมากที่สุด สูตรอาหาร Zarrouk ผสมกับน้ำทิ้งจากโรงงานผลิตขนมจีนในอัตราส่วน 1:1 สาหร่ายมีปริมาณโปรตีนสูงสุด ร้อยละ 67.15

พิมพ์พรณ และอารักษ์ (2531) เพาะเลี้ยงสาหร่ายสไปรูลินาจากน้ำทิ้งโรงงานยางพารา พบว่า น้ำทิ้งจากโรงงานยางพาราที่ไม่เจือจางจะทำให้สาหร่ายสไปรูลินาเจริญเติบโตดีที่สุด การเพิ่ม K_2HPO_4 และ K_2SO_4 พบว่าไม่จำเป็น และอัตราการเจริญเติบโตของสาหร่ายสไปรูลินาลดลง เมื่อความเข้มข้นของสารเพิ่มขึ้น

นฤมล และคณะ (2529) ศึกษาการผลิตสาหร่ายสไปรูลินาจากน้ำทิ้งโรงงานแปรงมันสำปะหลัง โดยเติมสารประกอบของ ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และคาร์บอนेटลงไป ค่าความเป็นกรด-เบส 10 พบว่าสาหร่ายสไปรูลินาสามารถเจริญเติบโตได้ดี เมื่อเพาะเลี้ยงในน้ำทิ้งจากโรงงานแปรงมันสำปะหลังที่มีความเข้มข้นของ NaNO_3 เท่ากับ 8.5 กรัมต่อลิตร และปุ๋ยเคมี 16-16-16 เท่ากับ 0.6 กรัมต่อลิตร

เสกสรร (2536) ทำการเพาะเลี้ยงสาหร่ายสไปรูลินาในน้ำทิ้งจากโรงงานผลิตขนมจีนผสมกับสูตรอาหาร Zarrouk ดัดแปลง พบว่าสาหร่ายสไปรูลินาที่เพาะเลี้ยงในอาหารต่างชนิดกัน มีการเจริญเติบโตแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 95% ($P < 0.05$) โดยสูตรอาหาร Zarrouk มีการเจริญเติบโตและปริมาณโปรตีนสูงสุดร้อยละ 61.53

ปิยสิทธิ์ (2536) ทดลองเพาะเลี้ยงสาหร่ายสไปรูลินาโดยใช้น้ำทิ้งจากอุตสาหกรรมการผลิตแป้งขนมจีนในระดับความเข้มข้นต่าง ๆ กัน พบว่าเมื่อเพาะเลี้ยงได้ 10 วัน สาหร่ายสไปรูลินาที่เพาะเลี้ยงในน้ำทิ้งชนิดที่ 2 ความเข้มข้น 20 เปอร์เซ็นต์ มีการเจริญเติบโตมากกว่าอาหารชนิดอื่น ๆ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 99% ($P < 0.01$) โดยมีน้ำหนักแห้งเท่ากับ 1098.85 มิลลิกรัมต่อลิตร

อุณฤทธิ์ (2537) ทำการเพาะเลี้ยงสาหร่ายสไปรูลินาในน้ำทิ้งจากกระบวนการผลิตขนมจีนแป้งหมัก พบว่า สาหร่ายสไปรูลินาที่เลี้ยงในน้ำทิ้งจากบ่อพักรวมน้ำทิ้งความเข้มข้นร้อยละ 50 มีการเจริญเติบโตและปริมาณโปรตีนสูงสุด

จบนเจน (2537) ทดลองเลี้ยงสาหร่ายสไปรูลินาในน้ำกากถั่วเหลืองผสมกับสูตรอาหาร Zarrouk ในอัตราส่วนต่าง ๆ กัน พบว่า เมื่อเพาะเลี้ยงได้ 12 วัน สาหร่ายสไปรูลินาที่เพาะเลี้ยงในอาหารชนิดที่ 3 (น้ำกากถั่วเหลืองผสมสูตรอาหาร Zarrouk 1:2) และอาหารชนิดที่ 4 (น้ำกากถั่วเหลืองผสมสูตรอาหาร Zarrouk 1:3) มีการเจริญเติบโตมากกว่าสูตรอาหารอื่น ๆ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 95% ($P < 0.05$) โดยน้ำหนักแห้งเท่ากับ 1564.42 มิลลิกรัมต่อลิตร และ 1572.61 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ และสาหร่ายสไปรูลินามีปริมาณโปรตีนมากที่สุดร้อยละ 31.1185 ในสูตรอาหารชนิดที่ 3 ในช่วงระยะเพาะเลี้ยง 2 วัน

การวัดการเจริญ

ยุวดี (2544) กล่าวว่า การวัดการเจริญของสาหร่ายสไปรูลินามีหลายวิธี การนับเซลล์ของสาหร่ายโดยตรง คือ การนับทั้งหมด โดยการใช้ไมโครปิเปตที่สามารถปรับปริมาตรได้ ดูดสาหร่ายหยดลงบนสไลด์ ปิดด้วยคอปเวอร์สลิป ศึกษาด้วยกล้องจุลทรรศน์เลนส์ประกอบ นับจำนวนเส้นสายของสาหร่ายที่ปรากฏบนคอปเวอร์สลิป และการนับสุ่ม ในกรณีนี้สาหร่ายมีจำนวนมาก และไม่สามารถนับทั้งหมดได้ก็ให้ใช้วิธีนับแบบสุ่ม โดยการใส่สไลด์นับจำนวนที่มีอยู่

หลายชนิด เช่น ใช้สไลด์จำนวนแบบ Haemocytometer, Lund's slide or Sedgewick Rafter Counting Cell เป็นต้น ซึ่งแต่ละชนิดมีวิธีแตกต่างกันไป อีกวิธีหนึ่งคือ การวัดค่าดูดกลืนแสง อาศัยหลักเกณฑ์ที่ว่าถ้าสาหร่ายมีปริมาณมาก แสงส่องผ่านไปได้น้อย ค่าที่วัดได้คือค่าการดูดกลืนแสง โดยใช้เครื่องมือที่เรียกว่า spectrophotometer หรือจะใช้ที่เรียกว่า spectronic ก็ได้ โดยตั้งความยาวคลื่นสำหรับวัดค่าการดูดกลืนแสงหรือ optical density (OD) ของสาหร่ายสไปรูลินาไว้ที่ 560 นาโนเมตร (Venkatarama, 1983) เก็บเกี่ยวเมื่อค่าดูดกลืนแสงเท่ากับ 1.5 หรือมากกว่าเล็กน้อยจะมีความเหมาะสมมากที่สุด เพราะเซลล์โตเต็มที่ และให้ผลผลิตที่ดี ถ้าเก็บเกี่ยวเมื่อค่าดูดกลืนแสงมากกว่านี้เซลล์บางเซลล์อาจตายแล้ว ผลผลิตไม่มีคุณภาพ นอกจากนั้นยังสามารถใช้การวัดปริมาณคลอโรฟิลล์เอ เป็นวิธีวัดการเจริญของสาหร่ายทางอ้อม มักจะให้กับงานวิจัยมากกว่าการเพาะเลี้ยง ในภาคอุตสาหกรรม โดยมีหลักเกณฑ์ว่า ถ้ามีการเจริญเติบโตของสาหร่ายมากจะมีคลอโรฟิลล์เอมากตามไปด้วย วิธีการวัดปริมาณคลอโรฟิลล์เอ ไม่ยาก แต่มีความซับซ้อนขึ้นอีกระดับหนึ่ง สารสกัดคลอโรฟิลล์เอมีหลายชนิด เช่น เมทิลแอลกอฮอล์ เอทิลแอลกอฮอล์ เป็นต้น วิธีการวัดปริมาณคลอโรฟิลล์เอ ศึกษาได้จาก APHA (1992) และ ยุวดี และอมารณ (2542) และการวัดน้ำหนักแห้ง เป็นวิธีวัดการเจริญของสาหร่ายทางตรงอีกวิธีหนึ่ง และเป็นวิธีที่ดีที่สุด ส่วนใหญ่ใช้ในงานวิจัยที่ต้องการความละเอียดของผลงานวิจัย ในการเลี้ยงสาหร่ายระดับชุมชน หรือระดับอุตสาหกรรมไม่จำเป็นต้องใช้วิธีดังกล่าว

การเก็บเกี่ยว

การเพาะเลี้ยงสไปรูลินาไม่จำเป็นต้องเก็บเกี่ยวด้วยวิธีที่ยุ่งยาก เช่น การเหวี่ยงด้วยความเร็วสูง (centrifugal technique) ในสาหร่ายขนาดเล็กอื่น ๆ เช่น คลอเรลลา ใช้วิธีกรองด้วยผ้ากรองตาถี่ ผ้ากรองตาถี่ที่เหมาะสมควรมีตาถี่ (mesh size) ประมาณ 60-100 ไมโครเมตร ถ้าละเอียดมากกว่านี้ทำให้กรองยากใช้เวลานาน ถ้าตาถี่ใหญ่มากกว่านี้อาจทำให้กรองเส้นสายที่เล็ก ๆ ไม่ได้มากนัก (ยุวดี, 2544)

การทำแห้ง (Drying)

ลักษณะ และคณะ (2540) กล่าวว่า การทำแห้ง หมายถึงการเอาน้ำออกจากอาหารโดยตั้งใจ การทำแห้งได้โดยการทำให้ น้ำที่มีอยู่ในอาหารระเหย โดยต้องใช้ความร้อนเท่ากับความร้อนแฝงของการกลายเป็นไอ ดังนั้นจึงมีปัจจัยที่ควบคุมกระบวนการทำแห้ง 2 อย่างคือ

1. การถ่ายโอนความร้อน เพื่อให้ได้ความร้อนเท่ากับความร้อนแฝงของการกลายเป็นไอ

2. การเคลื่อนที่ของน้ำหรือไอน้ำผ่านอาหารเพื่อให้เกิดการแยกน้ำออกจากอาหาร

การทำแห้งเป็นวิธีการเก็บรักษาที่เก่าแก่ที่สุดวิธีหนึ่ง คนโบราณได้ใช้การตากแห้งเนื้อสัตว์มานานก่อนประวัติศาสตร์จะได้บันทึกไว้ ลักษณะ และคณะ (2540) อ้างถึง Moris (1947) กล่าวว่า การทำแห้งโดยทั่ว ๆ ไป สามารถแบ่งเป็น 2 วิธีคือ

1. การทำแห้งโดยธรรมชาติ (Natural drying) โดยอาศัยความร้อนจากแสงแดด หรือโดยการผึ่งลม นับเป็นวิธีที่มนุษย์ได้เรียนรู้ธรรมชาติ โดยสังเกตจากเมล็ดพืชสามารถเก็บรักษาไว้ได้นาน ถ้าให้ผลผลิตเหล่านี้แก่เต็มที่

2. การทำแห้งโดยอาศัยวิธีเชิงกล (Mechanic dehydration or Artificial drying) เป็นการพัฒนาวิธีการทำแห้งที่ใช้เทคนิคและหลักการทางวิทยาศาสตร์เข้ามาเกี่ยวข้อง สามารถควบคุมอัตราเร็วของการทำแห้งได้ ทำให้สามารถผลิตอาหารแห้งได้เร็วขึ้น และมีคุณภาพดี ความชื้นต่ำตามที่ต้องการ วิธีนี้อาศัยหลักการส่งผ่านความร้อนเข้าไปในชิ้นอาหาร ทำให้น้ำหรือ ความชื้นกลายเป็นไอระเหยออกไปจากผิวหน้าอาหาร ความร้อนที่ส่งเข้าไปอาจจะเป็นการนำความร้อน (conduction) การพาความร้อน (convection) หรือการแผ่รังสี (radiation) ในการสร้างเครื่องอบแห้ง (dryer) อาศัยหลักการนำและพาความร้อนเป็นสำคัญ อาศัยเครื่องมือและอุปกรณ์หลายชนิด มีความยากง่ายแล้วแต่ประเภทของเครื่องอบแห้ง โดยทั่ว ๆ ไปจำแนกแบบเครื่องอบแห้งออกเป็น 2 ประเภทใหญ่ ๆ คือ เครื่องอบแห้งอาศัยการพาความร้อนเป็นหลัก คือ ปลอ่ยให้ลมร้อนพัดผ่านอาหารแล้วพาเอาไอน้ำที่ระเหยจากอาหารออกไป ได้แก่ เครื่องอบแห้งแบบตู้หรือห้อง (cabinet dryer) เครื่องอบแห้งแบบอุโมงค์ (tunnel dryer) เครื่องอบแห้งแบบพ่นฝอย (spray dryer) และเครื่องอบแห้งแบบอาศัยการนำความร้อน ได้แก่ เครื่องอบแห้งแบบลูกกลิ้งทรงกระบอก (drum dryer) และเครื่องอบแห้งแบบระเหิด (freeze dryer)

เป็นต้น การทำแห้งเป็นปัจจัยสำคัญหลักการเก็บเกี่ยว โดยทั่วไปอาจใช้ตากด้วยแสงแดดหรือการอบแห้งในตู้อบ โดยการเกลี่ยสาหร่ายที่กรองได้ลงในผ้าบาง แล้ววางบนตะแกรง หรือกระชอนนำไปตากแดดควรหลีกเลี่ยงฝุ่นละอองที่อาจตกลงบนสาหร่าย เพราะจะทำให้สาหร่ายมีคุณภาพไม่ดี ถ้าผลิตในระดับอุตสาหกรรมใช้ตู้อบแห้ง ซึ่งอุณหภูมิใช้ประมาณ 50-60°C ใช้เวลานานประมาณ 5 ชั่วโมง (Venkataraman, 1983)

ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับถั่วเหลือง

คมสัน และวารี (2542) รายงานว่า ถั่วเหลืองมีชื่อวิทยาศาสตร์ว่า *Glycine max Merr.* มีชื่อสามัญว่า Soyabean หรือ Soybean คนไทยเรียก ถั่วเหลือง ถั่วพระเหลือง ถั่วระ ถั่วหนัง ถั่วแม่ตาย หรือ ถั่วเฒ่า ถั่วเหลืองมีถิ่นกำเนิดกระจายอยู่หลายพื้นที่ของเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ในประเทศจีน ญี่ปุ่น ทางเหนือของไทย รวมทั้งเวียดนาม ถั่วเหลืองเป็นพืชที่ปลูกเพื่อใช้ประโยชน์มาตั้งแต่สมัยโบราณ ในทางเกษตร ถั่วเหลืองจัดเป็นพืชบำรุงดิน เพราะต้นถั่วเหลืองมีปมที่ราก ในปมมีจุลินทรีย์ชื่อ ไรโซเบียม จะช่วยเปลี่ยนไนโตรเจนในอากาศให้เป็นปุ๋ยไนโตรเจนบำรุงดินให้ดีขึ้น เมล็ดถั่วเหลือง เป็นอาหารที่มีโปรตีนสูง สูงกว่าพืชอาหารถั่วชนิดอื่น ๆ นอกจากนั้นยังมีแร่ธาตุต่าง ๆ เช่น แคลเซียม ฟอสฟอรัส เหล็ก และวิตามินบี 1, บี 2 ดังตารางที่ 5 และคุณค่าทางโภชนาการของถั่วเหลืองในส่วนต่าง ๆ (สนอง และคณะ, 2540) ดังตารางที่ 6 อภิพรณ (2533) กล่าวว่า ถั่วเหลืองมีประโยชน์ต่อมนุษย์คือ เป็นอาหารชาวโลก เป็นพืชที่ให้โปรตีนและน้ำมันสูง ถั่วเหลืองเป็นอาหารในครอบครัว ในแถบเอเชีย อาหารต่าง ๆ ที่ประกอบด้วยถั่วเหลือง ได้แก่ น้ำเต้าหู้ เต้าหู้ชนิดต่าง ๆ เต้าเจี้ยว มิโซ ซึ่อชนิดต่าง ๆ และถั่วเหลืองเป็นอาหารสำหรับสัตว์กลไกนิยมใช้เมล็ดถั่วเหลืองดิบ หรือเมล็ดถั่วเหลืองดิบบดแก่ปศุสัตว์โดยทั่วไปสำหรับสัตว์ที่ไม่เคี้ยวเอื้อง เช่น สุกร มีข้อมูลและเอกสารยืนยันมากมายถึงผลประโยชน์ของการรับประทานถั่วเหลืองในการป้องกัน และรักษาโรคต่าง ๆ เช่น ช่วยลดปริมาณโคเลสเตอรอลในเลือด ควบคุมน้ำหนักตัว เป็นต้น ถั่วเหลืองประกอบด้วยสารอาหารที่เป็นประโยชน์ต่อมนุษย์ ดังตารางที่ 7 (วันเพ็ญ, 2543)

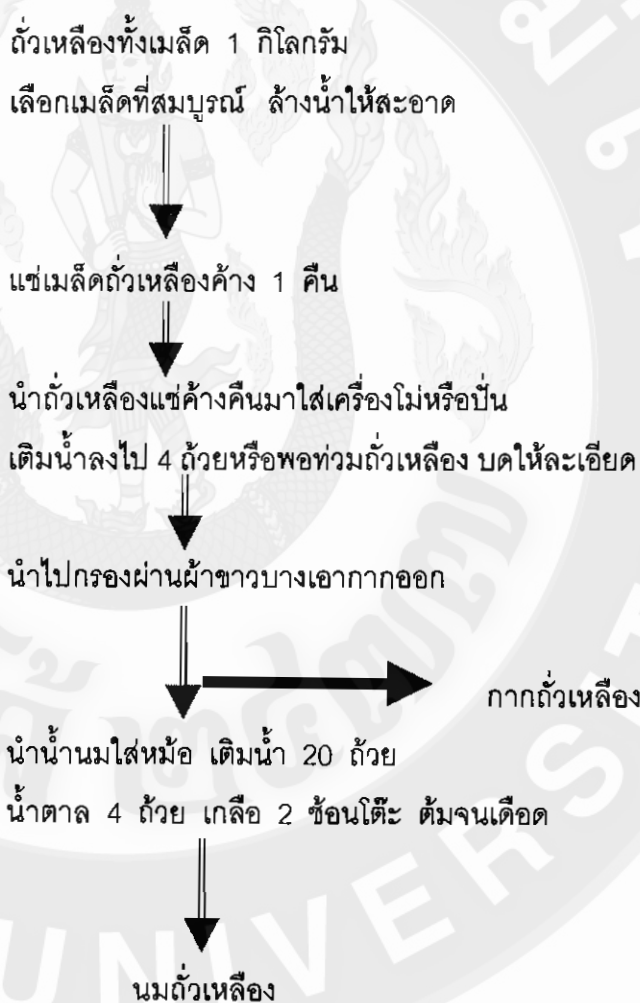
ตารางที่ 5 แสดงคุณค่าทางโภชนาการของอาหารจากถั่วเหลืองประเภทต่าง ๆ
เปรียบเทียบกับแหล่งโปรตีนจากเนื้อสัตว์

อาหาร	โปรตีน (กรัม)	ไขมัน (กรัม)	คาร์โบไฮเดรต (กรัม)	พลังงาน (กรัม)	เหล็ก (กรัม)
เมล็ดถั่วเหลืองดิบ	34	18.7	26.7	411	10
เมล็ดถั่วแระดิบ	15.3	1.5	8.8	157	3.4
เมล็ดถั่วเหลืองสุก	11	5.7	10.8	130	2.7
น้ำเต้าหู้ (ไม่ใส่น้ำเชื่อม)	2.8	1.5	3.6	37	1.2
นํ้านมจากถั่ว	3.4	3.2	4.9	62	0.1
เต้าหู้แข็ง	13.5	6.3	8.5	148	0.8
เต้าหู้อ่อน	4.3	1.9	2.6	46	14
ฟองเต้าหู้	43	28.4	14.9	494	9.5
เต้าหู้ยี้	13.5	6.7	8.5	140	1.7
กะปิถั่วเหลือง (แห้ง)	43.9	13.6	13.5	388	21
เต้าเจี้ยว	11.1	3.7	9.8	117	15.2
เต้าฮวย	3.1	1.0	1.5	33	0.8
โปรตีนเกษตร	34.9	0.1	15.1	322	-
เนื้อวัว (ไม่ติดมัน)	20	0	7.2	150	3.0
เนื้อปลาช่อน	19.1	0.1	0.1	78	0.4
ไข่ไก่ดิบ (ทั้งฟอง)	12.9	11.5	0.8	163	3.2

ที่มา : คมสัน และวารวิ (2542) อ้างถึงกรมอนามัย (2530)

กระบวนการผลิตนมถั่วเหลือง

สนอง และคณะ (2540) กล่าวว่า กรรมวิธีการผลิตนมถั่วเหลืองมีอยู่หลายวิธีด้วยกัน โดยเริ่มจากแบบง่าย ๆ ที่ทำเป็นอุตสาหกรรมในครัวเรือนหรือในโรงเรียน จนถึงการผลิตเป็นอุตสาหกรรมในโรงงานที่มี การใช้เครื่องจักรมากขึ้น มีการเติมแต่งสารที่ให้คุณค่าทางอาหารเพิ่มขึ้น และมีการผ่านกระบวนการฆ่าเชื้อจุลินทรีย์ต่าง ๆ ทำให้เก็บได้ยาวนานขึ้น



ภาพที่ 1 แผนภูมิการทำนมถั่วเหลืองในระดับครัวเรือน (คมสันและวารี, 2542)

ตารางที่ 6 คุณค่าทางโภชนาการของถั่วเหลือง เนื้อถั่วเหลืองและนมถั่วเหลืองใน 100 กรัม

ชนิดอาหาร	พลังงาน (แคลอรี)	ความชื้น (กรัม)	โปรตีน (กรัม)	ไขมัน (กรัม)	คาร์โบไฮเดรต (กรัม)	กาก (กรัม)	ถั่ว (กรัม)
ถั่วเหลืองแห้ง	375	7.7	45.8	10.5	24.4	6.0	5.6
ถั่วเหลืองต้มเนื้อ	143	62.4	16.1	4.8	8.9	6.0	1.9
กากถั่วเหลืองนึ่ง	73	80.6	6.6	1.5	8.2	2.2	1.0
นมถั่วเหลือง	55	85.2	2.8	1.4	7.1	-	0.4

