การพัฒนากระบวนการเพื่อขยายปริมาณจุลสาหร่ายในการผลิตน้ำมันเชื้อเพลิงชีวภาพ

MASS PROPAGATION PROCESS OF MICROALGAE FOR BIOFUEL

จิรพนธ์ ชัยศิริอำพล

ตนุภัทร วินิจฉัย

สุมาลี นนท์ศิริ

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิศวกรรมเกษตร

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2557

การพัฒนากระบวนการเพื่อขยายปริมาณจุลสาหร่ายในการผลิตน้ำมันเชื้อเพลิงชีวภาพ

MASS PROPAGATION PROCESS OF MICROALGAE FOR BIOFUEL

จิรพนธ์ ชัยศิริอำพล

ตนุภัทร วินิจฉัย

สุมาลี นนท์ศิริ

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิศวกรรมเกษตร

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2557

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

MASS PROPAGATION PROCESS OF MICROALGAE FOR BIOFUEL

Jirapon Chaisiriampol

Tanuphat Winitchai

Sumalee Nonsiri

A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILMENT

OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF

BACHELOR OF ENGINEERING IN AGRICULTURAL ENGINEERING

FACULTY OF ENGINEERING

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

ACADEMIC YEAR 2014

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญานิพนธ์ปีการศึกษา 2557

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ใบรับรองปริญญานิพนธ์

.....

หัวข้อปริญญานิพนธ์	การพัฒนากระบวนการเพื่อขยายปริมาณจุลสาหร่ายในการผลิตน้ำมันเชื้อเพลิงชีวภาพ MASS PROPAGATION PROCESS OF MICROALGAE FOR BIOFUEL
นักศึกษาผู้จัดทำ	นายจิรพนธ์ ชัยศิริอำพล รหัสนักศึกษา 54010201 นายตนุภัทร วินิจฉัย รหัสนักศึกษา 54010480 นางสาวสุมาลี นนท์ศิริ รหัสนักศึกษา 54011421
ปริญญา	วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต (วิศวกรรมเกษตร)
หลักสูตร	วิศวกรรมเกษตร
สาขาวิชา	วิศวกรรมเครื่องกล
ปีการศึกษา	2557

อาจารย์ผู้ควบคุมปริญญานิพนธ์	ลายมือชื่อ
อาจารย์ภัทรชัย วิชัยยะ	ภัทรชัย วิชัยยะ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อปริญญานิพนธ์	**การพัฒนากระบวนการเพื่อขยายปริมาณจุลสาหร่ายในการผลิตน้ำมันเชื้อเพลิงชีวภาพ**		
นักศึกษาผู้จัดทำ	นายจิรพนธ์	ชัยศิริอำพล	54010201
	นายตนุภัทร	วินิจฉัย	54010480
	นางสาวสุมาลี	นนท์ศิริ	54011421
อาจารย์ที่ปรึกษา	อ. ภัทรชัย	วิชัยยะ	

ปีการศึกษา 2557

บทคัดย่อ

การศึกษาวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนากระบวนการขยายปริมาณจุลสาหร่ายเพื่อการผลิตน้ำมันเชื้อเพลิงชีวภาพแบบระบบปิด โดยใช้จุลสาหร่ายสายพันธุ์ Scenedesmus sp. เป็นวัตถุดิบ ได้ทำการทดลองเพาะเลี้ยงจุลสาหร่ายแบบท่อใหญ่ในโรงเรือนปิดพบว่าไม่มีการเจริญเติบโตเท่าที่ควร เนื่องจากอุณหภูมิในโรงเรือนสูงมากเกินไป (> 40 °C) จากนั้นได้มีการปรับปรุงรูปแบบการเพาะเลี้ยงจุลสาหร่ายเป็นแบบท่อเดี่ยว (Stand alone) ใช้ท่อขนาด 1 ½ นิ้ว ยาว 1 เมตร จำนวน 5 ชุด เพื่อเพิ่มการทดลองเรื่องอัตราการไหลของจุลสาหร่ายภายในท่อ พบว่าจุลสาหร่ายไม่มีการเจริญเติบโต เนื่องจากท่อมีขนาดเล็กและสั้นทำให้จุลสาหร่ายมีระยะเวลาในการสังเคราะห์แสงน้อยไป ต่อมาได้มีการปรับปรุงรูปแบบการเพาะเลี้ยงจุลสาหร่ายเป็นแบบการไหลแบบต่อเนื่อง (Continuous flow) โดยการนำท่อทั้ง 5 มาต่ออนุกรมกันเพื่อเพิ่มเวลาให้จุลสาหร่ายสังเคราะห์แสง ด้วยอัตราการไหล 0.103 liter/sec และให้ปุ๋ยยูเรียละลายน้ำจำนวน 1 g/day พบว่าจุลสาหร่ายมีการเจริญเติบโตขึ้นอย่างต่อเนื่อง ภายใน 14 วันของการเพาะเลี้ยง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Thesis Title	MASS PROPAGATION PROCESS OF MICROALGAE FOR BIORUEL		
Authors	Jirapon	Chaisiriampol	54010201
	Tanuphat	Winitchai	54010480
	Sumalee	Nonsiri	54011421
Thesis Advisor	Aj. Patarachai	Vichaiya	
Year	2014		

Abstract

This study aims to develop a continuous closed system for microalgae production for biofuel. The microalgae chose in this study is Scenedesmus sp. The experiment was conduct in 3 inches acrylic tubes in a closed greenhouse. It appeared that the microalgae had no growth because the temperature in a greenhouse was too high for microalgae to grow (> 40 °C). The stand alone of 5 sets is 1 1/2 inches diameter, 1 meter in length of acrylic tube was set for flow rate comparison. However, there was no growth within 14 days rotation due to less time exposed to light which limited its photosynthesis. A continuous flow of 5 tubes in series was conducted to increase time of light exposure with flow rate of 0.103 liter per sec. Urea fertilizer was applied 1 gram per day. Spectrophotometer was used to measure changed in color of microalgae solution. It was found that within 14 days of culture rotation, the color has change to green color which indicated the increase in production of microalgae mass.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ สำเร็จได้ด้วยความร่วมมือและช่วยเหลือจากหลาย ๆ ฝ่ายด้วยกัน บุคคลแรกที่เป็นส่วนสำคัญที่ทำให้วิทยานิพนธ์นี้สำเร็จได้คือ อาจารย์ ภัทรชัย วิชัยยะ อาจารย์ที่ปรึกษาที่ให้ความดูแลเอาใจใส่ ให้คำแนะนำและช่วยเหลือตลอดช่วงเวลาในการศึกษา

ขอขอบพระคุณ รศ.ดร.สุนีรัตน์ เรืองสมบูรณ์ คณะเทคโนโลยีการเกษตร สาขาวิทยาศาสตร์การประมง สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่สนับสนุนเรื่องพันธุ์สาหร่ายสำหรับการทดลอง บุคคลอีกกลุ่มหนึ่งที่เปรียบเสมือนกำลังหลักในการให้ความช่วยเหลือในด้านต่างๆ อีกทั้งให้คำปรึกษา คำแนะนำที่ดีให้กับคณะผู้จัดทำ บุคคลเหล่านั้น ได้แก่ นายกฤษณ์ ผลโพธิ์, นายอภัย คลำทั่ง, นายแช่ม สมรูป และดร.จิตราพร กังสวัสดิ์ รวมถึงอีกหลายท่านที่ยังไม่ได้เอยนามซึ่งต้องขออภัยมา ณ ที่นี้ คุณประโยชน์อันพึงได้จากปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ขอมอบให้แก่ผู้มีพระคุณทุกท่าน

สุดท้ายนี้ทางคณะผู้จัดทำขอขอบพระคุณ บิดา มารดา ที่คอยสนับสนุนจึงใคร่ขอขอบพระคุณมา ณ โอกาสนี้

นายจิรพนธ์ ชัยศิริอำพล
นายตนุภัทร วินิจฉัย
นางสาวสุมาลี นนท์ศิริ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้าที่
บทคัดย่อภาษาไทย	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	II
กิตติกรรมประกาศ	III
สารบัญ	IV
สารบัญตาราง	VII
สารบัญภาพ	VIII
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความสำคัญและที่มา	1
1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย	2
1.3 ขอบเขตของงานวิจัย	2
1.4 วิธีการดำเนินงาน	3
1.5 ผลที่คาดว่าจะได้รับ	3
บทที่ 2 ทฤษฎีและหลักการ	4
2.1 ข้อมูลเบื้องต้นของสาหร่าย	4
2.1.1 ลักษณะทางกายภาพของสาหร่าย	4
2.1.2 ปัจจัยที่มีผลต่อการเจริญเติบโตของสาหร่าย	5
2.1.3 สาหร่ายที่นำมาใช้ในการผลิตน้ำมันชีวภาพ	6
2.1.4 การใช้ประโยชน์จากสาหร่าย	9
2.1.5 การเพาะเลี้ยงสาหร่าย	10
2.2 ทฤษฎีกลศาสตร์ของไหล	13
2.2.1 การไหลภายในท่อ	13
2.2.2 การสูญเสียจากการไหลในท่อ	14
2.3 วรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง (Literature review)	15

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

	หน้าที่
บทที่ 3 วิธีการดำเนินงาน	19
3.1 การออกแบบเครื่องเพาะเลี้ยงจุลสาหร่าย	19
3.1.1 การออกแบบเครื่องเพาะเลี้ยงจุลสาหร่ายแบบท่อใหญ่ในโรงเรือน	19
3.1.2 การออกแบบเครื่องเพาะเลี้ยงจุลสาหร่ายแบบ Stand alone	20
3.1.3 การออกแบบเครื่องเพาะเลี้ยงจุลสาหร่ายแบบ Continuous flow	20
3.2 การเตรียมวัสดุ เครื่องมือและอุปกรณ์	21
3.2.1 วัสดุและอุปกรณ์ในการสร้างระบบเพาะเลี้ยงจุลสาหร่าย แบบท่อใหญ่ในโรงเรือน	21
3.2.2 วัสดุและอุปกรณ์ในการสร้างระบบเพาะเลี้ยงจุลสาหร่าย แบบ Stand alone	25
3.2.3 วัสดุและอุปกรณ์ในการสร้างระบบเพาะเลี้ยงจุลสาหร่าย แบบ Continuous flow	27
3.3 การสร้างระบบเพาะเลี้ยงจุลสาหร่าย	28
3.3.1 การสร้างระบบเพาะเลี้ยงจุลสาหร่ายแบบท่อใหญ่ในโรงเรือน	28
3.3.2 การสร้างระบบเพาะเลี้ยงจุลสาหร่ายแบบ Stand alone	29
3.3.3 การสร้างระบบเพาะเลี้ยงจุลสาหร่ายแบบ Continuous flow	30
3.4 การเตรียมวัสดุ	31
3.4.1 การดำเนินการขอการสนับสนุนหัวเชื้อจุลสาหร่าย	31
3.4.2 การดำเนินการขอการสนับสนุนอาหารสำหรับใช้ในการเพาะเลี้ยงจุลสาหร่าย	31

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

	หน้าที่
3.5 การเพาะเลี้ยงจุลสาหร่าย	31
3.5.1 การเติมน้ำเข้าสู่ระบบการเพาะเลี้ยง	31
3.5.2 การใส่หัวเชื้อจุลสาหร่ายในระบบ	32
3.5.3 การให้อาหารเพาะเลี้ยงจุลสาหร่าย	32
บทที่ 4 การทดลองและผลการทดลองระบบเพาะเลี้ยงจุลสาหร่าย	33
4.1 วิธีการทดลองและวิธีการวัดผล	33
4.1.1 การวัดค่าสีโดยใช้เครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์	33
4.1.2 การวัดมวลของจุลสาหร่ายโดยการชั่งน้ำหนัก	34
4.1.3 วิธีการคำนวณ	35
4.2 ผลการทดลองและอภิปรายผล	35
4.3 การคำนวณ	36
บทที่ 5 สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ	37
5.1 สรุปผลการทดลอง	37
5.2 ข้อเสนอแนะ	38
ภาคผนวก	39
ภาคผนวก ก เอกสารประกอบข้อมูลการทดสอบ	40
ภาคผนวก ข ข้อมูลการทดสอบ	42
ภาคผนวก ค เครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์	47
เอกสารอ้างอิง	50

เอกสารนี้สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

หน้าที่

ตารางที่ 2.1 ปริมาณน้ำมันสาหร่ายขนาดเล็ก 7

ตารางที่ 2.2 เปรียบเทียบศักยภาพในการผลิตชีวมวล ปริมาณน้ำมันสะสม และพลังงานเชื้อเพลิงระหว่างพืชน้ำมันชนิดต่างๆ และสาหร่ายขนาดเล็ก 8

ตารางที่ 2.3 การเปรียบเทียบผลผลิตน้ำมันจากสาหร่ายขนาดเล็กกับพืชน้ำมันชนิดอื่นๆ และพื้นที่ที่ต้องใช้ในการเพาะปลูก 8

ตารางที่ 4.1 ตารางผลการทดลอง 35

ตารางที่ ข.1 ตารางเก็บผลการทดลองการเพาะเลี้ยงจุลสาหร่ายในรอบที่ 1 วันที่ 18 ก.พ. 58 42

ตารางที่ ข.2 ตารางเก็บผลการทดลองการเพาะเลี้ยงจุลสาหร่ายในรอบที่ 2 วันที่ 5 มี.ค. 58 43

ตารางที่ ข.3 ตารางเก็บผลการทดลองการเพาะเลี้ยงจุลสาหร่ายในรอบที่ 3 วันที่ 24 มี.ค. 58 44

ตารางที่ ข.4 ตารางเก็บผลการทดลองการเพาะเลี้ยงจุลสาหร่ายในรอบที่ 4 วันที่ 6 เม.ย. 58 45

ตารางที่ ข.5 ตารางเก็บผลการทดลองการเพาะเลี้ยงจุลสาหร่ายในรอบที่ 5 วันที่ 20 เม.ย. 58 46

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูปภาพ

	หน้าที่
รูปที่ 2.1 เซลล์สาหร่าย Scenedesmus sp.	5
รูปที่ 2.2 เซลล์สาหร่ายจากกล้องจุลทรรศน์	8
รูปที่ 2.3 ระบบเปิดแบบร่องน้ำ	11
รูปที่ 2.4 ระบบเปิดแบบบ่อกลม	11
รูปที่ 2.5 ระบบเปิดแบบไม่กวน	12
รูปที่ 2.6 ระบบปิดแบบท่อ	12
รูปที่ 2.7 ระบบปิดแบบแผ่น	13
รูปที่ 2.8 การเปลี่ยนแปลง velocity profile	13
รูปที่ 3.1 การออกแบบเครื่องเพาะเลี้ยงจุลสาหร่ายแบบท่อใหญ่ในโรงเรือน	19
รูปที่ 3.2 การออกแบบเครื่องเพาะเลี้ยงจุลสาหร่ายแบบ Stand alone	20
รูปที่ 3.3 การออกแบบเครื่องเพาะเลี้ยงจุลสาหร่ายแบบ Continuous flow	20
รูปที่ 3.4 ปั๊มน้ำ	21
รูปที่ 3.5 สายยาง ขนาด 1”	21
รูปที่ 3.6 ท่ออะคริลิคใส ขนาด 3 นิ้ว	21
รูปที่ 3.7 ท่อ PVC ขนาด 1 นิ้ว	22
รูปที่ 3.8 ข้อต่อเกลียวนอกกับฝาครอบเกลียว PVC ขนาด 1”	22
รูปที่ 3.9 ข้อต่อเกลียวใน PVC ขนาด 1”	22
รูปที่ 3.10 วาล์ว PVC ขนาด 1”	22
รูปที่ 3.11 วาล์วเหล็ก ขนาด 1”	23
รูปที่ 3.12 ปืนยิงซิลิโคน	23

เอกสารนี้มีลิขสิทธิ์ สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูปภาพ (ต่อ)

	หน้าที่
รูปที่ 3.13 ซิลิโคน	23
รูปที่ 3.14 น้ำยาประสานท่อ PVC (125 g.)	23
รูปที่ 3.15 เทปพันเกลียว	23
รูปที่ 3.16 เข็มขัดรัดท่อ	24
รูปที่ 3.17 โครงเหล็กพร้อมท่อ Acrylic ขนาด 3 นิ้ว	24
รูปที่ 3.18 ปั๊มลม	24
รูปที่ 3.19 ปั๊มน้ำขนาดกลาง	25
รูปที่ 3.20 สายยาง ขนาด 6 หุน	25
รูปที่ 3.21 ท่ออะคริลิคขนาด 1 ½”	25
รูปที่ 3.22 ท่อ PVC ขนาด 6 หุน	25
รูปที่ 3.23 ข้อต่อ Union ขนาด 6 หุน	26
รูปที่ 3.24 โครงแบบ Stand alone	26
รูปที่ 3.25 ถังน้ำ	27
รูปที่ 3.26 ระบบเพาะเลี้ยงจุลสาหร่ายแบบท่อใหญ่ในโรงเรือน	28
รูปที่ 3.27 ระบบเพาะเลี้ยงจุลสาหร่ายต้นแบบแบบ Stand alone	29
รูปที่ 3.28 ระบบเพาะเลี้ยงจุลสาหร่ายแบบ Stand alone	29
รูปที่ 3.29 ระบบเพาะเลี้ยงจุลสาหร่ายแบบ Continuous flow	30
รูปที่ 4.1 ขวดแก้วที่พ่นสีดำแล้วพันด้วยเทปพันสายไฟ	33
รูปที่ 4.2 วัดสีด้วยเครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์	34
รูปที่ 4.3 กรวยและกระดาษกรอง	34

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งไม่อนุญาตให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูปภาพ (ต่อ)

	หน้าที่
รูปที่ 4.4 กรองจุลสาหร่าย	35
รูปที่ 4.5 รูปแสดงค่าความเข้าใกล้สีเขียว a*	36
รูปที่ ค.1 เครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์	47
รูปที่ ค.2 กราฟแสดงค่าสีจากเครื่อง	48
รูปที่ ค.3 ไดอะแกรมสัมประสิทธิ์สี a*, b*	49

