วารสาร มทร.อีสาน
ฉบับวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี
ISSN 1906-215X

ประสิทธิภาพการลดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์โดยสาหร่ายสีเขียวขนาดเล็ก
The Efficiency of CO_2 Capture by Green Microalgae

ครรชิต เงินคำคง[1*] ศิราภรณ์ ชื่นบาล[2] ฐปน ชื่นบาล[2] และนันท์นภัส เงินคำคง[3]

Received: September, 2016; Accepted: April, 2017

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มุ่งเน้นศึกษาถึงประสิทธิภาพของสาหร่ายสีเขียวขนาดเล็กในการลดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และผลของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ต่อการเจริญของสาหร่าย การศึกษาครั้งนี้ได้ทำการคัดเลือกสาหร่าย *Chlorella* sp., *Chlorella* sp. MJU, *Scenedesmus* sp. และ *Scenedesmus obliquus* TISTR 8522 โดยทำการเพาะเลี้ยงสาหร่ายในอาหารเหลวสูตร JM ในถังไบโอรีแอคเตอร์ ปริมาตร 5 ลิตร โดยให้ความเข้มแสง 4,000 ลักซ์ และให้อากาศด้วยเครื่องเติมอากาศตลอด 24 ชั่วโมง ทำการเติมก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ร้อยละ 99 ที่อัตราการไหล 0.10 vvm เป็นเวลา 16 วัน ผลการศึกษาพบว่าสาหร่าย *Chlorella* sp. MJU มีประสิทธิภาพในการลดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์สูงสุด โดยมีค่าอัตราการเจริญเติบโตจำเพาะสูงสุดเท่ากับ 0.86 ± 0.01 ต่อวัน ค่ามวลสาหร่ายสูงสุดเท่ากับ 4,040.00 ± 0.00 มิลลิกรัมต่อลิตร และประสิทธิภาพในการลดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์สูงสุดร้อยละ 96.00 ± 0.10

คำสำคัญ : สาหร่ายสีเขียวขนาดเล็ก; การลดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์; มวลสาหร่าย

[1] *คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา เชียงใหม่*
[2] *คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยแม่โจ้ เชียงใหม่*
[3] *คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเชียงใหม่*
[*] *Corresponding Author E - mail Address: kunchit2516@rmutl.ac.th*

Abstract

The current research focused on the efficiency of microalgae on carbon dioxide capture and the effect of carbon dioxide on growth of microalgae. The experiment selected *Chlorella* sp., *Chlorella* sp. MJU, *Scenedesmus* sp. and *Scenedesmus obliquus* TISTR 8522, and they were cultivated in a liquid formula (5 liters) in a bioreactor using Jaworsk's medium under 24-hour light intensity of 4,000 lux and aeration. The experiment added CO_2 (99 %) at a flow rate of 0.10 vvm over a period of 16 days. The results showed that the maximum specific growth rate and biomass productivity were 0.86 ± 0.01 d-1 and 4,040.00 ± 0.00 mg/L with *Chlorella* sp. MJU. The maximum CO_2 capture efficiency was 96.00 ± 0.10 %.

Keywords: Green Microalgae; CO_2 Capture; Biomass

บทนำ

การเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศที่เกิดจากการกระทำของมนุษย์ ที่ทำให้อุณหภูมิเฉลี่ยของโลกเพิ่มสูงขึ้น เรียกว่า ภาวะโลกร้อน (Global Warming) สาเหตุที่ทำให้เกิดภาวะโลกร้อนก็เพราะว่าก๊าซเรือนกระจกที่เพิ่มขึ้นจากการทำกิจกรรมต่าง ๆ ของมนุษย์ ไม่ว่าจะเป็นการเผาผลาญถ่านหินและเชื้อเพลิง รวมไปถึงสารเคมีที่มีส่วนผสมของก๊าซเรือนกระจกที่มนุษย์ใช้และอื่น ๆ อีกมากมาย จึงทำให้ก๊าซเรือนกระจกเหล่านี้ลอยขึ้นไปรวมตัวกันอยู่บนชั้นบรรยากาศของโลก ทำให้รังสีของดวงอาทิตย์ที่ควรจะสะท้อนกลับออกไปในปริมาณที่เหมาะสม กลับถูกก๊าซเรือนกระจกเหล่านี้กักเก็บไว้ ทำให้อุณหภูมิของโลกค่อย ๆ สูงขึ้นจากเดิม [1] โดยเฉพาะก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ซึ่งเป็นก๊าซเรือนกระจกที่สำคัญ การสะสมของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในบรรยากาศ ทำให้อุณหภูมิเฉลี่ยในบรรยากาศสูงขึ้นเกิดเป็นภาวะโลกร้อนที่มีผลกระทบไปทั่วโลก โดยประเทศไทยมีปริมาณการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เพิ่มขึ้นในช่วงทศวรรษที่ผ่านมาเช่นกัน แนวทางในการแก้ไขปัญหาและการลดปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ นอกจากการลดการใช้เชื้อเพลิงจากฟอสซิล ในปัจจุบันมีอีกทางเลือกหนึ่ง คือ การนำศักยภาพของสาหร่ายขนาดเล็กมาใช้ประโยชน์ในการลดปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (Biological CO_2 Mitigation) โดยอาศัยขบวนการสังเคราะห์แสงเป็นสำคัญโดยอาศัยแสงจากดวงอาทิตย์เพื่อเปลี่ยนก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ไปเป็นน้ำตาลซึ่งเป็นสารที่ใช้พลังงาน ดังสมการที่ (1) [2]

$$6CO_2 + 12H_2O \xrightarrow[\text{คลอโรฟิลล์}]{\text{แสง}} C_6H_{12}O_6 + 6H_2O + 6O_2 \quad (1)$$

กระบวนการลดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในบรรยากาศด้วยวิธีนี้ สามารถใช้กับพืชและสิ่งมีชีวิตอื่น ๆ ที่สามารถสังเคราะห์แสงได้ ถึงแม้ว่าความเป็นไปได้ในการดูดซับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ด้วยพืชที่ใช้ในการเกษตรโดยทั่วไปนั้นมีเพียงร้อยละ 3 - 6 ของปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่เกิดจากการเผาไหม้ในปัจจุบัน ทั้งนี้เนื่องมาจากอัตราการเจริญของพืชบกนั้นเป็นไปอย่างช้า ๆ ในขณะที่พืชน้ำโดยเฉพาะสาหร่ายซึ่งเป็นกลุ่มของสิ่งมีชีวิตขนาดเล็ก มีทั้งเซลล์เดียวและหลายเซลล์นั้นมีอัตราการเจริญสูงกว่ามาก จึงมีความสามารถในการดูดซับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ด้วยกระบวนการสังเคราะห์แสงได้มากกว่าพืชบนบก ไม่ว่าจะเป็นป่าไม้ พืชทางการเกษตรหรือแม้แต่พืชน้ำอื่น ๆ การใช้ประโยชน์จากสาหร่ายขนาดเล็กจึงเป็นทางเลือกที่น่าสนใจเพื่อลดปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ เช่น สาหร่าย *Spirulina platensis* มีประสิทธิภาพในการลดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์อยู่ระหว่างร้อยละ 90 - 100 [3] และสาหร่าย *Chlorella* vulgaris มีประสิทธิภาพในการลดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ถึงร้อยละ 82.50 - 99 [4] ส่วนสาหร่าย *Scedesmus obliquus* WUST4 สามารถลดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ได้ถึงร้อยละ 67 [5] รวมไปถึงสามารถนำมวลสาหร่ายไปใช้ประโยชน์ในอุตสาหกรรมต่าง ๆ ได้อีกด้วย ดังนั้นจะเห็นได้ว่าสาหร่ายมีความสำคัญต่อมนุษย์ในด้านต่าง ๆ ทั้งด้านสิ่งแวดล้อม และการนำมาใช้ประโยชน์ด้านอื่น ๆ เช่น ด้านระบบนิเวศวิทยา ด้านลดก๊าซเรือนกระจก ด้านอาหาร ด้านอุตสาหกรรม ด้านเกษตรกรรม และด้านการใช้เป็นพลังงานชีวภาพ เป็นต้น [6] เพื่อสนับสนุนแนวคิดดังกล่าว งานวิจัยนี้มุ่งเน้นศึกษาถึงชนิดของสาหร่ายสีเขียวขนาดเล็กที่สามารถเจริญได้ในสภาพที่มีก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์สูง ๆ และประสิทธิภาพในการลดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ของสาหร่ายสีเขียวขนาดเล็กแต่ละชนิด รวมทั้งผลของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ต่อการเจริญเติบโตของสาหร่ายและให้ผลผลิตที่ดี เพื่อเป็นแนวทางประยุกต์ใช้ในการลดปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่เกิดจากกระบวนการต่าง ๆ ผลที่ได้จากงานวิจัยนี้สามารถนำไปใช้เป็นข้อมูลสำหรับการพิจารณาศักยภาพ ความเป็นไปได้ของการใช้ประโยชน์จากสาหร่ายในด้านอุตสาหกรรมในเชิงพาณิชย์ต่อไป ทั้งในด้านการลดปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และยังช่วยแก้ไขปัญหาสิ่งแวดล้อมควบคู่ไปด้วย

วิธีดำเนินการวิจัย

1. **สารเคมี อุปกรณ์ และสาหร่ายสีเขียวขนาดเล็กที่ใช้ในการศึกษา**
   - 1.1 สารเคมีที่ใช้ในการวิเคราะห์ทุกชนิดเป็น Analytical Reagent (AR)
   - 1.2 อุปกรณ์
     - เครื่องวัดความเข้มแสง; 4 in 1 multi-function environmental; light meter model ST-8820; Taiwan
     - เครื่องวัดความเป็นกรดด่าง; Ohaus model starter 3100; USA
     - เครื่องดูดจ่ายสารเคมี; Watson marlow model 502S; UK
     - เครื่องวัดดูดกลืนแสง; HACH model DR/4000U; USA
     - เครื่องวัดองค์ประกอบก๊าซ; Geotech model biogas 5000; UK

