Journal of Applied Science and Emerging Technology (JASET)
Published by Faculty of Applied Science, KMUTNB, Thailand
doi: 10.14416/JASET.KMUTNB.2025.01.007
Vol. 24, No. 1 [2025]: e257430

Research Article

การศึกษาการเจริญเติบโตของสาหร่ายขนาดเล็กสายพันธุ์ *Monoraphidium* sp. เพื่อดูดซับคาร์บอนไดออกไซด์จากก๊าซชีวภาพผ่านระบบ Photo-Bioreactor

ปฐมพร พูลสวัสดิ์[1] วัชรี กัลยาลัง[1] และ นันทนิตย์ โต๊ะปอง[1]*

[1]สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย 35 หมู่ 3 เทคโนธานี ตำบลคลองห้า อำเภอคลองหลวง จังหวัดปทุมธานี 12120 ประเทศไทย

* ผู้นิพนธ์ประสานงาน อีเมล: patomporn@tistr.or.th DOI: 10.14416/JASET.KMUTNB.2025.01.007
รับเมื่อ 5 กรกฎาคม 2567 แก้ไขเมื่อ 13 กุมภาพันธ์ 2568 ตอบรับเมื่อ 4 เมษายน 2568

บทคัดย่อ

การนำศักยภาพของสาหร่ายมาใช้ประโยชน์ในการดักจับเพื่อลดปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) (Carbon dioxide capture or Biological CO_2 mitigation) เป็นแนวทางการใช้ประโยชน์จากขบวนการทางชีวเคมีของสาหร่ายขนาดเล็ก เนื่องจากสาหร่ายขนาดเล็กเป็นสิ่งมีชีวิตเซลล์เดียวที่มีรงควัตุในการดูดกลืนพลังจากแสงแดดเพื่อใช้ในการสังเคราะห์แสงและใช้ CO_2 เป็นแหล่งคาร์บอนในการสร้างเป็นชีวมวล (biomass) ของเซลล์ งานวิจัยนี้เป็นการนำหลักการสังเคราะห์แสงของสาหร่ายขนาดเล็กมาประยุกต์ใช้เพื่อวัตถุประสงค์ในการปรับปรุงคุณภาพของก๊าซชีวภาพด้วยการดูดซับคาร์บอนไดออกไซด์ออกจากก๊าซชีวภาพเป็นการเพิ่มสัดส่วนของก๊าซมีเทนในก๊าซชีวภาพ (ไบโอมีเทน) แนวทางงานวิจัยนี้ทำการเลี้ยงสาหร่ายขนาดเล็กสายพันธุ์ *Monoraphidium* sp. ในสภาวะต่างๆ ที่มีผลต่อการเจริญเติบโต การผลิตชีวมวล การผลิตรงควัตถุ และประสิทธิภาพในการปรับปรุงคุณภาพก๊าซชีวภาพ การศึกษาแบ่งการทดลองเป็น 3 ชุดการทดลอง ได้แก่ชุดควบคุม ชุดให้อากาศและชุดให้ก๊าซชีวภาพ เลี้ยงสาหร่ายในอาหารสูตร BG-11 พีเอช 7 ที่อุณหภูมิห้อง ความเข้มแสง 60 $\mu mol.m^{-2}.s^{-1}$ (μmol photons m^{-2} s^{-1}) ช่วงเวลาได้รับแสง:ไม่ได้รับแสง (สว่างสลับมืด) คือ 12:12 ชั่วโมง โดยการให้ก๊าซชีวภาพ (ชุดควบคุมและชุดให้ก๊าซชีวภาพ) ด้วยอัตรา 3 ml/min ในช่วง 12 ชั่วโมงพร้อมกับการให้แสง และให้อากาศทั่วไปด้วยเครื่องปั๊มอากาศ (air pump) ผลการทดลองพบว่า ชุดให้ก๊าซชีวภาพมีประสิทธิภาพในการปรับปรุงก๊าซชีวภาพได้สูงสุด การเพิ่มขึ้นของก๊าซมีเทนสูงขึ้นถึง 96.41% ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ลดลงถึง 96.78% ปริมาณน้ำหนักเซลล์แห้งสูงสุดเท่ากับ 1.42 g/l ปริมาณคลอโรฟิลล์เอ คลอโรฟิลล์บี คลอโรฟิลล์เอบีและแคโรทีนอยด์สูงสุดเท่ากับ 15.85, 4.84, 21.22 และ 81.48 µg/ml ตามลำดับ การเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องของปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ เป็นสาเหตุหลักในการเกิดก๊าซเรือนกระจก นับเป็นปัญหาด้านสิ่งแวดล้อมที่สำคัญในระดับโลก ซึ่งงานวิจัยนี้เป็นอีกหนึ่งแนวทางเลือกในการแก้ไขปัญหาและการลดปริมาณ CO_2 ที่ถูกปล่อยสู่สิ่งแวดล้อม

คำสำคัญ: ก๊าซชีวภาพ, การปรับปรุงคุณภาพก๊าซชีวภาพ, การดูดซับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์, ไบโอมีเทน

การอ้างอิงบทความ: ปฐมพร พูลสวัสดิ์ วัชรี กัลยาลัง และ นันทนิตย์ โต๊ะปอง, “การศึกษาการเจริญเติบโตของสาหร่ายขนาดเล็กสายพันธุ์ *Monoraphidium* sp. เพื่อดูดซับคาร์บอนไดออกไซด์จากก๊าซชีวภาพผ่านระบบ photo-bioreactor,” *Journal of Applied Science and Emerging Technology,* ปีที่ 24, ฉบับที่ 1, หน้า 1-11, เลขที่บทความ 257430, เมษายน 2568

Research Article

Journal of Applied Science and Emerging Technology (JASET)
Published by Faculty of Applied Science, KMUTNB, Thailand
doi: 10.14416/JASET.KMUTNB.2025.01.007
Vol. 24, No. 1 [2025]: e257430

The Study of Microalgae Growth *Monoraphidium* sp. Using Carbon Dioxide Absorption from Biogas via Photo-Bioreactor System

Patomporn Pulsawad[1], Watcharee Kunyalung[1], and Nantanit Tohpong[1*]

[1]Thailand Institute of Scientific and Technological Research (TISTR), 35 Mu 3 Technopolis, Tambon Khlong Ha, Amphoe Khlong Luang, Pathum Thani, 12120 Thailand

* Corresponding Author, E-mail: patomporn@tistr.or.th DOI: 10.14416/JASET.KMUTNB.2025.01.007
Received 5 July 2024; Revised 13 February 2025; Accepted 4 April 2025