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความสำคัญและที่มา

สาหร่ายเป็นพืชเซลล์เดียวใช้คลอโรฟิลล์ และใช้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เพื่อสังเคราะห์แสง เหมือนกับพืชหลายเซลล์และมีโครงสร้างเซลล์และความต้องการปัจจัยทางด้านสิ่งแวดล้อมและสารอาหารต่างๆที่ไม่ซับซ้อน สาหร่ายเซลล์เดียวบางชนิดมีคุณค่าทางอาหารไม่ว่าจะเป็น คาร์โบไฮเดรต โปรตีน เกลือแร่ และวิตามินหลายชนิด มีการนำสาหร่ายทั้งชนิด microalgae และชนิด macroalgae มาใช้ประโยชน์ในด้านอาหาร ด้านการแพทย์และเครื่องสำอาง นอกจากนั้นมีการนำไปใช้ในการบำบัดน้ำเสียและรักษาสิ่งแวดล้อม และปัจจุบันมีการวิจัยพัฒนานำสาหร่ายมาใช้ในการผลิตพลังงานทดแทนอีกด้วย Benemann และ Oswald, (1996) รายงานว่าสาหร่ายสามารถเจริญเติบโตได้เร็วและผลิตกรดไขมันได้ในปริมาณสูง เมื่อเปรียบเทียบกับกรดไขมันที่ได้จากพืชอื่นเช่น ข้าวโพด ถั่วเหลือง ปาล์ม และมะพร้าว นอกจากนั้นยังใช้พื้นที่ในการเพาะเลี้ยงน้อยกว่าพืชอื่นเมื่อเทียบระหว่างผลที่ได้น้ำมันต่อพื้นที่การเพาะปลูก อย่างไรก็ตามการผลิตกรดไขมันของสาหร่ายยังขึ้นอยู่กับปัจจัยต่าง ๆ ได้แก่ สายพันธุ์ สภาวะในการเพาะเลี้ยงที่มีผลต่ออัตราการเจริญเติบโตของสาหร่าย (Chisti, 2007) รายงานวิจัยของ Kojima และ Zhang (1999) ได้ศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการเจริญเติบโตกับการผลิตสารประกอบไฮโดรคาร์บอนของสาหร่ายขนาดเล็ก Botryococ cusbraunii และปริมาณแสงที่มีอิทธิพลต่อการผลิตสารประกอบไฮโดรคาร์บอน Cohen และคณะ (1988) ได้ศึกษาถึงผลของสภาวะแวดล้อมที่มีต่อองค์ประกอบของกรดไขมัน ในสาหร่ายน้ำเค็ม Porphyridium cruentum พบว่า กรดไขมันและองค์ประกอบของกรดไขมันขึ้นอยู่กับสภาพแวดล้อมของการเจริญเติบโต อาทิ ความเข้มแสง อุณหภูมิ pH และความเค็ม โดยการปรับให้มีอุณหภูมิที่เหมาะสมคือ 30 องศาเซลเซียสและมีความเข้มแสงไม่จำกัด จึงเห็นได้ว่าปัจจัยสภาพแวดล้อมทางกายภาพและองค์ประกอบทางเคมีมีความสำคัญ ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงเป็นการทดลองเพื่อศึกษาสภาพที่เหมาะสมต่อการเพาะเลี้ยงสาหร่ายเพื่อผลิตชีวมวลและกรดไขมันของเซลล์สาหร่าย

ปัจจุบันเชื้อเพลิงจากปิโตรเลียมกำลังลดน้อยลง จึงจำเป็นต้องหาแหล่งพลังงานใหม่เพื่อมาทดแทน ซึ่งพลังงานเชื้อเพลิงจากชีวมวลเป็นตัวเลือกที่น่าสนใจ เพราะสามารถผลิตได้อย่างต่อเนื่อง พลังงานชีวภาพอาจได้มาจากสิ่งมีชีวิต พืชน้ำมัน เช่น ถั่วเหลือง ทานตะวัน สบู่ดำ ปาล์มน้ำมัน ซังข้าวโพด ซังข้าวโพดรวมทั้งสาหร่ายขนาดเล็ก (microalgae)

ขั้นตอนในการสกัดน้ำมันจากจุลสาหร่ายไม่ใช่เรื่องยุ่งยาก เพราะมีเทคโนโลยีในการสกัดน้ำมัน ปัญหาที่สำคัญคือทำอย่างไรจึงจะสามารถเพาะเลี้ยงจุลสาหร่ายให้เจริญเติบโตได้เร็วที่สุดและสามารถเพิ่มผลผลิตของไขมันในจุลสาหร่ายให้มากที่สุด ในการเก็บเกี่ยวผลผลิตน้ำมันจุลสาหร่ายต่อพื้นที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งไม่อนุญาตให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการใช้

เพาะปลูก จุลสาหร่ายมีผลผลิตไขมันสูงกว่าพืชพลังงานทุกชนิดต่อการใช้พื้นที่เท่ากัน จุลสาหร่ายจะได้ผลผลิตมากกว่า เพราะสามารถใช้พื้นที่ ทั้งด้านกว้าง ด้านยาว และด้านสูง

จากผลการวิจัยของอาจารย์วิษณุ (1987) รายงานว่า "ปริมาณพืชน้ำมันต่อพื้นที่ปลูก 1 หน่วย (Hectare) เมล็ดทานตะวันจะได้น้ำมัน 952 ลิตร ปาล์มจะได้น้ำมัน 5,950 ลิตร มะพร้าวจะได้น้ำมัน 2,689 ลิตร แต่จุลสาหร่ายจะได้น้ำมันสูงถึง 100,000 ลิตร ถ้าคิดเป็นเปอร์เซ็นน้ำมันเฉลี่ยต่อน้ำหนักพืชขณะแห้ง สบู่ดำให้น้ำมัน 40-55%, ถั่วเหลือง 20%, เมล็ดทานตะวัน 55%, ปาล์ม 50%, ข้าวโพด 7%, สาหร่าย 15-40%"

ข้อได้เปรียบที่นำสาหร่ายมาทำเป็นพลังงานทดแทนมีหลายประการด้วยกัน เนื่องจากสาหร่ายมีเซลล์ที่มีกรดไขมันค่อนข้างสูง ประมาณ 20 เปอร์เซ็นต์ แต่บางชนิดอาจมีถึง 60 – 70 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งค่อนข้างมากกว่าพืชน้ำมันอื่นๆ อีกประการหนึ่งคือสาหร่ายมีขนาดเล็กสามารถเพาะเลี้ยงได้ง่าย ใช้สารอาหารที่ไม่ซับซ้อนมาก สามารถเก็บเกี่ยวได้ใน 1 – 2 อาทิตย์ และยังใช้พื้นที่ในการเพาะเลี้ยงน้อยกว่าเมื่อเทียบกับการเพาะปลูกพืชน้ำมันชนิดอื่นและไม่ก่อให้เกิดปัญหาการแย่งพื้นที่เพาะปลูกพืชอาหารอีกด้วย ถ้าหากมีการเพาะเลี้ยงและการควบคุมตัวแปร รวมถึงสภาพแวดล้อมที่ดีจะมีส่วนช่วยทำให้สาหร่ายมีอัตราการเจริญเติบโตเร็วกว่าพืชชนิดอื่นๆและสามารถนำมาพัฒนาเป็นพืชพลังงานต่อไปได้ ในปัจจุบันการผลิตน้ำมันจากสาหร่ายยังมีต้นทุนสูง เนื่องจากอยู่ในขั้นตอนการวิจัยแต่เชื่อว่าหากผลิตในเชิงพาณิชย์จะทำให้ราคาถูกลง ปัจจุบันมีหลายประเทศให้ความสนใจในการวิจัยเพื่อผลิตน้ำมันจากสาหร่ายเป็นพลังงานทดแทนมากขึ้น

1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

1.2.1 เพื่อศึกษาเปรียบเทียบการเพาะเลี้ยงจุลสาหร่ายในรูปแบบต่างๆ ได้แก่ แบบท่อใหญ่ในโรงเรือน , แบบ Stand alone และแบบ Continuous flow

1.2.2 เพื่อพัฒนาระบบเพาะเลี้ยงจุลสาหร่ายแบบปิดและเพิ่มปริมาณจุลสาหร่าย

1.3 ขอบเขตของงานวิจัย

1.3.1 ศึกษาการเพาะเลี้ยงจุลสาหร่ายในระบบปิด

1.3.2 ศึกษาเปรียบเทียบการเพาะเลี้ยงจุลสาหร่าย 3 รูปแบบ ได้แก่ แบบท่อใหญ่ในโรงเรือน , แบบ Stand alone และแบบ Continuous flow

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.4 วิธีการดำเนินงาน

งานวิจัยในโครงงานนี้เริ่มด้วยการศึกษาทฤษฎีพื้นฐานต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัย ได้แก่ (1) ข้อมูลเบื้องต้นของจุลสาหร่าย (2) วิธีการเพาะเลี้ยงพันธ์จุลสาหร่าย และ (3) ทฤษฎีเรื่องกลศาสตร์ของไหล จากนั้นก็จะนำเอาความรู้ที่ได้ศึกษาทั้งหมด มาออกแบบและสร้างระบบการเพาะเลี้ยงจุลสาหร่ายเพื่อผลิตน้ำมันเชื่อเพลิงชีวภาพ ทำการทดลองเพาะเลี้ยงจุลสาหร่ายในระบบต้นแบบเพาะเลี้ยงทั้ง 3 รูปแบบ ได้แก่ แบบท่อใหญ่ในโรงเรือน , แบบ Stand alone และแบบ Continuous flow เพื่อหาค่าการเจริญเติบโตของจุลสาหร่ายและนำผลการทดลองมาสังเคราะห์เพื่อสรุปผลการทดลอง

1.5 ผลที่คาดว่าจะได้รับ

1.5.1 ได้ต้นแบบเครื่องเพาะเลี้ยงจุลสาหร่ายเพื่อการผลิตน้ำมันชีวภาพสำหรับเกษตรกร

1.5.2 ได้รับองค์ความรู้ในการเพาะเลี้ยงสาหร่ายให้ได้ผลผลิตสูงสุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

ทฤษฎีและหลักการ

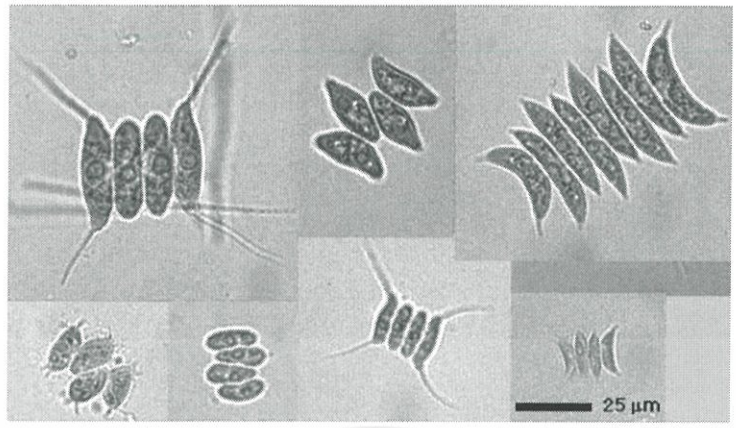
2.1 ข้อมูลเบื้องต้นของสาหร่าย

2.1.1 ลักษณะทางกายภาพของสาหร่าย

สาหร่ายเป็นพืชชั้นต่ำที่ไม่มีส่วนที่เป็นราก ไม่มีลำต้นและใบที่แท้จริง มีขนาดตั้งแต่เล็กมาก ขนาดเซลล์เดียวไปจนถึงขนาดใหญ่ที่ประกอบด้วยเซลล์จำนวนมาก ทำให้มีลักษณะคล้ายกับราก ลำต้น และใบรวมกันซึ่งเรียกว่า ทัลลัส (thallus) สาหร่ายเป็นพืชที่มีคลอโรฟิลล์ช่วยในการสังเคราะห์แสง สาหร่ายเป็นกลุ่มของสิ่งมีชีวิตที่แพร่กระจายพบได้ทั่วไปตามธรรมชาติ สามารถดำรงชีวิตได้หลากหลายรูปแบบ ทั้งที่เป็นแบบล่องลอยอยู่ในมวลน้ำ (plankton) และแบบที่ดำรงชีวิตด้วยการยึดติดกับพื้นที่หรือวัสดุอื่น โครงสร้างภายนอกที่ไว้ยึดเกาะเรียกว่า โฮลฟาสต์ (holdfast) กระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสงของของสาหร่ายนั้นจะมีลักษณะคล้ายกับพืชชั้นสูง โดยจะใช้คลอโรฟิลล์-เอ เป็นตัวที่รับพลังงานจากแสง (antenna molecules) และมีกระบวนการปลดปล่อยออกซิเจน สาหร่ายหลายชนิดสามารถเจริญเติบโตได้ทั้งแบบออโตโทรฟิค (autotrophic) โดยที่สาหร่ายจะมีการสร้างอาหารได้เองโดยการสังเคราะห์แสง และแบบเฮเทอโรโทรฟิค (heterotrophic) ที่ไม่สามารถสร้างสารอินทรีย์ได้เอง จึงต้องมีการมีการบริโภคสารอินทรีย์จากภายนอกเข้าสู่เซลล์ อย่างไรก็ตามยังมีสาหร่ายบางชนิดที่สามารถดำรงชีวิตได้ทั้งสองรูปแบบ การที่สาหร่ายแต่ละชนิดมีการดำรงชีวิตและขนาดที่แตกต่างกันผู้ศึกษาวิจัยจึงจำแนกออกเป็น 2 กลุ่มหลักๆ คือ จุลสาหร่าย (microalgae) และมหสาหร่าย (macroalgea) การแบ่งพวกสาหร่ายจะแบ่งตามรูปร่างลักษณะภายนอกหรือดูตามสี จึงมีสาหร่ายสีเขียว เขียวแกมน้ำเงิน น้ำตาล และสีแดง สาหร่ายสามารถสืบพันธุ์ได้โดยอาศัยเพศและไม่อาศัยเพศ สาหร่ายส่วนใหญ่เจริญเติบโตในแหล่งน้ำธรรมชาติทั้งน้ำจืด น้ำกร่อย น้ำเค็ม สาหร่ายบางชนิดมีคุณค่าทางอาหารสำหรับมนุษย์ เช่น คาร์โบไฮเดรตและโปรตีน

สาหร่ายสีเขียว (Green algae) เป็นสิ่งมีชีวิตในไฟลัมคลอโรไฟตา มีทั้งที่อยู่ในน้ำจืดและน้ำเค็ม สาหร่ายสีเขียวนี้มีโคโรพลาสต์ที่มีคลอโรฟิลล์เอและบีเป็นส่วนประกอบหลัก มีแคโรทีนอยด์และแซนโทฟิลล์เป็นส่วนประกอบรองจึงเห็นสีเขียวเด่นชัด พบได้ตามบึง คูน้ำ บ่อน้ำ บางชนิดให้โปรตีนสูงสามารถสกัดมาใช้ประโยชน์ประกอบอาหารได้ ตัวอย่างของสาหร่ายสีเขียวน้ำจืดที่พบทั่วไปได้แก่ สาหร่ายสีเขียวเซลล์เดียวขนาดเล็ก เช่น Scenedesmus sp., Chlorella sp. สาหร่ายสีเขียวเซลล์รวมกันเป็นกลุ่ม เช่น Scenedesmus sp., Pedistrum sp., Volvox sp. และ Oesogonium sp. สาหร่ายสีเขียวที่เซลล์ต่อกันเป็นสาย เช่น Spirogyra sp. เป็นต้น สำหรับสาหร่ายสีเขียวที่เป็นสาหร่ายทะเล เช่น สาหร่าย Asetabularia sp. และ Ulva Codium sp.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ ดัดแปลง เผยแพร่ หรือแสวงหาผลประโยชน์ทางการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.1 เซลล์สาหร่าย Scenedesmus sp.

2.1.2 ปัจจัยที่มีผลต่อการเจริญเติบโตของสาหร่าย [1]

ในการเพาะเลี้ยงสาหร่ายเพื่อให้ได้เซลล์ในปริมาณมากและมีการสะสมน้ำมันไว้ในเซลล์ในปริมาณสูงนั้นมีปัจจัยสำคัญดังนี้

(1) แหล่งคาร์บอน (Carbon Source)

แหล่งคาร์บอนมีความจำเป็นต่อการเจริญเติบโตของสาหร่าย ซึ่งสาหร่ายสามารถใช้ได้ทั้งในรูปของสารอินทรีย์และสารอนินทรีย์ เช่น คาร์บอนไดออกไซด์ที่ละลายได้ในน้ำซึ่งอยู่ในรูปของคาร์บอเนต และไบคาร์บอเนต นอกจากแหล่งคาร์บอนแล้ว ไนโตรเจนก็เป็นปัจจัยที่สำคัญต่อการเพาะเลี้ยงสาหร่าย โดยจำเป็นต้องมีการควบคุมแหล่งคาร์บอนและไนโตรเจนให้อยู่ในสภาวะที่เหมาะสม จะมีผลทำให้อัตราการสังเคราะห์น้ำมันของสาหร่ายมีค่าสูงสุด นอกจากนั้นไนโตรเจนยังมีความสำคัญต่อกระบวนการเมตาบอลิซึมในเซลล์สาหร่าย อีกทั้งยังเป็นองค์ประกอบที่สำคัญในกรดอะมิโน โปรตีน และเอนไซม์ภายในเซลล์

(2) แสง (Light)

แสงมีความจำเป็นต่อการเจริญเติบโตของสาหร่ายเพื่อใช้ในการสังเคราะห์แสง เช่นเดียวกับพืชทั่วไป หากมีการเพาะเลี้ยงสาหร่ายด้วยหลอดไฟควรใช้หลอดฟลูออเรสเซนส์เป็นแหล่งแสง เพราะแสงที่ได้มีอุณหภูมิต่ำกว่าหลอดไฟชนิดอื่น นอกจากนี้การควบคุมช่วงเวลาการให้แสงสลับกับการหยุดให้แสงจะส่งผลให้สาหร่ายเจริญเติบโตได้ดีกว่าการให้แสงตลอดเวลา โดยช่วงแสงสว่างที่นิยมใช้คือ 16 ชั่วโมงสว่าง / 8 ชั่วโมงมืด เป็นต้น โดยถ้าเป็นแสงจากดวงอาทิตย์ช่วงที่เหมาะสมของคลื่นแสง คือ 600-700 นาโนเมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(3) อุณหภูมิ (Temperature)

อุณหภูมิมีผลต่อการเกิดปฏิกิริยาต่างๆ ภายในเซลล์สาหร่ายและการทำงานของเอนไซม์ รวมถึงโครงสร้างและองค์ประกอบต่างๆ ในเซลล์สาหร่าย โดยเฉพาะอย่างยิ่งปริมาณน้ำมันในเซลล์สาหร่าย ดังนั้นจึงจำเป็นต้องมีการควบคุมอุณหภูมิให้เหมาะสมต่อการเจริญของสาหร่ายแต่ละชนิด อุณหภูมิที่เหมาะสมสำหรับการเพาะเลี้ยงสาหร่ายโดยทั่วไปอยู่ระหว่าง 28 – 32 °C

(4) ความเป็นกรด เป็นด่าง (pH)

สาหร่ายเติบโตได้ดีในน้ำที่มีค่า pH ระหว่าง 8.2 - 8.7 ในระดับค่าความเป็นกรดที่สูง อาจทำให้การเจริญเติบโตและการสังเคราะห์แสงของสาหร่ายไม่ดี นอกจากนั้นการเพิ่ม CO_2 อาจมีผลทำให้น้ำเป็นกรดอ่อนๆ จึงไม่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโต

2.1.3 สาหร่ายที่นำมาใช้ในการผลิตน้ำมันชีวภาพ

สาหร่ายโดยทั่วไปแล้วแบ่งออกได้เป็น 2 กลุ่มได้แก่ สาหร่ายขนาดใหญ่ (Microalgae) และสาหร่ายขนาดเล็ก (Microalgae) สาเหตุที่สาหร่ายขนาดเล็กได้รับความสนใจในการนำมาผลิตน้ำมันชีวภาพ เนื่องมาจากภายในเซลล์สาหร่ายบางสายพันธุ์ มีการสะสมน้ำมันไว้สูงเกือบร้อยละ 80 ของน้ำหนักแห้ง เช่น สายพันธุ์ Botryococcus braunni (25-75%) สายพันธุ์ Chlorella sp. (28-32%) สายพันธุ์ Naanochloropsis sp. (31-68%) สายพันธุ์ Neochloris oleoabundans (35-54%) และสายพันธุ์ Schizochytrium sp. (50-77%) เป็นต้น สาหร่ายขนาดเล็กส่วนใหญ่เป็นสาหร่ายสีเขียว มีลักษณะเซลล์เดียว (unicellular) มักอยู่รวมกันเป็นกลุ่มโคโลนีและสามารถอยู่กับสิ่งมีชีวิตชนิดอื่นได้

โดยทั่วไปมักจะพบสาหร่ายตามแหล่งน้ำธรรมชาติ และมีคุณสมบัติเด่นที่ทำให้สาหร่ายแตกต่างจากพืชน้ำมันชนิดอื่น ๆ คือ สามารถสะสมพลังงานภายในเซลล์ในรูปของสารอินทรีย์ได้อย่างรวดเร็ว นอกจากนี้การเพาะเลี้ยงสาหร่ายทำได้ไม่ยาก เมื่อเทียบกับการปลูกพืชน้ำมันชนิดอื่นๆ เพราะสาหร่ายสามารถเติบโตได้เร็วและสามารถใช้แก๊สของเสียเป็นสารอาหาร เช่น คาร์บอนไดออกไซด์ ทำให้เทคโนโลยีการเพาะเลี้ยงสาหร่ายนี้มีความพิเศษและเป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อมมาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

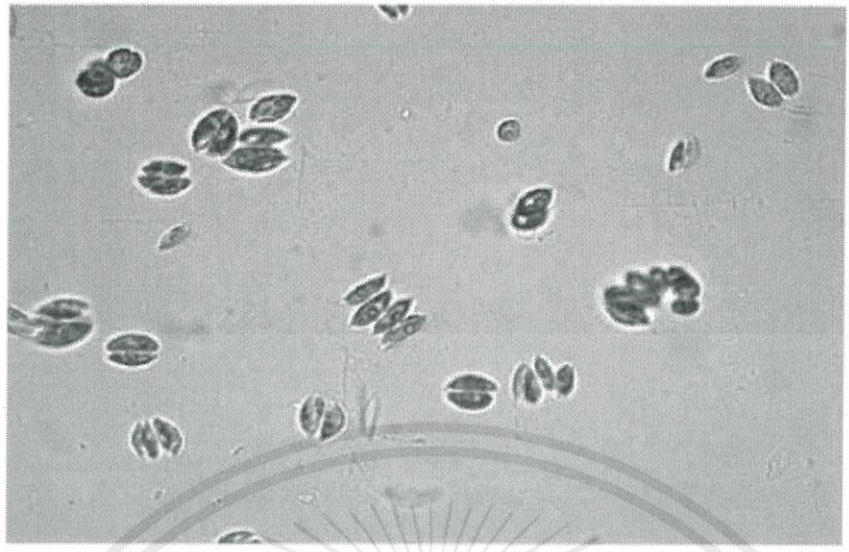
ตารางที่ 2.1 ปริมาณน้ำมันสาหร่ายขนาดเล็ก

ชนิดสายพันธุ์สาหร่าย	ปริมาณน้ำมัน (เปอร์เซ็นต์น้ำหนักแห้ง)
Botryococcus braunii	25-80
Chlorella sp.	28-32
Chlorella protothecoides	23-30
Chlorells vulgaris	14-40
Crypthecodinium cohnii	20
Cylindrotheca sp.	16-37
Dunaliella salina	14-20
Neochloris oleoabundans	35-65
Nitzschia sp.	45-47
Phaeodactylum tricornutum	20-30
Schizochytrium sp.	50-77
Spirulina maxima	4-9
Tetraselmis suecia	15-23

แหล่งที่มา : สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย (วว.)

สาหร่ายขนาดเล็ก (Microalgae) เป็นพืชชั้นต่ำเซลล์เดียวมีขนาดเล็ก (ประมาณ 2 ไมโครเมตร) สามารถมองเห็นโครงสร้างของเซลล์ภายใต้กล้องจุลทรรศน์ มีคลอโรฟิลล์จึงสามารถสร้างอาหารเองได้ เช่นเดียวกับพืชทั่วไป และพบตามแหล่งน้ำธรรมชาติต่างๆ เช่น แหล่งน้ำจืด น้ำกร่อยและน้ำเค็ม ตลอดจนในบ่อน้ำเสีย เป็นต้น นอกจากนี้สาหร่ายต้องใช้คาร์บอนไดออกไซด์ในการสังเคราะห์แสง เช่นเดียวกับพืชทั่วไป จึงเป็นแนวทางช่วยลดภาวะโลกร้อนได้ จากคุณสมบัติดังกล่าว สาหร่ายขนาดเล็กจึงกลายเป็นพืชที่กำลังได้รับความสนใจจากทั่วโลก ในการนำมาค้นคว้าวิจัยเพื่อสร้างสรรค์พลังงานทางเลือกใหม่ที่มีประสิทธิภาพในอนาคต เมื่อเปรียบเทียบการเพาะเลี้ยงในแง่ของพื้นที่และระยะเวลาการเพาะปลูกเทียบกับพืชน้ำมันชนิดอื่นๆ พบว่าสาหร่ายให้น้ำมันได้ในปริมาณสูง ดังนั้นหากสามารถนำมาผลิตเป็นเชื้อเพลิงทดแทนได้จะสามารถลดปัญหาในการแย่งส่วนแบ่งทางอาหารจากพืชน้ำมันได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.2 เซลล์สาหร่ายจากกล้องจุลทรรศน์

ตารางที่ 2.2 เปรียบเทียบศักยภาพในการผลิตชีวมวล ปริมาณน้ำมันสะสม และพลังงานเชื้อเพลิงระหว่างพืชน้ำมันชนิดต่างๆ และสาหร่ายขนาดเล็ก

ชนิดของพืชน้ำมัน	ชีวมวล (เมตตริกตัน/เฮกตาร์/ปี)	ปริมาณน้ำมัน (% น้ำหนักแห้ง)	ไบโอดีเซล (เมตตริกตัน/เฮกตาร์/ปี)
ถั่วเหลือง	1-2.5	20%	0.2-0.5
เมล็ดเรพ	3	40%	1.2
ปาล์มน้ำมัน	19	20%	3.7
สบู่ดำ	7.5-10	30%-50%	2.2-5.3
สาหร่ายขนาดเล็ก	140-255	35%-65%	50-100

ตารางที่ 2.3 การเปรียบเทียบผลผลิตน้ำมันจากสาหร่ายขนาดเล็กกับพืชน้ำมันชนิดอื่นๆ และพื้นที่ที่ต้องใช้ในการเพาะปลูก

แหล่งน้ำมัน	ผลผลิตน้ำมัน (ลิตร/เฮกตาร์)	พื้นที่ที่ต้องการ (ล้านเฮกตาร์)	ร้อยละของพื้นที่การเพาะปลูกในสหรัฐอเมริกา
ข้าวโพด	172	1540	846
ถั่วเหลือง	446	594	326
คาโนลา	1190	223	122
สบู่ดำ	1892	140	77
มะพร้าว	2689	99	54
ปาล์มน้ำมัน	5950	45	24
สาหร่ายขนาดเล็ก	136900	2	1.1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.4 การใช้ประโยชน์จากสาหร่าย

จากลักษณะและองค์ประกอบที่สำคัญของเซลล์สาหร่ายดังกล่าวไปแล้วนั้น จะพบว่าภายในเซลล์สาหร่ายมีการสะสมสารอาหารในรูปแบบต่างๆ เช่น โปรตีน คาร์โบไฮเดรตโดยเฉพาะในรูปของแป้ง ไขมัน ซึ่งอยู่ในรูปของของไตรกลีเซอร์ไรด์ (Triacylglycerides, TAGs) พบว่าสาหร่ายมีการสะสมไขมันไว้ภายในเซลล์ ปริมาณมากน้อยขึ้นอยู่กับชนิดของสายพันธุ์ต่างๆ จากองค์ประกอบดังกล่าวจะเป็นส่วนสำคัญในการจำแนกหรือการใช้ประโยชน์ในด้านต่างๆ จากเซลล์สาหร่ายอย่างกว้างขวางในปัจจุบัน ตั้งแต่การนำมาใช้เพื่อผลิตภัณฑ์อาหารต่างๆ และยา ตลอดจนเพื่อการจัดการสิ่งแวดล้อมดังต่อไปนี้

(1) ประโยชน์ต่อระบบนิเวศน์

สาหร่ายดำรงชีวิตแบบออโตโทรฟิค (Autotrophic organism) เป็นสิ่งมีชีวิตที่ผลิตออกซิเจนให้แก่สิ่งแวดล้อมอย่างมาก ประมาณกว่า 50 % ของออกซิเจนในน้ำเกิดจากกระบวนการสังเคราะห์แสงของสาหร่าย นอกจากนี้สาหร่ายยังเป็นผู้ผลิต (Producer) และเป็นส่วนหนึ่งของห่วงโซ่อาหารขั้นต้นของสิ่งมีชีวิตในน้ำ โดยเป็นอาหารของตัวอ่อนแมลง กุ้ง หรือปลา เป็นต้น ซึ่งเห็นได้ว่าสิ่งมีชีวิตในท้องทะเล แม่น้ำ ลำคลอง และทะเลสาบทั่วไป จะมีมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับปริมาณจุลสาหร่ายที่อยู่ในแหล่งน้ำนั้นๆ

(2) ประโยชน์ด้านการเกษตร

สาหร่ายสามารถนำมาใช้ในด้านการเกษตรได้หลายด้านด้วยกัน ที่เห็นได้อย่างชัดเจนก็คือสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินหลายชนิดช่วยเพิ่มไนโตรเจนให้กับข้าวในนา โดยได้มาจากสาหร่ายตามธรรมชาติหรือจากแหน ซึ่งเป็นสาหร่ายอีกประเภทหนึ่ง ดินที่มีสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงิน พวก Nostoc ปกคลุมอยู่มากๆ จะพบว่าบริเวณนั้นมีปริมาณสารอินทรีย์และไนโตรเจนสูง สาหร่ายสีแดงและสาหร่ายสีน้ำตาลที่มีขนาดใหญ่เป็นกลุ่มสาหร่ายที่มีประมาณโพแทสเซียมสูง สามารถอุ้มน้ำได้ดี ทำให้ดินชุ่มชื่นอยู่เสมอโดยการไถกลบ ในขณะเดียวกันสาหร่ายพวกคลอรัลไลน์ สามารถนำมาบดใช้แทนหินปูนในการลดค่าความเป็นกรดในดินได้

(3) ประโยชน์ด้านเภสัชกรรม

ปัจจุบันมีการนำเอาสาหร่ายมาใช้เป็นยาหลายประเภท เช่น สาหร่ายสีแดง Digenia simplex นำมาใช้เป็นยาถ่ายพยาธิ และโรคตาลขโมย สารสกัดจากสาหร่ายสีน้ำตาลที่เรียกว่าโซเดียมลามินาริน ซัลเฟต และฟิวคอยดิน นำมาใช้เป็นยาช่วยให้เม็ดเลือดแข็งตัว สาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงิน Spirulina ใช้เป็นอาหารเสริมและยารักษาเบาหวาน สาหร่ายสีเขียว Cladophora และ Microspora หรือที่เรียกว่าสาหร่ายไกมีผลในการบำบัดแผลในกระเพาะอาหาร สารสกัดที่เรียกว่า คลอเรลลิน (Chlorellin) จากจุลสาหร่ายสีเขียว Chlorella มีผลต่อการยับยั้งแบคทีเรีย สามารถนำมาใช้ทำเป็นยาปฏิชีวนะได้ แต่ยังไม่แพร่หลายมากนักเนื่องจากมีค่าใช้จ่ายในการผลิตค่อนข้างสูง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(4) ใช้เป็นผลิตภัณฑ์อาหาร

สาหร่ายที่นำมาใช้เพื่อการบริโภคนั้น ส่วนใหญ่พบว่าเซลล์จะมีการสะสมหรือผลิตสารต่างๆ เช่น เหล็ก โพแทสเซียม แคลเซียม และวิตามินบางชนิดสูง เช่น วิตามินบี 6 และบี 12 สาหร่าย Haematococcus pluvialis สามารถสังเคราะห์เบต้าแคโรทีนและแอสตาแซนทินได้ในปริมาณที่สูง สารดังกล่าวเป็นสารในกลุ่มของแคโรทีนอยส์ที่มีคุณสมบัติเป็นสารต้านอนุมูลอิสระ ในขณะเดียวกัน สาหร่ายหลายๆ กลุ่มมีการสร้างและสะสมสารอาหารไว้ในรูปของไขมันชนิดไม่อิ่มตัว เช่น Docosahexaenoic acid (DHA) และ Eicosapentaenoic acid (EPA) ซึ่งเป็นกรดไขมันที่มีความจำเป็นต่อร่างกาย ปัจจุบันมีการนำสาหร่ายหลายชนิดมาใช้ประโยชน์ในเชิงพาณิชย์อย่างแพร่หลาย

(5) การจัดการด้านสิ่งแวดล้อม

ปัจจุบันได้มีการเพาะเลี้ยงจุลสาหร่ายเพื่อนำมาประยุกต์ใช้ในการจัดการสิ่งแวดล้อมอย่างกว้างขวาง เช่น น้ำเสียจะถูกนำมาผ่านกระบวนการย่อยสลายแบบไร้อากาศเพื่อผลิตก๊าซใช้เป็นพลังงาน ในขณะเดียวกันนั้นคาร์บอนไดออกไซด์ที่เกิดจากกระบวนการเผาไหม้เชื้อเพลิงจะนำมาใช้เพาะเลี้ยงสาหร่ายได้เช่นเดียวกัน ซึ่งเป็นการลดก๊าซเรือนกระจกสู่ชั้นบรรยากาศได้อีกทางหนึ่ง

(6) เชื้อเพลิงชีวภาพ

สาหร่ายขนาดเล็กสามารถนำมาใช้ผลิตเป็นพลังงานได้หลายแนวทาง เช่น การผลิตไฮโดรเจน เอทานอล และที่กำลังได้รับความสนใจในปัจจุบันคือ การผลิตไบโอดีเซลจากน้ำมันสาหร่ายซึ่งขึ้นอยู่กับสายพันธุ์ของจุลสาหร่ายและกรรมวิธีในการเพาะเลี้ยง ซึ่งน้ำมันที่ได้จากจุลสาหร่ายมีองค์ประกอบทางเคมีเป็นไตรกลีเซอไรด์เช่นเดียวกับน้ำมันพืชทั่วไป

2.1.5 การเพาะเลี้ยงสาหร่าย

การเพาะเลี้ยงสาหร่ายมีการแบ่งสภาวะในการเพาะเลี้ยงออกเป็น 3 สภาวะ ได้แก่

(1) การเพาะเลี้ยงแบบออโตโทรฟิค (autotrophic cultivation) เป็นการเพาะเลี้ยงสาหร่ายโดยต้องการใช้แสงและคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) จากธรรมชาติเป็นหลักในการเจริญเติบโต และสังเคราะห์สารชีวมวลต่างๆ

(2) การเพาะเลี้ยงแบบเฮทเทอโรโทรฟิค (heterotrophic cultivation) เป็นการเพาะเลี้ยงโดยใช้สารประกอบอินทรีย์ เช่น กลูโคส ซูโครส หรือกากน้ำตาลเป็นแหล่งคาร์บอน โดยไม่มีความจำเป็นจะต้องใช้แสงในปริมาณมาก

(3) การเพาะเลี้ยงแบบมิกโซโทรฟิค (mixotrophic cultivation) เป็นการเพาะเลี้ยง สาหร่ายโดยใช้สารประกอบอินทรีย์คาร์บอนเป็นแหล่งสารอาหารคาร์บอนไดออกไซด์ และใช้แสง โดยที่แสงที่ใช้อาจเป็นแสงจากธรรมชาติ (แสงอาทิตย์) หรือแสงจากหลอดไฟ ภายในระยะเวลาที่เหมาะสม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ระบบการเพาะเลี้ยงสาหร่าย

การเพาะเลี้ยงสาหร่ายประกอบไปด้วย 2 ระบบ คือ ระบบเปิด (Open Ponds) และระบบปิด (Closed Photobioreactors)

(1) ระบบเปิด (Open Ponds)

เป็นระบบที่มีการใช้กันมานานไม่ซับซ้อน เป็นระบบที่สาหร่ายขนาดเล็กสัมผัสกับบรรยากาศโดยตรงสามารถแบ่งได้อีก 3 ประเภทคือ

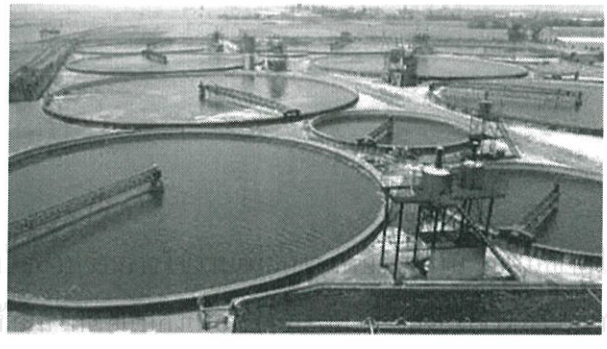
- ระบบเปิดแบบร่องน้ำ (raceway ponds)

สามารถสร้างเป็นบ่อเดี่ยวหรือหลายๆ บ่อต่อกันได้ โดยการต่อร่องน้ำของแต่ละบ่อเข้าด้วยกัน ซึ่งบ่ออาจสร้างจากคอนกรีตหรือพลาสติก ความลึกของร่องน้ำอยู่ที่ประมาณ 15 ถึง 30 เซนติเมตรและมีใบกวน ในการขับเคลื่อนหมุนวนน้ำ ในบางระบบอาจใช้ปั๊มน้ำหรือปั๊มลมก็ได้ แต่ต้องคำนึงถึงเซลล์ของสาหร่ายที่จะต้องได้รับแสงแดดและคาร์บอนไดออกไซด์เป็นสำคัญและการทำงานของระบบควรมีความเร็วในการไหลของน้ำอยู่ที่ประมาณ 10 ถึง 20 เซนติเมตรต่อวินาที แต่อุปสรรคของระบบเปิดแบบร่องน้ำคือสภาพอากาศและการปนเปื้อนของระบบ

รูปที่ 2.3 ระบบเปิดแบบร่องน้ำ

- ระบบเปิดแบบบ่อกลม (circular ponds)

มีลักษณะการออกแบบเหมือนกันกับระบบเปิดแบบร่องน้ำแต่ลักษณะเป็นบ่อเปิดแบบบ่อกลม โดยมีเส้นผ่านศูนย์กลางบ่อเท่ากับ 30, 45 และ 75 เมตร ขึ้นอยู่กับความลึกของบ่อ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวน ห้ามนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 2.4 ระบบเปิดแบบบ่อกลม

- ระบบเปิดแบบไม่กวน (unstirred ponds)

เป็นอีกระบบหนึ่งของระบบเปิด ที่ไม่มีการกวนน้ำ มีความประหยัดและใช้เทคโนโลยีน้อยที่สุด

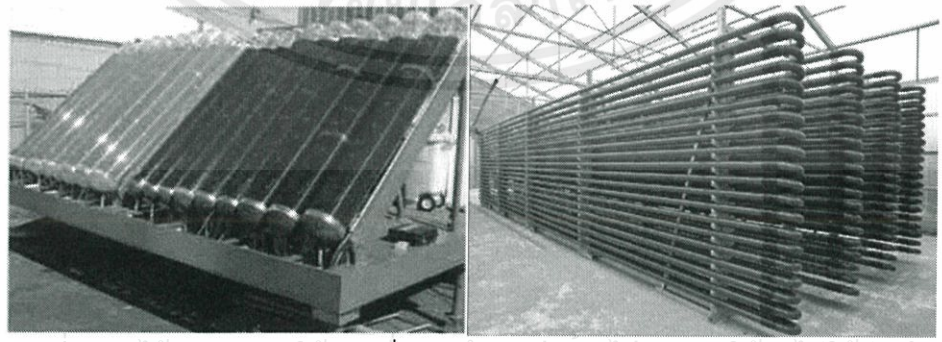
รูปที่ 2.5 ระบบเปิดแบบไม่กวน

(2) ระบบปิด (Closed Photobioreactors)

เป็นระบบที่สาหร่ายไม่สัมผัสกับบรรยากาศโดยมีวัสดุโปร่งใสหรือท่อใส่คลุม โดยท่อมีรูปแบบลักษณะหลากหลายแบบหลากหลายขนาดวัสดุที่ใช้ท่าท่ออาจเป็นพลาสติกหรือแก้ว สามารถแบ่งออกได้อีก 2 ประเภทคือ

- ระบบปิดแบบท่อ (Tubular Photo Bio Reactor.)