ที่มา : สมอง และคณะ (2540)

ตารางที่ 7 คุณค่าทางโภชนาการถั่วเหลืองเปรียบเทียบกับถั่วเมล็ดแห้ง
(หน่วยต่อน้ำหนักแห้งกรัม)

สารอาหาร	ถั่วเมล็ดแห้ง	ถั่วเหลือง
Complex carbohydrates (g)	56	21
Simple carbohydrate (g)	4	9
Stachyose (mg)	1,848	3,300
Raffinose (mg)	336	1,600
Protein (g)	22	36
Total fat (g)	1	19
Saturated fat (g)	0.3	2.8
Monounsaturated fat (g)	0.11	4.4
Polyunsaturated fat (g)	0.55	11.2
Ratio of α -linolenic to linoleic acid (mg)	0.25:0.301	1.3:9.9
Insoluble fiber (g)	11	10
Calcium (mg)	154	276
Potassium (mg)	1,140	1,797
Iron (mg)	6.4	16

ที่มา : วันเพ็ญ (2543)

อุปกรณ์และวิธีการวิจัย

อุปกรณ์และเครื่องมือ

1. สาหร่ายสไปรูลินา (*Spirulina platensis*) จากห้องปฏิบัติการสาหร่าย ภาควิชาชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยแม่โจ้
2. อุปกรณ์การเพาะเลี้ยงสาหร่ายในระดับห้องปฏิบัติการ
 - 2.1 เครื่องมือสำหรับวัดค่าดูดกลืนคลื่นแสง (optical density : OD) โดยใช้ Spectrophotometer
 - 2.2 เครื่องมือสำหรับวัดค่าความเป็นกรดเบส (pH meter)
 - 2.3 กล้องจุลทรรศน์ชนิดเลนส์ประกอบ
 - 2.4 เครื่องนับจำนวน
 - 2.5 ชั้นสำหรับเพาะเลี้ยงสาหร่าย
 - 2.6 ขวดน้ำเกลือ 1 ลิตร
 - 2.7 ชุดเติมอากาศ (air pump)
 - 2.8 ตู้อบ
 - 2.9 เครื่องแก้ว
 - 2.10 เครื่องเขย่า
3. อุปกรณ์การเพาะเลี้ยงสาหร่ายในระดับนำร่อง
 - 3.1 ถังเพาะเลี้ยงสาหร่ายแบบกลม 460 ลิตร
 - 3.2 ผ้ากรองสาหร่ายขนาด 90 ไมโครเมตร
4. สารเคมีที่ใช้เตรียมอาหารสูตรต่าง ๆ
5. กากถั่วเหลือง และเมล็ดถั่วเหลือง
6. สารเคมีที่ใช้วิเคราะห์หาปริมาณโปรตีนด้วยวิธี Kjeldahl Method (ภาคผนวกที่ 5)
7. โหลแก้วขนาด 10 ลิตร
8. เครื่องชั่งแบบหยาบ และแบบละเอียด
9. สารเคมีที่ใช้วิเคราะห์ปริมาณรงควัตถุแคโรทีนอยด์ (ภาคผนวกที่ 3)
10. สารเคมีที่ใช้วิเคราะห์ปริมาณรงควัตถุไฟโคไซยานิน (ภาคผนวกที่ 4)

วิธีการวิจัย

การทดลองที่ 1 การเพาะเลี้ยงสาหร่ายสไปรูลินา (*Spirulina platensis*) ในระดับห้องปฏิบัติการ

1.1 การเพาะเลี้ยงในสภาพห้องปฏิบัติการ

1.1.1 การเตรียมสาหร่ายที่จะใช้เลี้ยงเป็นเชื้อตั้งต้นสำหรับการเพาะเลี้ยง

เตรียมอาหารเพาะเลี้ยงสาหร่ายจากสูตร Zarrouk ในขวดโหลแก้วขนาด 10 ลิตร ปรับค่าความเป็นกรดเบสของสารอาหารด้วยสารละลาย NaOH ให้ค่าความเป็นกรดเบสเท่ากับ 10 ± 1 นำสาหร่ายสไปรูลินาที่เป็นเชื้อบริสุทธิ์ (Stock culture) ตั้งเดิมของห้องปฏิบัติการสาหร่ายเติมลงในขวดโหลแก้ว จากนั้นนำไปเพาะเลี้ยงบนชั้นเพาะเลี้ยงสาหร่าย หลังจากนั้นทำการตรวจวัดค่าดูดกลืนคลื่นแสง (optical density: OD) ให้ได้ประมาณ 1.00 จึงนำไปเป็นเชื้อตั้งต้นสำหรับการเพาะเลี้ยง

1.1.2 การเตรียมสารอาหารสำหรับเลี้ยงสาหร่าย โดยการชั่งสารเคมีแต่ละสูตรอาหารแล้วจึง เพาะเลี้ยงสาหร่ายในขวดน้ำเกลือที่ทำความสะอาดแล้ว โดยใช้ปริมาตรในการเพาะเลี้ยงปริมาณ 800 มิลลิลิตร การทดลองครั้งนี้วางแผนการทดลองแบบสุ่มตลอด [Completely randomized design (CRD)] โดยแบ่งการทดลองออกเป็น 7 ดำรับทดลอง 3 ซ้ำ ดังนี้

- ดำรับทดลอง 1 สูตรอาหารที่ 1 Zarrouk
- ดำรับทดลอง 2 สูตรอาหารที่ 2 Modified Zarrouk ไม่มี A_5 และ B_6 (ภาวนวกที่ 2)
- ดำรับทดลอง 3 สูตรอาหารที่ 3 กากถั่วเหลือง 0.1 g + สารเคมี 3 ชนิด
- ดำรับทดลอง 4 สูตรอาหารที่ 4 กากถั่วเหลือง 0.5 g + สารเคมี 3 ชนิด
- ดำรับทดลอง 5 สูตรอาหารที่ 5 ถั่วเหลืองดิบ 0.1 g + สารเคมี 3 ชนิด
- ดำรับทดลอง 6 สูตรอาหารที่ 6 ถั่วเหลืองดิบ 0.5 g + สารเคมี 3 ชนิด
- ดำรับทดลอง 7 สูตรอาหารที่ 7 กากถั่วเหลือง 5 g + สารเคมี 3 ชนิด

ทุกสูตรอาหารปรับความเป็นกรดเบส 10 ± 1 ก่อนเดิมเชื้อตั้งต้น

* สารเคมี 3 ชนิดนี้ ยุวดี (2544) ได้นำมาจากผลการทดลองการใช้สารเคมีทดแทนสูตร Zarrouk ซึ่งพัฒนาขึ้นโดย มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี ร่วมกับภาควิชาชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ ในงานวิจัยนี้ตัดปุ๋ยสูตร 16-16-16 ออกไปแล้วใช้ สารเคมี 3 ชนิดคือ NaHCO_3 8.5 g l^{-1} , NaNO_3 1.5 g l^{-1} , K_2HPO_4 0.5 g l^{-1} ในการเพาะเลี้ยงสาหร่ายเท่านั้น

1.1.3 นำสาหร่ายที่เป็นเชื้อตั้งต้นจากข้อที่ 1.1.1 ใส่ลงในขวดอาหารทุกตัวรับทดลอง โดยใช้ปริมาณตั้งต้น 5 เปอร์เซ็นต์ของสารอาหาร

1.1.4 ติดตั้งอุปกรณ์ให้อากาศ ตลอดเวลาการทดลองเพื่อป้องกันไม่ให้สาหร่ายตกตะกอน และเป็นการเพิ่มออกซิเจนให้กับสาหร่ายสไปรูลินา สาหร่ายสามารถสังเคราะห์แสงได้ จากนั้นนำไปวางบนชั้นวางสาหร่าย

1.1.5 ทำการวิเคราะห์หาสภาวะที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของสาหร่ายสไปรูลินาในแต่ละสูตรอาหาร ดังนี้

- ตรวจนับจำนวนเซลล์ทุก ๆ 2 วัน โดยใช้ไมโครปิเปต (Micropipette) ดูดสาหร่ายมาจำนวน 0.02 มิลลิลิตร นำไปหยดลงบน slide ใช้ cover slip ปิด หลังจากนั้นนำไปตรวจนับจำนวนเซลล์ภายใต้กล้องจุลทรรศน์ โดยใช้วิธีการนับทั้งหมด (whole count) แล้วคำนวณค่าออกมาเป็นเซลล์ต่อมิลลิลิตร

- วัดค่าดูดกลืนคลื่นแสงทุก ๆ 2 วัน โดยการนำ suspension ของสาหร่ายสไปรูลินามาวัดด้วยเครื่อง spectrophotometer ใช้ความยาวคลื่น 560 นาโนเมตร

- วัดค่าความเป็นกรดเบส (pH) ทุก ๆ 2 วัน โดยการนำ suspension ของสาหร่ายสไปรูลินามาวัดด้วยเครื่อง pH meter

1.1.6 เมื่อสิ้นสุดการทดลอง ทำการกรองเอาสาหร่ายสไปรูลินาออกไปซึ่งเป็นน้ำหนักสด จากนั้นนำสาหร่ายที่ได้ไปอบ ด้วยตู้อบความดันร้อนที่อุณหภูมิ 55-60°C เป็นเวลา 5-7 ชั่วโมง นำสาหร่ายที่อบแห้งมาชั่งน้ำหนักหาน้ำหนักแห้ง แล้วนำไปวิเคราะห์ปริมาณโปรตีน แคโรทีนอยด์ และไฟโคไซยานินต่อไป



25 μ

ภาพที่ 2 รูปร่างลักษณะของสาหร่ายสไปรูลินา (*Spirulina platensis*)



ภาพที่ 3 การเพาะเลี้ยงสาหร่ายสไปรูลินาในสภาพห้องปฏิบัติการ

1.4 การเพาะเลี้ยงในสภาพกลางแจ้ง

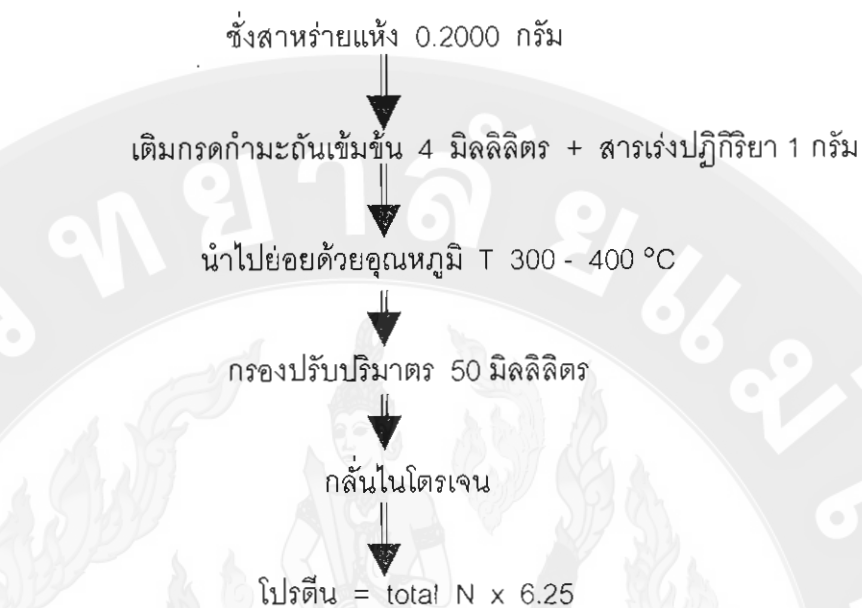
ทำการทดลองเหมือนสภาพห้องปฏิบัติการทุกประการ แต่แตกต่างกันที่สถานที่เพาะเลี้ยงสาหร่ายสไปรูลินา โดยเปลี่ยนเป็นสภาพกลางแจ้ง มีแสงแดดรำไรบริเวณระเบียงตึกภาควิชาทรัพยากรดินและสิ่งแวดล้อม ตรวจนับจำนวนเซลล์ วัดค่าดูดกลืนคลื่นแสง วัดค่าความเป็นกรดเบสทุก ๆ 2 วัน เพื่อหาสภาวะที่เหมาะสม ในการเจริญเติบโตของสาหร่ายสไปรูลินาเช่นเดียวกับสภาพห้องปฏิบัติการ (ภาพที่ 4)



ภาพที่ 4 การเพาะเลี้ยงสาหร่ายสไปรูลินาในสภาพกลางแจ้ง

1.5 การวิเคราะห์หาปริมาณโปรตีน

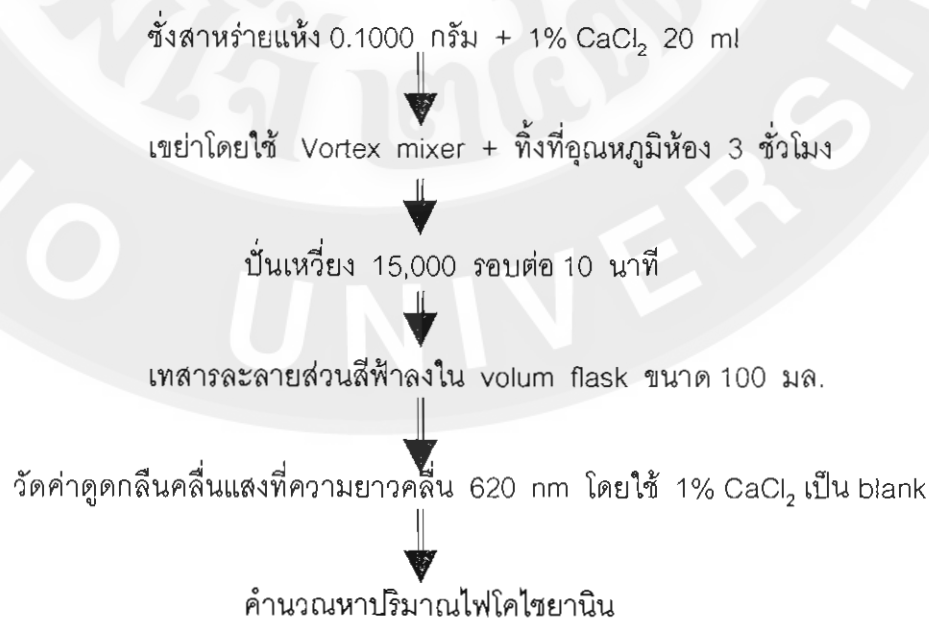
การวิเคราะห์หาปริมาณโปรตีนด้วยวิธีของ ปรีดา และคณะ (2536) โดยนำสาหร่ายสไปรูลินาที่เพาะเลี้ยงได้จาก ระดับห้องปฏิบัติการในสภาพห้องปฏิบัติการและสภาพกลางแจ้งมาวิเคราะห์หาปริมาณโปรตีน ดังภาพที่ 5



ภาพที่ 5 ไดอะแกรมแสดงขั้นตอนการวิเคราะห์ไนโตรเจน

1.2 การวิเคราะห์ปริมาณไฟโคไซยานิน

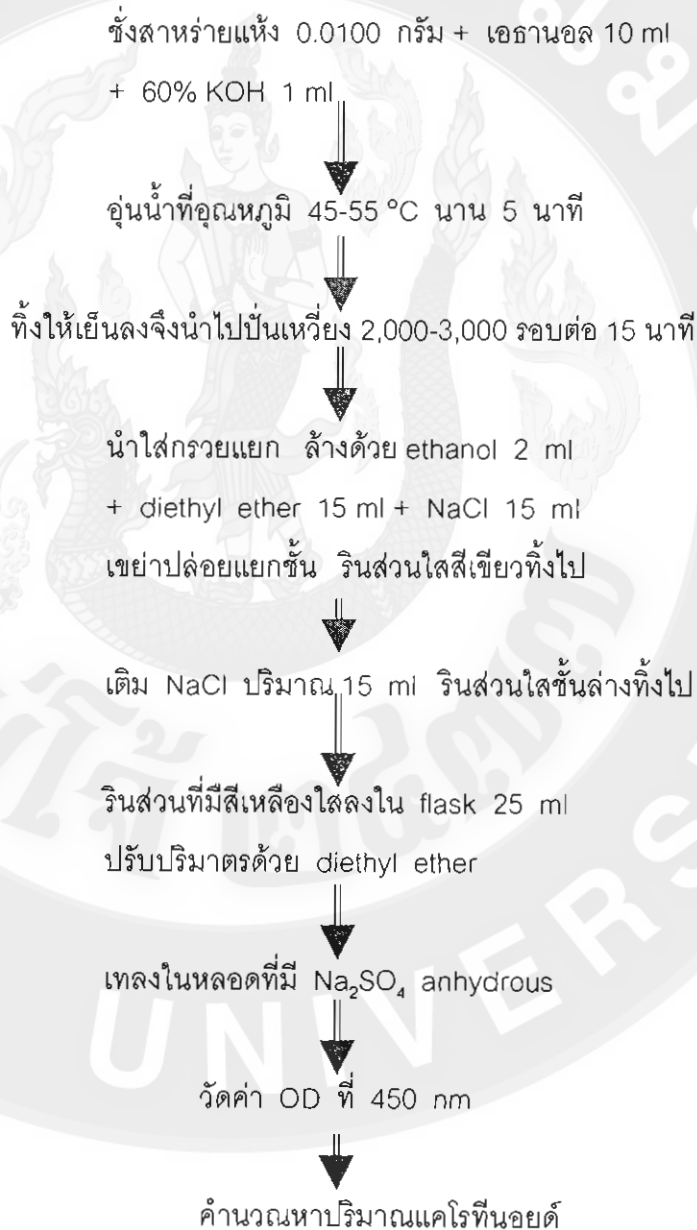
การวิเคราะห์ปริมาณไฟโคไซยานินด้วยวิธีของ ลักขณา และคณะ (2540) ซึ่งอ้างถึง Laboratory Document, 1996 นำสารหยาบสไปรูลินาที่เพาะเลี้ยงได้ในระดับห้องปฏิบัติการทั้งสองสภาพคือ ห้องปฏิบัติการ และกลางแจ้ง มาวิเคราะห์หาปริมาณไฟโคไซยานิน ดังภาพที่ 6



ภาพที่ 6 ไดอะแกรมแสดงขั้นตอนการหาปริมาณไฟโคไซยานิน

1.3 การวิเคราะห์ปริมาณแคโรทีนอยด์

การวิเคราะห์หาปริมาณแคโรทีนอยด์ด้วยวิธีของ ลักษณะ และคณะ (2540) อ้างถึง Laboratory Document, 1996 โดยนำสารหยาบที่เพาะเลี้ยงได้ในระดับห้องปฏิบัติการ ทั้งสองสภาพการทดลองคือสภาพห้องปฏิบัติการ และสภาพกลางแจ้ง มาวิเคราะห์หาปริมาณแคโรทีนอยด์ ดังภาพที่ 7



ภาพที่ 7 ไดอะแกรมแสดงขั้นตอนการหาปริมาณแคโรทีนอยด์

การทดลองที่ 2 การเพาะเลี้ยงสาหร่ายสไปรูลินา (*Spirulina platensis*) ในสภาพ กลางแจ้ง ระดับน้ำร่อง

การทดลองที่ 2 จะใช้สูตรอาหารที่ได้มาจากการคัดเลือกใน การทดลองครั้งที่ 1 โดย
เลือกจากสูตรอาหาร 7 สูตร ที่มีปริมาณโปรตีนสูงใกล้เคียงกับสูตรมาตรฐาน และมีความ
เหมาะสมคือราคาต้นทุนถูกกว่าสูตรมาตรฐาน ในการเพาะเลี้ยงสาหร่ายสไปรูลินา นำมา
ขยายผลสู่การเพาะเลี้ยงในระดับน้ำร่อง หรือในครัวเรือนต่อไป

1. การเตรียมสาหร่ายสไปรูลินาที่ใช้เป็นเชื้อตั้งต้นสำหรับการเพาะเลี้ยง
เตรียมได้เหมือนการทดลองที่ 1
2. การเตรียมอาหารสำหรับสาหร่ายสไปรูลินา
ใช้สูตรอาหารได้มาจากการคัดเลือกในการทดลองที่ 1
3. การวัดการเจริญเติบโตของสาหร่ายสไปรูลินา วัดค่า OD , pH , EC, DO

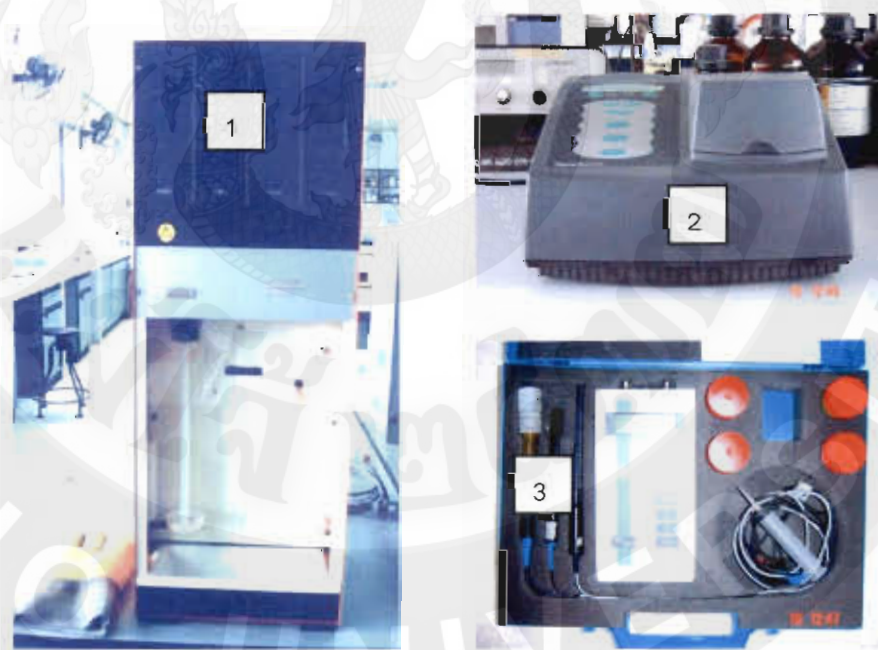


ภาพที่ 8 การเพาะเลี้ยงสาหร่ายสไปรูลินาในระดับน้ำร่อง

- (1) การผสมสารอาหาร
- (2) การปรับ pH ก่อนลงหัวเชื้อสาหร่ายสไปรูลินา
- (3) การคลุมผ้าป้องกันละอองฝน