ABSTRACT

The potential of algal in order to capture and reduce the amount of carbon dioxide (CO_2) is referred to Carbon dioxide capture or Biological CO_2 mitigation. It is the alternative process to take advantage of biochemical reactions of microalgae called photosynthesis. Consequently, microalgae are the single cell that contains with photosynthetic pigment to absorb and utilize energy from sunlight. Particularly, using CO_2 is carbon source while photosynthesis to create biomass of cell. This research implements the theory of photosynthetic process to aim upgrading biogas via carbon dioxide absorption. The ability of CO_2 absorption impacts the ratio of methane in biogas to become biomethane. The main point of this research focuses on *Monoraphidium* sp. strain that is cultured in the various growth conditions to affect biomass production, increase of photosynthetic pigment and efficiency in biogas upgrading. The experimental design is divided into three sets of experiments including a control set, aeration and biogas set. Microalgae was cultured in media; BG-11, pH 7, at room temperature with a light intensity of 60 μmol.m^{-2}.s^{-1} (μmol photons m^{-2} s^{-1}). The light exposure is 12 hours and dark period 12 hours. Practically, the control and biogas feeding set was operated with a biogas flow rate at 3 ml/min during time 12 hours simultaneously light explosion and aeration. The experiment found that biogas feeding set showed the highest efficiency in the biogas upgrading. The increased biogas reached to 96.41% and the CO_2 reduced by 96.78%. In portion of biomass, the weight of dry cell was maximum at 1.42 g/l. In the same way, the amounts of photosynthetic pigment, chlorophyll A, chlorophyll B, chlorophyll AB and carotenoid were detected in the highest level at 15.85, 4.84, 21.22 and 81.48 μg/l, respectively. Presently, the continuous increase of CO_2 is the crucial cause of greenhouse gases that are inevitable to become the environmental problem of the global. Accordingly, this research is the alternative approach to solving and reducing the released CO_2 through environment.

KEYWORDS: Biogas, Biogas upgrading, Carbon dioxide absorption, Bio-methane

Please cite this article as: P. Pulsawad, W. Kunyalung and N. Tohpong*, " The Study of Microalgae Growth *Monoraphidium* sp. Using Carbon Dioxide Absorption from Biogas via Photo-Bioreactor System," *Journal of Applied Science and Emerging Technology,* vol 24, no 1, pp. 1-11, ID. 257430, April 2025 (in Thai).

1. บทนำ

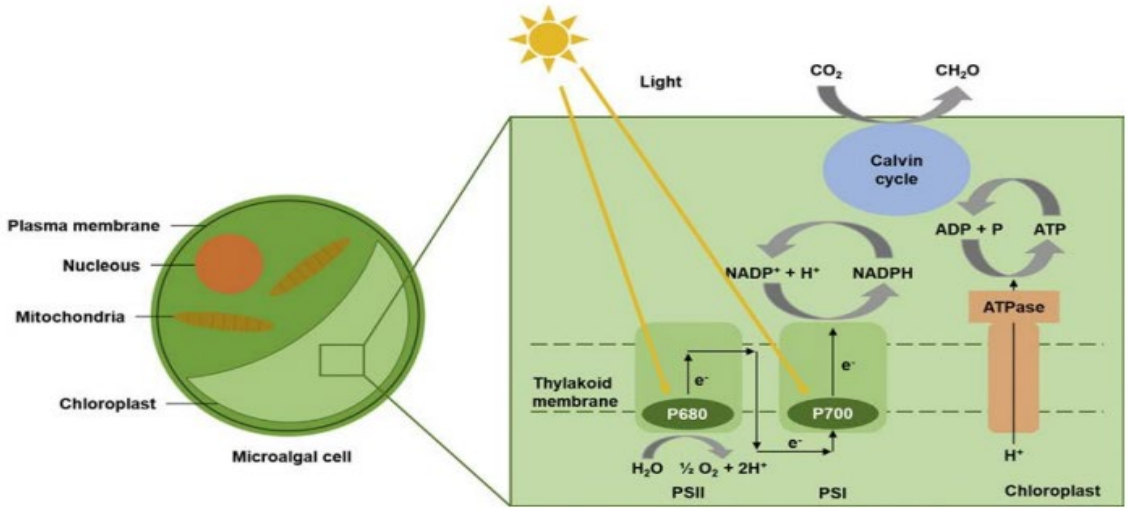
สาหร่ายขนาดเล็กเป็นสิ่งมีชีวิตเซลล์เดียวที่มีความสามารถในการสังเคราะห์แสง เนื่องจากมีคลอโรฟิลล์เป็นรงควัตถุที่สำคัญในกระบวนการดูดซับพลังงานจากแสงแดดในช่วงความยาวคลื่นที่ 580- 730 nm และดูดซับปริมาณก๊าซ CO_2 พร้อมทั้งอาศัยปฏิกิริยาชีวเคมีภายในเซลล์เพื่อสร้างชีวมวล (biomass) ดังแสดงในรูปที่ 1 เป็นปฏิกิริยาการสังเคราะห์ด้วยแสง (Photosynthesis) ที่เกิดขึ้นภายในสาหร่ายขนาดเล็ก มีสารตั้งต้นคือน้ำและคาร์บอนไดออกไซด์สร้างผลิตภัณฑ์ได้แก่ ก๊าซออกซิเจนและน้ำตาลเพื่อใช้ในการเจริญเติบโตและมวลของสาหร่าย (biomass) ดังสมการการการสังเคราะห์ด้วยแสง (1) (Vecchi, et al., 2020)

$$6CO_2 + 6H_2O \longrightarrow C_6H_{12}O_6 + 6O_2$$ สมการที่ 1

การเพาะเลี้ยงสาหร่ายสามารถเลี้ยงได้ทั้งระบบเปิด (Open system) และระบบปิด (Closed system) แต่เนื่องจากสาหร่ายขนาดเล็กหลายชนิดซึ่งมีความสามารถในการนำก๊าซ CO_2 ที่มีความเข้มข้นสูงมาใช้ในการเจริญเติบโตได้ (Salih, 2011) จึงเป็นประยุกต์ใช้เพื่อการปรับปรุงคุณภาพการก๊าซชีวภาพให้มีความบริสุทธิ์เพิ่มสูงขึ้นอีกด้วย ด้วยการดูดซับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ด้วยน้ำ (CO_2 capture) เพื่อใช้เป็นแหล่งคาร์บอนให้กับเซลล์สาหร่ายขนาดเล็ก เป็นการปรับปรุงคุณภาพก๊าซชีวภาพด้วยกระบวนการเคมีร่วมกับกระบวนการทางชีวภาพ ในปัจจุบันถือเป็นแนวทางเลือกของการนำศักยภาพของสาหร่ายมาใช้ประโยชน์ในการลดปริมาณ CO_2 (Biological CO_2 mitigation) เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของก๊าซชีวภาพให้มีคุณสมบัติของการเป็นก๊าซเชื้อเพลิงสูงขึ้น