เป็นระบบที่มีการเลี้ยงในเชิงพาณิชย์ เพราะง่ายต่อการสร้าง การปรับปรุงและการควบคุม และมีปริมาณพื้นที่ต่อปริมาตรมากให้ผลผลิตในจำนวนมาก ท่อสามารถสร้างได้หลายลักษณะ เช่น ท่อแนวตรง ท่อแนวนอน ท่อแนวราบหรือท่อแนวเอียง มีการรายงานว่าการเพาะเลี้ยงสาหร่ายขนาดเล็กในระบบปิดแบบท่อ ที่ใหญ่ที่สุดในโลกมีลักษณะการสร้างท่อในแนวตั้งเป็นแนวยาวคล้ายรั้ว และอยู่ในโรงเรือน ในเมืองโครสประเทศเยอรมัน ใช้พื้นที่ในการสร้างถึง 10,000 ตารางเมตร มีปริมาตร 700 ลูกบาศก์เมตร สามารถผลิตสาหร่ายได้ถึงปีละ 130 ถึง 150 ตัน (น้ำหลักแห้ง) หรือ สามารถเก็บเกี่ยวสาหร่ายได้ 35 ถึง 41 กรัมต่อตารางเมตรใน 1 วัน

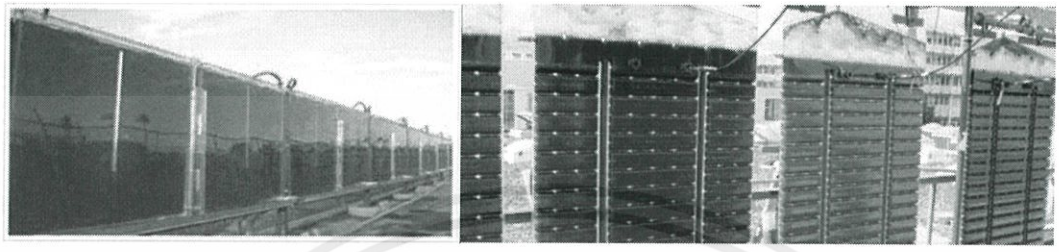


รูปที่ 2.6 ระบบปิดแบบท่อ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- ระบบปิดแบบแผ่น (plate PBRs)

เป็นระบบที่สร้างขึ้นจากแผ่นโปร่งใส่ลักษณะสี่เหลี่ยมที่มีขนาดตั้งแต่ 1 ถึง 30 เซนติเมตร การสร้างแผ่นใสสามารถสร้างได้ทั้งแนวตั้งและแนวเอียง ระบบการเลี้ยงสาหร่ายระบบนี้ สามารถให้ผลผลิตมากกว่า30กรัมต่อตารางเมตรใน 1 วัน

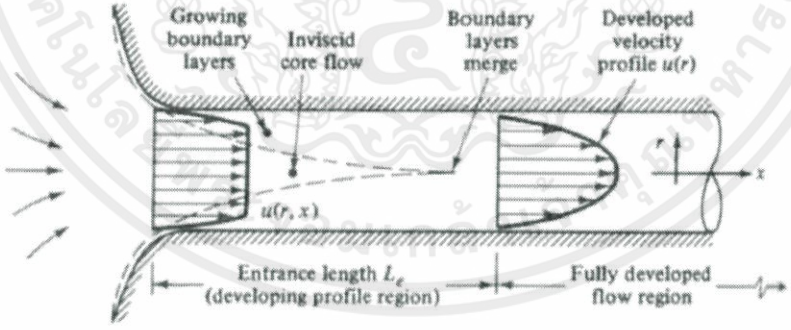


รูปที่ 2.7 ระบบปิดแบบแผ่น

2.2 ทฤษฎีกลศาสตร์ของไหล

2.2.1 การไหลภายในท่อ

จากการทดลองของ Reynolds พบว่า การไหลในท่อจะมีลักษณะการไหลขึ้นอยู่กับกลุ่มตัวแปรไร้มิติ Reynolds number (Re No.) หากค่าของ Re No. ต่ำ Streamline จะมีการเรียงตัวกันอย่างเป็นระเบียบ ซึ่งเรียกการไหลแบบนี้ว่า Laminar flow เมื่อค่า Re No. มีค่าสูง ทำให้ลักษณะของ Stream line มีลักษณะที่ปั่นป่วน ซึ่งเรียกการไหลในช่วงนี้ว่า Turbulent flow



รูปที่ 2.8 การเปลี่ยนแปลง velocity profile

บริเวณปากทางเข้าความเร็วของของไหลจะมีลักษณะ uniform มีความเร็ว u_0 เนื่องจากของไหลมีความหนืดทำให้เกิดแรงเสียดทานที่ผนังท่อ ดังนั้นของเหลวที่ติดกับผนังท่อจะมีความเร็วเป็นศูนย์และผลของแรงเสียดทานทำให้การกระจายของความเร็วตามแนวหน้าตัดของท่อเปลี่ยนรูปไปจากที่เป็นอยู่ที่ปากทางเข้าแนวเส้นที่แสดงรอยต่อระหว่าง velocity profile ที่เป็นเส้นตรงและเส้นโค้งเรียกว่า boundary layer จากรูปจะเห็นว่าความหนาของ boundary layer จะเพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ จนกระทั่งถึงระยะหนึ่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งไม่อนุญาตให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารนี้ทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความหนาของ boundary layer มีค่า = $\frac{D}{2}$ จุดนี้จะเป็นจุดเริ่มต้นการเกิด fully developed velocity profile (การกระจายความเร็ว เกิดการเปลี่ยนแปลงเต็มรูปแบบ) เลยจากจุดนี้ไปแล้ว การกระจายของความเร็ว (velocity profile) จะเหมือนกันตลอด ความเร็วเฉลี่ยที่หน้าตัดใดๆ ของท่อ มีค่าคงที่ และคำนวณได้จาก

$$\bar{V} = \frac{1}{A}\int_{arca} udA = U_0$$

ความยาวของ entrance length ขึ้นอยู่กับลักษณะการไหลในกรณี Laminar flow ซึ่งความยาว entrance length หาได้จาก

$$\frac{L}{D} = 0.06\frac{\rho\bar{V}D}{\mu}$$

ในกรณีการเกิด Turbulent flow ความยาว entrance length จะอยู่ในช่วงประมาณ 25 – 40 เท่า ของเส้นผ่านศูนย์กลางของท่อ

ซึ่งการไหลแบบ Turbulent flow จะทำให้เกิดการหมุนเวียนของจุลสาหร่ายได้อย่างทั่วถึง มีผลต่อการสังเคราะห์แสงของจุลสาหร่ายได้ดีขึ้น เพราะฉะนั้นการไหลแบบ Turbulent flow จึงเหมาะสำหรับการนำมาเพาะเลี้ยงจุลสาหร่ายมากกว่าการไหลแบบ Laminar flow

2.2.2 การสูญเสียจากการไหลในท่อ

การเปลี่ยนแปลงความดันมีอิทธิพลต่อการไหลในท่อมาก การเปลี่ยนแปลงความดันอาจเกิดจากการเปลี่ยนแปลงขนาดพื้นที่หน้าตัดของท่อ ความเร็วของของไหลในท่อและแรงเสียดทาน การสูญเสียความดัน (Pressure Losses) เป็นปัจจัยหลักที่ทำให้ความดันในท่อเกิดการเปลี่ยนแปลง การสูญเสียความดันสามารถแบ่งได้ 2 ประเภท

(1) Major Losses (h_1) เกิดขึ้นเนื่องจากแรงเสียดทานภายในท่อ

• การไหลแบบราบเรียบ (Laminar Flow)

ในกรณีการไหลแบบราบเรียบ การสูญเสียเนื่องจากความดันเขียนได้ดังสมการ

$$h_l = (\frac{64}{Re})(\frac{L}{D})(\frac{V^2}{2g})$$

• การไหลแบบปั่นป่วน (Turbulent Flow)

ในกรณีการไหลแบบปั่นป่วน การสูญเสียเนื่องจากความดันเขียนได้ดังสมการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$h_l = (f)\left(\frac{L}{D}\right)\left(\frac{V^2}{2g}\right)$$

ค่า f หาได้จาก Moody Chart

(2) Minor Losses (h_m) เกิดจากการที่ของไหลไหลผ่านสิ่งกีดขวางต่างๆ ตัวอย่างเช่น Gate Valve, Elbow ท่อที่มีพื้นที่หน้าตัดไม่คงที่และทางแยกต่างๆ Minor Losses คำนวณได้จากสมการ

$$h_m = \frac{\sum kV^2}{2g} = (f)\left(\frac{L}{D}\right)\left(\frac{V^2}{2g}\right)$$

โดยที่ k คือ loss coefficient

L_e คือ ความยาวเทียบเท่าของท่อที่ทำให้เกิดการสูญเสียความดันเท่ากับสิ่งกีดขวางนั้น (equivalent length)

2.3 วรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง (Literature review)

2.3.1 สาหร่ายต้องการน้ำ แสงแดด และคาร์บอนไดออกไซด์เพื่อใช้ในการเจริญเติบโตเหมือนพืชชนิดอื่นๆ สาหร่ายสามารถโตได้ดีในพื้นที่ที่มีอากาศร้อนและมีแสงแดดมาก ดังนั้นประเทศไทยจึงเหมาะต่อการเลี้ยงสาหร่าย การเลี้ยงสาหร่ายสามารถแบ่งได้เป็น 2 ประเภทคือ การเพาะเลี้ยงในระบบเปิดและระบบปิด

(1) การเพาะเลี้ยงในระบบเปิด (open-system) เป็นวิธีการเลี้ยงสาหร่ายแบบธรรมชาติ เช่น เลี้ยงในบ่อน้ำ คลอง และชายทะเล เป็นต้น แต่การเลี้ยงสาหร่ายโดยวิธีนี้ยากต่อการดูแล ทั้งในเรื่องการปนเปื้อนของบ่อน้ำ เช่นแบคทีเรีย ที่มีผลกระทบต่อการเติบโตของสาหร่าย และ การควบคุมอุณหภูมิที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของสาหร่าย

(2) *การเพาะเลี้ยงในระบบปิด (closed-system bioreactor plants)* เป็นการเพาะเลี้ยงที่มีการวิจัยและพัฒนามากเพราะการเพาะเลี้ยงวิธีนี้สามารถควบคุม อุณหภูมิ และสิ่งปนเปื้อนได้ง่าย อีกทั้งยังสามารถพัฒนาและออกแบบให้อยู่ในช่วงที่สาหร่ายสามารถเจริญเติบโตได้ดีที่สุด นอกจากนี้การเพาะเลี้ยงระบบปิดสามารถตั้งใกล้กับโรงงานที่ปล่อยแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ เพื่อนำแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์มาใช้ในกระบวนการสังเคราะห์แสงของสาหร่าย

สาหร่ายใช้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และพลังงานจากดวงอาทิตย์ในการสังเคราะห์แสงเพื่อให้ได้สสารทางชีวภาพเหมือนกับพืชชนิดอื่น แต่สาหร่ายให้พลังงานมากกว่า 6 – 12 เท่า ส่วนของสาหร่ายที่ให้พลังงานมากที่สุดคือส่วนที่สาหร่ายเก็บน้ำไว้ใช้ในการเจริญเติบโต สาหร่ายไม่ต้องสร้างเซลลูโลสหรือลิกนินเหมือนกับสารที่ได้จากพืชอื่นทั่วๆไป ไม่เหมือนพืชพลังงานอื่นๆที่ต้องมีการขบวนการแปรรูปแตกตัวของสสาร เช่น ไม้หรือหญ้าให้กลายเป็นเชื้อเพลิงเหลวก่อน ภายในเซลล์ของสาหร่ายนั้นจะประกอบไปด้วยสารอินทรีย์จำพวกไขมัน (lipid) ที่มีลักษณะคล้ายน้ำมันพืชอยู่ประมาณ 50% ขึ้นอยู่กับสายพันธุ์และสภาวะการเจริญเติบโต ส่วนที่เหลือจะเป็นแป้งและน้ำตาลสาหร่ายสามารถเจริญเติบโตหลายที่และ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งไม่อนุญาตให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ใช้น้ำเพียงเล็กน้อย ซึ่งกลุ่มผู้ปลูกสาหร่ายสามารถปลูกสาหร่ายได้มากด้วยการใช้น้ำที่มีอุดมไปด้วยสารอาหาร แม้ว่าหลายๆบริษัทยังคงพยายามที่จะการผลิตเชื้อเพลิงจากสัตว์หรืออีเทอร์นอล แต่ด้วยสาเหตุที่ว่าสาหร่ายมีปริมาณน้ำมันมาก การผลิตไบโอดีเซลจากสาหร่ายจึงยังเป็นที่น่าสนใจในการทำงานวิจัยและพัฒนาเพื่อให้ได้ผลผลิตสูงสุด

2.3.2 สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย (วว.) ได้พัฒนาเทคนิคคัดเลือกสายพันธุ์สาหร่ายน้ำมันแบบรวดเร็ว และพบว่ามีสาหร่ายกว่า 40 สายพันธุ์ที่พร้อมนำไปพัฒนาและสกัดเป็นไบโอดีเซล สถาบัน ฯ มีคลังสาหร่ายขนาดใหญ่ติดอันดับ 1 ใน 3 ของเอเชียรองจากประเทศญี่ปุ่นและจีน โดยเก็บรักษาสายพันธุ์ที่แยกจากระบบนิเวศต่างๆ ของประเทศไทยกว่า 1,000 สายพันธุ์ และมีระบบการเพาะเลี้ยงสาหร่ายระดับขยายกลางแจ้งต้นแบบ ตั้งแต่ขนาด 100 – 10,000 ลิตร โดยการเพาะเลี้ยงสาหร่ายในบ่อขยายกลางแจ้งใช้เวลาเพียง 14 วันเท่านั้น สำหรับเรื่องความเป็นไปได้เชิงพาณิชย์ หากสาหร่ายมีผลผลิตในปริมาณ 30 กรัมต่อตารางเมตรต่อวัน และมีปริมาณน้ำมันประมาณ 40 เปอร์เซ็นต์ สามารถคิดเป็นผลผลิตน้ำมันสาหร่ายประมาณ 6 ตันน้ำมันต่อไร่ต่อปี ซึ่งเบื้องต้นมีการประเมินต้นทุนการผลิตมวลสาหร่าย อยู่ที่ประมาณ 200 บาทต่อกิโลกรัมน้ำหนักแห้ง โดยมีปริมาณน้ำมันที่ 20 – 30 เปอร์เซ็นต์ ของสาหร่ายแห้ง ซึ่งยังคงเป็นต้นทุนที่สูงอยู่

แม้ว่าน้ำมันไบโอดีเซลที่ได้มาจากการสกัดออกมาจากสาหร่ายจะมีราคาสูงเมื่อเทียบกับน้ำมันปิโตรเลียม แต่น้ำมันไบโอดีเซลจากสาหร่ายเป็นวัตถุดิบจากธรรมชาติ สามารถเพาะเลี้ยงและนำมาผลิตเป็นน้ำมันได้ตลอดเวลา จึงถือว่าการผลิตไบโอดีเซลจากสาหร่ายนั้นเป็นการได้มาซึ่งแหล่งพลังงานทางชีวมวลที่ยั่งยืน (Sustainable source of fuel)

2.3.3 ความก้าวหน้าในงานวิศวกรรมจุลสาหร่ายและการประยุกต์ใช้ชีววิทยาสังเคราะห์สำหรับการผลิตเชื้อเพลิงชีวภาพ

ท่ามกลางเทคโนโลยีที่มีการตรวจสอบการผลิตเชื้อเพลิงทดแทน, จุลสาหร่ายจะถูกจับตามองจากนักวิทยาศาสตร์หลายคนที่มีศักยภาพมากที่สุดในเชิงเศรษฐกิจ สาหร่ายมี ความสามารถในการผลิตมากกว่า 50,000 กก./ไร่/ปีของชีวมวล นอกจากนี้ตามธรรมชาติของสาหร่ายส่วนใหญ่จะสะสมน้ำมันพลังงานสูงที่สามารถแปลงเป็นเชื้อเพลิงให้ขนส่งได้อย่างง่ายดาย ยังคงมีหลายๆ ความท้าทายในการเข้าถึงความเท่าเทียมกันทางเศรษฐกิจกับเชื้อเพลิงฟอสซิล รวมถึงการวางแผนป้องกันในการเก็บเกี่ยวผลผลิต การปรับปรุงการเก็บเกี่ยวและกระบวนการ การสกัดน้ำมัน และเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตชีวมวลและปริมาณน้ำมัน ทั้งหมดของความท้าทายเหล่านี้สามารถแก้ไขได้โดยทางพันธุกรรม, โมเลกุลและท้ายที่สุดเทคนิคชีววิทยาสังเคราะห์และเทคโนโลยีเหล่านี้มีการใช้งานเพื่อให้สามารถใช้เชื้อเพลิงสาหร่ายชีวภาพ เพื่อให้กลายเป็นเศรษฐกิจที่มีการแข่งขันกับเชื้อเพลิงฟอสซิลได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ ไม่ว่ากรณีใดๆ ไม่ว่าจะเป็นการดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารนี้ทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.4 สาหร่ายนั้นจะสามารถทำการเก็บเกี่ยวผลผลิตได้ในช่วงระยะเวลาที่แตกต่างกัน ซึ่งจะมีความเกี่ยวข้องกับการแปรผันของอัตราการไหล สำหรับการเพาะเลี้ยงอย่างต่อเนื่องนั้น เชื้อจุลินทรีย์ควรจะมีความหนาแน่นของมวลชีวภาพอย่างเพียงพอ เพื่อที่จะสามารถรักษาความหนาแน่นของการ