ภาพที่ 9 การกรอกรองสาหร่ายสไปรูลินาระดับน้ำร่อง



ภาพที่ 10 อุปกรณ์ต่าง ๆ ที่ใช้ในการวัดพารามิเตอร์ของสารอาหารที่ใช้เพาะเลี้ยงสาหร่ายสไปรูลินา

- (1) เครื่องกลั่นไนโตรเจน
- (2) สเปกโตรโฟโตมิเตอร์ (Spectrophotometer)
- (3) เครื่องวัด pH , EC , DO

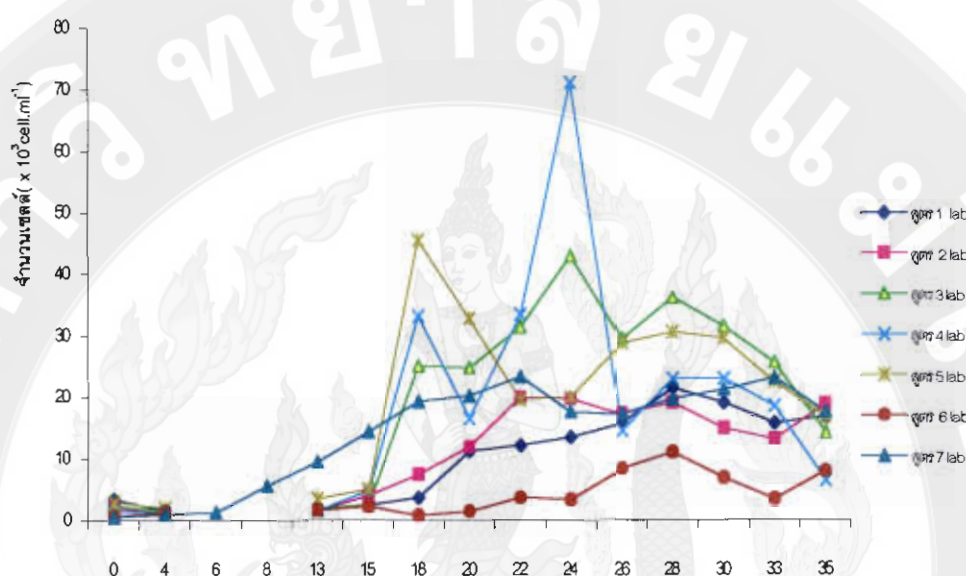
ผลการทดลอง

1. การเพาะเลี้ยงสาหร่ายสไปรูลินา (*Spirulina platensis*) ในสูตรอาหารที่แตกต่างกันระดับห้องปฏิบัติการ ในสภาพห้องปฏิบัติการ และสภาพกลางแจ้ง

จากการทดลองเพาะเลี้ยงสาหร่ายสไปรูลินา ในสูตรอาหารที่แตกต่างกัน 8 สูตร สภาพห้องปฏิบัติการเป็นระยะเวลา 35 วัน ผลการตรวจนับจำนวนเซลล์ ดังตารางที่ 8 และภาพที่ 11

ตารางที่ 8 การเจริญเติบโตเป็นจำนวนเซลล์ ($\times 10^3 \text{ cell, ml}^{-1}$) ของสไปรูลินาที่เพาะเลี้ยงระดับห้องปฏิบัติการ ในสภาพห้องปฏิบัติการ

สูตรอาหาร	วันที่มีจำนวนเซลล์สูงสุด	จำนวนเซลล์สูงสุด ($\times 10^3 \text{ cell, ml}^{-1}$)	จำนวนเซลล์เฉลี่ย ($\times 10^3 \text{ cell, ml}^{-1}$)	OD วันที่มีจำนวนเซลล์สูงสุด
1	28	21.333	10.634	2.014
2	22	20.000	11.551	1.780
3	24	42.833	20.660	1.642
4	24	70.916	19.076	1.416
5	18	45.583	19.775	1.217
6	28	10.833	4.032	1.054
7	19	23.333	14.105	2.317



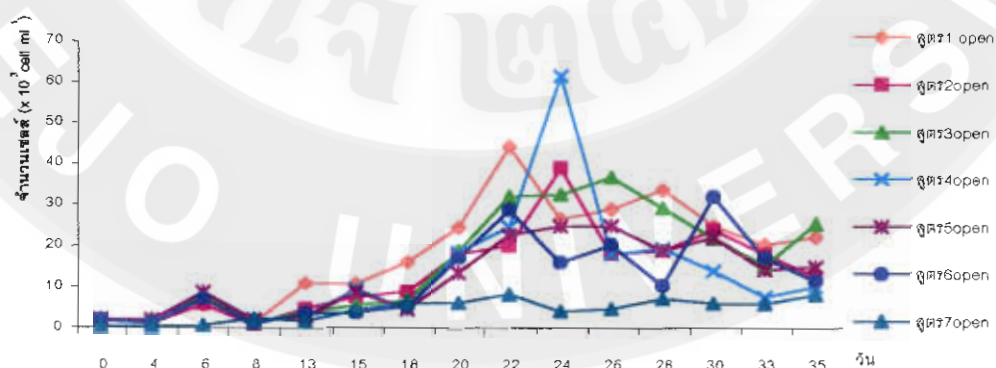
ภาพที่ 11 การเจริญเติบโตของสาหร่ายสไปรูลินาเป็นจำนวนเซลล์ ($\times 10^3 \text{ cell.ml}^{-1}$) ในสภาพห้องปฏิบัติการ

เมื่อนำจำนวนเซลล์มาหาค่าเฉลี่ยมีค่าดังต่อไปนี้ สูตรอาหารที่ 1 มีจำนวนเซลล์เฉลี่ยเท่ากับ $10.634 \times 10^3 \text{ cell.ml}^{-1}$ สูตรอาหารที่ 2 มีจำนวนเซลล์เท่ากับ $11.551 \times 10^3 \text{ cell.ml}^{-1}$ สูตรอาหารที่ 3 มีจำนวนเซลล์เท่ากับ $20.66 \times 10^3 \text{ cell.ml}^{-1}$ สูตรอาหารที่ 4 มีจำนวนเซลล์เท่ากับ $19.076 \times 10^3 \text{ cell.ml}^{-1}$ สูตรอาหารที่ 5 มีจำนวนเซลล์เท่ากับ $19.775 \times 10^3 \text{ cell.ml}^{-1}$ สูตรอาหารที่ 6 มีจำนวนเซลล์เท่ากับ $4.032 \times 10^3 \text{ cell.ml}^{-1}$ และสูตรอาหารที่ 7 มีจำนวนเซลล์เท่ากับ $14.105 \times 10^3 \text{ cell.ml}^{-1}$ นำจำนวนเซลล์ในแต่ละสูตรอาหารวิเคราะห์ค่าทางสถิติพบว่า มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.01$) ดังภาพที่ 13

จากการทดลองเพาะเลี้ยงสาหร่ายสไปรูลินา ในระดับห้องปฏิบัติการสภาพกลางแจ้ง ในสูตรอาหารที่แตกต่างกัน 7 สูตรเป็นระยะเวลา 35 วัน ผลการตรวจนับจำนวนเซลล์ ดังปรากฏตารางที่ 9 และภาพที่ 12

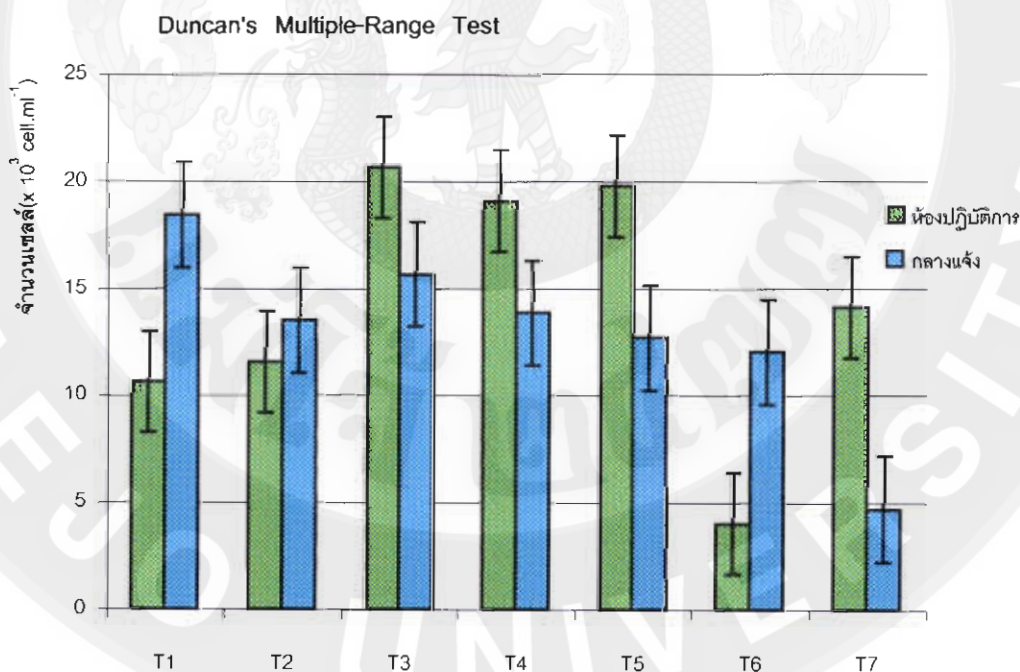
ตารางที่ 9 การเจริญเติบโตเป็นจำนวนเซลล์ ($\times 10^3 \text{ cell.ml}^{-1}$) ของสไปรูลินาที่เพาะเลี้ยง
ระดับห้องปฏิบัติการ ในสภาพกลางแจ้ง

สูตรอาหาร	วันที่มีจำนวนเซลล์ สูงสุด	จำนวนเซลล์สูงสุด ($\times 10^3 \text{ cell.ml}^{-1}$)	จำนวนเซลล์เฉลี่ย ($\times 10^3 \text{ cell.ml}^{-1}$)	OD วันที่มี จำนวนเซลล์สูงสุด
1	22	44.500	18.443	2.451
2	24	39.166	13.501	1.822
3	26	36.833	15.656	1.956
4	24	61.666	13.842	1.909
5	26	25.083	12.681	1.788
6	30	32.083	12.028	1.877
7	19	8.416	4.711	1.677



ภาพที่ 12 การเจริญเติบโตของสารละลายสไปรูลินาเป็นจำนวนเซลล์ ($\times 10^3 \text{ cell.ml}^{-1}$)
ในสภาพกลางแจ้ง

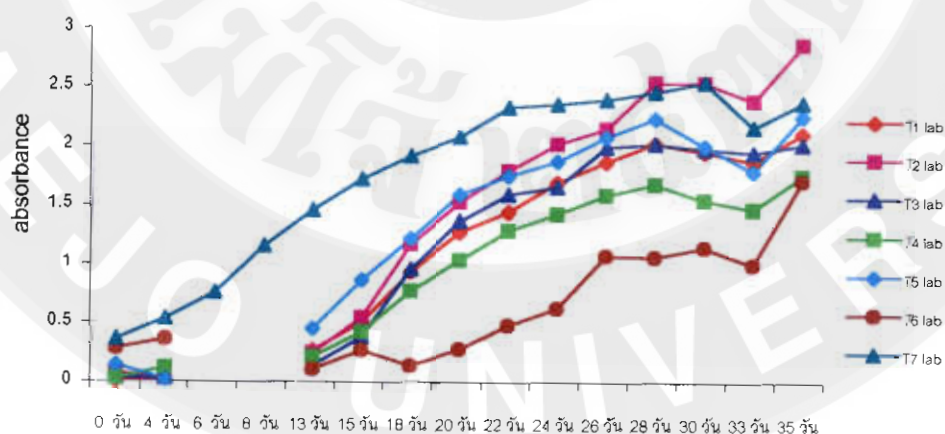
เมื่อนำจำนวนเซลล์ไปหาค่าเฉลี่ยดังต่อไปนี้ สูตรที่ 1 มีจำนวนเซลล์เฉลี่ยเท่ากับ $18.443 \times 10^3 \text{ cell.ml}^{-1}$ สูตรที่ 2 มีจำนวนเซลล์เฉลี่ยเท่ากับ $13.501 \times 10^3 \text{ cell.ml}^{-1}$ สูตรที่ 3 มีจำนวนเซลล์เฉลี่ยเท่ากับ $15.656 \times 10^3 \text{ cell.ml}^{-1}$ สูตรที่ 4 มีจำนวนเซลล์เฉลี่ยเท่ากับ $13.842 \times 10^3 \text{ cell.ml}^{-1}$ สูตรที่ 5 มีจำนวนเซลล์เฉลี่ยเท่ากับ $12.681 \times 10^3 \text{ cell.ml}^{-1}$ สูตรที่ 6 มีจำนวนเซลล์เฉลี่ยเท่ากับ $12.028 \times 10^3 \text{ cell.ml}^{-1}$ และสูตรที่ 7 มีจำนวนเซลล์เฉลี่ยเท่ากับ $4.711 \times 10^3 \text{ cell.ml}^{-1}$ นำจำนวนเซลล์สำหรับในแต่ละสูตรอาหารไปวิเคราะห์ค่าทางสถิติพบว่า ความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($P < 0.05$) มีดังภาพที่ 13



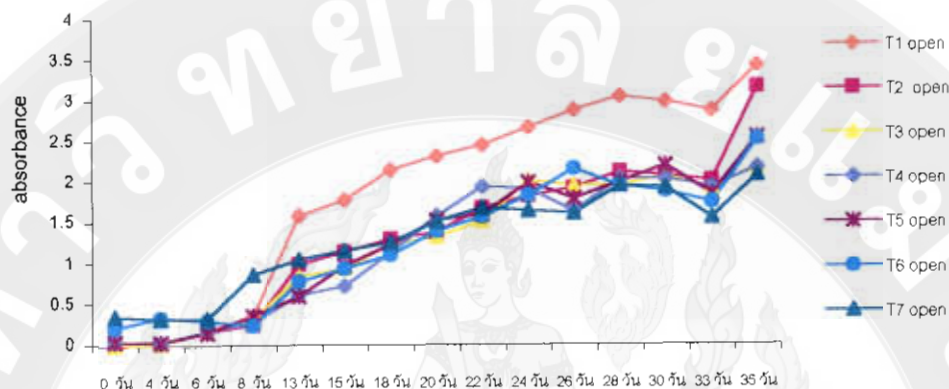
ภาพที่ 13 เปรียบเทียบการเจริญเติบโตของสาหร่ายสไปรูลินาเป็นจำนวนเซลล์เฉลี่ย ($\times 10^3 \text{ cell.ml}^{-1}$) ในสภาพห้องปฏิบัติการและสภาพกลางแจ้ง

I = ค่าความคลาดเคลื่อนของค่าเฉลี่ย (Standard error of mean, SE)

การวัดค่าดูดกลืนคลื่นแสง (Optical density, OD) ของสาหร่ายสไปรูลินาที่เพาะเลี้ยงในระดับห้องปฏิบัติการผลปรากฏดังภาพที่ 14 และการเพาะเลี้ยงในสภาพกลางแจ้ง ผลปรากฏดังภาพที่ 15 เมื่อนำไปวิเคราะห์ค่าทางสถิติพบว่า การเพาะเลี้ยงในสภาพกลางแจ้ง ไม่มีความแตกต่างทางสถิติ ดังต่อไปนี้ สูตรที่ 1 ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 1.92 สูตรที่ 2 ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 1.34 สูตรที่ 3 ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 1.23 สูตรที่ 4 ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 1.22 สูตรที่ 5 ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 1.26 สูตรที่ 6 ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 1.26 และสูตรที่ 7 ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 1.28 ดังภาพที่ 16 ส่วนค่าเฉลี่ยดูดกลืนคลื่นแสง (Optical density, OD) สาหร่ายสภาพห้องปฏิบัติการ พบว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) ดังต่อไปนี้ สูตรที่ 1 ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 1.22 สูตรที่ 2 ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 1.52 สูตรที่ 3 ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 1.23 สูตรที่ 4 ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 1.02 สูตรที่ 5 ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 1.39 สูตรที่ 6 ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.65 และสูตรที่ 7 ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 1.76 ดังภาพที่ 16

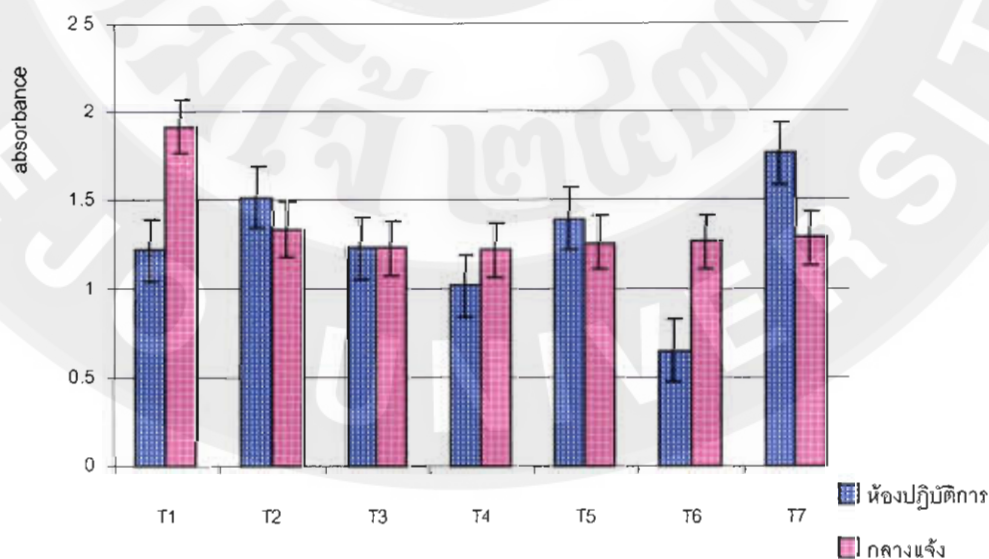


ภาพที่ 14 การเจริญเติบโตสาหร่ายสไปรูลินาที่เพาะเลี้ยงด้วยสูตรอาหารที่แตกต่างกัน
ระดับห้องปฏิบัติการ ในสภาพห้องปฏิบัติการ แสดงด้วยค่า OD



ภาพที่ 15 การเจริญเติบโตสาหร่ายสไปรูลินาที่เพาะเลี้ยงด้วยสูตรอาหารแตกต่างกัน
ระดับห้องปฏิบัติการ ในสภาพกลางแจ้งแสดง ด้วยค่า OD

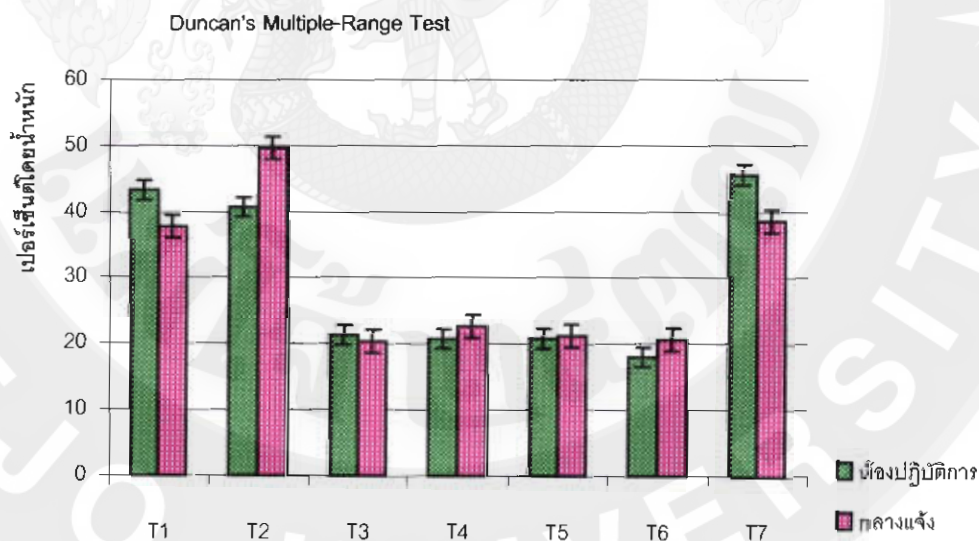
Duncan's Multiple-Range Test



ภาพที่ 16 เปรียบเทียบค่า absorbance เชื้อสไปรูลินาที่เพาะเลี้ยงระดับห้องปฏิบัติการ
การในสภาพห้องปฏิบัติการ และสภาพกลางแจ้ง