ละระบบจะมีข้อดีและข้อเสียแตกต่างกันไป เช่น ระบบเปิดแบบบ่อร่องน้ำ (Raceway pond) เป็นระบบที่ใช้พลังงานต่ำ ทำความสะอาดและซ่อมบำรุงได้ง่าย แต่จะให้ผลผลิตที่ต่ำ ต้องใช้พื้นที่ขนาดใหญ่ และสามารถปนเปื้อนได้ง่าย ส่วนระบบปิดโฟโตไบโอรีแอกเตอร์ (Closed photobioreactor) จะเป็นระบบที่ให้ผลผลิตต่อหน่วยพื้นที่สูง ไม่มีการปนเปื้อนจากสิ่งแวดล้อมให้แสงได้ทั่วถึง ซึ่งระบบโฟโตไบโอรีแอกเตอร์จะแบ่งได้หลายแบบขึ้นอยู่กับลักษณะรูปร่างและรูปทรงของระบบที่ทำขึ้น เช่น แบบแผ่น แบบทรงกระบอก และแบบท่อ เป็นต้น และ ระบบโฟโตไบโอรีแอกเตอร์เป็นระบบที่มีประสิทธิภาพมากที่สุดในการลดปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (ชิษณุพงศ์ ประทุม, 2558) รูปแบบของระบบโฟโตไบโอรีแอกเตอร์แบบท่อ (Tubular photobioreactor) ที่นำมาใช้ในการศึกษานี้เป็นระบบที่ความน่าสนใจในการเพาะเลี้ยงสาหร่าย เนื่องจากเป็นระบบที่มีท่อที่ยาว สามารถกระจายอากาศหรือคาร์บอนไดออกไซด์ให้กับสาหร่ายขนาดเล็กในระบบอย่างมีประสิทธิภาพ มีพื้นที่รับแสงมากให้ปริมาณชีวมวลที่สูง

สาหร่ายขนาดเล็กสายพันธุ์ *Monoraphidium* sp. ที่ทำการศึกษาในงานวิจัยนี้เป็นสาหร่ายสีเขียว มีความสามารถในการตรึง CO_2 (CO_2 fixation) ผลิต Lipid เป็นสารตั้งต้นในการผลิตน้ำมันชีวภาพ (Bio-oil production) และไบโอดีเซล (Biodiesel production)



รูปที่ 1 ปฏิกิริยาการสังเคราะห์แสงที่เกิดขึ้นภายในเซลล์ของสาหร่ายขนาดเล็ก (Siddiki, et al., 2020)

(Namitha et al., 2021) ใช้เป็นอาหารในการเลี้ยงไรแดง สามารถทนต่อ COD ได้สูงถึง 2,000 mg/l (Boonma et al., 2015) มีการนำมาใช้บำบัดน้ำเสียจากโรงงานผลิตน้ำนม และยังสามารถผลิตสารพฤกษเคมี (Phytochemicals) ซึ่งเป็นสารเคมีที่มีฤทธิ์ทางชีวภาพที่พบเฉพาะในพืช ได้แก่ Chloroacetic acid และ 2, 4- di tert butylphenol มีฤทธิ์สามารถยับยั้งการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ที่ก่อโรคในพืช (Phytopathogens) มีงานวิจัยการนำสารดังกล่าวไปผลิตสารกำจัดศัตรูพืชทางชีวภาพทดแทนสารกำจัดศัตรูพืชสังเคราะห์ ซึ่งสามารถยับยั้งเชื้อ *Xanthomonas oryzae* และ *Pantoea agglomerans* ที่ก่อโรคในข้าวได้ (Mohanty et al., 2023) นอกจากนี้มีรายงานว่าสาหร่ายสายพันธุ์ *Monoraphidium minutum* สามารถลดปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ได้ถึง 90% (Brown, 1996) ดังนั้นงานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อปรับปรุงคุณภาพก๊าซชีวภาพด้วยสาหร่ายขนาดเล็กสายพันธุ์ *Monoraphidium* sp. ดูดซับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ โดยการเลี้ยงสาหร่ายที่สภาวะต่าง ๆ ที่มีผลต่อการเจริญเติบโต การผลิตชีวมวล การผลิตรงควัตถุ และการปรับปรุงคุณภาพก๊าซชีวภาพ

2. วัสดุและวิธีการ

2.1 ชนิดของสาหร่าย

สาหร่ายที่ใช้ในการศึกษาสายพันธุ์ *Monoraphidium* sp. ที่คัดแยกมาจากแหล่งธรรมชาติที่มีการผลิตก๊าซชีวภาพได้รับการระบุว่าเป็นสายพันธุ์ดังกล่าวจากสถาบันวิจัยและเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย (วว.) และเก็บรักษาสาหร่ายขนาดเล็กที่คัดแยกได้ไว้ที่ศูนย์ความเป็นเลิศด้านสาหร่ายของศูนย์ความหลากหลายทางชีวภาพของ วว.

2.2 การเตรียมหัวเชื้อสาหร่ายเริ่มต้น

การเพิ่มจำนวนเชื้อ (Accumulation) โดยนำหัวเชื้อสาหร่าย *Monoraphidium* sp. เพาะเลี้ยงในอาหารสูตร BG-11 ในขวดรูปชมพู่ (Erlenmeyer flask) ขนาด 250 ml เติมอาหารปริมาตร 100 ml นำไปวางบนเครื่องเขย่าความเร็ว 150 rpm โดยให้ความเข้มแสง 60 $\mu mol.m^{-2}.s^{-1}$ และช่วงเวลาได้รับแสง:ไม่ได้รับแสง (สว่างสลับมืด) คือ 12:12 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 2 สัปดาห์ เมื่อได้ความหนาแน่นของเชื้อเพียงพอ (OD_{660} nm 0.8-1.0) นำเชื้อไปเลี้ยงในชุด photo-bioreactor ขนาด 2.5 l ปริมาตรที่ใช้ทดลองมีปริมาตร 2 l เพื่อทำการทดลองเลี้ยงสาหร่ายโดยใช้แหล่งคาร์บอนจากก๊าซชีวภาพ