1.3 สาหร่ายที่ใช้ในการศึกษาสายพันธุ์ *Chlorella* sp. ได้รับมาจากสถาบันวิจัยพลังงานนครพิงค์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, *Chlorella* sp. MJU ได้รับมาจากสาขาวิชาเทคโนโลยีสิ่งแวดล้อม คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยแม่โจ้, *Scenedesmus* sp. ได้รับมาจากภาควิชาชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ และสาหร่าย *Scenedesmus obliquus* TISTR 8522 ได้รับมาจากสถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย เลี้ยงในอาหารเหลวสูตร Jaworski's Medium (JM)

1.4 เป็นการศึกษาการเพาะเลี้ยงสาหร่ายแบบ Batch Culture

2. การเตรียมหัวเชื้อสาหร่าย

นำหัวเชื้อสาหร่ายทั้ง 4 ชนิด มาเลี้ยงในอาหารเหลวสูตร Jaworski's Medium สำหรับเลี้ยง *Chlorella* sp. *Chlorella* sp. MJU *Scenedesmus* sp. และ *Scenedesmus obliquus* TISTR 8522 โดยใช้หัวเชื้อเริ่มต้นมีค่าความหนาแน่นของเซลล์สาหร่าย (Optical Density: OD_{560}) อยู่ที่ 0.8 จำนวนร้อยละ 10 โดยปริมาตร มาถ่ายลงถังขนาด 40 ลิตร ที่บรรจุอาหารเหลว ปริมาตร 20 ลิตร เพื่อทำการเพิ่มปริมาณสาหร่าย โดยให้แสงไฟจากหลอดไฟสีส้ม (Warm White Light) ค่าความเข้มแสง 4,000 ลักซ์ โดยให้แสงตลอด 24 ชั่วโมง และให้อากาศจากเครื่องปั๊มอากาศผ่านหัวทรายเพื่อช่วยกวนน้ำป้องกันการตกตะกอนของเซลล์สาหร่าย ตลอด 24 ชั่วโมง ทำการเลี้ยงสาหร่ายจนมีค่าความหนาแน่นของเซลล์สาหร่ายอยู่ในช่วง 0.4 - 1.0 เพื่อใช้เป็นหัวเชื้อตั้งต้นในการทดลองขั้นต่อไป

3. ศึกษาค่าความเป็นกรดด่างของสาหร่าย

โดยใช้เครื่องวัดความเป็นกรดด่าง โดยทำการตรวจวัดตัวอย่างทุก ๆ 2 วัน เป็นเวลา 16 วัน

4. ศึกษาผลของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ต่อผลผลิตของสาหร่ายสีเขียวขนาดเล็ก

นำหัวเชื้อสาหร่ายสีเขียวขนาดเล็กแต่ละชนิดที่เพาะเลี้ยงไว้ในข้อ 2 มาทำการศึกษาชุดการทดลองละ 3 ซ้ำ ทำการทดลองในถังไบโอรีแอคเตอร์ขนาด 10 ลิตร ปริมาตร 5 ลิตร โดยเติมอากาศจากเครื่องปั๊มอากาศผ่านหัวทรายเพื่อช่วยกวนน้ำป้องกันการตกตะกอนของเซลล์สาหร่าย ตลอด 24 ชั่วโมง นอกจากเติมอากาศแล้วทำการเติมก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ร้อยละ 99 ที่อัตราการไหล 0.10 vvm (ปริมาตรก๊าซต่อปริมาตรอาหารต่อนาที) ตลอดเวลาการทดลอง โดยใช้เครื่องดูดจ่ายสารเคมีในการดูดจ่ายปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ โดยให้แสงไฟจากหลอดไฟสีส้ม ค่าความเข้มแสง 4,000 ลักซ์ ตลอด 24 ชั่วโมง ทำการเก็บตัวอย่างทุก ๆ 2 วัน เป็นเวลา 16 วัน โดยศึกษาอัตราการเจริญเติบโตของสาหร่ายในรูปของค่าความหนาแน่นของเซลล์สาหร่ายโดยใช้เครื่อง Uv-visible spectrophotometer รวมไปถึงมวลสาหร่ายในรูปน้ำหนักแห้ง [7] เพื่อดูแนวโน้มการเจริญเติบโต และอัตราการเจริญเติบโตจำเพาะ (μ) ซึ่งคำนวณได้จากสมการที่ (2) [8]

$$\mu = \frac{\ln(N/N0)}{t} \tag{2}$$

เมื่อ

μ = อัตราการเจริญเติบโตจำเพาะ (d^{-1})

N = มวลสาหร่ายวันเก็บตัวอย่าง (mg/L)

$N0$ = มวลสาหร่ายเริ่มต้นในการทดลอง (mg/L)

t = เวลา (day)