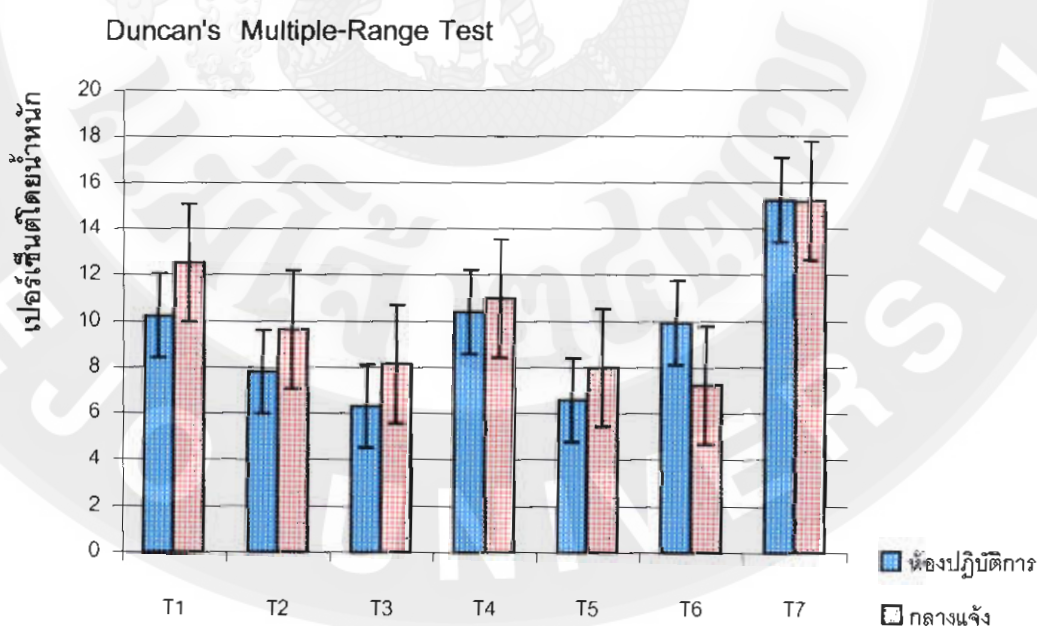
I = ค่าความคลาดเคลื่อนของค่าเฉลี่ย (Standard error of mean, SE)

การวิเคราะห์หาปริมาณโปรตีนสำหรับสไปรูลินา ที่เพาะเลี้ยงในสภาพห้องปฏิบัติการ ดังต่อไปนี้ สูตรที่ 1 มีค่าเฉลี่ยโปรตีนเท่ากับ 43.33 เปอร์เซ็นต์ สูตรที่ 2 40.75 เปอร์เซ็นต์ สูตรที่ 3 21.29 เปอร์เซ็นต์ สูตรที่ 4 20.73 เปอร์เซ็นต์ สูตรที่ 5 20.77 เปอร์เซ็นต์ สูตรที่ 6 18.02 เปอร์เซ็นต์ และสูตรที่ 7 45.69 เปอร์เซ็นต์ เมื่อนำมาวิเคราะห์ค่าทางสถิติพบว่า มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง ($P < 0.01$) ดังภาพที่ 17 ส่วนค่าเฉลี่ยโปรตีนของสำหรับสไปรูลินา ที่เพาะเลี้ยงในสภาพกลางแจ้ง ดังต่อไปนี้ สูตรที่ 1 37.77 เปอร์เซ็นต์ สูตรที่ 2 49.69 เปอร์เซ็นต์ สูตรที่ 3 20.33 เปอร์เซ็นต์ สูตรที่ 4 22.60 เปอร์เซ็นต์ สูตรที่ 5 21.18 เปอร์เซ็นต์ สูตรที่ 6 20.62 เปอร์เซ็นต์ และสูตรที่ 7 38.72 เปอร์เซ็นต์ ปริมาณโปรตีนเฉลี่ย มีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง ($P < 0.01$) ดังภาพที่ 17



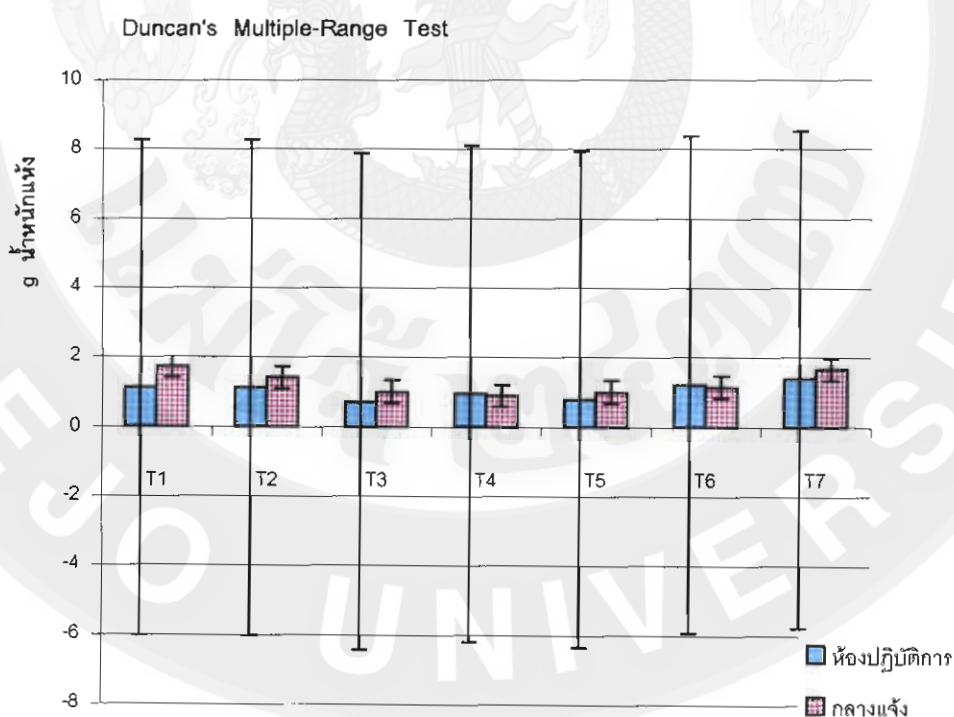
ภาพที่ 17 เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยปริมาณโปรตีนสำหรับสไปรูลินาที่เพาะเลี้ยง
ระดับห้องปฏิบัติการ ในสภาพห้องปฏิบัติการและสภาพกลางแจ้ง
I = ค่าความคลาดเคลื่อนของค่าเฉลี่ย (Standard error of mean, SE)

การวิเคราะห์หาน้ำหนักสดของสาหร่ายสไปรูลินา ที่เพาะเลี้ยงระดับห้องปฏิบัติการ ในสภาพห้องปฏิบัติการและสภาพกลางแจ้ง พบน้ำหนักสดเฉลี่ยที่เพาะเลี้ยงในสภาพกลางแจ้ง ดังต่อไปนี้ สูตรที่ 1 น้ำหนักเฉลี่ย 12.49 g สูตรที่ 2 9.61 g สูตรที่ 3 8.12 g สูตรที่ 4 10.98 g สูตรที่ 5 7.97 g สูตรที่ 6 7.22 g และสูตรที่ 7 15.19 g เมื่อนำไปวิเคราะห์ค่าทางสถิติ พบว่าไม่มีความแตกต่างทางสถิติ ($P>0.05$) ดังภาพที่ 18 ส่วนน้ำหนักสดสาหร่ายสไปรูลินาที่เพาะเลี้ยงในสภาพห้องปฏิบัติการ ดังต่อไปนี้ สูตรที่ 1 น้ำหนักเฉลี่ย 10.21 g สูตรที่ 2 7.79 g สูตรที่ 3 6.31 g สูตรที่ 4 10.39 g สูตรที่ 5 6.57 g สูตรที่ 6 9.92 g และสูตรที่ 7 15.25 g เมื่อนำไปวิเคราะห์ค่าทางสถิติ พบว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) ดังภาพที่ 18



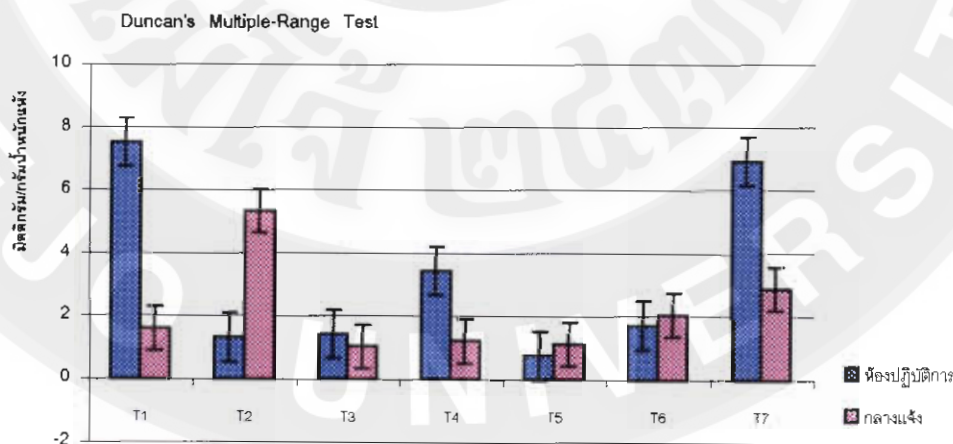
ภาพที่ 18 เปรียบเทียบน้ำหนักสดเฉลี่ยสาหร่ายสไปรูลินาที่เพาะเลี้ยงระดับห้องปฏิบัติการ ในสภาพห้องปฏิบัติการและสภาพกลางแจ้ง
 = ค่าความคลาดเคลื่อนของค่าเฉลี่ย (Standard error of mean, SE)

การวิเคราะห์หาน้ำหนักแห้งของสารละลายโปรลินา ที่เพาะเลี้ยงระดับห้องปฏิบัติการ ในสภาพห้องปฏิบัติการและสภาพกลางแจ้ง เมื่อเพาะเลี้ยงในสภาพกลางแจ้งพบว่า สูตรที่ 1 มีน้ำหนักเฉลี่ย 1.71 g สูตรที่ 2 1.41 g สูตรที่ 3 1.00 g สูตรที่ 4 0.90 g สูตรที่ 5 1.0 g สูตรที่ 6 1.14 g และสูตรที่ 7 1.65 g นำไปวิเคราะห์ค่าทางสถิติพบว่า ไม่มีความแตกต่างทางสถิติ ($P>0.05$) ดังภาพที่ 18 ส่วนน้ำหนักแห้งเฉลี่ยสารละลายโปรลินา ที่เพาะเลี้ยงในสภาพห้องปฏิบัติการ ดังต่อไปนี้ สูตรที่ 1 น้ำหนักเฉลี่ย 1.12 g สูตรที่ 2 1.12 g สูตรที่ 3 0.72 g สูตรที่ 4 0.95 g สูตรที่ 5 0.79 g สูตรที่ 6 1.22 g และสูตรที่ 7 1.37 g นำไปวิเคราะห์ค่าทางสถิติพบว่า มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.01$) ดังภาพที่ 19



ภาพที่ 19 เปรียบเทียบน้ำหนักแห้งเฉลี่ยสารละลายโปรลินาที่เพาะเลี้ยง
ระดับห้องปฏิบัติการ ในสภาพห้องปฏิบัติการและสภาพกลางแจ้ง
I = ค่าความคลาดเคลื่อนของค่าเฉลี่ย (Standard error of mean, SE)

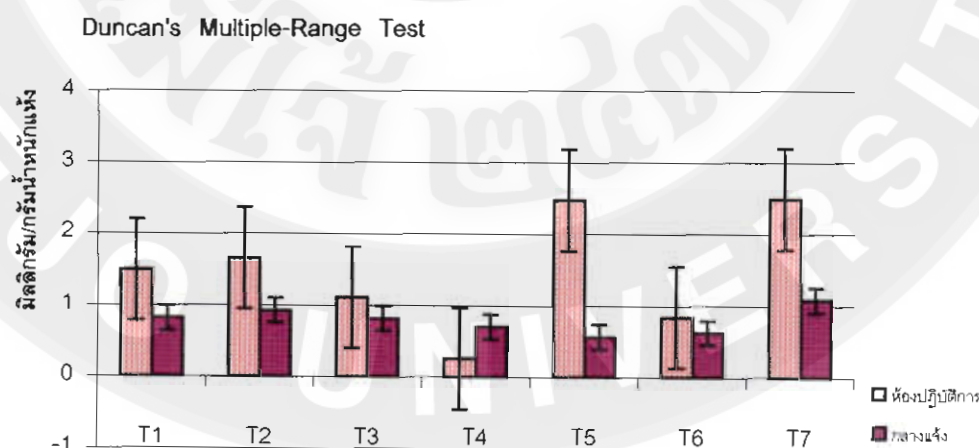
การวิเคราะห์หาปริมาณไฟโคไซยานินสไปรูลินา ที่เพาะเลี้ยงระดับห้องปฏิบัติการ ในสภาพห้องปฏิบัติการและสภาพกลางแจ้ง ในสภาพกลางแจ้งพบว่า สูตรที่ 1 พบค่าเฉลี่ยไฟโคไซยานินเท่ากับ 1.58 มิลลิกรัม/กรัมน้ำหนักแห้ง สูตรที่ 2 5.32 มิลลิกรัม/กรัมน้ำหนักแห้ง สูตรที่ 3 1.01 มิลลิกรัม/กรัมน้ำหนักแห้ง สูตรที่ 4 1.19 มิลลิกรัม/กรัมน้ำหนักแห้ง สูตรที่ 5 1.094 มิลลิกรัม/กรัมน้ำหนักแห้ง สูตรที่ 6 2.03 มิลลิกรัม/กรัมน้ำหนักแห้ง และ สูตรที่ 7 2.87 มิลลิกรัม/กรัมน้ำหนักแห้ง เมื่อนำไปวิเคราะห์ค่าทางสถิติ พบว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ ($P < 0.01$) ดังภาพที่ 20 ส่วนค่าเฉลี่ยไฟโคไซยานินของสาหร่ายสไปรูลินา ที่เพาะเลี้ยงในสภาพห้องปฏิบัติการดังต่อไปนี้ สูตรที่ 1 พบค่าเฉลี่ยไฟโคไซยานินเท่ากับ 7.51 มิลลิกรัม/กรัมน้ำหนักแห้ง สูตรที่ 2 1.31 มิลลิกรัม/กรัมน้ำหนักแห้ง สูตรที่ 3 1.39 มิลลิกรัม/กรัมน้ำหนักแห้ง สูตรที่ 4 3.41 มิลลิกรัม/กรัมน้ำหนักแห้ง สูตรที่ 5 0.72 มิลลิกรัม/กรัมน้ำหนักแห้ง สูตรที่ 6 1.71 มิลลิกรัม/กรัมน้ำหนักแห้ง และสูตรที่ 7 6.93 มิลลิกรัม/กรัมน้ำหนักแห้ง นำไปวิเคราะห์ค่าทางสถิติ พบว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ ($P < 0.01$) ดังภาพที่ 20



ภาพที่ 20 เปรียบเทียบปริมาณค่าเฉลี่ยไฟโคไซยานินของสาหร่ายสไปรูลินาที่เพาะเลี้ยงระดับห้องปฏิบัติการ ในสภาพห้องปฏิบัติการและสภาพกลางแจ้ง

$\bar{I}$ = ค่าความคลาดเคลื่อนของค่าเฉลี่ย (Standard error of mean, SE)

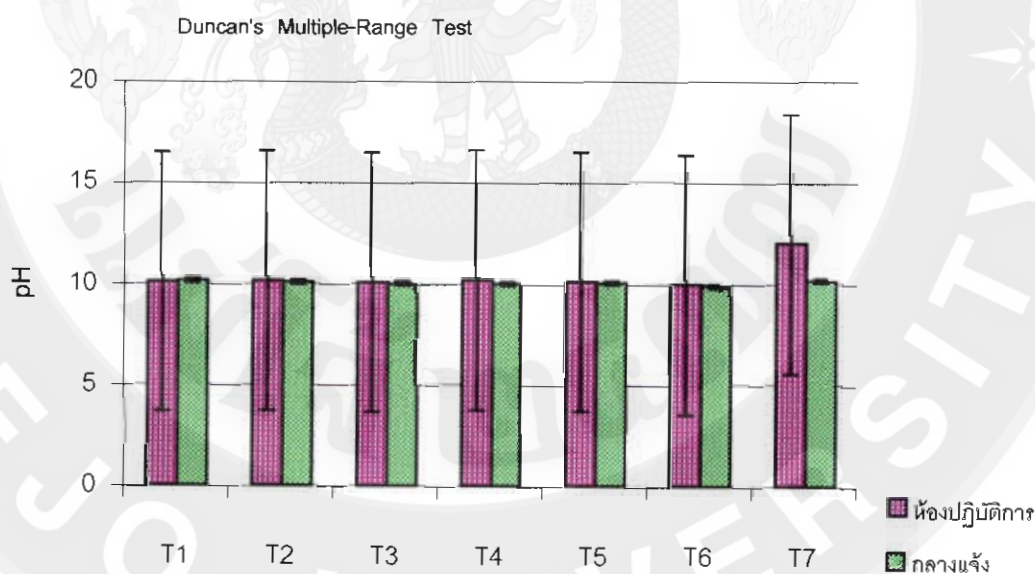
การวิเคราะห์หาปริมาณแคโรทีนอยด์สไปรูไลนา ที่เพาะเลี้ยงระดับห้องปฏิบัติการ ในสภาพห้องปฏิบัติการและในสภาพกลางแจ้ง เมื่อเลี้ยงในสภาพห้องปฏิบัติการพบว่า สูตรที่ 1 มีค่าเฉลี่ยแคโรทีนอยด์เท่ากับ 1.49 มิลลิกรัม/กรัมน้ำหนักแห้ง สูตรที่ 2 1.65 มิลลิกรัม/กรัม น้ำหนักแห้ง สูตรที่ 3 1.11 มิลลิกรัม/กรัมน้ำหนักแห้ง สูตรที่ 4 0.26 มิลลิกรัม/กรัมน้ำหนักแห้ง สูตรที่ 5 2.47 มิลลิกรัม/กรัมน้ำหนักแห้ง สูตรที่ 6 0.83 มิลลิกรัม/กรัมน้ำหนักแห้ง และ สูตรที่ 7 2.4 มิลลิกรัม/กรัมน้ำหนักแห้ง เมื่อนำไปวิเคราะห์ค่าทางสถิติ พบว่าไม่มีความแตกต่างทางสถิติ ดังภาพที่ 21 ค่าเฉลี่ยแคโรทีนอยด์ที่เพาะเลี้ยงในสภาพกลางแจ้ง มีดังต่อไปนี้ สูตรที่ 1 มีค่าเฉลี่ยแคโรทีนอยด์เท่ากับ 0.82 มิลลิกรัม/กรัมน้ำหนักแห้ง สูตรที่ 2 0.92 มิลลิกรัม/กรัมน้ำหนักแห้ง สูตรที่ 3 0.81 มิลลิกรัม/กรัมน้ำหนักแห้ง สูตรที่ 4 0.67 มิลลิกรัม/กรัมน้ำหนักแห้ง สูตรที่ 5 0.56 มิลลิกรัม/กรัมน้ำหนักแห้ง สูตรที่ 6 0.62 มิลลิกรัม/กรัม น้ำหนักแห้ง และสูตรที่ 7 1.07 มิลลิกรัม/กรัมน้ำหนักแห้ง นำไปวิเคราะห์ค่าทางสถิติ พบว่า ไม่มีความแตกต่างทางสถิติ ดังภาพที่ 21



ภาพที่ 21 เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยแคโรทีนอยด์ของสาหร่ายสไปรูไลนาที่เพาะเลี้ยง ระดับห้องปฏิบัติการ ในสภาพห้องปฏิบัติการและสภาพกลางแจ้ง

I = ค่าความคลาดเคลื่อนของค่าเฉลี่ย (Standard error of mean, SE)

การวัดค่า pH ของสารละลายที่ใช้เพาะเลี้ยงสาหร่ายสไปรูลินาที่เพาะเลี้ยงระดับห้องปฏิบัติการ ในสภาพห้องปฏิบัติการ พบค่าเฉลี่ย pH สูตรที่ 1 เท่ากับ 10.08 สูตรที่ 2 เท่ากับ 10.15 สูตรที่ 3 เท่ากับ 10.05 สูตรที่ 4 เท่ากับ 10.18 สูตรที่ 5 เท่ากับ 10.09 สูตรที่ 6 เท่ากับ 9.94 และสูตรที่ 7 เท่ากับ 11.96 เมื่อนำไปวิเคราะห์ค่าทางสถิติพบว่า มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ ดังภาพที่ 22 ส่วน pH เฉลี่ยสาหร่ายสไปรูลินาที่เพาะเลี้ยงในสภาพกลางแจ้ง พบว่าสูตรที่ 1 เท่ากับ 0.13 สูตรที่ 2 เท่ากับ 10.07 สูตรที่ 3 เท่ากับ 9.99 สูตรที่ 4 เท่ากับ 9.98 สูตรที่ 5 เท่ากับ 10.02 สูตรที่ 6 เท่ากับ 9.85 และสูตรที่ 7 เท่ากับ 10.14 นำไปวิเคราะห์ค่าทางสถิติ พบว่าไม่มีความแตกต่างทางสถิติ ดังภาพที่ 22



ภาพที่ 22 เปรียบเทียบค่าเฉลี่ย pH สาหร่ายสไปรูลินาที่เพาะเลี้ยง

ระดับห้องปฏิบัติการ ในสภาพห้องปฏิบัติการและสภาพกลางแจ้ง

$\bar{I}$ = ค่าความคลาดเคลื่อนของค่าเฉลี่ย (Standard error of mean, SE)