2.3 การเลี้ยงสาหร่าย

การเลี้ยงสาหร่ายขนาดเล็กสายพันธุ์ *Monoraphidium* sp. ที่สภาวะต่างๆ เพื่อศึกษาผลต่อการเจริญเติบโต การผลิตชีวมวล การผลิตสารสำคัญ และการปรับปรุงคุณภาพก๊าซชีวภาพ โดยเลี้ยงในอาหารสูตร BG-11 พีเอช 7 ที่อุณหภูมิห้อง ความเข้มแสง 60 $\mu mol.m^{-2}.s^{-1}$ ช่วงเวลาได้รับแสง:ไม่ได้รับแสง(สว่างสลับมืด) คือ 12:12 ชั่วโมง โดยการใช้ก๊าซชีวภาพอัตราส่วน มีเทนต่อคาร์บอนไดออกไซด์ต่อไฮโดนเจนซัลไฟด์ (CH_4:CO_2: H_2S) 60-70%: 40-30%: 10-100 ppm ด้วยอัตราการอัดก๊าซชีวภาพเข้าระบบ 3 ml/min ในช่วง 12 ชั่วโมงพร้อมกับการให้แสงในทุกวัน และให้อากาศทั่วไปด้วยเครื่องปั๊มอากาศ (air pump)

2.4 รูปแบบชุด photo-bioreactor ที่ใช้ในการทดลอง

ชุดอุปกรณ์ photo-bioreactor ที่ใช้ในการทดลองมีขนาด 2.5 l ดังแสดงไว้ในรูปที่ 2

2.5 ก๊าซชีวภาพ

ก๊าซชีวภาพที่ใช้ในการเลี้ยงสาหร่ายจากเครื่องผลิตปุ๋ยหมักและก๊าซชีวภาพแบบไร้อากาศ ยี่ห้อ COWTECH รุ่น CT100 ของ สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย (วว.) โดยก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นมีองค์ประกอบของก๊าซมีเทน, ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์, ก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์, ก๊าซออกซิเจนและอื่นๆ วัดองค์ประกอบของก๊าซชีวภาพโดยใช้เครื่องวัดองค์ประกอบของก๊าซชีวภาพ (Geotech รุ่น BIOGAS 5000)

2.6 การศึกษาการเจริญเติบโต

การศึกษาการเจริญเติบโตของสาหร่าย โดยวัดค่าการดูดกลืนแสงด้วยเครื่องสเปคโตรโฟโตมิเตอร์ (Spectrophotometer) ที่ความยาวคลื่น 660 nm (OD_{660nm}) หาปริมาณชีวมวลของสาหร่ายในรูปน้ำหนักแห้งโดยการวิเคราะห์หาปริมาณของแข็งแขวนลอย (SS) เพื่อนำมาหาอัตราการเจริญเติบโตของสาหร่าย (ช่วง Log phase) แล้วนำไปคำนวณน้ำหนักเซลล์แห้งตามสมการที่ 2

คำนวณหาน้ำหนักเซลล์แห้งจากสูตร

$$\text{น้ำหนักเซลล์แห้ง } (mg/l) = \frac{(A - B) \times 10^6}{V}$$ สมการที่ 2

เมื่อ A คือน้ำหนักของกระดาษกรอง+ตัวอย่าง (g)
B คือน้ำหนักกระดาษกรอง (g)
V คือปริมาตรตัวอย่างที่ใช้ (ml)

2.7 การวิเคราะห์ค่าพารามิเตอร์ต่างๆ

2.7.1 ค่าความเป็นกรดด่าง โดยใช้เครื่องวัดความเป็นกรด-ด่าง (EUTECH Instruments)

2.7.2 การวิเคราะห์เคราะห์ปริมาณคลอโรฟิลล์และแคโรทีนอยด์ของตัวอย่างสาหร่ายสายพันธุ์ *Monoraphidium* sp. ตามวิธีของ Sartory (1982)(Dere et al., 1998). โดยการนำตัวอย่างสาหร่ายปริมาตร 10 ml หมุนเหวี่ยงที่ความเร็วรอบ 4,000 rpm เป็นเวลา 15 min เทส่วนใสทิ้ง นำตะกอนเซลล์สาหร่ายเติมตัวทำละลายอะซีโตน (Acetone) 90% ปริมาตร 10 ml บดตะกอนเซลล์ให้ละเอียดผสมให้เข้ากันแล้วนำไปทำให้เซลล์แตกด้วยเครื่องคลื่นเสียงความถี่สูงเป็น เวลา 30 min ที่อุณหภูมิ 40 °C จากนั้นนำไปปั่นเหวี่ยงที่ความเร็วรอบ 4,000 rpm เป็นเวลา 10 min แล้วแยกส่วนใสเก็บไว้ นำสารละลายใสวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 664 (E_{664}), 647 (E_{647}) nm สำหรับคลอโรฟิลล์และ 452 (E_{452}) นาโนเมตร สำหรับแคโรทีนอยด์และคำนวณตามสมการที่ 3, 4, 5 และ 6

คำนวณหาปริมาณคลอโรฟิลล์และแคโรทีนอยด์จากสูตร

$$\text{คลอโรฟิลล์ เอ } (\mu g/ml) = 11E_{664} - 1.93E_{647}$$ สมการที่ 3

$$\text{คลอโรฟิลล์ บี } (\mu g/ml) = 20.36E_{647} - 5.50E_{664}$$ สมการที่ 4

$$\text{คลอโรฟิลล์เอบี } (\mu g/ml) = \frac{C \times \text{ปริมาตรสารละลายที่สกัดได้ (ml)}}{\text{ปริมาตรของตัวอย่าง (ml)}}$$

เมื่อ C คือ คลอโรฟิลล์เอ + คลอโรฟิลล์บี

สมการที่ 5

$$\text{แคโรทีนอยด์ } (\mu g/ml) = \frac{E_{452} \times \text{ปริมาตรที่สกัดได้ (ml)} \times 10^4}{A^{1\%}_{1cm} \text{ ปริมาตรของตัวอย่าง (ml)}}$$

เมื่อ $A^{1\%}_{1cm} = 2592$ (ประสิทธิภาพการดูดซับแคโรทีนอยด์)

สมการที่ 6

2.7.3 องค์ประกอบของก๊าซชีวภาพและประสิทธิภาพการลดลงของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ และประสิทธิภาพการเพิ่มขึ้นของก๊าซมีเทน ในระบบผลิตก๊าซชีวภาพของสาหร่าย *Monoraphidium* sp. โดยวัดปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ก่อนเข้าถัง และหลังออกจากถังไบโอรีแอคเตอร์ โดยใช้เครื่องวัดองค์ประกอบก๊าซ (Geotech รุ่น BIOGAS 5000) แล้วนำค่าที่ได้ไปคำนวณหาประสิทธิภาพการลดปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ในระบบผลิตก๊าซชีวภาพของสาหร่าย *Monoraphidium* sp. คำนวณได้จากสมการที่ 7 และ 8 (สิริชัย คุณภาพดีเลิศ และคณะ, 2554)