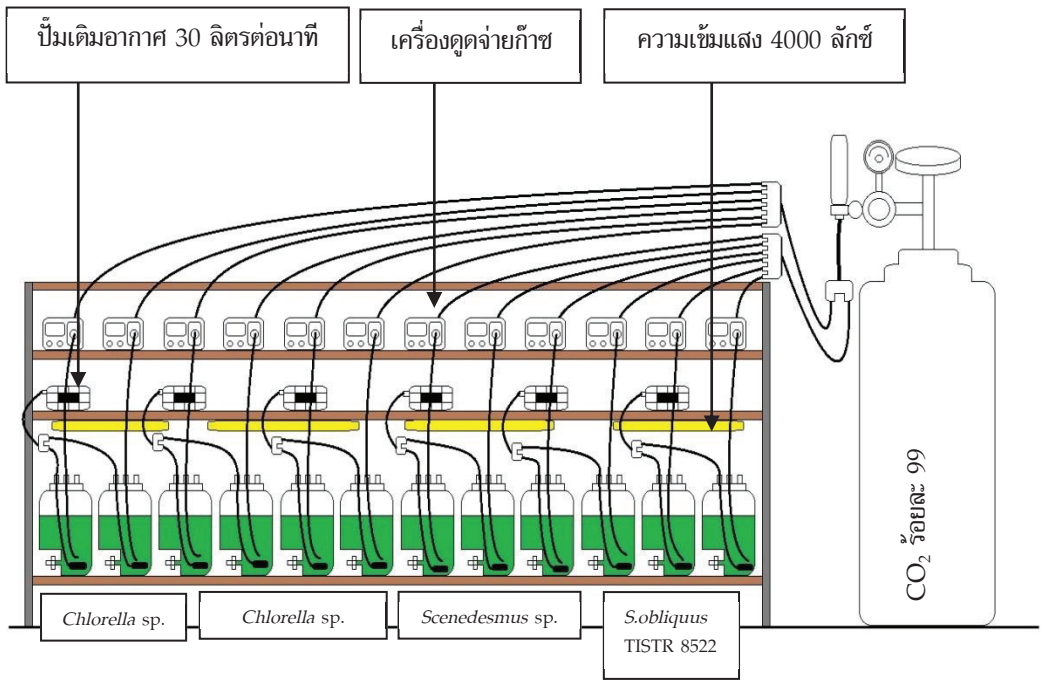
5. ศึกษาประสิทธิภาพของการลดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ของสาหร่ายสีเขียวขนาดเล็กแต่ละชนิด

ทำการศึกษาประสิทธิภาพของการลดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ โดยวัดปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ก่อนเข้าชุดการทดลอง (Influent of CO_2) และทำการวัดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่เหลือจากการใช้ของสาหร่ายที่ออกจากชุดการทดลอง (Effluent of CO_2) โดยใช้เครื่องวัดองค์ประกอบก๊าซต่อเข้ากับชุดการทดลอง และทำการเก็บตัวอย่างทุก ๆ 2 วัน เป็นเวลา 16 วัน แล้วนำค่าที่ได้ไปคำนวณหาประสิทธิภาพการลดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ของสาหร่ายขนาดเล็กซึ่งคำนวณได้จากสมการที่ (3) [9]

$$CO_2\ Capture\ effucuebcy\ (\%) = \frac{Influent\ of\ CO_2 - Effluent\ of\ CO_2}{Influent\ of\ CO_2} \times 100 \quad (3)$$

6. การรวบรวมข้อมูล

นำข้อมูลค่าเฉลี่ยของค่าความหนาแน่นของเซลล์สาหร่าย มวลสาหร่าย อัตราการเจริญเติบโตจำเพาะ และประสิทธิภาพการลดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ของสาหร่ายแต่ละชนิดมาวิเคราะห์ความแตกต่าง เมื่อพบความแตกต่างจะทำการวิเคราะห์เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยพารามิเตอร์ของสาหร่ายทั้ง 4 ชนิด โดยเปรียบเทียบทุกคู่พร้อมกันในแนวนอนด้วยวิธี Tukey Simultaneous ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ด้วยโปรแกรม Minitab Version 16 (Minitab Inc., USA)

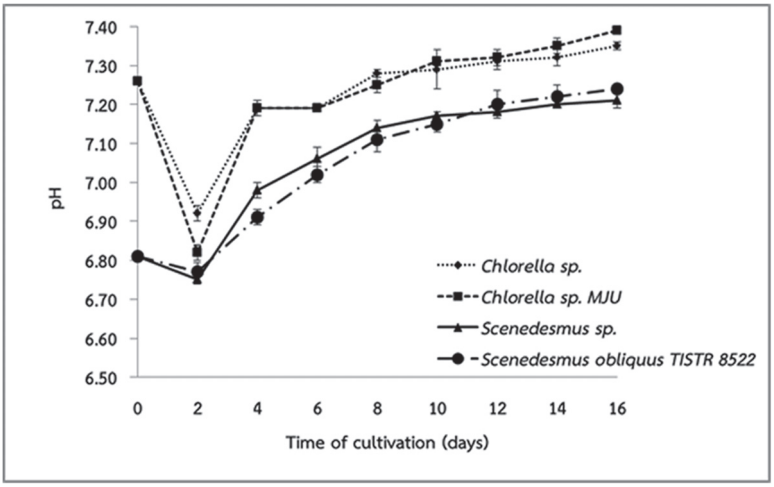


รูปที่ 1 ขั้นตอนการศึกษาประสิทธิภาพการลดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ด้วยสาหร่ายสีเขียวขนาดเล็ก

ผลการวิจัย และอภิปรายผล

ผลของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่มีต่อค่าความเป็นกรดด่าง

จากการศึกษาผลของปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ต่อค่าความเป็นกรดด่างของสาหร่าย *Chlorella* sp. *Chlorella* sp. MJU *Scenedesmus* sp. และ *Scenedesmus obliquus* TISTR 8522 มีค่าความเป็นกรดด่างเมื่อเติมปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ร้อยละ 99 ที่อัตราการไหล 0.10 vvm มีค่าอยู่ระหว่าง 6.92 ± 0.02 – 7.35 ± 0.01, 6.82 ± 0.01 – 7.39 ± 0.01, 6.75 ± 0.01 – 7.21 ± 0.02 และ 6.77 ± 0.03 – 7.24 ± 0.00 ตามลำดับ จากรูปที่ 2 พบว่าในช่วงแรก ๆ ของการทดลองค่าความเป็นกรดด่างของสาหร่ายทั้ง 4 ชนิด จะลดต่ำลงเมื่อสาหร่ายปรับตัว (Lag Phase) เข้ากับสภาวะได้และเข้าสู่ช่วงเจริญเติบโต (Exponential Phase) จึงมีความต้องการใช้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในปริมาณมากเพื่อใช้ในการสังเคราะห์แสง ทำให้ค่าความเป็นกรดด่างมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น และอาจเป็นเพราะว่าเมื่อสาหร่ายมีการเจริญเติบโตมากขึ้นจะมีการปล่อยของเสียออกมาในรูปของแอมโมเนีย ซึ่งจะทำให้มีแนวโน้มที่ค่าความเป็นกรดด่างสูงขึ้น [10] สอดคล้องกับรายงานวิจัยที่ทำการศึกษาถึงการเติมก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ลงไปในการเพาะเลี้ยงสาหร่าย *Chlorella* sp. MTF-7 อัตราการไหล 0.05 vvm พบว่า ค่าความเป็นกรดด่างจะลดลงจากช่วง 7.90 – 8.20 มาอยู่ที่ 6.30 – 6.50 [11] ส่วนสาหร่าย *Chlorella* sp. MM-2 เมื่อมีการเติมก๊าซชีวภาพลงไปค่าความเป็นกรดด่างก็ลดลงจาก 8.50 มาอยู่ที่ 6.50 [9] โดยทั่วไปสาหร่าย *Chlorella* sp. และสาหร่าย *Scenedesmus* sp. เติบโตได้ดีในช่วงค่าความเป็นกรดด่างช่วงกว้าง และสามารถเติบโตได้ในช่วงค่าความเป็นกรดด่างที่มีสภาวะเป็นกรดเล็กน้อยจนถึงกลาง ค่าความเป็นกรดด่างที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของสาหร่ายบางสายพันธุ์ เช่น *Chlorella vulguris* อยู่ประมาณ 6.30 [12] และสาหร่าย *Chlorella homishpaera* เจริญเติบโตได้ดีมีค่าความเป็นกรดด่างเท่ากับ 6.00 [13] ส่วนสาหร่าย *Scenedesmus* sp. R-16 เจริญเติบโตได้ดีมีค่าความเป็นกรดด่างอยู่ในช่วง 6.00 – 11.00 [14] และสาหร่าย *Scenedesmus obliquus* อยู่ระหว่าง 5.33 – 7.08 [15]



รูปที่ 2 ผลของปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่มีต่อค่าความเป็นกรดด่างของสาหร่าย *Chlorella* sp. *Chlorella* sp. MJU *Scenedesmus* sp. และ *Scenedesmus obliquus* TISTR 8522

ผลของปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่มีต่อค่าความหนาแน่นของเซลล์สาหร่าย อัตราการเจริญเติบโตจำเพาะ มวลสาหร่าย และประสิทธิภาพในการลดปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ของสาหร่ายสีเขียวขนาดเล็ก