2. การเพาะเลี้ยงสาหร่ายสไปรูลินา (*Spirulina platensis*) ในระดับน้ำร่อง

จากการทดลองที่ 1 สามารถคัดเลือกสูตรอาหารที่เหมาะสมต่อการเพาะเลี้ยงสไปรูลินาในระดับน้ำร่องคือ สูตรอาหารที่ 7 กากถั่วเหลือง 5 g ร่วมกับสารเคมีบางชนิดพิจารณาจากค่าการวิเคราะห์ต่าง ๆ ในตารางที่ 10 และตารางที่ 11 ดังต่อไปนี้คือ จำนวนเซลล์สูงสุด $23.33 \times 10^3 \text{ cell.ml}^{-1}$ ในสภาพห้องปฏิบัติการ และจำนวนเซลล์สูงสุด $8.416 \times 10^3 \text{ cell.ml}^{-1}$ ในสภาพกลางแจ้ง การวิเคราะห์ปริมาณโปรตีน สูตรที่ 7 พบปริมาณโปรตีนเฉลี่ย 45.69 เปอร์เซ็นต์ ในสภาพห้องปฏิบัติการ และ 38.72 เปอร์เซ็นต์ ในสภาพกลางแจ้ง น้ำหนักแห้งเฉลี่ย 1.65 กรัม สภาพกลางแจ้ง และ 1.38 กรัม สภาพห้องปฏิบัติการ เมื่อนำสูตรอาหารที่ 7 มาขยายผลเพาะเลี้ยงในระดับน้ำร่อง หรือระดับครัวเรือนมีการตรวจวัดค่าการดูดกลืนแสง (absorbance) ค่าความเป็นกรดเบสของสารละลาย (pH) ดังภาพที่ 23 และปริมาณน้ำหนักรีด น้ำหนักแห้งเมื่อสิ้นสุดการเพาะเลี้ยง การเก็บเกี่ยวผลผลิตรอบแรกได้น้ำหนักรีด 1081.36 กรัม น้ำหนักแห้งได้ 93.40 กรัม ส่วนการเก็บเกี่ยวผลผลิตรอบสองได้น้ำหนักรีด 484.35 กรัม น้ำหนักแห้งได้ 57.06 กรัม รวมน้ำหนักแห้งทั้งหมดตลอดการทดลองได้ 150.46 กรัม ตารางที่ 10 ค่าวิเคราะห์ ปริมาณโปรตีน ปริมาณไฟโคไซยานิน แคโรทีนอยด์ของสาหร่ายสไปรูลินาที่เพาะเลี้ยงในสภาพที่แตกต่างกัน

ตำรับทดลอง	โปรตีน (%)		ไฟโคไซยานิน (mg/g)		แคโรทีนอยด์ (mg/g)	
	lab	open	lab	open	lab	open
สูตรที่ 1	43.33 ^{ab}	37.77 ^b	7.51 ^a	1.58 ^b	1.49 ^a	0.81 ^a
สูตรที่ 2	40.75 ^b	49.69 ^a	1.30 ^{bc}	5.32 ^a	1.65 ^a	0.92 ^a
สูตรที่ 3	21.29 ^c	20.33 ^c	1.39 ^{bc}	1.01 ^b	1.11 ^a	0.81 ^a
สูตรที่ 4	20.73 ^c	22.60 ^c	3.41 ^b	1.19 ^b	0.26 ^a	0.69 ^a
สูตรที่ 5	20.77 ^c	21.18 ^c	0.72 ^c	1.09 ^b	2.47 ^a	0.56 ^a
สูตรที่ 6	18.02 ^c	20.62 ^c	1.70 ^{bc}	2.03 ^b	0.83 ^a	0.62 ^a
สูตรที่ 7	45.69 ^a	38.72 ^b	6.93 ^a	2.87 ^b	2.49 ^a	1.08 ^a
CV (%)	8.51	9.94	40.84	56.15	83.24	38.30
Grand Mean	30.08	30.13	3.28	2.16	1.47	0.79
F- test	**	**	**	**	ns	ns

ns ไม่แตกต่างทางสถิติ

** แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 99 เปอร์เซนต์
ค่าใน column เดียวกันที่อักษรแตกต่างกันแสดงว่าค่าเฉลี่ยมีความแตกต่าง
ทางสถิติ อักษรที่เหมือนกันแสดงว่าไม่แตกต่างกันเมื่อเปรียบเทียบกับ
วิธี DMRT (Duncan Multiple Range Test)

ตารางที่ 11 ค่าวิเคราะห์ จำนวนเซลล์ น้ำหนักสด น้ำหนักแห้ง pH OD
ของสาหร่ายสไปรูลินาที่เพาะเลี้ยงในสภาพที่แตกต่างกัน

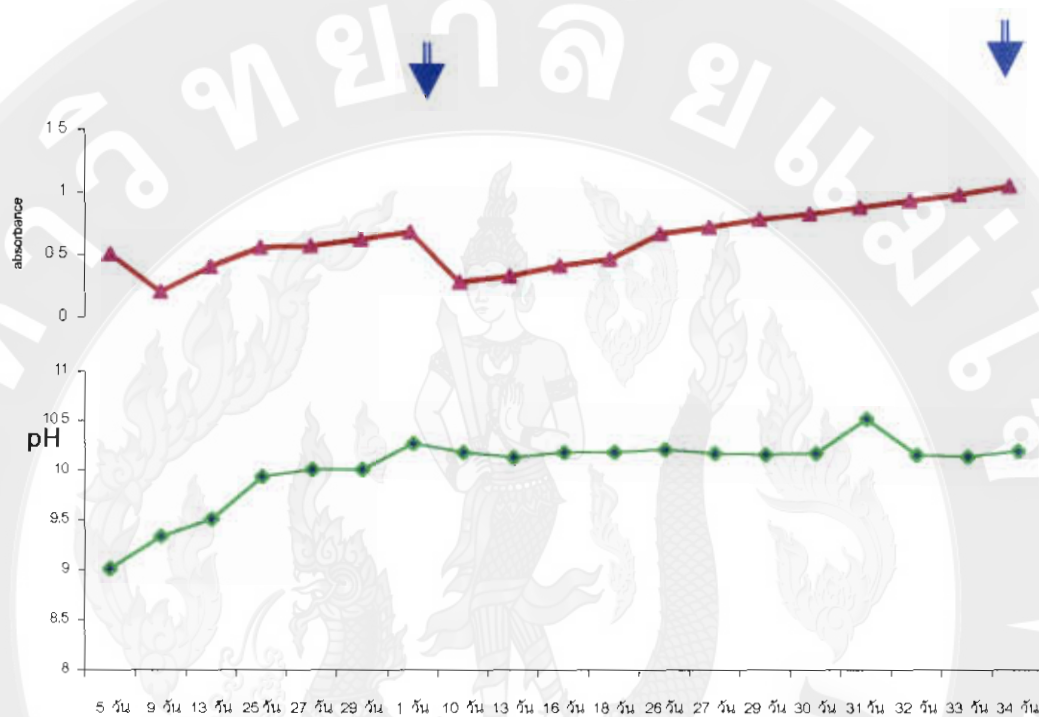
สูตรอาหาร	เซลล์ ($\times 10^3 \text{ cell.ml}^{-1}$)		น้ำหนักสด (g)		น้ำหนักแห้ง (g)		pH		OD	
	L	O	L	O	L	O	L	O	L	O
สูตรที่ 1	10.63 ^{cd}	18.44 ^a	10.21 ^{ab}	12.49 ^a	1.12 ^{bc}	1.71 ^a	10.0 ^{bc}	10.13 ^a	1.21 ^{ab}	1.92 ^a
สูตรที่ 2	11.55 ^{bcd}	13.50 ^a	7.79 ^b	9.62 ^a	1.12 ^{bc}	1.41 ^a	10.15 ^{bc}	10.07 ^a	1.52 ^{ab}	1.34 ^b
สูตรที่ 3	20.66 ^a	15.66 ^a	6.31 ^b	8.12 ^a	0.72 ^e	1.00 ^a	10.05 ^{bc}	9.99 ^a	1.23 ^{ab}	1.23 ^b
สูตรที่ 4	19.08 ^{ab}	13.84 ^a	10.39 ^{ab}	10.98 ^a	0.95 ^{cd}	0.90 ^a	10.18 ^b	9.99 ^a	1.02 ^{bc}	1.21 ^b
สูตรที่ 5	19.78 ^a	12.68 ^a	6.57 ^b	10.98 ^a	0.79 ^{de}	1.00 ^a	10.09 ^{bc}	10.02 ^a	1.39 ^{ab}	1.26 ^b
สูตรที่ 6	4.03 ^d	12.03 ^{ab}	9.92 ^{ab}	7.22 ^a	1.22 ^{ab}	1.14 ^a	9.94 ^c	9.86 ^a	0.65 ^c	1.26 ^b
สูตรที่ 7	14.11 ^{abc}	4.71 ^b	15.25 ^a	15.19 ^a	1.37 ^a	1.65 ^a	11.97 ^a	10.14 ^a	1.75 ^a	1.28 ^b
CV (%)	28.80	32.90	32.95	43.20	16.10	44.81	1.08	1.80	24.07	19.84
Grand Mean	14.26	12.98	9.49	10.23	1.02	1.26	10.35	10.02	1.27	1.35
F-test	**	*	*	ns	**	ns	**	ns	*	ns

ns ไม่แตกต่างทางสถิติ

* แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซนต์

** แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 99 เปอร์เซนต์
ค่าใน column เดียวกันที่อักษรแตกต่างกันแสดงว่าค่าเฉลี่ยมีความแตกต่าง
ทางสถิติ อักษรที่เหมือนกันแสดงว่าไม่แตกต่างกันเมื่อเปรียบเทียบกับ
วิธี DMRT (Duncan Multiple Range Test)

L = lab (สภาพห้องปฏิบัติการ), O = Open (สภาพกลางแจ้ง)



ภาพที่ 23 ค่า absorbance และ pH สำหรับสไปรูulina ที่เพาะเลี้ยงในระดับน้ำร่อน

➡ หมายถึงช่วงที่ทำการเก็บเกี่ยวผลผลิต

อภิปรายผลการทดลอง

1. การเพาะเลี้ยงสาหร่ายสไปรูลินา (*Spiulina platensis*) ในสูตรอาหารที่แตกต่างกันระดับห้องปฏิบัติการ ในสภาพห้องปฏิบัติการ และสภาพกลางแจ้ง

จากการเพาะเลี้ยงสาหร่ายสไปรูลินาในสูตรอาหารที่แตกต่างกัน ในสภาพห้องปฏิบัติการ และสภาพกลางแจ้ง โดยตั้งชุดทดลองพร้อมกัน เป็นเวลา 35 วัน ทำการตรวจวัดการเจริญเติบโตของสาหร่าย โดยการนับจำนวนเซลล์ของสาหร่าย วัดค่าดูดกลืนคลื่นแสง และค่าความเป็นกรด - เบส ทุก ๆ 2 วัน เก็บเกี่ยวผลผลิต น้ำหนักสด น้ำหนักแห้ง และทำการวิเคราะห์หาคุณค่าทางโภชนาการของสาหร่ายบางประการได้แก่ การวิเคราะห์หาปริมาณโปรตีน ปริมาณแคโรทีนอยด์ และปริมาณไฟโคไซยานิน ผลปรากฏว่า ช่วงระยะแรกของการเจริญเติบโตของสาหร่ายทั้งสองสภาพการทดลอง (ภาพที่ 11 และภาพที่ 12) ลักษณะการเจริญเติบโตของสาหร่ายจะค่อย ๆ เพิ่มขึ้น เนื่องจากช่วงแรกสาหร่ายอยู่ในระยะ lag phase เป็นระยะการปรับตัวต่อสภาพแวดล้อมใหม่ ลัดดา (2541) กล่าวว่า ระยะนี้หมายถึง ระยะที่เซลล์ไม่มีการแบ่งเซลล์ เป็นระยะที่เซลล์ปรับตัวให้เข้ากับสภาพแวดล้อมใหม่ เช่น อุณหภูมิ, แสงสว่าง และ ธาตุอาหาร เป็นต้น จะเห็นระยะ lag phase ชัดเจนมากในการเพาะเลี้ยงสาหร่ายในสภาพห้องปฏิบัติการ (ภาพที่ 11) กราฟการเจริญเติบโตจะไม่ต่อเนื่อง สาเหตุเพราะว่าสาหร่ายอยู่ในช่วงการปรับตัว ดังนั้นเมื่อทำการตรวจนับเซลล์แทบไม่ปรากฏเซลล์เลย ระยะนี้สาหร่ายจะปรับตัวอยู่ประมาณหนึ่งอาทิตย์ ส่วนในสภาพกลางแจ้ง (ภาพที่ 12) กราฟการเจริญเติบโตต่อเนื่อง สาเหตุเพราะว่าการปรับตัวของสาหร่ายในระยะ lag phase ค่อนข้างเร็ว สามารถทำการตรวจนับจำนวนเซลล์ได้อย่างต่อเนื่อง อาจกล่าวได้ว่าการปรับตัวของสาหร่ายในระยะ lag phase ในสภาพกลางแจ้งดีกว่าในสภาพห้องปฏิบัติการ โดยภาพรวมแล้วการเจริญเติบโตของสาหร่ายสไปรูลินาในแต่ละสูตรอาหารทั้งสองสภาพการเพาะเลี้ยง พบว่าสภาพการเจริญเติบโตกลางแจ้งดีกว่าสภาพห้องปฏิบัติการ (ตารางที่ 10 และตารางที่ 11) โดยที่จำนวนเซลล์สาหร่ายสูงสุดในสภาพกลางแจ้งคือสูตรอาหารที่ 4 เท่ากับ $61.666 \times 10^3 \text{ cell.ml}^{-1}$ จำนวนเซลล์เฉลี่ยสูงสุดคือสูตรอาหารที่ 1 มีค่าเท่ากับ $18.443 \times 10^3 \text{ cell.ml}^{-1}$ ส่วนในสภาพห้องปฏิบัติการจำนวนเซลล์สาหร่ายสูงสุดคือสูตรอาหารที่ 4 มีค่าเท่ากับ $70.916 \times 10^3 \text{ cell.ml}^{-1}$ จำนวนเซลล์เฉลี่ยสูงสุดคือสูตรอาหารที่ 3 มีค่าเท่ากับ $20.66 \times 10^3 \text{ cell.ml}^{-1}$ ซึ่งสอดคล้องกับงานทดลองของสมเกียรติ (2542) ทำการเพาะเลี้ยงสาหร่ายสไปรูลินาในน้ำทิ้งจากโรงงานกระดาษ ในสภาพห้องปฏิบัติการและสภาพกลางแจ้ง พบว่าการเพาะเลี้ยงสาหร่ายในสภาพกลางแจ้ง สาหร่าย

สามารถเจริญเติบโตได้ดีกว่าสภาพห้องปฏิบัติการ โดยมีจำนวนเซลล์สาหร่ายสูงสุดเท่ากับ $3718.33 \times 10^2 \text{ cell.ml}^{-1}$ ส่วนในสภาพห้องปฏิบัติการมีจำนวนเซลล์สาหร่ายสูงสุดเท่ากับ $2618.33 \times 10^2 \text{ cell.ml}^{-1}$ จะเห็นได้ว่า สภาพการทดลองที่แตกต่างกัน มีผลต่อการเจริญเติบโตของสาหร่ายสไปรูลินา อาจเนื่องมาจากปริมาณความเข้มข้นของแสงแดด ช่วงระยะเวลาที่ทำการทดลองครั้งนี้อยู่ในช่วงฤดูฝน สปีดน้ำแรกของการเพาะเลี้ยงสาหร่าย อากาศอยู่ในสภาพครึ้มฟ้าครึ้มฝน ไม่ค่อยมีแสงแดดซึ่งสอดคล้องกับ Venkataraman (1983) ที่กล่าวว่า ปริมาณความเข้มข้นแสงที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของสาหร่ายสไปรูลินาอยู่ในช่วง 3.0-3.5 กิโลลักซ์ ซึ่งเป็นปริมาณความเข้มข้นแสงที่สูง แต่ในการทดลองนี้ ความเข้มข้นแสงค่อนข้างต่ำจึงทำให้การเพาะเลี้ยงสาหร่ายสไปรูลินาได้ผลไม่สูงนัก อีกปัจจัยหนึ่งน่าจะเกี่ยวข้องกับอุณหภูมิในการเพาะเลี้ยงสาหร่าย ซึ่งเห็นได้ชัดมากในช่วงอาทิตย์แรกของการเพาะเลี้ยงในสภาพห้องปฏิบัติการ อุณหภูมิน่าจะต่ำกว่าสภาพกลางแจ้ง เพราะสภาพห้องปฏิบัติการไม่ได้รับแสงแดดเท่ากับสภาพกลางแจ้ง ทำให้สาหร่ายมีการปรับตัวช้ากว่าสภาพกลางแจ้ง ซึ่ง Venkataraman (1983) กล่าวว่า อุณหภูมิต่ำกว่า 20 หรือสูงกว่า 37 องศาเซลเซียส จะไม่เหมาะสมกับการเจริญเติบโตของสาหร่ายสไปรูลินา และในช่วงอุณหภูมิ 30-35 องศาเซลเซียส จะเป็นช่วงที่เหมาะสมที่สุดต่อการเจริญเติบโตของสาหร่ายสไปรูลินา ในการทดลองครั้งนี้มีช่วงอุณหภูมิต่ำกว่าอุณหภูมิที่เหมาะสม ต่อการเจริญเติบโตของสาหร่ายดังกล่าว

เมื่อทำการวิเคราะห์หาปริมาณโปรตีนของสาหร่ายสไปรูลินา ที่เพาะเลี้ยงทั้งสองสภาพการทดลอง พบว่าในสภาพห้องปฏิบัติการสูตรอาหารที่มีค่าเฉลี่ยโปรตีนสูงสุดคือ สูตรที่ 7 มีค่าเท่ากับ 45.69 เปอร์เซ็นต์ ส่วนในสภาพกลางแจ้งพบค่าเฉลี่ยโปรตีนสูงสุดคือ สูตรที่ 2 มีค่าเท่ากับ 45.69 เปอร์เซ็นต์ แต่เมื่อเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยโปรตีนด้วยวิธี DMRT พบว่ามีความแตกต่างทางสถิติ (ตารางที่ 10) เมื่อเปรียบเทียบกับค่าเฉลี่ยโปรตีนของสูตรอาหารที่ 7 มีค่าเท่ากับ 38.72 เปอร์เซ็นต์ และมีค่าสูงกว่า control (สูตรที่1) ซึ่งมีค่าเท่ากับ 35.63 เปอร์เซ็นต์ เมื่อเปรียบเทียบปริมาณโปรตีนจากงานวิจัยของ จบเจน (2537) พบว่าการเพาะเลี้ยงสาหร่ายสไปรูลินาในสูตรอาหารที่ 7 คือกากถั่วเหลือง 5 g ผสมกับสารเคมีบางชนิด ให้เปอร์เซ็นต์โปรตีนสูงกว่าการเพาะเลี้ยงสาหร่ายสไปรูลินาในน้ำกากถั่วเหลืองผสมกับสูตรอาหาร Zarrouk พบปริมาณโปรตีนเท่ากับ 31.12 เปอร์เซ็นต์ และน้ำหนักแห้งเท่ากับ 1564.42 มิลลิกรัม/ลิตร แต่เปรียบ

เทียบกับงานทดลองของ Weimin *et al.* (2001) รายงานว่า สาหร่ายสไปรูลินาที่เพาะเลี้ยงในสูตรอาหาร Zarrouk พบปริมาณโปรตีน 61.44 เปอร์เซ็นต์ สูงกว่าสูตรที่ 1 (Zarrouk) พบปริมาณโปรตีน 43.33 เปอร์เซ็นต์ ซึ่ง Venkataraman (1983) กล่าวว่า ปริมาณโปรตีนสาหร่ายสไปรูลินาจะมีปริมาณสูงหรือต่ำ ขึ้นอยู่กับแหล่งไนโตรเจนในสารอาหารที่ใช้เพาะเลี้ยง การทดลองครั้งนี้ใช้ KNO_3 เป็นแหล่งไนโตรเจนให้กับสาหร่ายสไปรูลินา แต่ Danesi *et al.* (2002) ได้ทำการเพาะเลี้ยงสาหร่ายสไปรูลินา โดยใช้ยูเรียเป็นแหล่งไนโตรเจนเปรียบเทียบกับ KNO_3 ผลปรากฏว่า การใช้ยูเรียให้ผลผลิตสูงกว่าการใช้ KNO_3 และพบปริมาณโปรตีนสูงถึง 67.1 เปอร์เซ็นต์ ในการทดลองครั้งนี้ปริมาณสารอาหารอาจน้อยไป ไม่เพียงพอต่อความต้องการของสาหร่ายสไปรูลินาที่จะเปลี่ยนไนเตรทไปเป็นกรดอะมิโน และโปรตีน ในกระบวนการเมตาโบลิซึมของสาหร่ายสไปรูลินา ทำให้พบปริมาณโปรตีนในสาหร่ายต่ำ และเนื่องมาจากการทดลองครั้งนี้อยู่ในช่วงฤดูฝน สภาพแวดล้อมต่าง ๆ อาจไม่เหมาะสมกับการเจริญเติบโตของสาหร่ายสไปรูลินา ยวดี และคณะ (2535) กล่าวว่า ฤดูกาลมีผลต่อการเจริญเติบโตของสาหร่ายสไปรูลินา เพราะในแต่ละฤดูกาลมีสภาพแวดล้อมที่แตกต่างกัน เช่น อุณหภูมิ ความเข้มข้นของแสงแดด ปริมาณน้ำฝน เป็นต้น และฤดูกาลที่ให้ผลผลิตการเพาะเลี้ยงสาหร่ายสไปรูลินาสูงสุดคือ ฤดูร้อน ฤดูหนาว และฤดูฝน ตามลำดับ ดังนั้นการเพาะเลี้ยงสาหร่ายสไปรูลินาครั้งนี้ จัดอยู่ในช่วงที่สาหร่ายสไปรูลินาให้ผลผลิตต่ำสุด

การวัดปริมาณน้ำหนักรีดเฉลี่ยของสาหร่ายสไปรูลินาพบว่า ปริมาณน้ำหนักรีดเฉลี่ยที่เพาะเลี้ยงสาหร่ายในสภาพกลางแจ้ง ไม่มีความแตกต่างทางสถิติ (ตารางที่ 11) แต่มีแนวโน้มว่าสูตรอาหารที่ 7 มีปริมาณน้ำหนักรีดเฉลี่ยสูงสุด คือ 18.98 กรัมต่อลิตร ส่วนน้ำหนักรีดเฉลี่ยสาหร่ายสไปรูลินาที่เพาะเลี้ยงในสภาพห้องปฏิบัติการ พบว่ามีความแตกต่างทางสถิติ (ตารางที่ 11) สูตรอาหารที่ 7 มีน้ำหนักรีดเฉลี่ยสูงสุดเท่ากับ 19.06 g/l และน้ำหนักรีดเฉลี่ยของสไปรูลินาที่เพาะเลี้ยงในสภาพห้องปฏิบัติการ พบว่ามีความแตกต่างทางสถิติ (ตารางที่ 11) โดยที่สูตรอาหารที่ 7 มีน้ำหนักรีดเฉลี่ยสูงสุดเท่ากับ 1.71 กรัมต่อลิตร ส่วนการเพาะเลี้ยงในสภาพกลางแจ้ง เมื่อนำไปวิเคราะห์ค่าทางสถิติ พบว่าไม่มีความแตกต่างสถิติ แต่มีแนวโน้มว่าน้ำหนักรีดเฉลี่ยสูงสุดคือสูตรที่ 1 เท่ากับ 2.14 กรัมต่อลิตร อันดับสองคือสูตรที่ 7 เท่ากับ 2.05 กรัมต่อลิตร เมื่อเปรียบเทียบกับงานวิจัยของ จบเจน (2537) เพาะเลี้ยงสาหร่าย