การคำนวณประสิทธิภาพการลดลงของ CO_2 (Efficiency of CO_2 reduction)

$$\text{Efficiency of } CO_2 \text{ reduction } (\%) = \frac{\text{Influent of } CO_2 - \text{Effluent of } CO_2}{\text{Influent of } CO_2} \times 100$$

สมการที่ 7

การคำนวณประสิทธิภาพการเพิ่มขึ้นของ CH_4 (Efficiency of CH_4 enrichment)

$$\text{Efficiency of } CH_4 \text{ enrichment } (\%) = \frac{\text{Effluent of } CH_4 - \text{Influent of } CH_4}{\text{Influent of } CH_4} \times 100$$

สมการที่ 8

3. ผลการศึกษา

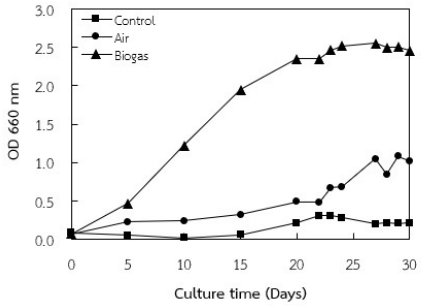
3.1 ผลการเจริญเติบโตของสาหร่าย

การเลี้ยงสาหร่ายขนาดเล็กสายพันธุ์ *Monoraphidium* sp. ในระบบปิดของ Photo-bioreactor เพื่อศึกษาเปรียบเทียบการเจริญเติบโตระหว่างชุดควบคุม (Control), ชุดให้อากาศ (Air) และชุดอัดก๊าซชีวภาพ (Biogas) วัดอัตราการเจริญเติบโตด้วย Optical density 660 nm (OD 660) เป็นเวลา 30 วัน แสดงผลการเจริญเติบโตดังรูปที่ 3

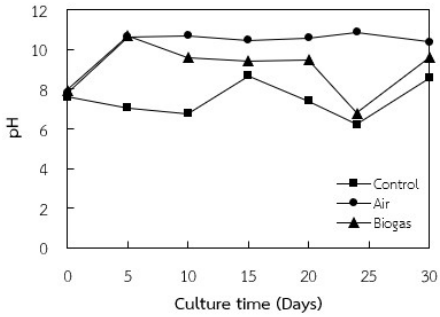
ผลการศึกษาการเจริญเติบโตของสาหร่ายขนาดเล็กสายพันธุ์ *Monoraphidium sp.* ในชุดปฏิกรณ์ (photo-bioreactor) พบว่าสาหร่ายในชุดอัดก๊าซชีวภาพมีอัตราการเจริญเติบโตได้ดีกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับชุดควบคุมและชุดให้อากาศโดยวัดปริมาณ OD 660 nm ได้สูงสุด 2.5

3.2 ผลการเปลี่ยนแปลงของค่าความเป็นกรดเป็นด่าง (pH) น้ำขณะสาหร่ายเจริญเติบโต

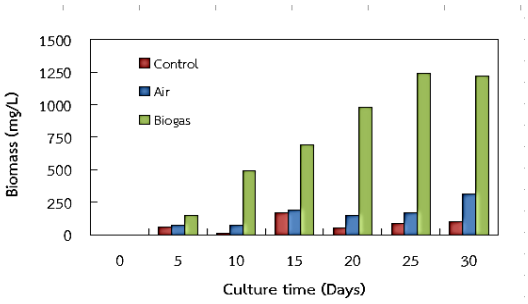
การศึกษาถึงการเปลี่ยนแปลงค่า pH ของน้ำที่ในระบบ photo-bioreactor เปรียบเทียบระหว่าง 3 ชุดทดลอง



รูปที่ 3 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าการดูดกลืนแสงที่ 660 นาโนเมตร กับระยะเวลาในการเจริญเติบโตของสาหร่ายสายพันธุ์ *Monoraphidium sp.*



รูปที่ 4 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าพีเอชกับระยะเวลาในการเจริญเติบโตของสาหร่ายสายพันธุ์ *Monoraphidium sp.*



รูปที่ 5 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างมวลชีวภาพน้ำหนักแห้งกับระยะเวลาในการเจริญเติบโตของสาหร่ายสายพันธุ์ *Monoraphidium sp.*

ได้แก่ ชุดควบคุม ชุดให้อากาศและชุดอัดก๊าซชีวภาพ ทำการวัดค่า pH ของน้ำทุกวัน ตลอดระยะเวลา 30 วันของการเจริญเติบโตของสาหร่าย แสดงดังกราฟในรูปที่ 4

ผลการติดตามการเปลี่ยนแปลงค่า pH ระหว่างการเจริญเติบโตของสาหร่ายขนาดเล็กสายพันธุ์ *Monoraphidium sp.* พบว่าค่า pH ในชุดให้อากาศมีค่าเพิ่มขึ้นจาก 8 ถึง 11 และมีค่าคงที่ ส่วนในชุดควบคุมและชุดอัดก๊าซชีวภาพค่า pH มีความผันผวน แต่โดยเฉลี่ยมีค่า pH อยู่ระหว่าง 6-10

3.3 ผลการหาปริมาณชีวมวลของสาหร่ายในรูปน้ำหนักแห้ง

การตรวจวัดการเจริญเติบโตของสาหร่ายขนาดเล็กสายพันธุ์ *Monoraphidium sp.* เพื่อศึกษาผลของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากก๊าซชีวภาพต่อการเจริญเติบโตของสาหร่ายสายพันธุ์ *Monoraphidium sp.* ทำการวัดมวลชีวภาพของสาหร่ายทุกวันตลอดระยะเวลาการเจริญเติบโต 30 วัน เปรียบเทียบกับชุดควบคุมและชุดให้อากาศ ผลการศึกษาแสดงดังรูปที่ 5

ผลการวิเคราะห์การเจริญเติบโตของสาหร่ายขนาดเล็กสายพันธุ์ *Monoraphidium sp.* พบว่าสาหร่ายที่เลี้ยงในชุดอัดก๊าซชีวภาพมีปริมาณมวลชีวภาพเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องมีค่าชีวมวลสูงสุด 1250 mg/l และมีปริมาณสูงกว่าเมื่อเลี้ยงเปรียบเทียบกับชุดให้อากาศและชุดควบคุม