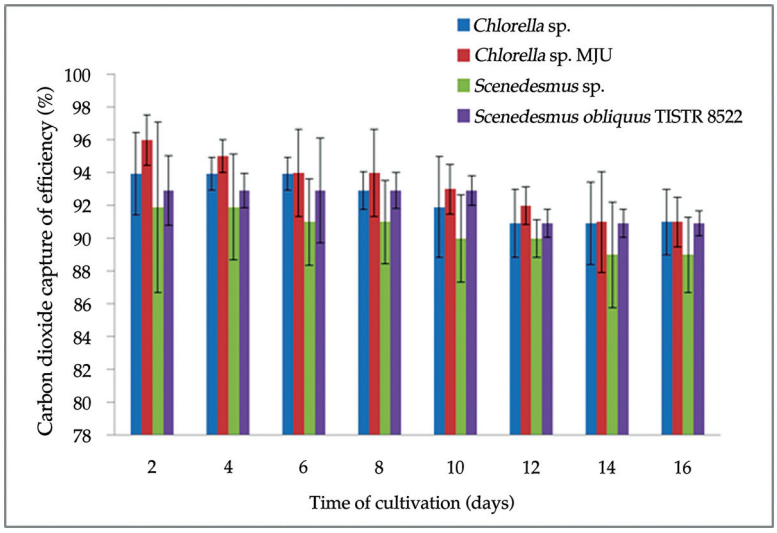
จากการศึกษาผลของปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่มีต่อค่าความหนาแน่นของเซลล์สาหร่าย พบว่า สาหร่าย *Chlorella* sp. MJU *Chlorella* sp. *Scenedesmus obliquus* TISTR 8522 และสาหร่าย *Scenedesmus* sp. มีค่าความหนาแน่นของเซลล์สาหร่ายสูงสุด คือ 0.91 ± 0.02, 0.85 ± 0.02, 0.82 ± 0.01 และ 0.81 ± 0.02 ตามลำดับ (ตารางที่ 1) และพบว่าสาหร่าย *Chlorella* sp. MJU และ *Chlorella* sp. มีค่าความหนาแน่นของเซลล์สาหร่ายแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) ส่วนสาหร่าย *Scenedesmus obliquus* TISTR 8522 และ *Scenedesmus* sp. ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) โดยสาหร่าย *Chlorella* sp. MJU มีค่ามวลสาหร่ายสูงที่สุด รองลงมาเป็นสาหร่าย *Chlorella* sp. *Scenedesmus obliquus* TISTR 8522 และ *Scenedesmus* sp. ตามลำดับ คือ 4,040.00 ± 0.00, 2,566.67 ± 15.28, 1,150.00 ± 50.00 และ 1,006.67 ± 81.40 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ (ตารางที่ 1) และเมื่อนำข้อมูลมวลสาหร่ายทั้ง 4 ชนิด ไปวิเคราะห์ค่าความแตกต่างของลักษณะมวลสาหร่ายพบว่า สาหร่าย *Chlorella* sp. MJU และ *Chlorella* sp. มีค่ามวลสาหร่ายแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) ส่วนสาหร่าย *Scenedesmus obliquus* TISTR 8522 และ *Scenedesmus* sp. ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) จากการศึกษาพบว่าสาหร่ายทั้ง 4 สายพันธุ์ มีค่าความหนาแน่นของเซลล์สาหร่าย และมวลสาหร่ายแตกต่างกัน อาจเนื่องมาจากชนิดของสาหร่ายแต่ละสายพันธุ์ รวมไปถึงสภาวะที่เหมาะสมในการเจริญเติบโตของสาหร่ายนั้น ๆ ดังนั้นการเติมก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่อัตราการไหล 0.10 vvm สาหร่าย *Chlorella* sp. MJU มีค่าความหนาแน่นของเซลล์สาหร่ายและมวลสาหร่ายสูงสุด จึงเป็นสภาวะที่เหมาะสมในการเพาะเลี้ยง

เมื่อนำค่ามวลสาหร่ายมาหาค่าอัตราการเจริญเติบโตจำเพาะ พบว่าสาหร่าย *Chlorella* sp. MJU *Chlorella* sp. *Scenedesmus obliquus* TISTR 8522 และสาหร่าย *Scenedesmus* sp. มีค่าอัตราการเจริญเติบโตจำเพาะสูงสุด คือ 0.86 ± 0.01, 0.76 ± 0.01, 0.58 ± 0.01 และ 0.54 ± 0.01 ต่อวัน ตามลำดับ (ตารางที่ 1) และเมื่อนำข้อมูลอัตราการเจริญเติบโตจำเพาะที่ได้จากการศึกษาของสาหร่ายทั้ง 4 ชนิด ไปวิเคราะห์ค่าความแตกต่างของลักษณะการเจริญเติบโตจำเพาะพบว่า สาหร่ายแต่ละชนิดมีอัตราการเจริญเติบโตจำเพาะที่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) และยังพบความสัมพันธ์ระหว่างค่าอัตราการเจริญเติบโตกับประสิทธิภาพการลดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ของสาหร่ายทั้ง 4 ชนิด พบว่าการเติมก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ลงไปนั้นในช่วงแรก สาหร่ายจะเข้าสู่ช่วงปรับตัว (Log Phase) เข้ากับสภาวะและเข้าสู่ช่วงเจริญเติบโต (Exponential Phase) จึงมีความต้องการให้คาร์บอนไดออกไซด์ในปริมาณมากเพื่อใช้ในการสังเคราะห์แสง ทำให้สาหร่ายมีประสิทธิภาพในการลดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ได้ดี หลังจากนั้นสาหร่ายจะเข้าสู่ระยะการเจริญเติบโตช้าลง (Phase of Declining Relative Growth) และเข้าสู่การเจริญเติบโตหยุดนิ่ง (Stational Phase) ทำให้ค่าอัตราการเจริญเติบโตจำเพาะและประสิทธิภาพการลดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ของสาหร่ายมีแนวโน้มลดลงเมื่อเวลาเพิ่มขึ้น

ตารางที่ 1 ผลของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ต่อค่าความหนาแน่นของเซลล์สาหร่ายสูงสุด (OD_{max}) มวลสาหร่ายสูงสุด ($Biomass_{max}$) อัตราการเจริญเติบโตจำเพาะสูงสุด (μ_{max}) และประสิทธิภาพของการลดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เฉลี่ยของสาหร่าย *Chlorella* sp. *Chlorella* sp. MJU *Scenedesmus* sp. และ *Scenedesmus obliquus* TISTR 8522