สไปรูลินาในน้ำกากถั่วเหลืองผสมกับ Zarrouk พบน้ำหนักแห้งเท่ากับ 1564.42 มิลลิกรัมต่อลิตร หรือ 1.56 กรัมต่อลิตร พบว่ามีปริมาณต่ำกว่าสูตรอาหารที่ 7 2.05 กรัมต่อลิตร เมื่อเพาะเลี้ยงในสภาพกลางแจ้ง ส่วนงานวิจัยของปิยสิทธิ์ (2536) เพาะเลี้ยงสาหร่ายสไปรูลินาในน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรมผลิตแป้งขนมจีน พบน้ำหนักแห้งเท่ากับ 1098.85 มิลลิกรัมต่อลิตร หรือ 1.09 กรัมต่อลิตร เมื่อเปรียบเทียบกับสูตรอาหารที่ 7 ที่เพาะเลี้ยงทั้งสองสภาพคือห้องปฏิบัติการ และสภาพกลางแจ้ง พบปริมาณน้ำหนักแห้งสูงกว่าคือ 1.71 กรัมต่อลิตร และ 2.05 กรัมต่อลิตร ตามลำดับ

การวิเคราะห์หาปริมาณไฟโคไซยานิน ในทั้งสองสภาพการเพาะเลี้ยงสาหร่ายสไปรูลินาคือสภาพห้องปฏิบัติการและสภาพกลางแจ้ง เมื่อนำข้อมูลดิบไปวิเคราะห์ค่าทางสถิติพบว่า ค่าเฉลี่ยไฟโคไซยานินทั้งสองสภาพการเพาะเลี้ยง มีความแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ ($P < 0.01$) (ตารางที่ 10) และในสภาพการเพาะเลี้ยงห้องปฏิบัติการ สูตรอาหารที่ 1 พบค่าเฉลี่ยไฟโคไซยานินสูงสุดเท่ากับ 7.51 มิลลิกรัม/กรัมน้ำหนักแห้ง รองลงมาคือสูตรที่ 7 6.93 มิลลิกรัม/กรัมน้ำหนักแห้ง ส่วนในสภาพการเพาะเลี้ยงกลางแจ้ง สูตรที่ 2 พบค่าเฉลี่ยไฟโคไซยานินสูงสุดเท่ากับ 5.32 มิลลิกรัม/กรัมน้ำหนักแห้ง รองลงมาคือสูตรที่ 7 2.87 มิลลิกรัม/กรัมน้ำหนักแห้ง เมื่อเปรียบเทียบกับงานทดลองของ อัญชลี (2543) รายงานว่าสาหร่ายสไปรูลินามีองค์ประกอบของ ไฟโคไลบิลิโปรตีน ซึ่งประกอบด้วย ไฟโคไซยานิน อัลโลไฟโคไซยานิน และไฟโคเอริทริน มีปริมาณ 12.5, 44.3 และ 15.5 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ ซึ่งมีค่าปริมาณไฟโคไซยานินมากกว่างานทดลองครั้งนี้คือ สูตรอาหารมาตรฐาน (สูตรที่ 1) 7.51 มิลลิกรัม/กรัมน้ำหนักแห้ง หรือ 9.39 มิลลิกรัมต่อลิตร และสูตรอาหารที่ 7 6.93 มิลลิกรัม/กรัมน้ำหนักแห้ง หรือ 8.66 มิลลิกรัมต่อลิตร และงานวิจัยของ ลักษณะ และคณะ (2540) รายงานว่าปริมาณไฟโคไซยานินที่เพาะเลี้ยงในสูตร Zarrouk มีค่าเท่ากับ 101.25 มิลลิกรัม/กรัมน้ำหนักแห้ง มีค่าสูงกว่าปริมาณไฟโคไซยานินในงานทดลองครั้งนี้ คือสูตรอาหารที่ 1 (Zarrouk) 7.51 มิลลิกรัม/กรัมน้ำหนักแห้ง ซึ่ง Venkataramen (1983) กล่าวว่า องค์ประกอบทางเคมีของสาหร่ายจะแตกต่างกันตามสภาพแวดล้อม ที่มีผลต่อการเจริญเติบโตของสาหร่ายสไปรูลินา ได้แก่ อุณหภูมิ ความเป็นกรด-เบส และสารอาหาร เป็นต้น

การวิเคราะห์หาปริมาณแคโรทีนอยด์ของสาหร่ายสไปรูลินา ที่เพาะเลี้ยงในทั้งสองสภาพคือห้องปฏิบัติการและสภาพกลางแจ้ง เมื่อนำข้อมูลดิบไปวิเคราะห์ค่าทางสถิติ พบว่าทั้งสองสภาพการเพาะเลี้ยงสาหร่ายสไปรูลินา ไม่มีความแตกต่างทางสถิติ ($P > 0.05$) (ตารางที่ 10) โดยที่ทั้งสองสภาพการเพาะเลี้ยงสาหร่ายสไปรูลินา สูตรที่ 7 มีแนวโน้มพบค่าเฉลี่ยแคโรทีนอยด์สูงสุดเท่ากับ 2.49 มิลลิกรัม/กรัมน้ำหนักแห้ง สภาพห้องปฏิบัติการ และ 1.08 มิลลิกรัม/กรัมน้ำหนักแห้ง สภาพกลางแจ้ง เมื่อเปรียบเทียบกับงานวิจัยของ ยวดี และคณะ (2535) เพาะเลี้ยงสาหร่ายสไปรูลินาในน้ำกากส่าเหล้า นำสาหร่ายไปวิเคราะห์คุณค่าทางโภชนาการบางชนิดพบว่า ปริมาณแคโรทีนอยด์ ชนิดเบตา แคโรทีน ซึ่งเป็นโปรวิตามิน เอ ในสาหร่ายนี้มีค่าเท่ากับ 0.40 มิลลิกรัม/กรัมน้ำหนักแห้ง งานทดลองของ อัญชลี (2543) พบปริมาณ แคโรทีนอยด์เท่ากับ 0.54 มิลลิกรัม/กรัมน้ำหนักแห้ง และงานวิจัยของ ลักขณา และคณะ (2540) พบปริมาณแคโรทีนอยด์เท่ากับ 2.35 มิลลิกรัม/กรัมน้ำหนักแห้ง จะเห็นได้ว่าทั้งสามงานวิจัย พบว่ามีปริมาณแคโรทีนอยด์ต่ำกว่าปริมาณแคโรทีนอยด์ของสูตรอาหารที่ 7 ดังกล่าวแล้ว ซึ่ง ยวดี และคณะ (2535) กล่าวว่า ปัจจัยที่สำคัญอีกประการหนึ่งที่ทำให้องค์ประกอบทางเคมีของสาหร่ายสไปรูลินามีความแตกต่างกันคือ อาหารที่ใช้เพาะเลี้ยงซึ่งจะมีความแตกต่างกันในองค์ประกอบ เช่น ปริมาณสารอินทรีย์ สารอนินทรีย์ ดังนั้นทำให้ปริมาณแคโรทีนอยด์ในแต่ละสูตรอาหารแตกต่างกัน

การวัดค่าการดูดกลืนคลื่นแสง (absorbance, OD) สาหร่ายสไปรูลินา จะพบว่าค่อย ๆ เพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ (ภาพที่ 14 และ ภาพที่ 15) ทั้งสองสภาพการเพาะเลี้ยงสาหร่ายสไปรูลินา ในสภาพห้องปฏิบัติการและสภาพกลางแจ้งพบว่า ในวันที่จำนวนเซลล์สูงสุดในแต่ละสูตรอาหารมีค่า OD แตกต่างกัน ดังตารางที่ 8 และตารางที่ 9 เนื่องมาจากปริมาณสารอาหารแต่ละสูตรมีปริมาณไม่เท่ากันทำให้ค่า OD ที่วัดได้แตกต่างกัน เมื่อนำข้อมูลดิบไปวิเคราะห์ค่าทางสถิติ พบว่าในสภาพการเพาะเลี้ยงห้องปฏิบัติการ มีค่าการดูดกลืนคลื่นแสงแตกต่างทางสถิติ ($P < 0.05$) (ตารางที่ 11) ค่าเฉลี่ยการดูดกลืนคลื่นแสงสูงสุด คือสูตรที่ 7 เท่ากับ 1.76 ส่วนในสภาพกลางแจ้ง พบว่าไม่มีความแตกต่างทางสถิติ (ตารางที่ 11) มีแนวโน้มว่าค่าเฉลี่ย การดูดกลืนคลื่นแสง สูตรที่ 1 สูงสุดเท่ากับ 1.92 อย่างไรก็ตามช่วงอาทิตย์แรกของการเจริญเติบโตสูตรที่ 7 ค่าการดูดกลืนคลื่นแสง ไม่ใช่ของสาหร่ายสไปรูลินา เพราะกากถั่ว

เหลืองยังไม่ถูกย่อยสลายหมดยังมีสีขุ่นอยู่ เมื่อเวลาผ่านไประยะหนึ่งค่า การดูดกลืนคลื่นแสงจึงเป็นค่าของสาหร่ายสไปรูลินา จนถึงระยะการเจริญเติบโตสูงสุดของสาหร่ายดังกล่าว

การวัดค่าความเป็นกรดเบส (pH) ของสาหร่ายสไปรูลินาในการเพาะเลี้ยงทั้งสองสภาพการทดลอง คือสภาพห้องปฏิบัติการและสภาพกลางแจ้ง เมื่อนำข้อมูลดิบไปวิเคราะห์ค่าทางสถิติ พบว่าในสภาพการเพาะเลี้ยงในห้องปฏิบัติการ มีค่าแตกต่างทางสถิติ ($P < 0.01$) (ตารางที่ 11) สูตรอาหารที่ 7 มีค่าเฉลี่ย pH สูงสุด 11.97 Danesi et al. (2002) รายงานว่า ที่ pH 11 สาหร่ายสไปรูลินาสามารถดูดใช้ คาร์บอนไดออกไซด์และไบคาร์บอเนตมาได้มากที่สุด ส่วนในสภาพกลางแจ้ง พบว่าไม่มีความแตกต่างทางสถิติ(ตารางที่ 11) สูตรอาหารที่ 7 มีแนวโน้มมีค่าเฉลี่ย pH สูงสุดคือ 10.14 แต่เมื่อเปรียบเทียบกับวิธี DMRT ไม่มีแตกต่างกับค่าเฉลี่ยสูตรที่ 1 เท่ากับ 10.13 ซึ่ง Venkataraman (1983) และ สุนันทิพย์ (2529) รายงานว่า ค่าความเป็นกรดเบส ของอาหารเป็นตัวกำหนด ความสามารถในการละลายของก๊าซ คาร์บอนไดออกไซด์ และแร่ธาตุอื่น ๆ นอกจากนี้ยังมีอิทธิพลทั้งทางตรง และทางอ้อมต่อกระบวนการเมตาโบลิซึมของสาหร่ายสไปรูลินา

2. การเพาะเลี้ยงสาหร่ายสไปรูลินา (*Spirulina platensis*) ในระดับนำร่อง หรือ คราวเรือน

จากการเพาะเลี้ยงสาหร่ายสไปรูลินาในการทดลองที่ 1 จากค่าวิเคราะห์ต่าง ๆ ที่ใช้ตรวจสอบคุณสมบัติสาหร่ายสไปรูลินา (ตารางที่ 9 และ ตารางที่ 10) เพื่อที่จะนำมาขยายผลสู่การเพาะเลี้ยงที่มีขนาดใหญ่ขึ้น พบว่าสูตรอาหารที่ 7 ประกอบด้วยกากถั่วเหลือง 5 กรัม ผสมกับสารเคมีตามชนิดคือ NaHCO_3 8.5 กรัมต่อลิตร, NaNO_3 1.5 กรัมต่อลิตร, K_2HPO_4 0.5 กรัมต่อลิตร เมื่อเปรียบเทียบกับ สูตรอาหารที่ 1 (control) คือสูตร Zarrouk ประด้วยสารเคมีมากมายหลายชนิดและที่สำคัญมีราคาแพงมาก สูตรอาหารที่ 7 มีต้นทุนการผลิตถูกกว่า สูตรอาหารที่ 1 จึงเลือกที่จะใช้สูตรอาหารที่ 7 มาทำการทดลองต่อไปในระดับนำร่อง โดยทำการเพาะเลี้ยงสาหร่ายสไปรูลินาในถังกลม ขนาด 460 ลิตร สาเหตุที่เลือกถังกลมเพราะว่างานวิจัยของ สมเกียรติ (2542) เพาะเลี้ยงสาหร่ายสไปรูลินาในน้ำทิ้งจากโรงงานผลิตกระดาษสา ในถังกลมสามารถเก็บเกี่ยวได้สูงกว่าเพาะเลี้ยงในถังเหลี่ยม สามารถเก็บเกี่ยวได้ถึง 8 ครั้ง รวมน้ำหนักสดเท่ากับ 881.3 กรัม น้ำหนักแห้งเท่ากับ 82.3 กรัม เมื่อเปรียบเทียบกับทำการทดลองครั้ง

ที่ 2 นี้ ได้ทำการเก็บเกี่ยวผลผลิตสองครั้ง โดยครั้งแรกน้ำหนักสด 1081.36 กรัม น้ำหนักแห้ง 93.40 กรัม และครั้งที่สองมีน้ำหนักสดเท่ากับ 484.35 กรัม น้ำหนักแห้งเท่ากับ 57.06 กรัม จะเห็นได้ว่าผลผลิตสาหร่ายสไปรูลินาที่เพาะเลี้ยงในน้ำกากถั่วเหลือง สูงกว่าที่เพาะเลี้ยงสาหร่ายชนิดนี้ในน้ำทิ้งโรงงานกระดาษ

สรุปผลการทดลอง

การเพาะเลี้ยงสาหร่ายสไปรูลินาในสูตรอาหารที่แตกต่างกัน 7 สูตร ระดับห้องปฏิบัติการในสองสภาพการเพาะเลี้ยงคือ สภาพห้องปฏิบัติการและสภาพกลางแจ้ง โดยที่สูตรอาหารที่ 1 Zarrouk สูตรอาหารที่ 2 modified Zarrouk (ไม่มี A_5 และ B_6) สูตรอาหารที่ 3 กากถั่วเหลือง 0.1 กรัมต่อ 800 มล. สูตรอาหารที่ 4 กากถั่วเหลือง 0.5 กรัมต่อ 800 มล. สูตรอาหารที่ 5 ถั่วเหลืองดิบ 0.1 กรัมต่อ 800 มล. สูตรอาหารที่ 6 ถั่วเหลืองดิบ 0.5 กรัมต่อ 800 มล. และสูตรอาหารที่ 7 กากถั่วเหลือง 5 กรัมต่อ 800 มล. ทุกสูตรอาหารที่ใช้กากถั่วเหลืองและถั่วเหลืองดิบ เติมสารเคมี 3 ชนิด คือ $NaHCO_3$ 8.5 กรัมต่อลิตร, $NaNO_3$ 1.5 กรัมต่อลิตร, K_2HPO_4 0.5 กรัมต่อลิตร ในสภาพการเพาะเลี้ยงห้องปฏิบัติการ พบว่าการเพาะเลี้ยงด้วยกากถั่วเหลือง 0.1 กรัมต่อ 800 มล. ผสมกับสารเคมีบางชนิด (สูตรที่ 3) ให้จำนวนเซลล์เฉลี่ยสูงสุดคือ 20.66×10^3 cell.m l^{-1} และการเพาะเลี้ยงด้วยกากถั่วเหลือง 5 กรัมต่อ 800 มล. ผสมกับสารเคมีบางชนิด (สูตรที่ 7) ให้น้ำหนักสดเฉลี่ยสูงสุดคือ 15.25 กรัมต่อ 800 มล. น้ำแห้งเฉลี่ยสูงสุด 1.37 กรัมต่อ 800 มล. ปริมาณแคโรทีนอยด์เฉลี่ยสูงสุดคือ 2.49 มิลลิกรัม/กรัม น้ำหนักแห้ง pH เฉลี่ยสูงสุด 11.97 และค่าการดูดกลืนคลื่นแสง (absorbance, OD) เฉลี่ยสูงสุด 1.76 ปริมาณโปรตีนเฉลี่ยสูงสุดคือ 45.69 เปอร์เซ็นต์ ส่วนปริมาณไฟโคไซยานินเฉลี่ยสูงสุด พบในสูตรอาหารที่เพาะเลี้ยงด้วยสารเคมีคือสูตรมาตรฐาน (สูตรที่ 1) 7.51 มิลลิกรัม/กรัม น้ำหนักแห้ง

ส่วนการเพาะเลี้ยงสาหร่ายสไปรูลินาในสภาพกลางแจ้ง พบว่าการเพาะเลี้ยงสาหร่ายในสูตรมาตรฐาน (สูตรที่ 1) ให้จำนวนเซลล์เฉลี่ยสูงสุดคือ 18.44×10^3 cell.m l^{-1} น้ำแห้งเฉลี่ยสูงสุด 1.71 กรัมต่อ 800 มล. และ ค่าการดูดกลืนคลื่นแสง (absorbance, OD) เฉลี่ยสูงสุด 1.91 ส่วนการเพาะเลี้ยงสาหร่ายในกากถั่วเหลือง 5 กรัมต่อ 800 มล. ผสมกับสารเคมีบาง

ชนิด (สูตรที่ 7) พบว่าให้น้ำหนักสดเฉลี่ยสูงสุด 15.19 กรัมต่อ 800 มล. ปริมาณแคโรทีนอยด์เฉลี่ยสูงสุด 1.08 มิลลิกรัม/กรัมน้ำหนักแห้ง ค่าความเป็นกรดเบส (pH) เฉลี่ยสูงสุด 10.13 และการเพาะเลี้ยงสาหร่ายในสารเคมีบางชนิด (สูตรที่ 2) พบว่ามีปริมาณโปรตีนเฉลี่ยสูงสุด 49.69 เปอร์เซ็นต์ และปริมาณไฟโคไซยานินเฉลี่ยสูงสุด 5.31 มิลลิกรัม/กรัมน้ำหนักแห้ง

ส่วนการเพาะเลี้ยงสาหร่ายสไปรูลินาระดับน้ำร่อง หรือในครัวเรือนได้คัดเลือกสูตรอาหารที่ 7 มาทำการเพาะเลี้ยง ด้วยเหตุผลที่ว่าสูตรอาหารที่ 7 ประกอบด้วยกากถั่วเหลือง 5 กรัมต่อ 800 มล. ผสมกับสารเคมี 3 ชนิดคือ NaHCO_3 8.5 กรัมต่อลิตร, NaNO_3 1.5 กรัมต่อลิตร, K_2HPO_4 0.5 กรัมต่อลิตร มีต้นทุนในการผลิตต่ำกว่าสูตรอาหารมาตรฐาน (สูตรที่ 1) ซึ่งประกอบด้วยสารเคมีที่มีราคาแพง และเมื่อนำสาหร่ายสไปรูลินาที่เพาะเลี้ยงได้จากสูตรอาหารที่ 7 ไปวิเคราะห์ค่าต่าง ๆ ดังการทดลองที่ 1 มีค่าใกล้เคียงกับสูตรอาหารมาตรฐาน คือ มีปริมาณโปรตีนเฉลี่ย 45.69 และ 38.53 เปอร์เซ็นต์ ในสภาพห้องปฏิบัติการและสภาพกลางแจ้ง ตามลำดับ น้ำหนักแห้งเฉลี่ย 1.37 และ 1.65 กรัมต่อ 800 มล. ในสภาพห้องปฏิบัติการและสภาพกลางแจ้ง ตามลำดับ และพบว่าปริมาณแคโรทีนอยด์เฉลี่ยสูงสุดทั้งสองสภาพการเพาะเลี้ยง คือ สภาพห้องปฏิบัติการและสภาพกลางแจ้ง 2.488 และ 1.076 มิลลิกรัม/กรัมน้ำหนักแห้ง ตามลำดับ และในการทดลองที่ 2 นี้ทำการเพาะเลี้ยงสาหร่ายสไปรูลินาด้วยสูตรอาหารที่ 7 ในถังกลมขนาด 460 ลิตร ระยะเวลา 63 วัน เก็บเกี่ยวผลผลิต 2 ครั้ง น้ำหนักสดรวม 1565.71 กรัม น้ำหนักแห้ง 150.46 กรัม

ข้อเสนอแนะ

1. การเพาะเลี้ยงสาหร่ายครั้งต่อไปควรเลี้ยงในฤดูร้อน จะได้ผลผลิตสูงสุด จากงานวิจัยของยูวดี และคณะ (2535) กล่าวว่า ฤดูร้อนให้ผลผลิตสาหร่ายสูงสุด รองลงมาคือฤดูหนาว ฤดูฝนตามลำดับ
2. ควรวิเคราะห์คุณค่าทางโภชนาการเพิ่มขึ้น เช่น คาร์โบไฮเดรต เส้นใย เป็นต้น
3. การเพาะเลี้ยงควรมีการกรองกากตัวทิ้งก่อน เก็บเฉพาะน้ำไว้ใช้เพาะเลี้ยงสาหร่ายซึ่งจะทำให้สาหร่ายสามารถปรับตัวได้เร็วกว่า เพราะสารละลายไม่ขุ่นมาก แสงแดดสามารถส่องผ่านได้
4. การเพาะเลี้ยงครั้งต่อไปควรใช้ ยูเรียแทน KNO_3 ซึ่ง Danesi *et al.* (2002) รายงานว่า การใช้ยูเรียเป็นแหล่งไนโตรเจนทดแทน KNO_3 ได้เป็นอย่างดี เพราะราคาของยูเรียถูกกว่า KNO_3 นอกจากนั้นยูเรียไม่มีผลต่อปริมาณคลอโรฟิลล์ในสาหร่ายสไปรูลินา

เอกสารอ้างอิง

กรีนไดมอนด์จำกัด. บริษัท. 2544. สาหร่ายเกลียวทอง. เอกสารเผยแพร่.