เพาะเชื้อจุลสาหร่ายให้อยู่ในสภาวะคงตัว โดยทั่วไปอัตราการไหลที่เร็วขึ้นนำไปสู่ประสิทธิภาพในการเจริญเติบโตที่ลดลง แต่ในทางกลับกัน สำหรับสายพันธุ์สาหร่ายที่นำมาทดสอบความหนาแน่น สามารถแสดงให้เห็นว่าประสิทธิภาพของการเจริญเติบโตจะเพิ่มขึ้นประมาณ 28% สร้างผลผลิตที่มีประสิทธิภาพสูงสุดสำหรับกระบวนการเพาะเลี้ยง ค่าใช้จ่ายในการเก็บเกี่ยวจะลดลง มีความหนาแน่นของมวลเชื้อจุลสาหร่ายที่เพิ่มขึ้น และปริมาณน้ำมันที่ได้จากสาหร่ายก็เพิ่มขึ้น

2.3.5 ปัจจัยในการคัดเลือกสาหร่ายปริมาณน้ำมันสูงสำหรับการผลิตไบโอดีเซล

pH, อากาศ และคาร์บอนไดออกไซด์

pH สามารถตรวจสอบค่าการละลายและความพร้อมของ CO_2 และแร่ธาตุในการเพาะเลี้ยง และมีผลกระทบโดยตรงหรือโดยอ้อมต่อ metabolism ของสาหร่าย สาหร่ายขนาดเล็กมีความต้องการค่า pH ในการเจริญเติบโตที่แตกต่างกัน

ถึงแม้ว่าความเข้มข้นของ CO_2 สูงขึ้นจะนำไปสู่ผลผลิตมวลชีวภาพสูงกว่า แต่มันทำให้ค่าของ pH ต่ำ เกิดภาวการณ์เป็นกรด และเพิ่มโอกาสการปนเปื้อนของสาหร่าย

ขั้นตอนแรกที่สำคัญสำหรับความพยายามที่จะประสบความสำเร็จในการเพาะจุลสาหร่ายคือการวิเคราะห์ปัจจัยทางกายภาพและเคมีที่จำกัดการเจริญเติบโต อุณหภูมิและแสงได้ถูกพบว่าเป็นปัจจัยที่สำคัญที่สุดในการเพาะเลี้ยงจุลสาหร่าย

อุณหภูมิ

อุณหภูมิไม่ได้เป็นปัจจัยเดียวที่มีผลต่ออัตราการเจริญเติบโตและการอยู่รอดของแพลงก์ตอนพืช อย่างไรก็ตามอุณหภูมิเป็นหนึ่งในปัจจัยหลักที่ควบคุมเซลล์, ลักษณะทางสัณฐานวิทยาและการตอบสนองทางสรีรวิทยาในสาหร่าย ช่วงอุณหภูมิในการเจริญเติบโตของสายพันธุ์ที่เลือกทั้งหมดอยู่ระหว่าง 15 – 26 องศาเซลเซียส ผลการทดลองพบว่าความหนาแน่นสูงสุดของเซลล์มีที่ 23 องศาเซลเซียส มีค่าสูงกว่า 18 องศาเซลเซียส

ความปั่นป่วน

ประสิทธิภาพและการเพาะเลี้ยงที่มีผลผลิตสูงของจุลสาหร่ายต้องการให้สาหร่ายถูกผสมเพื่อรักษาพวกมันสำหรับความพร้อมในการระงับแสงที่เหมาะสมและเพื่อลดชั้นที่ไม่กวนรอบเซลล์ เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการแลกเปลี่ยนก๊าซและสารอาหารที่มี การผสมยังสร้างความปั่นป่วน ในสถานะอุทกพลศาสตร์ของ photobioreactor ที่มีอิทธิพลโดยตรงต่อประสิทธิภาพของการเพาะเลี้ยงจุลินทรีย์ ผลผลิตของสาหร่ายขนาดเล็กบางส่วนต้องเพิ่มความปั่นป่วน เนื่องจากการเพิ่มระดับอุปทานของสารอาหารไปยังเซลล์ ในขณะที่ผลผลิตเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วจึงต้องเพิ่มความปั่นป่วนขึ้นซึ่งผลลัพธ์ในเซลล์อาจจะทำให้เกิดความเสียหาย

2.3.6 การเพาะเลี้ยงจุลสาหร่ายสำหรับเชื้อเพลิงชีวภาพ : ต้นทุน, สมดุลของพลังงาน, ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมและแนวโน้มในอนาคต

สามด้านของการผลิตจุลสาหร่ายที่จะมีอิทธิพลอย่างยิ่งต่อความยั่งยืนของการผลิตสาหร่ายเชื้อเพลิงชีวภาพในอนาคต : สมดุลพลังงานและคาร์บอน, ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมและต้นทุนการผลิต สมดุลของพลังงานในเชิงบวกจะต้องมีความก้าวหน้าทางเทคโนโลยี และระบบการผลิตที่มีประสิทธิภาพสูง การลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมและในการบริหารจัดการน้ำ นำเสนอทั้งความท้าทายและโอกาส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเอกสารนี้ทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หลายอย่างสามารถแก้ไขได้ในระดับท้องถิ่น ต้องมีการปรับปรุงการประมาณค่าใช้จ่ายและจะต้องใช้ข้อมูลเชิงประจักษ์ในการปฏิบัติงานของระบบที่ออกแบบมาโดยเฉพาะเพื่อผลิตเชื้อเพลิงชีวภาพ ปัจจัยความหลากหลายของสายพันธุ์สาหร่ายมันมีแนวโน้มสูงว่าการใช้ประโยชน์และผลิตภัณฑ์ใหม่จะถูกพบตามประสบการณ์กับการเพาะเลี้ยงสาหร่ายเพิ่มขึ้นก็อาจจะพบว่าการผลิตเชื้อเพลิงชีวภาพจะมีบทบาทสำคัญในอนาคต

2.3.7 วิธีการผลิตมวลในจุลสาหร่าย

การเจริญเติบโตของสาหร่ายขนาดเล็กจะได้รับผลกระทบจากหลายปัจจัย เช่น ปัจจัยสิ่งมีชีวิต (เช่น แสง, อุณหภูมิ, ปริมาณสารอาหาร, ปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำ, ความเข้มข้นของ CO_2, pH, ความเค็ม และสารเคมีที่เป็นพิษในการเจริญเติบโต), ปัจจัยทางชีวภาพ (เช่น เชื้อแบคทีเรีย, เชื้อรา, เชื้อไวรัส และการแข่งขันจากสาหร่ายอื่น ๆ) และปัจจัยในปฏิบัติการ (เช่น แรงเฉือนที่เกิดจากการผสม, อัตราการเจือจางและวิธีการเก็บเกี่ยวและความถี่)

ระบบเปิด

ระบบเปิดเป็นระบบที่เก่าแก่ที่สุดและง่ายที่สุดในระบบการเลี้ยงสาหร่าย ซึ่งสาหร่ายจะถูกเพาะภายใต้สภาพแวดล้อมภายนอก

1. ร่องน้ำ

ร่องน้ำมักสร้างทางเดี่ยวหรือกลุ่มช่องทาง สร้างโดยการรวมร่องน้ำเข้าด้วยกัน ช่องทางอาจจะสร้างขึ้นจากคอนกรีตหรือบุด้วยพลาสติก ความลึกของร่องน้ำอยู่ระหว่าง 15 และ 30 ซม. และ paddlewheel มักใช้เพื่อขับน้ำอย่างต่อเนื่องรอบวงจร

2. บ่อวงกลม

บ่อวงกลมโดยทั่วไปมีเส้นผ่าศูนย์กลาง 45 เมตร และมีความลึก 30 – 70 ซม. กับ Pivoted agitator อยู่ตรงกลางของความลึก

3. บ่อไม่กวน

บ่อไม่กวนเป็นเทคนิคของวิธีการเลี้ยงที่ประหยัดที่สุด บ่อไม่กวนแบบเปิดที่มีขนาดใหญ่มากคือทะเลสาบธรรมชาติหรือสร้างขึ้นจากบ่อธรรมชาติที่ก้นบ่อเปิดและมักจะมีความลึกน้อยกว่า 50 เซนติเมตร

ระบบปิด PBR

Photobioreactors เป็นระบบที่ไม่ได้สัมผัสกับบรรยากาศโดยตรง จุลสาหร่ายจะไหลในท่อโปร่งใส หรือบรรจุอยู่ภายในท่อใส

1. ท่อ PBRs

ท่อ PBRs มักใช้สาหร่ายในเชิงพาณิชย์เพาะเพราะความสะดวกในการก่อสร้าง ปรับปรุงการควบคุมการถ่ายโอนก๊าซขนาดใหญ่พื้นที่ผิวต่อปริมาตร และค่อนข้างดีต่อประสิทธิภาพการผลิตเพิ่มขึ้น ท่อสามารถจัดในรูปแบบต่าง ๆ ได้คือแนวตั้ง, แนวนอน, เอียง หรือลาน

2. จาน (จอแบน) PBRs

จาน PBRs ประกอบด้วยภาชนะใสทรงสี่เหลี่ยม ซึ่งเส้นทางแสงปกติอยู่ระหว่าง 1 และ 30 ซม. ซึ่ง PBR ประเภทนี้มักจะเอียงหรือเป็นแนวตั้ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

วิธีการดำเนินงาน

การพัฒนากระบวนการเพื่อขยายปริมาณจุลสาหร่ายในการผลิตน้ำมันเชื้อเพลิงชีวภาพ มีการดำเนินงานดังนี้

3.1 การออกแบบเครื่องเพาะเลี้ยงจุลสาหร่าย

3.2 การเตรียมวัสดุและอุปกรณ์

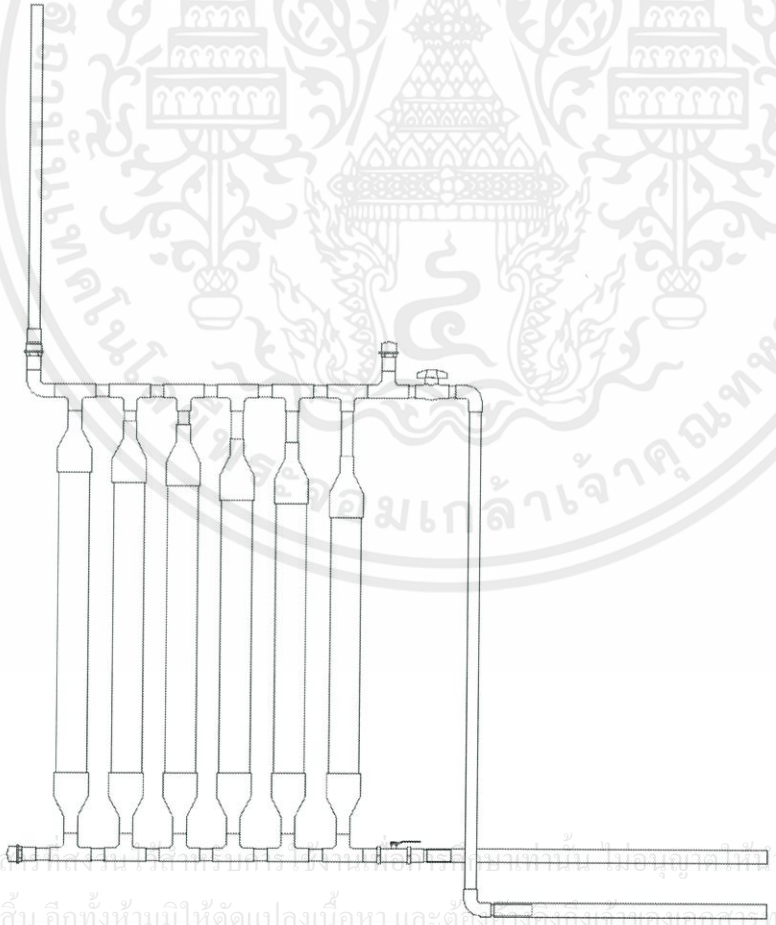
3.3 การสร้างระบบเพาะเลี้ยงจุลสาหร่าย

3.4 การขอจุลสาหร่ายและอาหาร

3.5 การเพาะเลี้ยงจุลสาหร่าย

3.1 การออกแบบเครื่องเพาะเลี้ยงจุลสาหร่าย

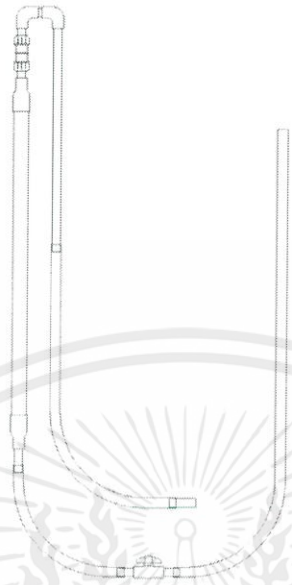
3.1.1 การออกแบบเครื่องเพาะเลี้ยงจุลสาหร่ายแบบท่อใหญ่ในโรงเรือน



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

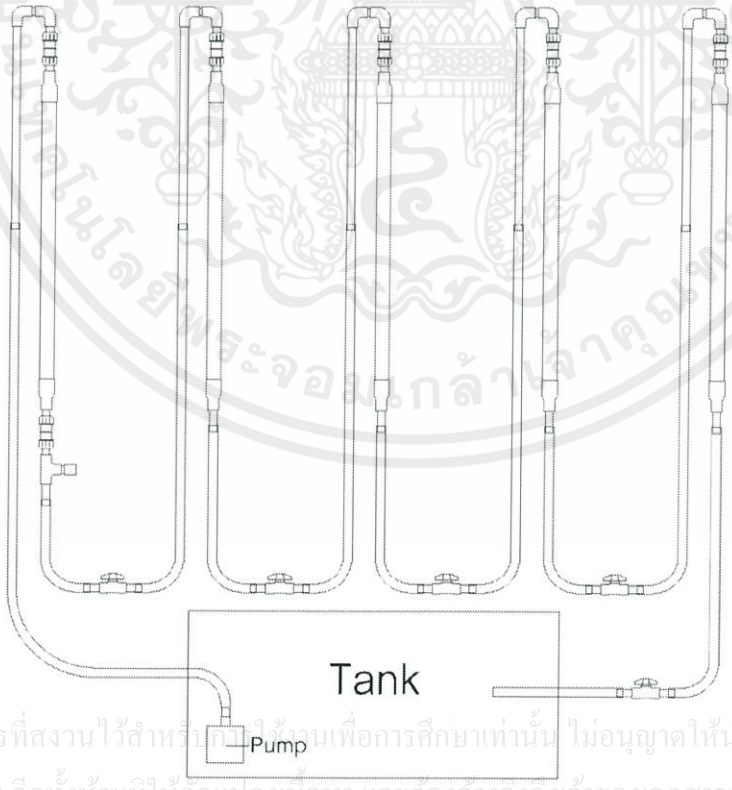
รูปที่ 3.1 การออกแบบเครื่องเพาะเลี้ยงจุลสาหร่ายแบบท่อใหญ่ในโรงเรือน

3.1.2 การออกแบบเครื่องเพาะเลี้ยงจุลสาหร่ายแบบ Stand alone



รูปที่ 3.2 การออกแบบเครื่องเพาะเลี้ยงจุลสาหร่ายแบบ Stand alone

3.1.3 การออกแบบเครื่องเพาะเลี้ยงจุลสาหร่ายแบบ Continuous flow



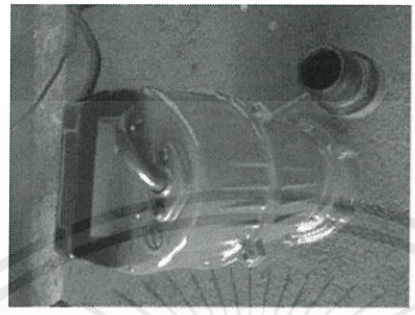
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 3.3 การออกแบบเครื่องเพาะเลี้ยงจุลสาหร่ายแบบ Continuous flow

3.2 การเตรียมวัสดุ เครื่องมือและอุปกรณ์

3.2.1 วัสดุและอุปกรณ์ในการสร้างระบบเพาะเลี้ยงจุลสาหร่ายแบบท่อใหญ่ในโรงเรือน

(1) ปั๊มน้ำ ขนาดกำลัง 150 Watt จำนวน 1 เครื่อง

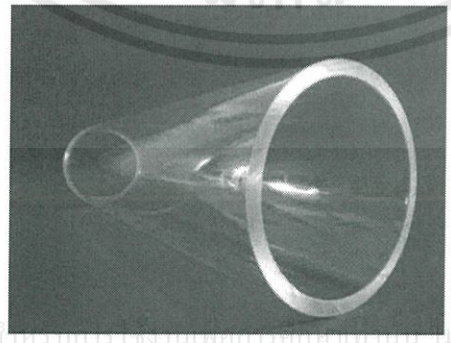


รูปที่ 3.4 ปั๊มน้ำ

(2) สายยาง ขนาด 1" ความยาว 28 เมตร จำนวน 1 เส้น

รูปที่ 3.5 สายยาง ขนาด 1"

(3) ท่ออะคริลิคใส ขนาด 3 นิ้ว จำนวน 6 ท่อ



รูปที่ 3.6 ท่ออะคริลิคใส ขนาด 3 นิ้ว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(4) ท่อ PVC ขนาด 1 นิ้ว ความยาว 4 เมตร จำนวน 4 ท่อ

รูปที่ 3.7 ท่อ PVC ขนาด 1 นิ้ว

(5) ข้อต่อลด PVC ขนาด 3" x 1" จำนวน 12 ตัว

(6) ข้อต่อ PVC งอ 90 องศา ขนาด 1" จำนวน 3 ตัว

(7) ข้อต่อ PVC สามทาง ขนาด 1" จำนวน 14 ตัว

(8) ข้อต่อเกลียวนอกกับฝาครอบเกลียว PVC ขนาด 1" จำนวน 3 ตัว

รูปที่ 3.8 ข้อต่อเกลียวนอกกับฝาครอบเกลียว PVC ขนาด 1"

(9) ข้อต่อเกลียวใน PVC ขนาด 1" จำนวน 1 ตัว

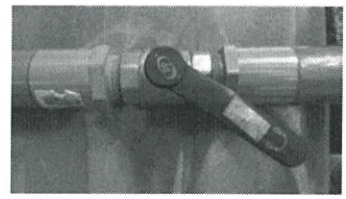
รูปที่ 3.9 ข้อต่อเกลียวใน PVC ขนาด 1"

(10) วาล์ว PVC ขนาด 1" จำนวน 2 ตัว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

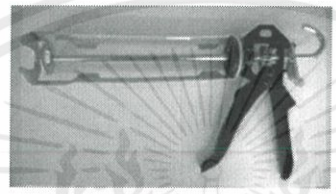
รูปที่ 3.10 วาล์ว PVC ขนาด 1"

(11) วาล์วเหล็ก ขนาด 1” จำนวน 1 ตัว



รูปที่ 3.11 วาล์วเหล็ก ขนาด 1”

(12) ปืนยิงซิลิโคน จำนวน 1 กระบอก



รูปที่ 3.12 ปืนยิงซิลิโคน

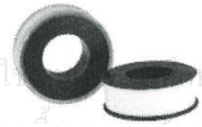
(13) ซิลิโคน จำนวน 2 แท่ง

รูปที่ 3.13 ซิลิโคน

(14) น้ำยาประสานท่อ PVC (125 g.) จำนวน 2 หลอด

รูปที่ 3.14 น้ำยาประสานท่อ PVC (125 g.)