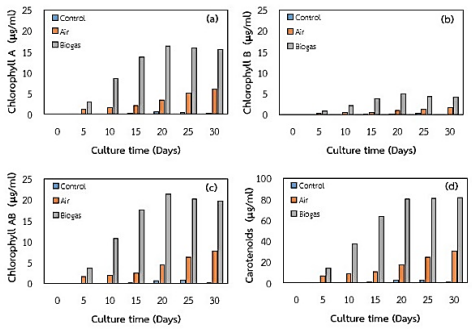
3.4 ผลการวิเคราะห์หาปริมาณรงควัตถุ

ผลการวิเคราะห์ปริมาณรงควัตถุที่สำคัญได้แก่ ปริมาณคลอโรฟิลล์เอ, บี, เอบี, และแคโทนอยด์ โดยศึกษาเปรียบเทียบทั้ง 3 ชุดปฏิกรณ์ พบว่าชุดอัดก๊าซชีวภาพตรวจวิเคราะห์ปริมาณรงควัตถุสำคัญในปริมาณที่สูงสุด มีค่าเท่ากับ 15.85, 4.84, 21.22 และ 81.48 µg/ml ตามลำดับ

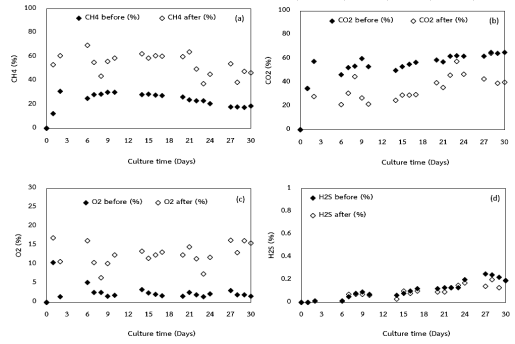
3.5 ผลการปรับปรุงคุณภาพก๊าซชีวภาพ (โดยเปรียบเทียบชุดควบคุมกับชุดก๊าซชีวภาพ)

การวัดประสิทธิภาพการปรับปรุงคุณภาพก๊าซชีวภาพด้วยระบบ photo-bioreactor ทำการวัดเปรียบเทียบปริมาณสัดส่วนของก๊าซต่างๆในก๊าซชีวภาพ ได้แก่ ก๊าซมีเทน ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ก๊าซออกซิเจนและก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ทั้งก่อนและหลังผ่านระบบ photo-bioreactor เปรียบเทียบระหว่างชุดควบคุมและชุดอัดก๊าซชีวภาพ แสดงผลดังรูปที่ 7 และ 8 รวมทั้งผลการคำนวนถึงประสิทธิภาพของระบบ photo-bioreactor ในการปรับปรุงคุณภาพก๊าซชีวภาพเพื่อเพิ่มศักยภาพก๊าซชีวภาพเป็นไบโอมีเทนดังแสดงผลตามกราฟในรูปที่ 9

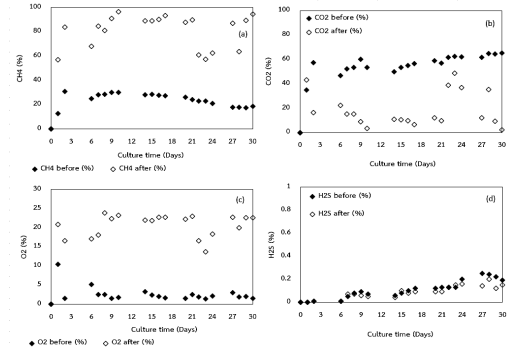
ผลการตรวจวัดสัดส่วนก๊าซต่าง ๆ ของก๊าซชีวภาพภายหลังการอัดก๊าซชีวภาพผ่านระบบ photo-bioreactor ในชุดควบคุม แสดงผลดังรูปที่ 7 พบว่าปริมาณก๊าซมีเทนมีสัดส่วนที่เพิ่มขึ้นภายหลังก๊าซชีวภาพผ่านระบบ photo-reactor เฉลี่ย 40% สัดส่วนก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์



รูปที่ 6 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณรงควัตถุกับระยะเวลาในการเจริญเติบโตของสาหร่ายสายพันธุ์ *Monoraphidium* sp. เมื่อ (a) คือปริมาณคลอโรฟิลล์เอ (b) คือปริมาณคลอโรฟิลล์บี (c) คือปริมาณคลอโรฟิลล์เอบี และ (d) คือปริมาณแคโรทีนอยด์



รูปที่ 7 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของก๊าซชนิดต่างๆ ในก๊าซชีวภาพกับระยะเวลาในการเพาะเลี้ยงสาหร่ายของชุดควบคุมก่อนและหลังกระบวนการปรับปรุง



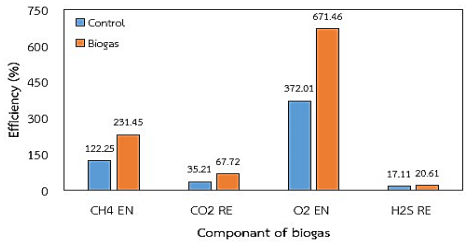
รูปที่ 8 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของก๊าซชนิดต่างๆ ในก๊าซชีวภาพกับระยะเวลาในการเพาะเลี้ยงสาหร่าย**ของชุดก๊าซชีวภาพ**ก่อนและหลังกระบวนการ

ลดลง 20% โดยเฉลี่ย และก๊าซองค์ประกอบอื่น ได้แก่ก๊าซออกซิเจนซึ่งมีการเปลี่ยนแปลงเฉลี่ยเพิ่มขึ้น 5-10% และสัดส่วนก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์มีการเปลี่ยนเปลี่ยนแปลงลดลงน้อยกว่า 0.05% สำหรับการตรวจก๊าซองค์ประกอบของก๊าซชีวภาพในชุดอัดก๊าซชีวภาพ แสดงผลดังรูปที่ 8 พบว่าปริมาณก๊าซมีเทนมีสัดส่วนที่เพิ่มขึ้นภายหลังก๊าซชีวภาพผ่านระบบ photo-reactor เฉลี่ย60-70% ปริมาณสัดส่วนก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ลดลง 35-40% และสัดส่วนของก๊าซออกซิเจนและก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์มีการเปลี่ยนแปลง 15-20% และน้อยกว่า 0.05% ตามลำดับ และเมื่อศึกษาเปรียบเทียบการปรับปรุงคุณภาพก๊าซชีวภาพระหว่างชุดควบคุมกับชุดอัดก๊าซชีวภาพ (ชุดอัดอากาศไม่ทำการอัดก๊าซชีวภาพ) แสดงผลดังรูปที่ 9 การทดสอบชี้บ่งว่า ก๊าซชีวภาพเมื่อผ่านระบบ photo-bioreactor (ชุดอัดก๊าซชีวภาพ) แสดงประสิทธิภาพการเพิ่มขึ้น/ลดลงของสัดส่วนของก๊าซต่างๆ ในก๊าซชีวภาพหลังกระบวนการปรับปรุงคุณภาพ จากการทดลองพบว่าก๊าซมีเทน (CH_4) ของชุดควบคุมและชุดอัดก๊าซชีวภาพมีประสิทธิภาพการเพิ่มขึ้นเฉลี่ยเป็น 122.25 (จาก 23.21 เป็น 51.59%) และ 231.45% (จาก 23.21 เป็น 76.94%) ตามลำดับ และพบว่ามีความเข้มข้นของก๊าซมีเทนเพิ่มขึ้น โดยเฉลี่ย 89.33% เมื่อเปรียบเทียบกับชุดควบคุม ผลการทดลองพบว่าความเข้มข้นของก๊าซมีเทนสูงสุด 69.59% ในชุดควบคุมและ 96.41% ในชุดอัดก๊าซชีวภาพ นอกจากนี้ผลการทดลองแสดงว่าประสิทธิภาพการลดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ด้วยชุดอัดก๊าซชีวภาพเพิ่มขึ้น 92% ในส่วนของสัดส่วนก๊าซออกซิเจนพบว่า ปริมาณความเข้มข้นของออกซิเจนเพิ่มขึ้นทั้ง 2 ชุดการทดลอง ในขณะที่สัดส่วนของก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์มีปริมาณความเข้มข้นลดลงทั้งชุดควบคุมและชุดอัดก๊าซชีวภาพ