กาญจนาภรณ์ ลีวโนมนต์. 2527. สาหร่าย. คณะประมง มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

คมสัน นุตตะแพทย์ และ วารี ยินดีชาติ. 2542. ถั่วเหลืองพืชมหัศจรรย์ สารพันประโยชน์. พิมพ์ครั้งแรก. กรุงเทพฯ : เกษตรกรรมธรรมชาติ.

จบเจน ทาสีลา. 2537. การเพาะเลี้ยงสาหร่ายเกลียวทอง (*Spirulina platensis*) ในน้ำกากถั่วเหลือง. วิทยานิพนธ์เกษตรศาสตรมหาบัณฑิต. มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ, มหาสารคาม.

จีระพรรณ สุขศรีงาม , สมอง จอมเกาะ และเสน่ห์จิต กิตตินานนท์. 2540. แนวทางการเพิ่มผลผลิตสาหร่ายเกลียวทองที่เพาะเลี้ยงในน้ำทิ้งจากโรงงานผลิตเส้นขนมจีน. รายงานการวิจัย. คณะวิทยาศาสตร์. มหาวิทยาลัยมหาสารคาม.

เจียมจิตต์ บุญสม. 2544. ความลับของสาหร่ายเกลียวทอง : ผลทางการรักษาโรคที่นายแพทย์ชาวญี่ปุ่นค้นพบ. งานแปลอันดับที่ 105. สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ.

_____. 2530. สาหร่ายน้ำจืด. การประมง. 40(4) : 429-431.

เจียมจิตต์ บุญสม , สุชาติ อิงธรรมจิตร และสุมาลี ดุลยอนุกิจ. 2528. "การใช้ Biogas Effluent." รายงานการประชุมวิชาการประมง. 16-18 กันยายน 2528. หน้า 1-16 กรุงเทพฯ : สถานีประมงน้ำจืดแห่งชาติ.

ชินจิตร ชื่นกระมล. 2530. การเปรียบเทียบผลผลิตของสาหร่ายสไปรูลินา (*Spirulina platensis*) ในอาหารสูตรต่าง ๆ. วิทยานิพนธ์เกษตรศาสตรมหาบัณฑิต. มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ, บางแสน.

นฤมล ศุภจรรยา , บุษบา บุญนา และพิสมัย ภูวสินสิทธิ์. 2528. การสำรวจสาหร่ายเกลียวทอง (สไปรูลินา) ในบ่อน้ำทิ้งโรงงานแปรงไม้ลำปะหลัง. **วารสารวิจัยและพัฒนา สจ.ธ. 8(2)** : 104-137.

ปรีดา พากเพียร, พิชิต พงษ์สกุล และวิศิษฐ์ ไชยิตกุล. 2536. **การวิเคราะห์ธาตุอาหารในพืช.** เอกสารเผยแพร่. กรมวิชาการเกษตร. กระทรวงเกษตรและสหกรณ์.

ปิยสิทธิ์ ศาสตร์พันธุ์. 2536. **การเจริญเติบโตของสาหร่ายเกลียวทอง (*Spirulina platensis*) ในน้ำทิ้งจากอุตสาหกรรมการผลิตแป้งทำขนมจีน.** วิทยานิพนธ์เกษตรศาสตร์ มหาบัณฑิต. มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ, มหาสารคาม .

พิมพ์รณ ต้นสกุล และอารักษ์ จันทศิลป์. 2531. การเพาะเลี้ยง *Spirulina* sp. ในบ่อน้ำทิ้งจากโรงงานยางพารา. **วารสารสงขลานครินทร์. 10(2)** : 149-155.

ยุวดี พิรพรพิศาล. 2542. **สาหร่ายดองที่ 1: ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับสาหร่าย สาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินและสาหร่ายสีเขียว.** ภาควิชาชีววิทยา. คณะวิทยาศาสตร์. มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.

_____. 2544. **การเพาะเลี้ยงสาหร่ายสไปรูลินา.** ภาควิชาชีววิทยา. คณะวิทยาศาสตร์. มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.

ยุวดี พิรพรพิศาล และอมรรณ นิลาศะบุตร. 2542. **คู่มือปฏิบัติการสาหร่ายวิทยา.** ภาควิชาชีววิทยา. คณะวิทยาศาสตร์. มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.

ยุวดี พิรพรพิศาล , วิลาสินี เหล่าพงษ์พิชญ์ , เสกสรร สวัสดิ์รักษา , สาคร พรหมขัติแก้ว และมานพ ปาลิวนิช. 2535. **คุณค่าทางโภชนาการของสาหร่ายเกลียวทอง (*Spirulina platensis*) ที่เลี้ยงในน้ำกากส่าเห็ด**. รายงานการวิจัย. ภาควิชาชีววิทยา. คณะวิทยาศาสตร์. มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.

ลักขณา เหล่าไพบูลย์ , พัฒนา เหล่าไพบูลย์ , สามารถ มูลอามาตย์ และวิไลศนา โพธิ์ศรี. 2540. **ผลของวิธีการทำแห้งต่อปริมาณองค์ประกอบต่างๆ ในสาหร่ายเกลียวทอง**. รายงานการวิจัย. ภาควิชาเทคโนโลยีชีวภาพ. คณะเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยขอนแก่น.

ลัดดา วงศ์รัตน์. 2541. **คู่มือเลี้ยงแพลงก์ตอน**. ภาควิชาชีววิทยาประมง. คณะประมง. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

วันเพ็ญ มีสมญา. 2543. ถั่วเหลืองในสหัฐวรรษใหม่. **วารสารอาหาร**. 30(1) : 52-58.

วิรัตน์ พลศรี. 2533. **การศึกษาการเจริญเติบโตของสาหร่ายสไปรูไลนา (*Spirulina platensis*) ที่เพาะเลี้ยงในอาหารจากมูลสัตว์ต่างชนิดกัน**. วิทยานิพนธ์เกษตรศาสตรมหาบัณฑิต. มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ. มหาสารคาม.

สนอง จอมเกาะ , จีระพรรณ สุขศรีงาม และ อิศราภรณ์ ชูมาศ. 2540. **การเพิ่มผลผลิตสาหร่ายเกลียวทองที่เพาะเลี้ยงในวัสดุเหลือทิ้งจากกระบวนการผลิตนมถั่วเหลือง**. รายงานวิจัย. คณะวิทยาศาสตร์. มหาวิทยาลัยมหาสารคาม.

สมเกียรติ สุวรรณศิริ. 2542. **การเพาะเลี้ยงสาหร่ายเกลียวทอง (*Spirulina platensis*) ในระดับอุตสาหกรรมขนาดย่อมด้วยน้ำทิ้งจากโรงงานกระดาษ**. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต. ภาควิชาชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, เชียงใหม่.

- สมชาย กิจสุวรรณกุล. 2531. **การเปรียบเทียบคุณค่าทางโภชนาการระหว่างสาหร่าย *Spirulina platensis* 2 ลักษณะ.** ปัญหาพิเศษวิทยาศาสตร์บัณฑิต. ภาควิชาชีววิทยา. คณะวิทยาศาสตร์. มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.
- สมบูรณ์ ผู้พิพัฒน์. 2529. สาหร่ายเกลียวทอง-อาหารเสริมสุขภาพ. **อาหาร. 16(13)** : 175-176.
- สมพร ชุนหิ์ลอชานนท์. 2536. **สาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินในปฏิกิริยา.** กลุ่มงานวิจัยจุลินทรีย์ดิน. กองปฐพีวิทยา. กรมวิชาการเกษตร. หน้า 172-193.
- สยามแอลจีจำกัด. บริษัท. 2532. **สาหร่ายเกลียวทอง.** เอกสารเผยแพร่.
- สรวิศ เผ่าทองสุข. 2543. **ศักยภาพการวิจัยและพัฒนาเพื่อการใช้ประโยชน์จากสาหร่ายในประเทศไทย.** เอกสารเผยแพร่ชุดโครงการ "อุตสาหกรรมสัตว์น้ำ" สกว. ชุดที่ 2. สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ.
- สุชาติ อิงธรรมจิตร. 2529. สาหร่ายเกลียวทอง (สไปรูลินา). **วารสารการประมง. 39(6)** : 615-622.
- สุนนทิพย์ บุญนาค. 2529. สาหร่ายเกลียวทอง. **วารสารวิทยาศาสตร์มหาวิทยาลัยขอนแก่น. 14(3)** : 153-159.
- สุวิมล จิระอำไพรัตน์. 2536. **การเพาะเลี้ยงสาหร่ายเกลียวทองในน้ำทิ้งจากโรงงานขนมจีน.** วิทยานิพนธ์เกษตรศาสตรมหาบัณฑิต. มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ. มหาสารคาม.

เสกสรร ธารรัตน์. 2536. **การเพาะเลี้ยงสาหร่ายเกลียวทองในน้ำทิ้งจากโรงงานขนมจีน ผสมกับสูตรอาหาร Zamouk**. วิทยานิพนธ์เกษตรศาสตรมหาบัณฑิต. มหาวิทยาลัย ศรีนครินทรวิโรฒ, มหาสารคาม.

อภิพรรณ พุกภักดี. 2533. **สรีรวิทยาของการผลิตพืชตระกูลถั่ว**. ภาควิชาพืชไร่. คณะเกษตรศาสตร์. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

อัญชลี เชื้อนเพชร. 2543. **การสกัดรงควัตถุจากสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินและ สีเขียวบางชนิด**. ปัญหาพิเศษวิทยาศาสตร์บัณฑิต. ภาควิชาชีววิทยา. คณะวิทยาศาสตร์. มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.

อุณฤทธิ์ ตอพอ. 2537. **การเพาะเลี้ยงสาหร่ายเกลียวทองในน้ำทิ้งจากโรงงานขนมจีน ความเข้มข้นต่างกัน**. วิทยานิพนธ์เกษตรศาสตรมหาบัณฑิต. มหาวิทยาลัย ศรีนครินทรวิโรฒ, มหาสารคาม.

อำนาจ ศิริเพชร, พิมพรรณ ต้นสกุล และดวงรัตน์ เทศประสิทธิ์. 2531. การเพาะเลี้ยง สาหร่าย *Spirulina* sp. ในอาหารที่เตรียมจากดิน. **วารสารสงขลานครินทร์**. 10(2) : 157-168.

APHA. AWWA and WPCT. 1992. **Standards Method for Examination of Water And Waste Water**. Washington DC : American Public Health Association.

Bold, H. C. and M. J. Wynne. 1978. **Introduction to the Algae** : Structure and Reproduction. Engle Wood Cliff : Prentice-Hall.

Cao , Z. Xu , G. Qiu , and B. Li. 1998. **"Effects of Mg^{2+} on the Growth and DNase Activity of *Spirulina platensis* , a Cyanobacterium"**

<http://www.sciencedirect.com>.

Ciferri, O. and O. Tiboni. 1985. **The Biochemistry and Industrial Potential of *Spirulina***. Annual Reviews of Microbiology. 39 : 503-526.

Danesi E. D. G., C. de O. Rangel-Yagui , J. C. M. de Carvalho and S. Sato. 2002. **"An Investigation of Effect of Replacing Nitrate by Urea in the Growth and Production of Chlorophyll by *Spirulina platensis*"** <http://www.sciencedirect.com>.

Faucher, O., B. Coupal and A. Leduy. 1979. **Utilization of Seawater-Urea as a Culture Medium for *Spirulina maxima***. Canadian Journal of Microbiology. 25 : 752-759.

Grinstead, G. S., M. D. Tokach, S. S. Dritz, R. D. Goodband and J. L. Nessen. 1999. **" Effects of *Spirulina platensis* on Growth Performance of Weanling Pigs"** <http://www.sciencedirect.com>.

Hirano, T. and M. Suyama. 1986. Effect of Dietary Micro-Algae on the Quality of Culture Ayu. **ASFAI. 16(6) : 214.**

Hoddy, E. 1983. Algae : A Source of Protein. **Development and Cooperation. 2 : 19-21.**

Jose L. Parada, Gloria Zulpa de Caire, Maria C. Zaccaro de Mule and Monica M. Storni. 1998. "Lacticacid Bacteria Growth Promoters from *Spirulina platensis*." <http://www.sciencedirect.com>.

Lenduy, A. and N. Therien. 1977. An Improved method for optical density measurement of the semi-microscopic blue-green algae *Spirulina sp.* *Biotechnology and Bioengineering*. 19(1) : 1219-1244.

Madhava Reddy C., Vadiraja B. Bhat , G. Kiranmal , M. Narsa Reddy , P. Reddanna and K. M. Madyastha. 2000. " Selective Inhibition of Cyclooxygenase-2 by C-Phycocyanin , a Biliprotein from *Spirulina platensis*" <http://www.sciencedirect.com>.

Mosulishvili L. M., E. I. Kirkesali , A. I. Belokobylsky , A. I. Khizanishvili , M. V. Frontasyeva , S. S. Pavlov and S. F. Gundorina. 2002. " Experimental Substantiation of the Possibility of Peveloping Selenium-and Iodine-Containing Pharmaceuticals Based on Blue-green Algae *Spirulina platensis* " <http://www.sciencedirect.com>.

Nakamura, H. 1982. The Mass Production of *Spirulina*, A Helical Blue-Green Algae, As a New Food. Tokyo:Spirulina Development Committee of Japan.

Naidu K. A, R. Sarada, G. Manoj, M. Y. Khan, M. M. Swamy, S. Viswanatha, K. N. Murthy, G. A. Ravishankar, and L. Srinivas 1999. "Toxicity assessment of phycocyanin A blue colorant from blue green alga *Spirulina platensis* " *Food-Biotechnology*. 13(1) : 51-66.

- Nguyen, H.T. 1991. Current Sitvation of Mass Culture and Application of Microalgae *Spirulina* in Vietnam. Seminar and Workshop in Microalgae 36. Silapakorn University. Bangkok. Thailand.
- Peerapornpisal, Y., S. Chansiriphotha and S. Preongkarn. 1999. Nutritional Value of *Spirulina platensis* Cultivated in Sugar Cane Molasses Distrillery Slpos. Proceedings on the 5th Asia-Pacific Biochemical Engineering Confernece, 15-18 November 1999, Phuket Arcadia Hotel, Phuket, Thailand. P 254.
- Pinero, Estrada P, Bermejo Bescos and A. M. Villar del Fresno. 2001. "Antioxidant Activity of Different Fractions of *Spirulina platensis* Protein Extract " <http://www.sciencedirect.com>.
- Richmond, A. 1987. *Spirulina* Microalgal Biotechnology. Edited by Borowitzka, M. and Borowitzka, L., Cambridge University Press. 85-121.
- Singh, D. P. and N, Singh. 2000. "Calcium and Phosphate Regulation of Nitrogen Metabolism in the Cyanobacterium *Spirulina platensis* under the High Light Stress" <http://www.sciencedirect.com>.
- Tamaselli, L. 1997. Morphology, Uitrasturcture and Taxonomy of *Arthrospira* (*Spirulina*) *maxima* and *Arthrospira* (*Spirulina*) *platensis*. In *Spirulina platensis* (*Arthrospira*): Physiology, Cell-biology and Biotechnology, Vanshak, A. (ed). London: Taylor & Francis Publishers. P 1-15.

Venkataraman, L. V. 1983. **Bluegreen Alga : Spirulina**. Central Food Technological Research Institute, Mysore, India.

Weimin Peng , Qingyu Wu , Pingguan Tu and Nanming Zhao. 2001. **"Pyrolytic Characteristics of Microalgae as Renewable Energy Source Determined by Thermogravimetric Analysis"** <http://www.sciencedirect.com>.

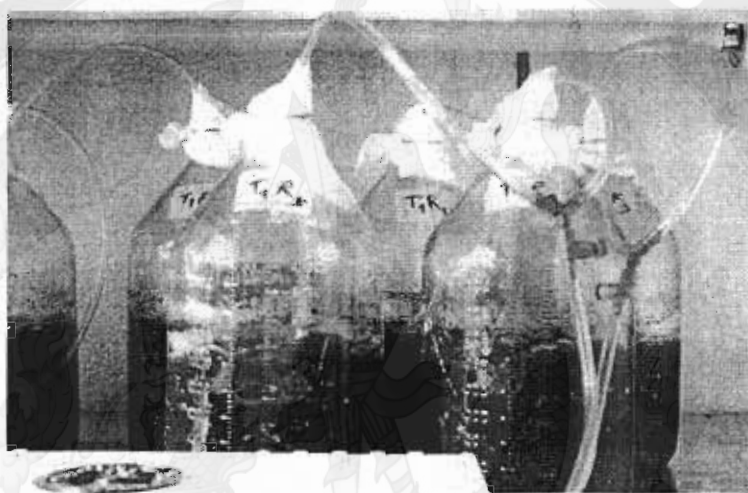


ภาคผนวก

ภาคผนวกที่ 1

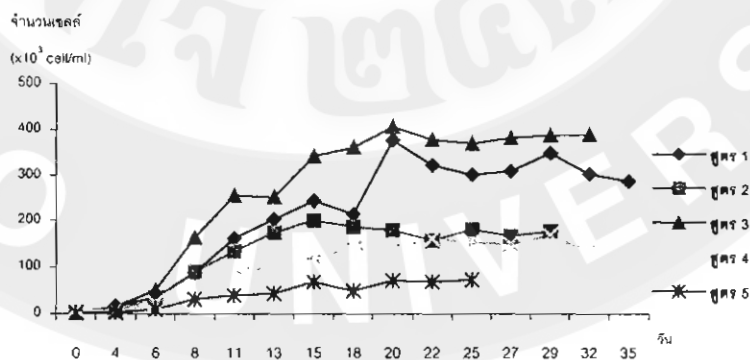
การทดสอบเบื้องต้น การเพาะเลี้ยงสาหร่ายสไปรูลินาในระดับห้องปฏิบัติการ

1. การเพาะเลี้ยงสาหร่ายสไปรูลินาเบื้องต้นด้วยสูตรอาหาร 5 สูตร 5 ข้ำ วางแผนการทดลองแบบ CRD (Completely Randomized Design) ทำการตรวจวัดการเจริญเติบโตโดยวัดจำนวนเซลล์ วัดค่า OD และ pH วันเว้นวันตลอดช่วงระยะเวลา 35 วัน

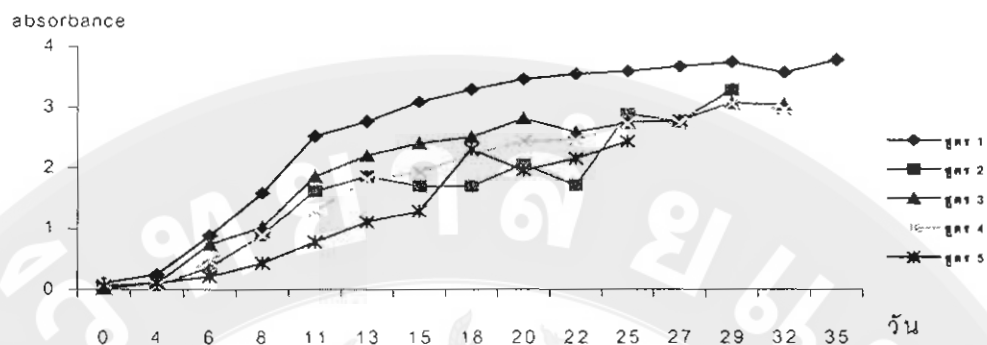


ภาพผนวกที่ 1 การเพาะเลี้ยงสาหร่ายสไปรูลินาในระดับห้องปฏิบัติการ

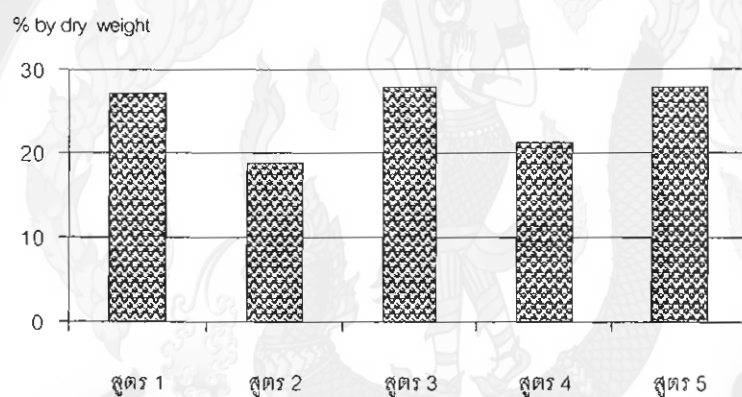
2. ผลการทดลอง ปรากฏดังภาพต่อไปนี้



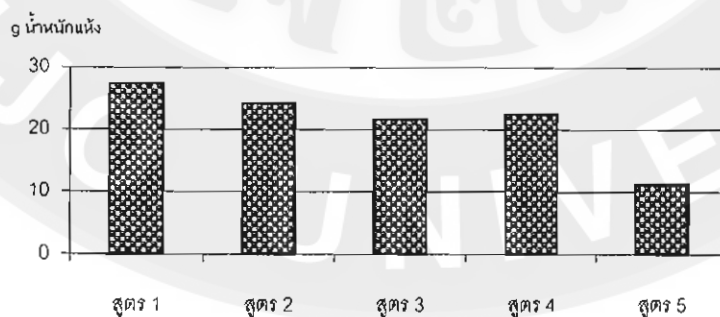
ภาพผนวกที่ 2 การเจริญเติบโตของสไปรูลินาเป็นจำนวนเซลล์ในสภาพห้องปฏิบัติการ



ภาพผนวกที่ 3 การเจริญเติบโตของสไปรูลินาแสดงด้วยค่า OD ในสภาพห้องปฏิบัติการ



ภาพผนวกที่ 4 ปริมาณโปรตีนเฉลี่ยของสไปรูลินาในแต่ละสูตรอาหาร

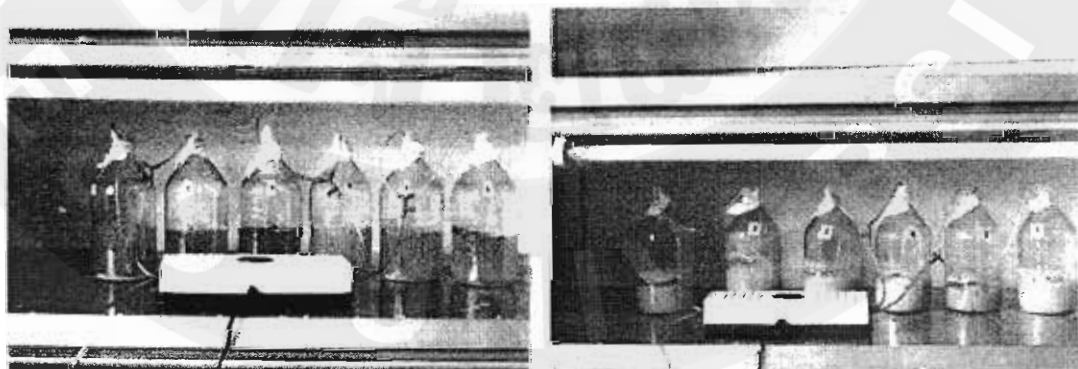


ภาพผนวกที่ 5 ปริมาณน้ำหนักแห้งเฉลี่ยของสไปรูลินาในแต่ละสูตรอาหาร

3. สรุปผลการทดลองแต่ละสูตรอาหารสำหรับการทดลองชั้นพื้นฐาน (กรัมต่อ 800 มล.)