(15) เทปพันเกลียว จำนวน 3 ม้วน



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 3.15 เทปพันเกลียว

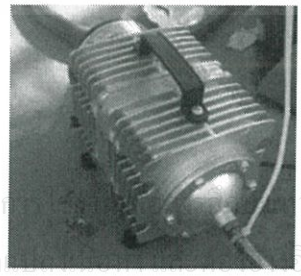
(16) เข็มขัดรัดท่อ จำนวน 6 อัน

รูปที่ 3.16 เข็มขัดรัดท่อ

(17) โครงเหล็กพร้อมท่อ Acrylic ขนาด 3 นิ้ว จำนวน 1 ชุด

รูปที่ 3.17 โครงเหล็กพร้อมท่อ Acrylic ขนาด 3 นิ้ว

(18) ปั๊มลม ยี่ห้อ HAILEA รุ่น ACO-009 จำนวน 1 เครื่อง ปั๊มลมได้ 110 ลิตรต่อนาที



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับ[illegible]นั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัด[illegible]ถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 3.18 ปั๊มลม

3.2.2 วัสดุและอุปกรณ์ในการสร้างระบบเพาะเลี้ยงจุลสาหร่ายแบบ Stand alone

(1) ปั๊มน้ำขนาดกลาง

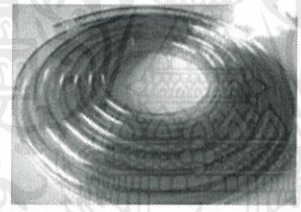
(a) ปั๊มน้ำขนาดกลาง ยี่ห้อ Sonic รุ่น AP3500 จำนวน 1 เครื่อง สามารถปั๊มน้ำได้ 2800 ลิตรต่อชั่วโมง ใช้กำลังไฟ 60 วัตต์ ปั๊มน้ำได้สูง 2.8 เมตร

(b) ปั๊มน้ำขนาดกลาง ยี่ห้อ LifeTech รุ่น AP2500 จำนวน 4 เครื่อง สามารถปั๊มน้ำได้ 2000 ลิตรต่อชั่วโมง ใช้กำลังไฟ 30-32 วัตต์ ปั๊มน้ำได้สูง 2 เมตร

(a) (b)

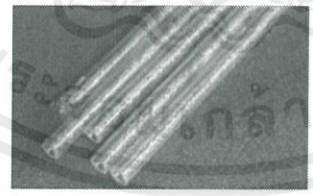
รูปที่ 3.19 ปั๊มน้ำขนาดกลาง

(2) สายยาง ขนาด 6 หุน ความยาว 15 เมตร จำนวน 1 เส้น



รูปที่ 3.20 สายยาง ขนาด 6 หุน

(3) ท่ออะคริลิคใส ขนาด 1 ½" ความยาว 1 เมตร จำนวน 5 ท่อ



รูปที่ 3.21 ท่ออะคริลิคขนาด 1 ½"

(4) ท่อ PVC ขนาด 6 หุน ความยาว 4 เมตร จำนวน 4 ท่อ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการ[illegible]ทำนั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 3.22 ท่อ PVC ขนาด 6 หุน

(5) ข้อต่อลด PVC 1 ½" x ¾" จำนวน 10 ตัว

(6) ข้อต่อ PVC งอ 90 องศา ขนาด 6 หุน จำนวน 10 ตัว

(7) ข้อต่อ PVC สามทาง ขนาด 6 หุน จำนวน 1 ตัว

(8) ข้อต่อ Union ขนาด 6 หุน จำนวน 6 ตัว

รูปที่ 3.23 ข้อต่อ Union ขนาด 6 หุน

(9) ฝาครอบ ขนาด 6 หุน จำนวน 1 ตัว

(10) วาล์ว PVC ขนาด 6 หุน จำนวน 5 ตัว

(12) น้ำยาประสานท่อ PVC (125 g.) จำนวน 1 หลอด

(13) Cable-tie จำนวน 1 ถุง

(14) ถังน้ำพร้อมฝาปิด ขนาด 20 แกลลอน จำนวน 5 ใบ

(15) หลอดไฟ จำนวน 6 หลอด

(16) โครงแบบ Stand alone จำนวน 5 ชุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 3.24 โครงแบบ Stand alone

(15) ปั๊มลม ยี่ห้อ HAILEA รุ่น ACO-009 จำนวน 1 เครื่อง ปั๊มลมได้ 110 ลิตรต่อนาที

3.2.3 วัสดุและอุปกรณ์ในการสร้างระบบเพาะเลี้ยงจุลสาหร่ายแบบ Continuous flow

(1) ปั๊มน้ำขนาดกลาง ยี่ห้อ Sonic รุ่น AP3500 จำนวน 1 เครื่อง สามารถปั๊มน้ำได้ 2800 ลิตรต่อชั่วโมง ใช้กำลังไฟ 60 วัตต์ ปั๊มน้ำได้สูง 2.8 เมตร

(2) สายยาง ขนาด 6 หุน ความยาว 15 เมตร จำนวน 1 เส้น

(3) ท่ออะคริลิคใส ขนาด 1 ½" ความยาว 1 เมตร จำนวน 5 ท่อ

(4) ท่อ PVC ขนาด 6 หุน ความยาว 4 เมตร จำนวน 4 ท่อ

(5) ข้อต่อลด PVC 1 ½" x ¾" จำนวน 10 ตัว

(6) ข้อต่อ PVC งอ 90 องศา ขนาด 6 หุน จำนวน 10 ตัว

(7) ข้อต่อ PVC สามทาง ขนาด 6 หุน จำนวน 1 ตัว

(8) ข้อต่อ Union ขนาด 6 หุน จำนวน 6 ตัว

(9) ฝาครอบ ขนาด 6 หุน จำนวน 1 ตัว

(10) วาล์ว PVC ขนาด 6 หุน จำนวน 5 ตัว

(11) น้ำยาประสานท่อ PVC (125 g.) จำนวน 1 หลอด

(12) Cable-tie จำนวน 1 ถุง

(13) ถังน้ำ จำนวน 1 ใบ

รูปที่ 3.25 ถังน้ำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งไม่อนุญาตให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(15) ปั๊มลม ยี่ห้อ HAILEA รุ่น ACO-009 จำนวน 1 เครื่อง ปั๊มลมได้ 110 ลิตรต่อนาที

3.3 การสร้างระบบเพาะเลี้ยงจุลสาหร่าย

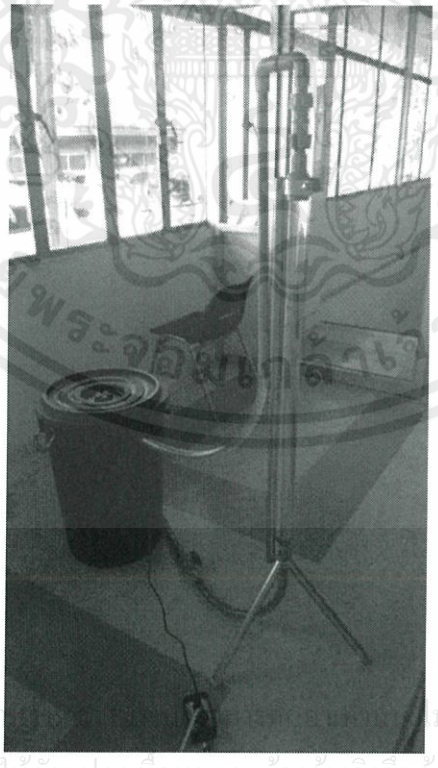
3.3.1 การสร้างระบบเพาะเลี้ยงจุลสาหร่ายแบบท่อใหญ่ในโรงเรือน

รูปที่ 3.26 ระบบเพาะเลี้ยงจุลสาหร่ายแบบท่อใหญ่ในโรงเรือน

เอกสารนี้เป็น[illegible]ใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด[illegible]ที่มีการนำไปใช้

3.3.2 การสร้างระบบเพาะเลี้ยงจุลสาหร่ายแบบ Stand alone

รูปที่ 3.27 ระบบเพาะเลี้ยงจุลสาหร่ายต้นแบบแบบ Stand alone



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำ ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 3.28 ระบบเพาะเลี้ยงจุลสาหร่ายแบบ Stand alone

3.3.3 การสร้างระบบเพาะเลี้ยงจุลสาหร่ายแบบ Continuous flow

รูปที่ 3.29 ระบบเพาะเลี้ยงจุลสาหร่ายแบบ Continuous flow

เอกสารนี้เป็นเอกสารสงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4 การเตรียมวัสดุ

3.4.1 การดำเนินการขอการสนับสนุนหัวเชื้อจุลสาหร่าย

ดำเนินการทำหนังสือเพื่อขอการสนับสนุนหัวเชื้อจุลสาหร่ายสายพันธุ์ซีนเดสมัส (Scenedesmus) จากคณะเทคโนโลยีการเกษตร สาขาวิทยาศาสตร์การประมง สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ขอจุลสาหร่ายปริมาตร 40 ลิตร

3.4.2 การดำเนินการขอการสนับสนุนอาหารสำหรับใช้ในการเพาะเลี้ยงจุลสาหร่าย

ดำเนินการทำหนังสือเพื่อขอการสนับสนุนอาหารสำหรับเพาะเลี้ยงจุลสาหร่ายสายพันธุ์ซีนเดสมัส (scenedesmus) จากคณะเทคโนโลยีการเกษตร สาขาวิทยาศาสตร์การประมง สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ได้แก่ อาหารสูตร N, P, K

3.5 การเพาะเลี้ยงจุลสาหร่าย

แบ่งระบบการเพาะเลี้ยงจุลสาหร่ายออกเป็น 3 ระบบ คือ ระบบเพาะเลี้ยงจุลสาหร่ายแบบท่อใหญ่ในโรงเรือน, ระบบเพาะเลี้ยงจุลสาหร่ายแบบ Stand alone และระบบเพาะเลี้ยงจุลสาหร่ายแบบ Continuous flow

3.5.1 การเติมน้ำเข้าสู่ระบบการเพาะเลี้ยง

(1) ระบบเพาะเลี้ยงจุลสาหร่ายแบบท่อใหญ่ในโรงเรือน เติมน้ำใส่บ่อน้ำปริมาตร 500 ลิตร ใส่หัวเชื้อจุลสาหร่ายปริมาตร 15 ลิตร แล้วใช้ปั๊มซับเมิสปั้มน้ำเข้าสู่ระบบเพาะเลี้ยงโดยการเปิดวาล์วทางเข้าสำหรับเติมน้ำ และเปิดวาล์วท่อทางเดินน้ำออก น้ำจะค่อยๆ เพิ่มขึ้นจนเต็มระบบ จากนั้นจึงทำการปรับวาล์วในน้ำทั้งทางเข้าและทางออกให้ทำงานผสานกันจนน้ำในระบบเริ่มมีอัตราการไหลคงที่สม่ำเสมอ โดยเปิดปั๊มไว้วันละ 6 ชั่วโมง

(2) ระบบเพาะเลี้ยงจุลสาหร่ายแบบ Stand alone เติมน้ำใส่ถังน้ำ ปริมาตร 75 ลิตร ทั้ง 5 ใบ ใช้ปั๊มขนาดกลางปั๊มน้ำเข้าสู่ระบบเพาะเลี้ยง โดยใช้อัตราการไหลของปั๊มสูงสุด พร้อมทั้งเปิดวาล์วที่ทางเดินน้ำออก จะมีการไหลวนของน้ำที่สม่ำเสมอตลอดเวลา โดยกำหนดให้ปริมาณน้ำในถังของแต่ละระบบมีน้ำปริมาตร 80 ลิตร

(3) ระบบเพาะเลี้ยงจุลสาหร่ายแบบ Continuous flow เติมน้ำลงถังน้ำ ใส่หัวเชื้อจุลสาหร่าย แล้วใช้ปั๊มขนาดกลางปั๊มน้ำเข้าสู่ระบบเพาะเลี้ยง โดยใช้อัตราการไหลของปั๊มสูงสุด พร้อมทั้งเปิดวาล์วที่ทางเดินน้ำออก จะมีการไหลวนของน้ำที่สม่ำเสมอตลอดเวลา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.5.2 การใส่หัวเชื้อจุลสาหร่ายในระบบ

หลังจากเติมน้ำจนเต็มระบบแล้ว จึงเข้าสู่กระบวนการนำจุลสาหร่ายลงไปในระบบ โดยแบ่งหัวเชื้อจุลสาหร่ายปริมาตร 15 ลิตร สำหรับระบบการเพาะเลี้ยงแบบท่อใหญ่ในโรงเรือน และ หัวเชื้อจุลสาหร่ายปริมาตร 25 ลิตร สำหรับระบบการเพาะเลี้ยงจุลสาหร่ายแบบ Stand alone โดยแบ่งเป็น 5 ส่วน ส่วนละ 5 ลิตร เพื่อการทดลอง 5 ถัง ส่วนระบบการเพาะเลี้ยงจุลสาหร่ายแบบ Continuous flow จะนำมาจากจุลสาหร่ายที่เลี้ยงจากทั้งระบบก่อนหน้า

3.5.3 การให้อาหารเพาะเลี้ยงจุลสาหร่าย

ระบบเพาะเลี้ยงจุลสาหร่ายแบบท่อใหญ่ในโรงเรือน ให้อาหารชนิด N, P, K ปริมาณ 1 กรัม มาละลายน้ำ 1 ลิตร แล้วใส่สารอาหารลงสู่บ่อพักน้ำ โดยให้สารอาหาร 3 วันต่อครั้ง ส่วนระบบเพาะเลี้ยงจุลสาหร่ายแบบ Stand alone จะใส่อาหารชนิด N, P, K ลงสู่ถังพักน้ำของระบบทดลองที่ 1 – 3 ในปริมาตร 20, 30 และ 50 มิลลิลิตร ตามลำดับ และปุ๋ยเขียวลงสู่ถังพักน้ำของระบบทดลองที 4 – 5 ในปริมาตร 30 และ 50 มิลลิลิตร ตามลำดับ โดยใส่สารอาหารทุกวัน ส่วนระบบการเพาะเลี้ยงจุลสาหร่ายแบบ Continuous flow จะใส่ปุ๋ยยูเรียลงสู่ถังน้ำในปริมาณ 1 กรัมต่อวัน ใช้เวลาในการเพาะเลี้ยงจุลสาหร่าย 14 วัน หลังจากนั้นจะเก็บจุลสาหร่ายมาทดสอบวัดค่าสีและทำการล้างเครื่องเพาะเลี้ยงจุลสาหร่ายแบบ Continuous flow และทำการทดลองในรอบต่อไป จำนวน 5 รอบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

การทดลองและผลการทดลองระบบเพาะเลี้ยงจุลสาหร่าย

4.1 วิธีการทดลองและวิธีการวัดผล

4.1.1 การวัดค่าสีโดยใช้เครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์

เครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์เป็นเครื่องมือที่ใช้ในการวัดสี รวมทั้งสามารถวัดค่าความสว่างของวัตถุได้ สีที่เครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์สามารถวัดได้คือ สีเขียว สีแดง สีเหลือง สีน้ำเงิน และสีต่างๆ ซึ่งเป็นการผสมสีที่กล่าวมาในระดับต่างๆ กัน โดยปรกติสาหร่ายจะมีสีเขียว ความหนาแน่นของปริมาณสาหร่ายยิ่งมากแสดงว่าระดับสีเขียวของสาหร่ายก็ยิ่งเข้มขึ้น เมื่อนำปริมาณสาหร่ายที่เพิ่มขึ้นมาหาความสัมพันธ์กับค่าสีเขียวที่วัดได้ภายในเวลาที่กำหนด (14 วัน) เมื่อทราบความเขียวของสาหร่ายก็สามารถจะทราบปริมาณของสาหร่ายในรูปของมุมที่ใกล้ความเขียว โดยมีการคำนวณค่าความเขียว โดยให้ $\theta = \tan^{-1}\frac{a*}{b*}$ มุม θ นี้มีค่ามากเท่าใดก็จะมีค่าเข้าใกล้ความเขียวมากเท่านั้น จึงทำให้สามารถคาดการณ์และทำนายมวลของจุลสาหร่ายได้

(1) นำภาชนะเก็บตัวอย่างเป็นขวดแก้ว จำนวน 5 ขวด มาพ่นสีดำและพันด้วยเทปพันสายไฟสีดำโดยให้เหลือวงกลมขนาดเท่ากับกล้องของเครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์

รูปที่ 4.1 ขวดแก้วที่พ่นสีดำแล้วพันด้วยเทปพันสายไฟ

(2) นำจุลสาหร่ายพร้อมน้ำที่ทำการเลี้ยงไว้ปริมาตร 100 ml. ออกมาจากถังน้ำ มาใส่ไว้ในขวดแก้วที่ได้เตรียมไว้ 5 ขวด

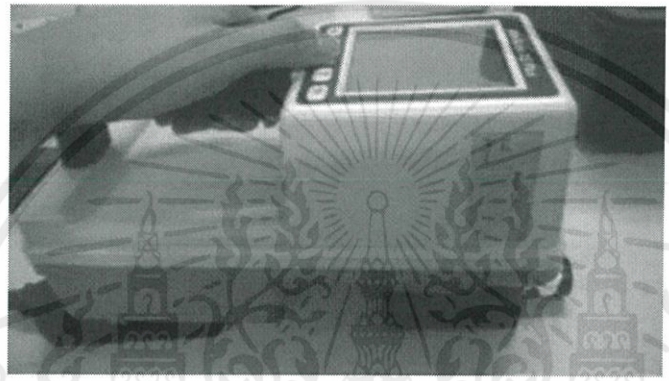
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(3) ตั้งค่าสีเริ่มต้น (คาลิเบรท) เครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ โดยเริ่มทำการคาลิเบรทแผ่นสีดำและแผ่นสีขาว เลือกแหล่งแสงชนิด Colorant Strength D65/10 แล้วทำการวัดค่าสีด้วยเครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์แต่ละขวดจำนวน 3 ครั้ง โดยแนบกล้องของเครื่องกับขวดแก้วที่เตรียมไว้ กดปุ่มวัดสี เครื่องก็จะอ่านค่า L* a* b* บันทึกผลการทดลองแล้วหาค่าเฉลี่ย

โดย L* คือ ค่าสี มืด – สว่าง สีสว่างอยู่บนแกน +z สีมืดอยู่บนแกน –z

a* คือ ค่าสี แดง - เขียว สีแดงอยู่บนแกน +x สีเขียวอยู่บนแกน -x

b* คือ ค่าสี เหลือง - น้ำเงิน สีเหลืองอยู่บนแกน +y สีน้ำเงินอยู่บนแกน –y



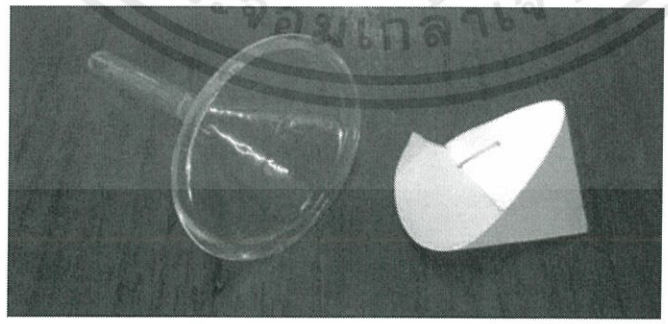
รูปที่ 4.2 วัดสีด้วยเครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์

(5) นำค่า a* กับ b* ที่วัดได้จากเครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์มาพล็อตกราฟ โดยหาค่า

$$\theta = \arctan\frac{a^*}{b^*}$$

4.1.2 การวัดมวลของจุลสาหร่ายโดยการชั่งน้ำหนัก

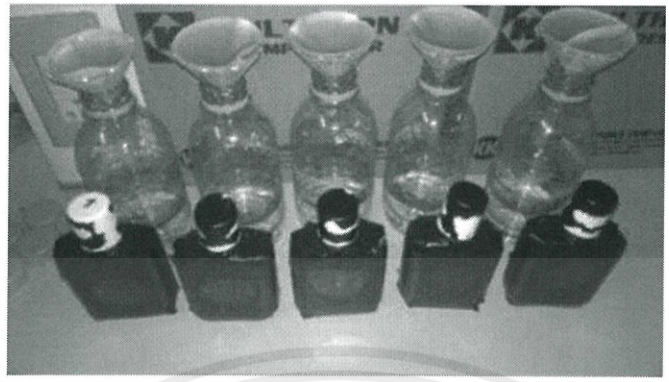
(1) ชั่งน้ำหนักกระดาษกรอง โดยพับกระดาษกรองเป็นรูปกรวย เย็บไว้ ทำหมายเลขกระดาษนำไปชั่ง จำนวน 5 ชิ้น แล้วบันทึกข้อมูลไว้



รูปที่ 4.3 กรวยและกระดาษกรอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(2) นำกระดาษกรองที่พับเป็นรูปกรวยไปวางไว้บนกรวยแล้วเทจุลสาหร่ายปริมาณ 100 ml.