Parameter	Microalgae			
	Chlorella sp.	*Chlorella* sp. MJU	*Scenedesmus* sp.	*S. obliquus* TISTR 8522
OD_{max}	0.85 ± 0.02B	0.91 ± 0.02A	0.81 ± 0.02C	0.82 ± 0.01C
$Biomass_{max}$ (mg/L)	2,566.67±15.28B	4,040.00±0.00A	1,006.67±81.40C	1,150.00±50.00C
μ_{max} (d^{-1})	0.76 ± 0.01B	0.86 ± 0.01A	0.54 ± 0.01D	0.58 ± 0.01C
CO_2 capture efficiency (%)	92.44 ± 1.42A	93.25 ± 1.83A	90.48 ± 1.17A	92.17 ± 1.05AB

หมายเหตุ ค่าเฉลี่ย (± S.D.) ในแถวแนวนอนอักษรภาษาอังกฤษกำกับ (A, B, C และ D) ต่างกัน แสดงว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ซึ่งเป็นการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยพารามิเตอร์ของสาหร่ายทั้ง 4 ชนิด โดยเปรียบเทียบทุกคู่พร้อมกัน โดยวิธี Tukey Simultaneous



รูปที่ 3 ประสิทธิภาพการลดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ของสาหร่าย *Chlorella* sp. *Chlorella* sp. MJU *Scenedesmus* sp. และ *S. obliquus* TISTR 8522

จากการศึกษาประสิทธิภาพการลดปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ของสาหร่ายทั้ง 4 ชนิด ที่อัตราการเติมก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่อัตราการไหล 0.10 vvm พบว่าสาหร่าย *Chlorella* sp. MJU *Chlorella* sp. *Scenedesmus obliquus* TISTR 8522 และสาหร่าย *Scenedesmus* sp. มีประสิทธิภาพในการลดปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เฉลี่ยที่ร้อยละ 93.25 ± 1.83 92.44 ± 1.42 92.17 ± 1.05

และ 90.48 ± 1.17 ตามลำดับ และยังพบว่าสาหร่ายทั้ง 4 ชนิด มีประสิทธิภาพในการลดปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่ไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$)

จากการศึกษา (รูปที่ 3) พบว่าสาหร่ายทั้ง 4 ชนิด มีประสิทธิภาพในการลดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยมีค่าสูงสุดในวันที่ 2 เมื่อเวลาผ่านไปประสิทธิภาพการลดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ค่อย ๆ ลดลง เพราะว่าอัตราการเจริญเติบโตของสาหร่าย เมื่อเวลานานขึ้นสารอาหารเริ่มหมดลง สาหร่ายแต่ละชนิดมีประสิทธิภาพในการลดปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่ต่างกัน บางสายพันธุ์ลดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ได้ดี เช่น สาหร่าย *Chlorella vulguris* มีประสิทธิภาพในการลดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ได้ถึงร้อยละ 82.50 - 99.00 [4] 74.00 [16] และร้อยละ 97.07 [17] ส่วนรายงานวิจัยของ Li, F.-F. et al. [5] พบว่าสาหร่าย *Scenedesmus obliquus* WUST4 มีประสิทธิภาพในการลดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ร้อยละ 67.00 ดังนั้นการใช้ประโยชน์จากสาหร่ายสีเขียวขนาดเล็กจึงเป็นทางเลือกที่น่าสนใจในการลดปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่เกิดจากกระบวนการต่าง ๆ ผลที่ได้จากงานวิจัยนี้สามารถนำไปใช้เป็นข้อมูลสำหรับการพิจารณาศักยภาพ ความเป็นไปได้ของการใช้ประโยชน์จากสาหร่ายในด้านอุตสาหกรรมในเชิงพาณิชย์ต่อไป ทั้งในด้านการลดปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และยังช่วยแก้ไขปัญหาสิ่งแวดล้อมควบคู่ไปด้วย

สรุปผล

การศึกษาชนิดของสาหร่ายสีเขียวขนาดเล็กที่มีประสิทธิภาพในการลดปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และให้ผลผลิตที่ดี โดยทำการเพาะเลี้ยงสาหร่ายจำนวน 4 ชนิด ได้แก่ *Chlorella* sp. *Chlorella* sp. MJU *Scenedesmus* sp. และ *Scenedesmus obliquus* TISTR 8522 ในถังไบโอรีแอคเตอร์ปริมาตร 5 ลิตร เติมก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ร้อยละ 99 ที่อัตราการไหล 0.10 vvm พบว่าสาหร่าย *Chlorella* sp. MJU มีการเจริญเติบโตและประสิทธิภาพในการลดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ดีกว่าสาหร่าย *Chlorella* sp. *Scenedesmus obliquus* TISTR 8522 และ *Scenedesmus* sp. โดยมีค่าความหนาแน่นของเซลล์สาหร่ายสูงสุดเท่ากับ 0.91 ± 0.02 ค่าอัตราการเจริญเติบโตจำเพาะสูงสุดเท่ากับ 0.86 ± 0.01 ต่อวัน ค่ามวลสาหร่ายสูงสุดเท่ากับ 4,040.00 ± 0.00 มิลลิกรัมต่อลิตร และประสิทธิภาพในการลดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์สูงสุดร้อยละ 96.00 ± 0.10