4. การอภิปรายผลการศึกษา

CO_2 เป็นแหล่งคาร์บอนที่จำเป็นในกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสง จึงส่งผลโดยตรงต่อการเจริญเติบโต ปริมาณไขมันและองค์ประกอบของกรดไขมันของสาหร่าย ประสิทธิภาพในการลดปริมาณ CO_2 และการสะสมปริมาณไขมันของสาหร่ายจะต้องอยู่ภายใต้สภาวะที่เหมาะสม ต้องมีองค์ประกอบต่างๆ กัน เช่น สายพันธุ์สาหร่าย ความเข้มข้นของ CO_2 ที่ใช้ อุณหภูมิ ความเข้มแสง รวมไปถึงองค์ประกอบของถังไบโอรีแอคเตอร์ (ผกาวดี และคณะ, 2553)

ค่า pH เป็นตัวแปรสำหรับใช้ตรวจวัดสภาพแวดล้อมของสาหร่าย การให้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์แก่น้ำ ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์บางส่วนจะละลายเป็น HCO_3^- ซึ่ง



รูปที่ 9 แสดงประสิทธิภาพการลดลง/เพิ่มขึ้นขององค์ประกอบก๊าซชีวภาพของชุดควบคุมและชุดก๊าซชีวภาพ หลังจากกระบวนการปรับปรุงคุณภาพก๊าซชีวภาพ (EN = ENRICHMENT และ RE = REDUCETION)

สาหร่ายจะมีกลไกในการป้องกัน สภาวะเป็นกรดโดยการเปลี่ยนให้อยู่ในรูปสารประกอบอนินทรีย์ของคาร์บอน (Krebs and Roughton, 1948) ผลของการเปลี่ยนแปลงค่าพีเอชขณะเติบโต ดังแสดงตามรูปที่ 4 ค่าพีเอชเริ่มต้นของการทดลองมีค่า pH อยู่ที่ประมาณ 7 ค่าพีเอชมีการเปลี่ยนแปลงเพิ่มขึ้นและลดลงอยู่ในช่วง 6-10 (รูปที่ 4) เป็นผลมาจากการละลายของ CO_2 ความสามารถในการละลายของ CO_2 จะเพิ่มขึ้นที่ค่า pH เพิ่มขึ้น (7.9-9.4) (Bahr et al., 2014; Ruiz-Ruiz et al., 2020) และการดูดซึม CO_2 โดยค่าพีเอชจะเพิ่มขึ้นในช่วงเวลาการให้แสงเนื่องจากมีการใช้คาร์บอนอนินทรีย์ (inorganic carbon) ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Brindhadevi และคณะ (2021) ที่พบว่าค่า pH เริ่มเป็นด่าง (alkalinity) เมื่อผ่านไปประมาณ 8 วัน นอกจากนี้ยังมีรายงานว่า ค่าพีเอชที่สูงเกินไปอาจไปขัดขวางการใช้ CO_2 ของสาหร่ายขนาดเล็กได้ รวมถึงส่งผลทำให้ $NH_4^+ - N$ ระเหยทำให้สาหร่ายเติบโตได้ช้า (Brindhadevi et al., 2021) แต่อย่างไรก็ตามจากการทดลองพบว่าสาหร่ายสายพันธุ์ *Monoraphidium sp.* สามารถเจริญเติบโตได้ในช่วงพีเอช 6-12 เนื่องจากสาหร่ายขนาดเล็กส่วนใหญ่สามารถทนต่อการเปลี่ยนแปลงค่า pH อย่างมากในระหว่างการเลี้ยงเนื่องจากลักษณะทางพันธุกรรม (Zhang et al., 2020)

ผลของปริมาณน้ำหนักเซลล์แห้ง (รูปที่ 5) พบว่าสาหร่ายในชุดก๊าซชีวภาพยังสามารถเจริญเติบโตอย่างต่อเนื่อง ปริมาณน้ำหนักเซลล์แห้งยังคงเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง ซึ่งสอดคล้องกับผลการเจริญเติบโตของสาหร่าย (รูปที่ 3) ทั้งนี้เนื่องจากสาหร่ายยังมีแหล่งคาร์บอนที่สามารถใช้ในการเจริญเติบโตได้ จากการให้ได้รับ CO_2 จากก๊าซชีวภาพอย่างต่อเนื่อง ในขณะที่ชุดควบคุมและชุดให้อากาศมีการเจริญเติบโตที่ต่ำจึงทำให้ปริมาณน้ำหนักเซลล์แห้งมีปริมาณที่ต่ำไปด้วย