รูปที่ 4.4 กรองจุลสาหร่าย

(3) รอจนกระดาษกรองที่มีจุลสาหร่ายติดอยู่จนกว่าจะแห้งสนิท แล้วนำไปชั่งน้ำหนัก

(4) บันทึกข้อมูล หาน้ำหนักจุลสาหร่ายแล้วหาค่าเฉลี่ย

4.1.3 วิธีการคำนวณ

(1) การคำนวณหาค่าสัดส่วนระหว่างค่าสีกับน้ำหนักที่เพิ่ม โดย ค่าสัดส่วน $= \frac{\text{น้ำหนัก (g)}}{\theta}$

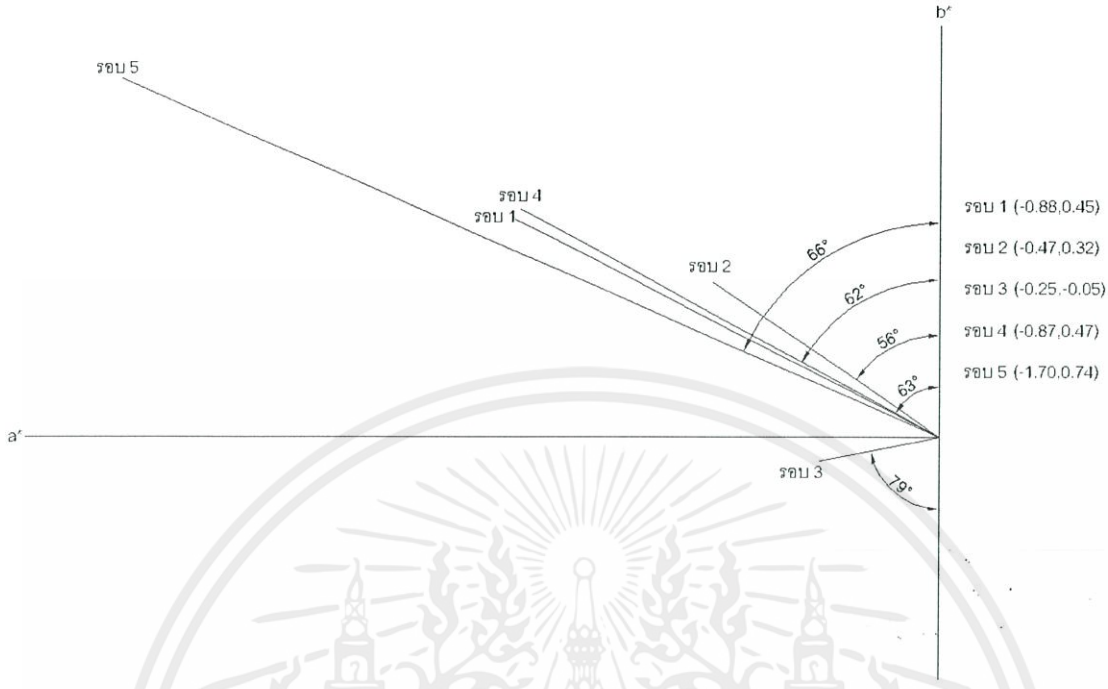
(2) ต่อไปสามารถวัดค่าสี แล้วหาค่า θ มาแทนค่าลงในสมการเพื่อหาน้ำหนักของจุลสาหร่ายต่อปริมาตร 100 ml. ได้

4.2 ผลการทดลองและอภิปรายผล

ตารางที่ 4.1 ตารางผลการทดลอง

รอบ	ค่าสี a*	ค่าสี b*	ค่าสี L*	$\theta = \tan^{-1}(a^*/b^*)$ (องศา)	น้ำหนัก (g/100 ml)
1	-0.88b	0.45b	0.81ns	63	0.038b
2	-0.47c	0.32b	1.01ns	56	0.012a
3	-0.25c	-0.05a	0.87ns	79	0.048b
4	-0.87b	0.47b	0.90ns	62	0.038b
5	-1.70a	0.74c	1.01ns	66	0.042b
เฉลี่ย				65.2	0.036

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.5 รูปแสดงค่าความเข้าใกล้สีเขียว a*

4.3 การคำนวณ

$$\frac{\text{น้ำหนัก}}{\theta} = \frac{0.036}{65.2} = 0.000552\ (g/100\ ml)/\text{องศา}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการทดลอง

จากการทดลองเพาะเลี้ยงจุลสาหร่าย เพื่อพัฒนากระบวนการขยายปริมาณจุลสาหร่ายสำหรับการผลิตน้ำมันเชื้อเพลิงชีวภาพแบบระบบปิด โดยใช้จุลสาหร่ายสายพันธุ์ Scenedesmus sp. เป็นวัตถุดิบ ได้ทำการทดลองเพาะเลี้ยงจุลสาหร่ายในรูปแบบต่างๆ ได้แก่ แบบท่อใหญ่ในโรงเรือน, แบบ Stand alone และแบบ Continuous flow

ระบบเพาะเลี้ยงจุลสาหร่ายแบบท่อใหญ่ในโรงเรือน เติมน้ำใส่บ่อน้ำปริมาตร 500 ลิตร ใส่หัวเชื้อจุลสาหร่ายปริมาตร 15 ลิตร แล้วใช้ปั๊มซับเมิสปั๊มน้ำเข้าสู่ระบบเพาะเลี้ยงโดยการเปิดวาล์วทางเข้าสำหรับเติมน้ำและเปิดวาล์วท่อทางเดินน้ำออก น้ำจะค่อยๆ เพิ่มขึ้นจนเต็มระบบ จากนั้นจึงทำการปรับวาล์วในน้ำทั้งทางเข้าและทางออกให้ทำงานผสานกันจนน้ำในระบบเริ่มมีอัตราการไหลคงที่สม่ำเสมอ โดยเปิดปั๊มไว้วันละ 6 ชั่วโมง พบว่าไม่มีการเจริญเติบโตเท่าที่ควร เนื่องจากอุณหภูมิภายในโรงเรือนสูงมากเกินไป (> 40 °C) จากนั้นได้มีการปรับปรุงรูปแบบการเพาะเลี้ยงจุลสาหร่ายเป็นแบบ Stand alone ใช้ท่อขนาด 1 ½ นิ้ว ยาว 1 เมตร จำนวน 5 ชุด เพื่อเพิ่มการทดลองเรื่องอัตราการไหลของจุลสาหร่ายภายในท่อ เติมน้ำใส่ถังน้ำ ปริมาตร 75 ลิตร ทั้ง 5 ใบ ใช้ปั๊มขนาดกลางปั๊มน้ำเข้าสู่ระบบเพาะเลี้ยง โดยใช้อัตราการไหลของปั๊มสูงสุด พร้อมทั้งเปิดวาล์วที่ทางเดินน้ำออก จะมีการไหลวนของน้ำที่สม่ำเสมอตลอดเวลา โดยกำหนดให้ปริมาณน้ำในถังของแต่ละระบบมีน้ำปริมาตร 80 ลิตร พบว่าจุลสาหร่ายไม่มีการเจริญเติบโตเท่าที่ควร เนื่องจากท่อมีขนาดเล็กและสั้นทำให้จุลสาหร่ายมีระยะเวลาในการสังเคราะห์แสงน้อยไป ต่อมาได้มีการปรับปรุงรูปแบบการเพาะเลี้ยงจุลสาหร่ายเป็นแบบ Continuous flow โดยการนำท่อทั้ง 5 มาต่ออนุกรมกันเพื่อเพิ่มเวลาให้จุลสาหร่ายสังเคราะห์แสง เติมน้ำลงถังน้ำ ใส่หัวเชื้อจุลสาหร่าย แล้วใช้ปั๊มขนาดกลางปั๊มน้ำเข้าสู่ระบบเพาะเลี้ยง โดยใช้อัตราการไหลของปั๊มสูงสุด พร้อมทั้งเปิดวาล์วที่ทางเดินน้ำออก จะมีการไหลวนของน้ำที่สม่ำเสมอตลอดเวลา ด้วยอัตราการไหล 0.103 liter/sec และให้ปุ๋ยยูเรียละลายน้ำจำนวน 1 g/day พบว่าจุลสาหร่ายมีการเจริญเติบโตขึ้นอย่างต่อเนื่อง

จากการทดลองเพาะเลี้ยงจุลสาหร่ายแบบ Continuous flow ผลการทดลองที่ได้จากการวัดค่าสีโดยใช้เครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์และการชั่งน้ำหนัก ทำให้สามารถพล็อตกราฟแสดงค่าใกล้สีเขียว a* (ค่าความเขียว) ได้ค่าเฉลี่ยของมุม θ (ค่าความเขียว) คือ 65.2 องศา ซึ่งยิ่งมีค่ามุม θ มากแสดงว่าจุลสาหร่ายมีความเขียวมาก ส่วนในการชั่งน้ำหนักได้น้ำหนักเฉลี่ย คือ 0.036 กรัมต่อ 100 ml และจากการหาค่าสัดส่วนระหว่างค่าสีกับน้ำหนักที่เพิ่ม ทำให้ประมาณค่าได้ว่า θ ทุก 1 องศา จุลสาหร่ายจะมีมวลเพิ่มขึ้น 0.000552 กรัมต่อ 100 ml. ด้วยเวลาในการเพาะเลี้ยง 14 วัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่อนุญาตให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.2 ข้อเสนอแนะ

จากการที่ได้ทดลองเพาะเลี้ยงจุลสาหร่าย พบว่าเมื่อเลี้ยงจุลสาหร่ายในตู้กระจกโดยมีปั๊มน้ำกับปั๊มอากาศ จะทำให้จุลสาหร่ายเจริญเติบโตได้อย่างเต็มที่ เพราะจุลสาหร่ายสามารถรับแสงได้จากทุกทิศทาง และมีอุณหภูมิไม่สูง ซึ่งอุณหภูมิเหมาะต่อการเจริญเติบโตของจุลสาหร่ายคือประมาณ 28 – 32 องศาเซลเซียส ทั้งนี้หากเพิ่มก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เข้าไป อาจจะสามารถช่วยเพิ่มอัตราการเจริญเติบโตของสาหร่ายได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก

เอกสารประกอบข้อมูลการทดสอบ

การศึกษากระบวนการเพาะเลี้ยงจุลสาหร่ายเพื่อผลิตน้ำมันเชื้อเพลิงชีวภาพ

THE STUDY OF MICROALGAE CULTIVATION FOR BIOFUEL OIL PRODUCTION

ฐิติพงศ์ คงเจริญ[1] , ณัฐวัชร์ จันทรสถาพร[1] , ธนกฤต เรืองสุนทร[1,*] และ ภัทรชัย วิชัยยะ[2]
[1]นักศึกษา, [2]อาจารย์ที่ปรึกษา

หลักสูตรวิศวกรรมเกษตร สาขาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
เลขที่ 1 ซอย ฉลองกรุง 1 แขวงลาดกระบัง เขตลาดกระบัง กรุงเทพมหานคร 10520
*ติดต่อผู้เขียน: E-mail: ithank1992@hotmail.com , เบอร์โทรศัพท์ 084-096-1616

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ศึกษาถึงกระบวนการการเพาะเลี้ยงจุลสาหร่ายเพื่อผลิตน้ำมันเชื้อเพลิงชีวภาพ ซึ่งสามารถเป็นพลังงานทางเลือกในการนำมาทดแทนเชื้อเพลิงฟอสซิล ซึ่งกำลังจะหมดไป เป็นพลังงานที่ยั่งยืน สามารถผลิตได้อย่างต่อเนื่อง จุลสาหร่ายมีกรดไขมันประมาณ 20% ต่อน้ำหนักแห้ง บางชนิดอาจมีถึง 60-70% งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาออกแบบและจัดสร้างเครื่องเพาะเลี้ยงสาหร่ายระบบปิดแบบ Bioreactor โดยใช้จุลสาหร่ายสายพันธุ์ Chlorella vulgaris เป็นวัตถุดิบ ปัจจัยที่มีผลต่อการเจริญเติบโตได้แก่ อัตราการไหลในท่อ (Flow rate) อัตราการป้อนก๊าซ CO_2 (CO_2Feed rate) การแสดงผลการเติบโตโดยพิจารณาจากการวัดสีด้วยค่า CIELAB ได้มาจากเครื่องวัดการดูดกลืนแสง (Spectrophotometers) ซึ่งแสดงถึงการเจริญเติบโตของจุลสาหร่าย (Growth rate) จากการทดลองที่อัตราการไหล 0.001348 ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที อัตราการป้อน CO_2 มาก (เปิด 1 ชั่วโมง / ปิด 2 ชั่วโมง, 1/2) มีค่า Re No. เท่ากับ 1907.45037 มีลักษณะการไหลแบบปั่นป่วนในระบบเพาะเลี้ยง มีแนวโน้มของการเจริญเติบโตของจุลสาหร่ายมากที่สุด

คำหลัก : พลังงานทางเลือก, เชื้อเพลิงฟอสซิล, จุลสาหร่าย, กรดไขมัน, การดูดกลืนแสง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Abstract

This research studies the process of culturing microalgae to produce biofuels. This can be in bringing alternative energy to replace fossil fuels. Which is leaving A sustainable energy Can be produced continuously microalgae fatty acids about 20 % of dry weight. Some are up to 60-70 % of this research is to study the design and construction of a closed system Bioreactor cultivation of algae species Chlorella vulgaris using algae as a feedstock factors affecting growth include . Flow rates in pipes (Flow rate) flow rate of gas, CO_2 (CO_2 Feed rate) display growth as measured by the CIELAB color derived from the measured absorbance (Spectrophotometers) which represents the growth of microscopic algae (Growth rate) of the experimental flow rate 0.001348 cubic meters per second feed rate much CO_2 (open 1 hour / off, 2 hour, 1/2) is Re No. equals 1907.45037 turbulent flow characteristics in culture. The trend of the growth of the microalgae.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข

ข้อมูลการทดสอบ

ตารางที่ ข.1 ตารางเก็บผลการทดลองการเพาะเลี้ยงจุลสาหร่ายในรอบที่ 1 วันที่ 18 ก.พ. 58

ขวด	น้ำหนักกระดาษกรอง (g)			ค่าสี			
	หลังกรอง	ก่อนกรอง	ผลต่าง	ครั้งที่	L*	a*	b*
1	0.68	0.62	0.06	1	0.80	-0.38	0.23
				2	0.73	-0.70	0.13
				3	0.85	-0.98	0.31
				ค่าเฉลี่ย	0.79	-0.69	0.22
2	0.67	0.63	0.04	1	0.71	-0.68	0.14
				2	0.82	-0.54	0.18
				3	0.85	-1.55	0.63
				ค่าเฉลี่ย	0.79	-0.92	0.32
3	0.67	0.63	0.04	1	0.71	-0.57	0.20
				2	0.61	-0.53	0.48
				3	0.93	-1.09	0.77
				ค่าเฉลี่ย	0.75	-0.73	0.48
4	0.66	0.65	0.01	1	1.15	-1.54	0.87
				2	1.05	-1.40	0.79
				3	0.73	-1.15	0.28
				ค่าเฉลี่ย	0.98	-1.36	0.65
5	0.68	0.64	0.04	1	0.97	-0.65	0.88
				2	0.64	-0.77	0.44
				3	0.66	-0.63	0.46
				ค่าเฉลี่ย	0.76	-0.68	0.59
ค่าเฉลี่ย			0.038	ค่าเฉลี่ยรวม	0.81	-0.88	0.45

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.2 ตารางเก็บผลการทดลองการเพาะเลี้ยงจุลสาหร่ายในรอบที่ 2 วันที่ 5 มี.ค. 58

ขวด	น้ำหนักกระดาษกรอง (g)			ค่าสี			
	หลังกรอง	ก่อนกรอง	ผลต่าง	ครั้งที่	L*	a*	b*
1	0.64	0.63	0.01	1	0.96	-0.43	0.22
				2	1.10	-0.34	0.15
				3	1.15	-0.57	0.25
				ค่าเฉลี่ย	1.07	-0.45	0.21
2	0.65	0.64	0.01	1	0.73	-0.37	0.42
				2	0.65	-0.25	0.13
				3	0.81	-0.36	0.36
				ค่าเฉลี่ย	0.73	-0.33	0.30
3	0.65	0.64	0.01	1	0.64	-0.48	0.15
				2	0.60	-0.33	0.18
				3	0.75	-0.16	0.31
				ค่าเฉลี่ย	0.66	-0.32	0.21
4	0.64	0.62	0.02	1	0.79	-0.54	0.47
				2	0.70	-0.57	0.41
				3	0.87	-0.38	0.39
				ค่าเฉลี่ย	0.79	-0.50	0.42
5	0.64	0.63	0.01	1	1.63	-0.77	0.30
				2	1.87	-0.66	0.44
				3	1.84	-0.87	0.67
				ค่าเฉลี่ย	1.78	-0.77	0.47
ค่าเฉลี่ย			0.012	ค่าเฉลี่ยรวม	1.01	-0.47	0.32