	สูตร 1	สูตร 2	สูตร 3	สูตร 4	สูตร 5
NaHCO_3	13.44	8.5	13.44	4.5	6.5
K_2HPO_4	0.4	0.5	0.4	0.5	0.5
NaNO_3	2.00	1.5	2.0	1.5	2.0
NaCl	0.8	0.5	0.8	1.0	1.0
$\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$	0.16	0.1	0.16	0.2	0.1
K_2SO_4	2.0	0.5	2.0	1.0	2.0
$\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	0.032	0.1	0.032	0.04	0.1
$\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$	0.008	0.01	0.008	-	-
EDTA	0.064	0.05	0.064	-	-
A_5 solution	-	-	0.8	-	-
B_6 solution	-	-	0.8	-	-
ระยะเก็บเกี่ยว/วัน	20	16	20	22	14
น้ำหนักแห้ง (กรัม)	27.38	24.25	22.45	21.63	11.30
จำนวนเซลล์ ($\times 10^3 \text{ cell ml}^{-1}$)	376.7	200.07	405.56	161.78	68.74
ปริมาณโปรตีน (%)	27.1137	18.8512	27.916	21.2186	27.822

4. การทดลองเพาะเลี้ยงสาหร่ายสไปรูลีนาด้วยผลิตภัณฑ์ถั่วเหลือง



ภาพผนวกที่ 6 การเพาะเลี้ยงสไปรูลีนาด้วยผลิตภัณฑ์ถั่วเหลือง

ภาคผนวกที่ 2

Modified Zarrouk (not A₅ and B₆)

ส่วนประกอบของสารอาหาร	ปริมาณที่ใช้ (กรัม/ลิตร)
NaHCO ₃	16.80
K ₂ HPO ₄	0.50
NaNO ₃	2.50
NaCl	1.00
MgSO ₄ ·7H ₂ O	0.20
FeSO ₄ ·7H ₂ O	0.50
K ₂ SO ₄	1.00
CaCl ₂ ·2H ₂ O	0.04
EDTA	0.08

ภาคผนวกที่ 3

การหาปริมาณแคโรทีนอยด์ ลักษณะ และคณะ (2540) อ้างถึง Laboratory Document, 1996

เครื่องมือ

1. เครื่องปั่นเหวี่ยง
2. สเปกโตรโฟโตมิเตอร์ (Spectrophotometer)

สารเคมี

1. เอทานอล (Ethanol)
2. KOH 60%
3. Diethyl ether
4. NaCl 90 g/l
5. Na_2SO_4 anhydrous

วิธีการ

1. ชั่งสาหร่ายแห้งประมาณ 10 มิลลิกรัม ใส่ลงในหลอดเซนติฟิวจ์
2. เติมเอทานอลบริสุทธิ์ 10 มิลลิลิตร และ KOH 60% 1 มิลลิลิตร นำไปแช่ในน้ำที่มีอุณหภูมิ 45-55 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5 นาที
3. เมื่อครบเวลาทั้งไว้ให้เย็น นำไปปั่นเหวี่ยงที่ความเร็ว 2,000 – 3,000 รอบต่อนาที เป็นเวลา 15 นาที
4. เทส่วนใสลงใน extraction flask ล้างกากเซลล์ด้วยเอทานอล 2 มิลลิลิตร เติม diethyl ether ประมาณ 15-25 มิลลิลิตร เติม NaCl ประมาณ 15-25 มิลลิลิตร เขย่าให้เข้ากัน เปิดจุกปล่อยให้แยกชั้น รินส่วนใสสีเขียวทิ้งไป
5. เติม NaCl ลงไปสกัดอีกครั้ง รินส่วนใสชั้นล่างทิ้งไป
6. รินส่วนที่มีสีเหลืองใสลงใน volumetric flask 25 มิลลิลิตร ที่มี Na_2SO_4 anhydrous อยู่ ปรับปริมาตรด้วย ether นำไปวัดค่าดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 450 นาโนเมตร โดยใช้ ether เป็นตัวเปรียบเทียบ (blank)

การคำนวณ

$$\text{ปริมาณแคโรทีนอยด์ (mg/g Dry Weight)} = \frac{\text{OD}_{450} \times 25 \times 1000}{250 \times \text{น้ำหนักแห้งของสาหร่าย (มิลลิกรัม)}}$$

ภาคผนวกที่ 4

การหาปริมาณไฟโคไซยานิน ลักษณะ และคณะ (2540) อ้างถึง Laboratory Document, 1996

เครื่องมือ

1. เครื่องขังละเอียด
2. Vortex mixer
3. สเปกโตรโฟโตมิเตอร์ (Spectrophotometer)

สารเคมี

1. 1% CaCl_2

วิธีการ

1. ขังสาหร่ายแห้งประมาณ 100 มิลลิกรัม ในหลอดทดลองโดยใช้เครื่องขังละเอียด
2. เติม 1% CaCl_2 20 มิลลิลิตร เขย่าให้เข้ากันโดยใช้ Vortex mixer
3. นำไปปั่นที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 3 ชั่วโมง แล้วนำไปปั่นเหวี่ยงที่ความเร็วรอบ 15,000 รอบต่อนาที เป็นเวลา 10 นาที
4. นำส่วนที่มีสีฟ้าใส่ลงใน volumetric flask ขนาด 100 มิลลิลิตร ปรับ ปริมาตรให้ได้ 100 มิลลิลิตร
5. นำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 620 นาโนเมตร โดยใช้ 1% CaCl_2 เป็นตัวเปรียบเทียบ (blank)

การคำนวณ

$$\text{ปริมาณไฟโคไซยานิน(mg/g Dry Weight)} = \frac{\text{OD}_{620} \times 100 \times \text{ปริมาตรไฟโคไซยานิน} \times 10}{5.5 \times \text{น้ำหนักแห้งสาหร่าย (มิลลิกรัม)}}$$

ภาคผนวกที่ 5

การวิเคราะห์หาปริมาณโปรตีน

โดยวิธี Kjeldahl Method ปรีดา และคณะ (2536)

การวิเคราะห์หาโปรตีนหยาบ (crude protein)

ปริมาณ crude protein ในอาหาร คำนวณได้จากปริมาณไนโตรเจน ซึ่งวิเคราะห์แบบ Kjeldahl โดยตัวอย่างจะถูกย่อยด้วยกรดกำมะถันเข้มข้น สารประกอบไนโตรเจนทั้งหมดที่เป็น โปรตีนและไม่ใช่โปรตีน (non protein nitrogen) ยกเว้นที่รูปไนเตรท และไนโตรเจนจะถูก เปลี่ยนเป็นแอมโมเนียมซัลเฟต เมื่อเติมด่างโซเดียมไฮดรอกไซด์ลงไปขณะกลั่น แอมโมเนียม จะถูกไล่ออกมา และเก็บด้วยสารละลายมาตรฐาน นำกรดที่เก็บแอมโมเนียไปไตเตรทด้วยกรด มาตรฐาน เมื่อทราบจำนวนกรดที่ทำปฏิกิริยา สามารถคำนวณหาปริมาณไนโตรเจนได้

การวิเคราะห์หาปริมาณไนโตรเจนในพืช (Total N) วิธีวิเคราะห์ของ Kjeldahl ได้รับความนิยมและใช้กันแพร่หลายมากที่สุด เพราะมีความถูกต้องมาก ให้ค่าเปอร์เซ็นต์ recovery ระหว่าง 98 – 99% การวิเคราะห์ไนโตรเจนวิธีนี้แบ่งออกได้เป็น 3 ขั้นตอน ที่สำคัญได้แก่

1. การย่อยสลายตัวอย่าง (digestion)
2. การกลั่น (steam and distillation)
3. การไทเทรต (titration)

การย่อยสลายตัวอย่างพืช

การย่อยสลายตัวอย่างพืชสำหรับวิเคราะห์ไนโตรเจนนั้น ปัจจุบันมีหลายวิธีการต่าง ๆ ให้เลือกใช้หลายวิธี ความแตกต่างของในแต่ละวิธี ขึ้นอยู่กับชนิดของกรดที่ใช้ เช่น ย่อยด้วย กรดกำมะถัน หรือกรดไนตริก เป็นต้น ผู้ปฏิบัติจะเลือกใช้วิธีใดนั้น ขึ้นอยู่กับชนิดของเครื่องมือที่ใช้วัด รวมทั้งวัตถุประสงค์ในการศึกษา ตลอดจนความยากง่ายของการทำงาน วิธีที่นำเสนอคือการย่อยสลายพืชด้วยกรดกำมะถัน และใช้สารเร่งปฏิกิริยา ประกอบด้วย K_2SO_4 , $CuSO_4$, Se

สารเคมีย่อยสลายพืช

1. conc.H₂SO₄ (A.R. grade)
2. สารเร่งปฏิกิริยา (mixed catalyst) เตรียมโดยผสม K₂SO₄ 100 กรัม, CuSO₄.5 H₂O 10 กรัม และ Se 1 กรัม บดให้ละเอียดเป็นเนื้อเดียวกัน

ขั้นตอนการย่อยสลายพืช

1. ผสมตัวอย่างพืชซึ่งบรรจุอยู่ในขวดหรือถุงพลาสติก ให้รวมเป็นเนื้อเดียวกัน (re-mixed) ตัวอย่างพืชต้องผ่านการบดและอบแห้งสนิทมาก่อน
2. ชั่งตัวอย่างพืชโดยใช้ตาชั่งที่มีทศนิยม 4 ตำแหน่ง ประมาณ 0.2000 กรัม ใส่ลงในหลอดย่อยตัวอย่าง (digestion tube) ถ้าตัวอย่างเก็บไว้นาน ก่อนชั่งต้องนำไปอบแห้งในตู้อบที่อุณหภูมิ 80 °C ทิ้งไว้ให้เย็นใน desiccator
3. ในแต่ละหลอดเติมกรดกำมะถัน 4 มิลลิลิตร ขณะเติมกรด ควรให้หยดใส่ตัวอย่างพืชอย่างช้าๆ เพื่อชะเอาตัวอย่างที่เกาะติดอยู่ตามผนังข้างหลอดลงไปด้วย
4. เติมสารเร่งปฏิกิริยา ประมาณ 1.1 กรัม ลงในแต่ละหลอด
5. ชั่ง reference plant materials 1 หลอด สำหรับ internal และอีก 1 หลอด สำหรับ external ในแต่ละหลอดให้เติมกรดและสารเร่งปฏิกิริยา
6. เตรียม blank อีก 2 หลอด ในแต่ละหลอดเติมเฉพาะกรดกำมะถันและสารเร่งปฏิกิริยาเท่านั้น โดยไม่มีตัวอย่างพืชในหลอดคู่นี้
7. ใน 1 ชุด ของการย่อยสลายโดยใช้ block ซึ่งมีความจุ 40 หลอด จะประกอบ ด้วยพืช 35, blank 2 และ reference plant materials อีก 2 หลอด
8. เปิด block ไปที่อุณหภูมิ 300 °C วางหลอดย่อยตัวอย่างทั้ง 40 หลอด ลงใน block ขั้นตอนนี้ใช้เวลาประมาณ 45 นาที จึงจะร้อนได้อุณหภูมิตามต้องการ
9. เขย่าหลอดเป็นบางครั้ง เมื่อเวลาผ่านไปประมาณ 2 ชั่วโมง จะสังเกตพบว่าสารละลายในหลอดใสไม่มีสี
10. ย่อยสลายตัวอย่างต่อไปอีก จนกระทั่งสารละลายมีสีเขียวใสในขั้นตอนนี้อาจใช้เวลาประมาณระหว่าง 3 – 4 ชั่วโมง จึงจะแล้วเสร็จ
11. นำหลอดย่อยตัวอย่างออกจากเตา วางทิ้งไว้ให้เย็นในตู้คว่ำอีกประมาณ 30 นาที
12. เติมน้ำกลั่น (DDI) ลงในหลอดอย่างช้าๆ พร้อมทั้งเขย่าเบาๆ ให้สารผสมกัน วางทิ้งไว้ให้เย็นที่อุณหภูมิห้อง ปริมาตรเป็น 75 มิลลิลิตร ด้วยน้ำกลั่น ปิดหลอดด้วยแผ่นพาราฟิล์ม ทิ้งไว้ค้างคืนเพื่อให้ซิลิกาตกตะกอน

13. เทสารละลายเฉพาะส่วนที่ใส่จากแต่ละหลอดเก็บไว้ในขวดเก็บสารละลายประมาณ 30 – 40 มิลลิลิตร เพื่อนำไปกลั่นหาปริมาณ ไนโตรเจน ต่อไป
14. เทสารละลายในหลอดย่อยตัวอย่างส่วนที่เหลือทิ้ง ล้างหลอดให้สะอาดด้วยน้ำ ประปาแช่ด้วยด่างเพื่อทำความสะอาดทิ้งไว้ 3 – 4 ชั่วโมง ให้แปรงดูส่วนที่เป็น ตะกอนซึ่งเกาะอยู่ข้างผนังหลอดออก ล้างครั้งสุดท้ายด้วยน้ำกลั่น

การกลั่นหาปริมาณไนโตรเจน

เครื่องกลั่นหาไนโตรเจนแบ่งออกเป็น 3 ชนิด ชนิดแรกเรียก macro Kjeldahl ชนิดที่สอง คือ semi – micro Kjeldahl และสุดท้าย ได้แก่ micro Kjeldahl เครื่องกลั่นทั้ง 3 แบบ ใช้กลั่นไนโตรเจนได้ทุกชนิด ถ้าหากเลือกใช้ macro – Kjeldahl น้ำหนักตัวอย่างพืชที่ digest ต้องมากถึง 1 กรัม ดังนั้น ขนาดน้ำหนักที่ใช้ 0.2000 กรัม เหมาะกับเครื่อง micro Kjeldahl มากที่สุด แต่อนุโลมให้ใช้กับเครื่อง semi – micro Kjeldahl เช่นกัน

สารเคมี

1. Boric Acid Indicator :

- a) Mixed Indicator : ชั่งสาร bromocresol green 0.1650 กรัม และสาร methyl red 0.0825 กรัม ใส่รวมกันใน volumetric flask 250 มิลลิลิตร ละลายด้วย ethanol ปริมาตรเป็น 250 มิลลิลิตร
- b) Boric Acid : ละลายกรด H_3BO_3 20 กรัม ในน้ำร้อนที่ต้มจนเดือด 700 มิลลิลิตร วางทิ้งไว้ให้เย็น
- c) เติม ethanol 200 มิลลิลิตร mixed indicator 20 มิลลิลิตร (หรือสารละลาย a) และกรดบอริก (หรือสารละลาย b) อีก 700 มิลลิลิตร ลงใน volumetric flask 1 ลิตร เติมด่าง NaOH มีความเข้มข้น 0.05 N ประมาณ 3 – 4 มิลลิลิตร (เติมด่างไปจนกระทั่ง 1 มิลลิลิตร ของ Boric Acid Indicator เปลี่ยนเป็นสีเขียวอ่อน เมื่อเติมน้ำกลั่น 1 มิลลิลิตร)

2. 4 N NaOH : ละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 160 กรัม ในน้ำ 1 ลิตร เก็บในภาชนะที่มีฝาปิดเพื่อป้องกันการปนเปื้อนของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากอากาศ

3. 0.02 N H_2SO_4 : ละลายกรด H_2SO_4 ความเข้มข้น 1 N 20 มิลลิลิตร

การกลั่นไนโตรเจน (Steam and Distillation)

1. เปิดเครื่องกลั่นและล้างเครื่อง 1 ครั้ง ด้วยการกลั่นน้ำผ่านเครื่อง
2. รินน้ำยา boric acid indicator ประมาณ 5 มิลลิลิตร ใน erlenmeyer flask ขนาด 50 มิลลิลิตร นำไปวางไว้ในที่รองรับของเครื่องกลั่น โดยให้ปลายก้านอยู่เหนือ น้ำยา boric เพียงเล็กน้อย
3. ปิเปต สารละลายของตัวอย่างพืช 15 มิลลิลิตร เติมลงใน distillation flask
4. เติมสารละลาย 4 N NaOH ประมาณ 15-20 มิลลิลิตร ลงใน distillation flask ล้างตามด้วยน้ำกลั่นเล็กน้อย เพื่อขจัดสิ่งที่อาจตกค้างอยู่
5. เริ่มกลั่นและจับไนโตรเจนที่อยู่ในรูปของ NH_4^+ ให้ได้ปริมาตรใน erlenmeyer flask ประมาณ 30 – 35 มิลลิลิตร จึงปิดเครื่องกลั่น
6. นำ distillation flask ที่ใช้แล้วไปล้างทำความสะอาดด้วยน้ำกลั่น 3 ครั้ง ก่อนที่จะ pipette ตัวอย่างพืชใส่เพื่อกลั่นตัวอย่างอื่นต่อไป
7. ดำเนินการกลั่นตัวอย่างพืช reference materials รวมทั้ง blank โดยใช้ขั้นตอน 2–6 ไปจนกระทั่งเสร็จ

การไทเตรท (Titration)

นำสารละลายใน erlenmeyer flask ของแต่ละตัวอย่างที่กลั่นได้ ไทเตรท ด้วยกรด กำมะถัน (0.02 N) จนสีของสารละลายเปลี่ยนจากสีเขียวเป็นสีม่วงแดง จดบันทึกปริมาตรกรด ที่ใช้เพื่อคำนวณหาปริมาณ ไนโตรเจน คิดคำนวณได้จากสูตร ดังนี้

$$\% \text{ N} = \frac{(A-B) \times C \times \frac{14 \text{ gm N}}{1,000 \text{ meq}} \times \frac{1,000 \text{ mg}}{\text{g}} \times \frac{75 \text{ ml}}{15 \text{ ml}} \times 100}{\text{น้ำหนักตัวอย่างใช้ (mg)}}$$

- A = มิลลิลิตรของกรด H_2SO_4 ที่ใช้ ไทเตรท
- B = มิลลิลิตรของกรดที่ใช้ ไทเตรท blank
- C = ความเข้มข้นของกรด $\text{H}_2\text{SO}_4 = 0.02 \text{ N}$

ประวัติผู้วิจัย

ชื่อ นางสาวอรุณทัย โยธสิงห์

เกิดวันที่ 12 สิงหาคม 2516

ภูมิลำเนา 136/1 ต.โพนทอง อ.เมือง จ.กาฬสินธุ์ 46000

ประวัติการศึกษา

- ชั้นประถมศึกษาปีที่ 6 โรงเรียนหามแหโพนทองวิทยาคม
จ.กาฬสินธุ์ พ.ศ. 2528
- มัธยมศึกษาปีที่ 6 โรงเรียนอนุภูวนาริ จ.กาฬสินธุ์ พ.ศ. 2533
- ประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง สถาบันเทคโนโลยีราชมงคลวิทยาเขต
กาฬสินธุ์ จ.กาฬสินธุ์ พ.ศ. 2536
- ปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต มหาวิทยาลัยแม่โจ้ จ. เชียงใหม่ พ.ศ. 2538

ประวัติการทำงาน

- ผู้ช่วยผู้จัดการร้าน 7-11 สาขาจรัลสนิทวงศ์ 75 เครือเจริญโภคภัณฑ์
พ.ศ. 2538
- Q.C (Quality Control) OFFICER บริษัทดีมาร์ จำกัด ปัจจุบันเปลี่ยนเป็น
AC Nielsen (Thailand) Limited 26/F United Center, 323 Silon
Road, Bangkok พ.ศ. 2539
- นักวิทยาศาสตร์ 3 (ลูกจ้างชั่วคราว) สำนักงานพัฒนาที่ดินเขต 5 อ.เมือง
จ.ขอนแก่น พ.ศ. 2540 – 2543