กิตติกรรมประกาศ

โครงการวิจัยนี้ได้รับทุนการสนับสนุนจากสำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ

References

[1] Astri, R., Kania, D., Edwan, K. and Dea, I.A. (2014). Biotechnology Carbon Capture and Storage (CCS) by Mix-Culture Green Microalgae to Enhancing Carbon Uptake Rate and Carbon Dioxide Removal Efficiency with Variation Aeration Rates in Closed System Photobioreactor. **Sciences and Engineering**. Vol. 69. No. 6. pp. 105-109

[2] Xing, Z. (2015). **Microalgae Remove of CO_2 from Flue Gas**. United Kingdom : London SW18 1DD.

[3] Bahr, M., I. Diaz, A. Domingauez, A.G. Sanchez and R. Munoz. (2014). Microalgal-Biotechnology as a Platform for an Integral Biogas Upgrading and Nutrient Removal from Anaerobic Effluents. Environmental Science and Technology. Vol. 48. Issue 1. pp. 573-581

[4] Lam, M.K. and Lee, K.T. (2013). Effect of Carbon Source Towards the Growth of *Chlorella vulguris* for CO_2 Bio-Mitigation and Biodiesel Production. **Greenhouse Gas Control**. Vol. 14. pp. 169-176

[5] Li, F.-F., Yang, Z., Zeng, R., Yang, G., Chang, X., Yan, J.-B. and Hou, Y.-L. (2011). Microalgae Capture of CO_2 from Actual Flue Gas Discharged from a Combustion Chamber. **Industrial and Engineering Chemistry Research**. Vol. 50. No. 10. pp. 6496-6502

[6] Demirbas, A. (2010). Use of Algae as Biofuel Sources. **Energy Conversion and Management**. Vol. 51. Issue 12. pp. 2738-2749

[7] Toledo-Cervantes, A., Morales, M., Novelo, E. and Revah, S. 2013). Carbon Dioxide Fixation and Lipid Storage by *Scenedesmus obtusiusculus*. **Bioresource Technology**. Vol. 130. pp. 652-658

[8] Vonshak, A. (1986). **Microalgae : Laboratory Growth Techniques and Outdoor Biomass Production. In Coombs, J., Hall, D.O., Long, S.P. and Scurlock, J.M.O. (eds.)**. Techniques in Bioproductivity and Photosynthesis. 2nd. Pergamon Press.

[9] Kao, C.-Y., Chiu, S.-Y., Huang, T.-T., Dai, L., Hsu, L.-K. and Lin, C.-S. (2012). Ability of a Mutant Strain of Microalgae *Chlorella* sp. to Capture Carbon Dioxide Capture for Biogas Upgrading. **Applied Energy**. Vol. 39. pp. 76-183

[10] Shuler, M.L. and F. Kargi. (1922). **Bioprocess Engineering : Basic Concept**. USA: Englewood Cliffes, N.J. : Prentical Hall.

[11] Chiu, S.-Y., Kao, C.-Y., Huang, T.-T., Lin, C.-J., Ong, S.-C., Chen, C.-D., Chang, J.-S. and Lin, C.-S. (2011). Microalgal Biomass Production and On-Site Bioremediation of Carbon Dioxide, Nitrogen Oxide and Sulfur Dioxide from Flue Gas using *Chlorella* sp. Cultures. **Bioresource Technology**. Vol. 102. pp. 9135-9142

[12] Malis-Arad, S. and McGrowan, R.E. (1982). Alkalinity-Induced Aggregation in *Chlorella vulgaris* II. Changes in the Cell Wall During the Cell Cycle. **Plant and Cell Physiology**. Vol. 23. No. 1. pp. 11-17

[13] Richmond, A. (2004). **Handbook of Microalgal Culture. Biotechnology and Applied Phycology**. USA : Blackwell Publishing.

[14] Ren, H.-Y., Liu, B.-F., Ma, C., Zhao, L. and Ren, N.-Q. (2013). A New Lipid-Rich Microalga *Scenedesmus* sp. Strain R-16 Isolated using Nile Red Staining : Effects of Carbon and Nitrogen Sources and Initial pH on the Biomass and Lipid Production. **Biotechnology for Biofuels**. Vol. 6. No. 143. pp. 1-10

[15] Morais, M.G.D. and Costa, J.A.V. (2007). Carbon Dioxide Fixation by *Cholrella kessleri, C. vulguris, Scenedesmus obiquus* and *Spirulina* sp. Cultivated in Flasks and Vertical Tubular Photobioreactors. **Biotechnology Letters**. Vol. 29. Issue 9. pp. 1349-1352

[16] Keffer, J. and Kleinheinz, G. (2002). Use of *Chlorella vulgaris* for CO_2 Mitigation In a Photobioreactor. **Industrial Microbiology and Biotechnology**. Vol. 29. pp. 275-280

[17] Mann, G., Schlegel, M., Schumann, R. and Sakalauskas, A. (2009). Biogas-Condition with Microalgae. **Agronomy Research**. Vol. 7. No. 1. pp. 33-38