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.3 ตารางเก็บผลการทดลองการเพาะเลี้ยงจุลสาหร่ายในรอบที่ 3 วันที่ 24 มี.ค. 58

ขวด	น้ำหนักกระดาษกรอง (g)			ค่าสี			
	หลังกรอง	ก่อนกรอง	ผลต่าง	ครั้งที่	L*	a*	b*
1	0.66	0.64	0.02	1	0.39	-0.09	-0.26
				2	0.53	-0.16	0.02
				3	0.48	-0.08	-0.40
				ค่าเฉลี่ย	0.47	-0.11	-0.21
2	0.70	0.65	0.05	1	0.29	-0.13	-0.39
				2	0.53	-0.12	0.26
				3	0.24	-0.06	-0.05
				ค่าเฉลี่ย	0.35	-0.10	-0.06
3	0.73	0.64	0.09	1	2.18	-0.18	-0.33
				2	2.41	-0.61	0
				3	2.07	-0.27	-0.21
				ค่าเฉลี่ย	2.22	-0.35	-0.18
4	0.66	0.63	0.03	1	0.66	-0.16	0.03
				2	0.70	-0.41	-0.16
				3	0.56	-0.44	-0.16
				ค่าเฉลี่ย	0.64	-0.34	-0.10
5	0.68	0.63	0.05	1	0.83	-0.53	0.59
				2	0.51	-0.15	-0.02
				3	0.62	-0.31	0.34
				ค่าเฉลี่ย	0.65	-0.33	0.30
ค่าเฉลี่ย			0.048	ค่าเฉลี่ยรวม	0.87	-0.25	-0.05

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.4 ตารางเก็บผลการทดลองการเพาะเลี้ยงจุลสาหร่ายในรอบที่ 4 วันที่ 6 เม.ย. 58

ขวด	น้ำหนักกระดาษกรอง (g)			ค่าสี			
	หลังกรอง	ก่อนกรอง	ผลต่าง	ครั้งที่	L*	a*	b*
1	0.65	0.61	0.04	1	1.17	-0.98	0.59
				2	1.04	-0.75	0.64
				3	1.00	-0.69	0.45
				ค่าเฉลี่ย	1.07	-0.81	0.56
2	0.65	0.62	0.03	1	0.57	-1.07	0.61
				2	0.42	-0.82	0.49
				3	0.37	-0.60	0.50
				ค่าเฉลี่ย	0.45	-0.83	0.53
3	0.67	0.63	0.04	1	0.66	-0.51	0.48
				2	0.71	-0.71	0.25
				3	0.76	-0.74	0.37
				ค่าเฉลี่ย	0.71	-0.65	0.37
4	0.67	0.62	0.05	1	0.56	-0.82	0.49
				2	0.73	-0.87	0.34
				3	0.58	-0.39	0.21
				ค่าเฉลี่ย	0.62	-0.69	0.35
5	0.64	0.61	0.03	1	1.67	-1.35	0.67
				2	1.65	-1.30	0.58
				3	1.58	-1.43	0.42
				ค่าเฉลี่ย	1.63	-1.36	0.56
ค่าเฉลี่ย			0.038	ค่าเฉลี่ยรวม	0.90	-0.87	0.47

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.5 ตารางเก็บผลการทดลองการเพาะเลี้ยงจุลสาหร่ายในรอบที่ 5 วันที่ 20 เม.ย. 58

ขวด	น้ำหนักกระดาษกรอง (g)			ค่าสี			
	หลังกรอง	ก่อนกรอง	ผลต่าง	ครั้งที่	L*	a*	b*
1	0.67	0.62	0.05	1	0.84	-1.45	0.45
				2	0.88	-1.24	0.84
				3	0.86	-1.65	0.64
				ค่าเฉลี่ย	0.86	-1.45	0.64
2	0.68	0.63	0.05	1	0.75	-1.54	0.72
				2	1.04	-2.14	0.55
				3	0.94	-1.97	0.86
				ค่าเฉลี่ย	0.91	-1.88	0.71
3	0.67	0.63	0.04	1	0.84	-1.48	0.67
				2	1.00	-1.57	0.81
				3	0.83	-2.40	0.98
				ค่าเฉลี่ย	0.89	-1.82	0.82
4	0.66	0.62	0.04	1	0.99	-1.98	0.74
				2	1.13	-1.42	0.67
				3	1.05	-1.51	0.89
				ค่าเฉลี่ย	1.06	-1.64	0.77
5	0.66	0.63	0.03	1	1.23	-2.37	0.85
				2	1.44	-1.73	0.83
				3	1.34	-1.12	0.60
				ค่าเฉลี่ย	1.34	-1.74	0.76
ค่าเฉลี่ย			0.042	ค่าเฉลี่ยรวม	1.01	-1.70	0.74

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ค

เครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์

ประวัติของการแสดงสีในเชิงตัวเลข

ในอดีตมีคนมากมายได้ประดิษฐ์คิดค้นวิธีการในการจำแนกสี แต่ส่วนใหญ่มักใช้สูตรที่ซับซ้อนในการอธิบายสีและระบุออกมาเป็นตัวเลข โดยมุ่งหวังให้ทุกๆ คนสามารถสื่อสารในเรื่องสีกันได้ง่ายขึ้นและแม่นยำ วิธีการเหล่านี้ต่างพยายามหาทางที่จะอธิบายสีเป็นค่าตัวเลข เช่นเดียวกับการบอกระยะทางหรือน้ำหนัก ตัวอย่างเช่น ในปี ค.ศ. 1950 นักศิลปินชาวอเมริกัน เอ.เอช.มันเซลล์ ได้คิดค้นวิธีการบอกสีโดยนำแผ่นกระดาษสีจำนวนมาก แบ่งเป็นสีสัน (Munsell Hue) ความสว่าง (Munsell Value) และความอิ่มตัว (Munsell Chroma) เพื่อใช้ดูเปรียบเทียบกับสีตัวอย่าง (Specimen Color) ในเวลาต่อมา หลังจากได้ทำการทดลองเป็นจำนวนมาก ระบบนี้ได้มีการพัฒนามาเป็น (Munsell Renotation System) ซึ่งยังใช้กันอยู่จนถึงปัจจุบัน ระบบนี้สีต่างๆ ถูกแสดงออกมาเป็นค่าตัวอักษร/ตัวเลขเรียงกัน เช่น (H V/C) โดย H คือค่าฮิว (Hue) หมายถึงสีสัน V คือค่าความสว่าง (Value) และ C คือค่าความอิ่มตัวหรือโครมา (Chroma) ซึ่งเป็นการประเมินด้วยสายตาโดยใช้กับตารางสีของมันเซลล์ (Munsell Color Charts) สำหรับระบบอื่นๆ ที่น่าสนใจใช้อธิบายสีในเชิงตัวเลข ได้แก่ ระบบที่พัฒนาขึ้นโดยองค์กรระหว่างประเทศที่เกี่ยวข้องกับเรื่องของสีและแสง คือ The Commission International Del'Eclairage (CIE) มีที่ได้รับความนิยมแพร่หลายมากที่สุด มีอยู่ 2 ระบบคือระบบ Yxy (แสดงตำแหน่งสี Yxy) ซึ่งเริ่มใช้ในปีค.ศ. 1931 คำนวณจากค่าไตรสติมูลัส XYZ ตามมาตรฐานของ CIE และระบบ L* a* b* (แสดงตำแหน่งสี L* a* b*) เริ่มนำมาใช้ในปี 1976 ซึ่งทำให้ความแตกต่างของสีมีระยะที่สัมพันธ์ใกล้กับความแตกต่างที่มองเห็นด้วยตามากขึ้น ปริภูมิสี (Color Space) เหล่านี้ถูกนำมาใช้สื่อสารในระบบสีของโลกอยู่ในปัจจุบัน

หมายเหตุ : ปริภูมิสี เป็นขอบเขตแสดงความกว้างขวางของสีของวัตถุหรือแหล่งกำเนิดแสงโดยใช้การใช้เครื่องหมาย (notation) เช่น ค่าตัวเลข เป็นต้น

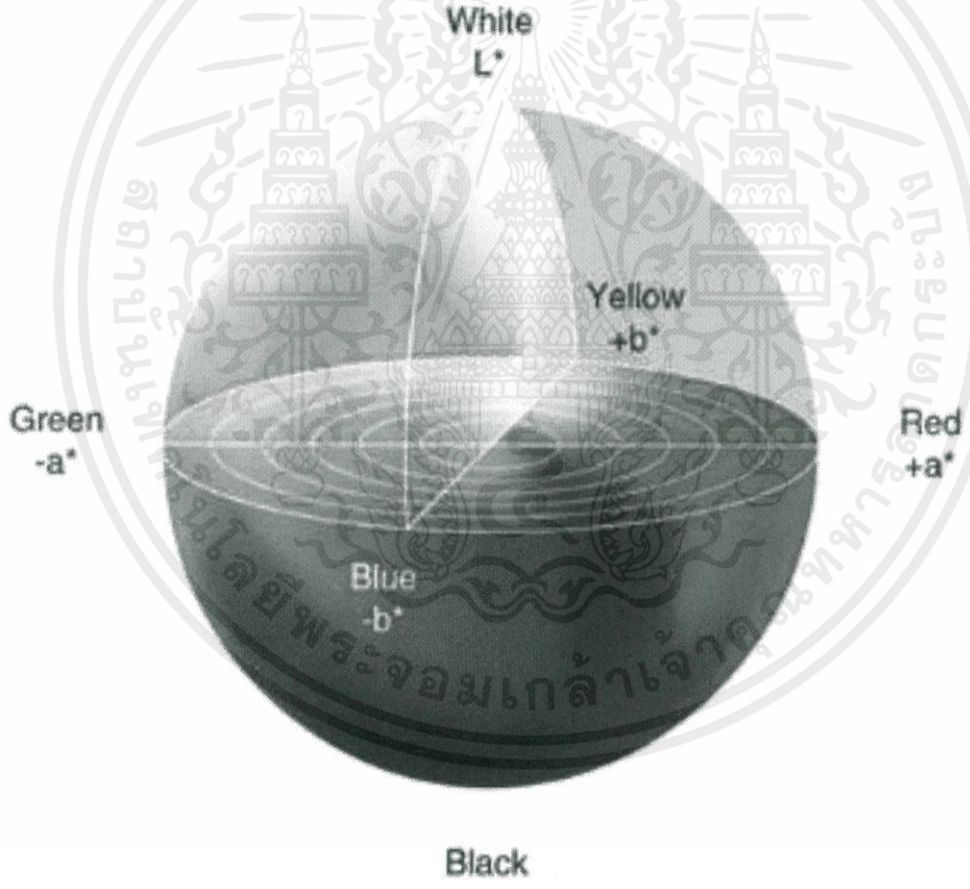
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ ค.1 เครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์

ปริภูมิสีระบบ L* a* b*

ระบบสี l * a* b* (บางครั้งเรียกว่า CIELAB) เป็นอีกระบบหนึ่งที่นิยมกันมากในการนำมาใช้วัดค่าสี และใช้กันอย่างแพร่หลายที่สุดในหลายๆ วงการ โดยปริภูมิสีเป็นประเภทที่มีสเกลสม่ำเสมอ (uniform) ซึ่งได้ถูกกำหนดโดย CIE

ในปี 1976 เพื่อแก้ปัญหาการแปลค่าสีที่เกิดขึ้นในระบบ Yxy เพราะพบว่า ระยะห่างระหว่าง x กับ y บนไดอะแกรมสีจะไม่สอดคล้องกับความแตกต่างของสีที่เกิดจากการมองเห็นจริง ในระบบสี L* a* b* นี้ ค่า L* จะหมายถึงความสว่าง ส่วน a* และ b* จะเป็นค่าสัมประสิทธิ์สี ซึ่งค่า a* และ b* จะบอกถึงทิศทางของสี เช่น +a* หมายถึงอยู่ในทิศของสีแดง, –a* หมายถึงอยู่ในทิศของสีเขียว, +b* หมายถึงอยู่ในทิศของสีเหลือง และ –b* หมายถึงอยู่ในทิศของสีน้ำเงิน พื้นที่ตรงกลางจะไม่สามารถแยกสีได้ (achrometic) เมื่อค่า a* และ b* เพิ่มขึ้นและจุดดังกล่าวเคลื่อนที่ออกจากจุดศูนย์กลาง ความอิ่มตัวของสีก็จะเพิ่มขึ้น

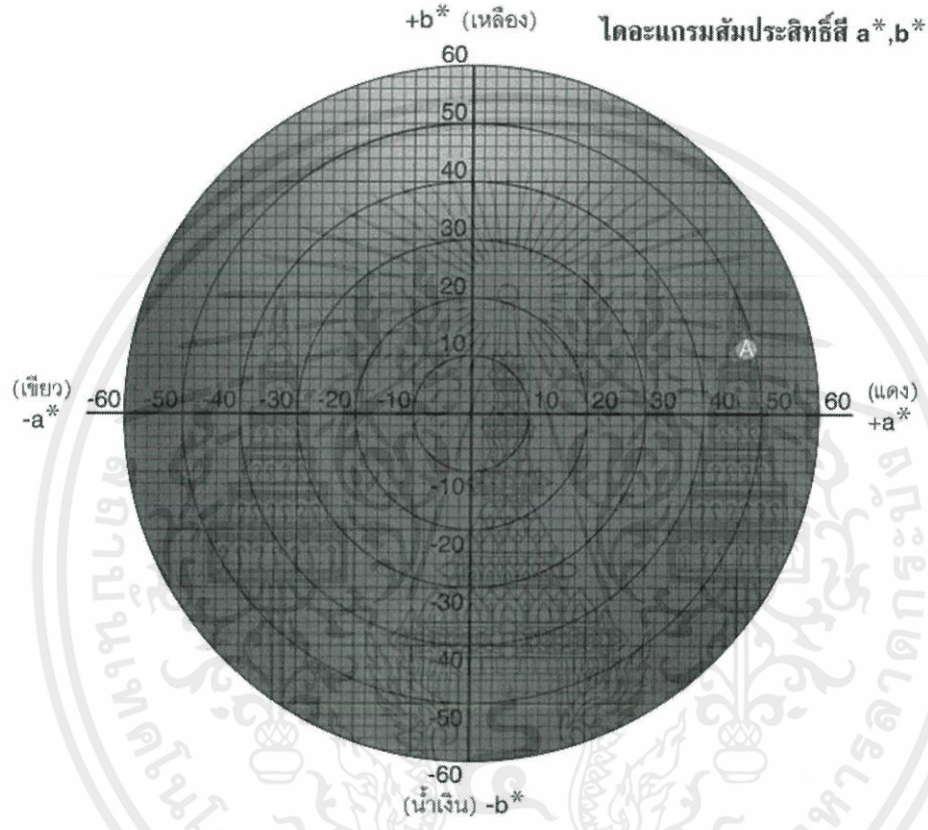


รูปที่ ค.2 กราฟแสดงค่าสีจากเครื่อง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การแสดงความแตกต่างเป็นค่าตัวเลข

สิ่งที่สร้างความปวดหัวและความยุ่งยากมากที่สุดในการใช้สีคือเมื่อสีมีความแตกต่างกันเพียงเล็กน้อยเท่านั้น แต่สำหรับเครื่องวัดสีแล้ว แม้จะมีความแตกต่างเพียงน้อยนิด ก็ยังคงแสดงผลเป็นตัวเลขที่เข้าใจได้ง่าย ถึงแม้ว่าเราจะใช้คำพูดมาบรรยายสีได้ไม่ชัดเจนเท่าการแสดงเป็นตัวเลขก็ตาม แต่เราก็สามารถใช้คำพูดอธิบายค่าความแตกต่างของสีได้



รูปที่ ค.3 ไดอะแกรมสัมประสิทธิ์สี a*, b*

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

[1] ฐิติพงศ์ คงเจริญ, ณัฐวัชร์ จันทรสถาพร และธนกฤต เรืองสุนทร. 2556. **การศึกษากระบวนการเพาะเลี้ยงจุลสาหร่ายเพื่อผลิตน้ำมันเชื้อเพลิงชีวภาพ.** วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต, สาขาวิชาวิศวกรรมเกษตร คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.

[2] Firoz Alam, Abhijit Date, Roesfiansjah Rasjidin, Saleh Mobin, Hazim Moria และ Abdul Baqui. 2555. **Biofuel from algae- Is it a viable alternative?.** Evolving Energy-EIF International Energy Congress. ครั้งที่ 49. 29-31 สิงหาคม. หน้า : 221-227.

[3] คุณากร แก้วมณี, ทรงพล แพทย์พิทักษ์ และจารุวรรณ วิชัยพรหม. 2552. **ปัญหาพิเศษ เรื่องการผลิตไบโอดีเซลจากสาหร่าย (Biodiesel Production from Algae).** [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก : th.wikipedia.org/wiki/เชื้อเพลิงสาหร่าย. (วันที่ค้นข้อมูล : 3 กันยายน 2557).

[4] สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย (วว.). 2556. **เทคโนโลยีสาหร่าย วว. : จากความรู้...สู่ความเป็นเลิศ.** [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก : http://www.tistr.or.th/tistr/newsboard/shownews.php?Category=newsboard&No=416. (วันที่ค้นข้อมูล : 3 กันยายน 2557).

[5] ฝ่ายชุมชนและผู้ด้อยโอกาส สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ. **เมื่อสาหร่ายกลายเป็นน้ำมัน.** [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก : http://nstda.or.th/rural/public/100%20articles-stkc/51.pdf. (วันที่ค้นข้อมูล : 3 กันยายน 2557).

[6] Shen, Y., W. Yuan, Z. J. Pei, Q. Wu, and E. Mao. 2009. **MICROALGAE MASS PRODUCTION METHODS.** Trans. ASABE. 52(4), 1275-1287.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง (ต่อ)

[7] Raphael Slade, and Ausilio Bauen. 2013. **Micro-algae cultivation for biofuels: Cost, energy balance, environmental impacts and future prospects.** Imperial Centre for Energy Policy and Technology, Centre for Environmental Policy, Imperial College London, South Kensington Campus, London SW7 2AZ, UK, 29-38.

[8] Qingxue Kong, Fei Yu, Paul Chen, and Roger Ruan. 2007. **High oil content microalgae selection for biodiesel production.** Bioproducts and Biosystems Engineering, Minnesota University.

[9] James W. Richardson, Myriah D. Johnson, Joe L. Outlaw. 2012. **Economic comparison of open pond raceways to photo bio-reactors for profitable production of algae for transportation fuels in the Southwest.** Agricultural Economics, Texas University, United States.

[10] Fangrui Ma, and Milford A. Hanna. **Biodiesel production.** Food Science and Technology, Nebraska, Lincoln, Ne, USA.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้