สารสีจากสาหร่ายขนาดเล็กประกอบไปด้วย 3 กลุ่มหลัก คือคลอโรฟิลล์ แคโรทีนอยด์ และไฟโคบิลิน คลอโรฟิลล์มีความสำคัญที่สุดในกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสงเนื่องจากสามารถนำพลังงานแสงที่ได้รับไปใช้ได้โดยตรง แต่รงควัตถุอื่นๆ ไม่สามารถนำไปใช้ได้โดยตรงต้องถ่ายทอดให้กับคลอโรฟิลล์เออีกทอดหนึ่งจึงสามารถนำไปใช้ได้ คลอโรฟิลล์เอไม่ใช่รงควัตถุชนิดเดียวที่ใช้ในกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสง แต่คลอโรฟิลล์เอเท่านั้นที่เกี่ยวข้องโดยตรงในปฏิกิริยาสังเคราะห์แบบใช้แสง ซึ่งทำหน้าที่เปลี่ยนพลังงานแสงให้เป็นพลังงานเคมีและมีรงควัตถุชนิดอื่นๆ ที่สามารถดูดพลังงานแสงและส่งต่อให้คลอโรฟิลล์เอ ได้แก่ คลอโรฟิลล์บี และแคโรทีนอยด์ เป็นต้น ผลของปริมาณรงควัตถุที่วิเคราะห์ทั้ง 3 ชุดการทดลอง พบว่าในชุดอัดก๊าซชีวภาพมีการผลิตรงควัตถุที่สูงที่สุด รองลงมาคือชุดให้อากาศ และชุดควบคุม ตามลำดับ โดยชุดควบคุมมีการผลิตคลอโรฟิลล์เอ คลอโรฟิลล์บี คลอโรฟิลล์เอบี และแคโรทีนอยด์ ในปริมาณที่สูงสุด ซึ่งมีค่าเท่ากับ 0.51, 0.23, 0.70 และ 2.97 µg/ml ตามลำดับ ชุดให้อากาศมีการผลิตคลอโรฟิลล์เอ คลอโรฟิลล์บี คลอโรฟิลล์เอบี และแคโรทีนอยด์ ในปริมาณที่สูงสุด ซึ่งมีค่าเท่ากับ 6.11, 1.52, 7.63 และ 30.67 µg/ml ตามลำดับ และในส่วนของชุดก๊าซชีวภาพมีการผลิตคลอโรฟิลล์เอ คลอโรฟิลล์บี คลอโรฟิลล์เอบี และแคโรทีนอยด์ ในปริมาณที่สูงสุด มีค่าเท่ากับ 15.85, 4.84, 21.22 และ 81.48 µg/ml ตามลำดับ (รูปที่ 6) โดยการลดลงของคลอโรฟิลล์อาจเป็นไปได้ว่าสาหร่ายอาจเปลี่ยนไปสร้างสารสีในกลุ่มแคโรทีนอยด์เพิ่มขึ้น

ในส่วนของผลการปรับปรุงคุณภาพก๊าซชีวภาพผลการทดสอบพบว่าความเข้มข้นของ CH_4 หลังกระบวนการปรับปรุงคุณภาพเพิ่มขึ้นสูงสุดถึง 69.59 (ชุดควบคุม) และ 96.41% (ชุดอัดก๊าซชีวภาพ) นอกจากนี้ยังพบว่า CH_4 สามารถสูญเสียในระหว่างกระบวนการปรับปรุงคุณภาพก๊าซชีวภาพได้ประมาณ 1% ทั้งนี้อาจเนื่องจาก CH_4 มีความสามารถในการละลายน้ำได้ ซึ่งความสามารถในการละลายน้ำของ CH_4 เท่ากับ 3.3 ml/100ml ที่อุณหภูมิ 20°C (ICSI, 2000) ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) มีความเข้มข้น

ที่ลดลง ประสิทธิภาพการลดลงของ CO_2 หลังจากกระบวนการปรับปรุงคุณภาพของชุดควบคุมและชุดอัดก๊าซชีวภาพลดลงเฉลี่ย 35.21 (จาก 53.88 เป็น 34.91%) และ 67.72% (จาก 53.88 เป็น 17.39%) ตามลำดับ ความเข้มข้นของ CO_2 หลังกระบวนการปรับปรุงคุณภาพลดลงสูงสุดถึง 59.49 (ชุดควบคุม) และ 96.78% (ชุดอัดก๊าซชีวภาพ) ซึงความเข้มข้นของ CO_2 ที่ลดลงนั้น เนื่องจาก 1) สาหร่ายขนาดเล็กมีความสามารถนำ CO_2 ที่มีความเข้มข้นสูงมาใช้ในการเจริญเติบโตได้ และ 2) CO_2 สามารถในการละลายน้ำ ซึ่งจะละลายน้ำกลายเป็นกรดคาร์บอนิกซึ่งจะเปลี่ยนรูปเป็นไบคาร์บอเนตและคาร์บอเนตในภายหลัง ในขณะที่ก๊าซออกซิเจน (O_2) มีความเข้มข้นที่เพิ่มขึ้นในทั้ง 2 ชุดการทดลองเช่นกัน ความเข้มข้นของ O_2 ของชุดควบคุมคุมและชุดอัดก๊าซชีวภาพเพิ่มขึ้นเฉลี่ยเป็น 372.01 (จาก 2.68 เป็น 12.65%) และ 671.46% (จาก 2.68 เป็น 20.68%) ตามลำดับ ความเข้มข้นของ O_2 หลังกระบวนการปรับปรุงคุณภาพเพิ่มขึ้นสูงสุดถึง 12.65 (ชุดควบคุม) และ 20.68% (ชุดอัดก๊าซชีวภาพ) ทั้งนี้เนื่องจาก 1) ในกระบวนการใช้ CO_2 สาหร่ายจะมีการสังเคราะห์แสงและกระบวนการสังเคราะห์แสงของสาหร่ายทำให้ความเข้มข้นของ DO ในอาหารเพิ่มขึ้น ส่งผลให้ O_2 เพิ่มขึ้นด้วย (Zhao et al., 2011) และ 2) จากการเพิ่มขึ้นของสัมประสิทธิ์การถ่ายโอนมวลรวม ($klaCO_2$ และ $klaO_2$) ที่เพิ่มขึ้น การเพิ่มขึ้นของการถ่ายโอนมวลของ CO_2/O_2 ทำให้การเพิ่มขึ้นของประสิทธิภาพการกำจัดคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2 reduction) และความเข้มข้นของออกซิเจนในก๊าซชีวภาพหลังจากกระบวนการปรุงนั้นเพิ่มขึ้น (Serejo et al., 2015) ค่า $kLaCO_2$ สำหรับการขนส่งทางอากาศขนาดเล็ก (small airlift) เท่ากับ 0.0069 s^{-1} และสำหรับการขนส่งทางอากาศขนาดใหญ่ (small airlift) เท่ากับ 0.0049 s^{-1} (Ndiaye et al., 2018) นอกจากนี้การนำก๊าซชีวภาพมาเพาะเลี้ยงสาหร่ายนั้น ยังสามารถกำจัดก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (H_2S) ได้อีกด้วย ทั้งนี้อาจเพราะในก๊าซชีวภาพมีองค์ประกอบของ H_2S ในปริมาณที่น้อย (น้อยกว่า 100 ppm) และ H_2S ยังมีความสามารถในการละลายน้ำได้ (H_2S มีความสามารถในการละลายน้ำ 3.980 g/L (ที่ 20 °C)) จึงทำให้ปริมาณ H_2S หลังกระบวนการปรับปรุงคุณภาพมีปริมาณที่ลดลงนั่นเอง

ผลการปรับปรุงคุณภาพก๊าซชีวภาพด้วย ระบบ photo-bioreactor ในชุดอัดก๊าซชีวภาพ พบว่า ความเข้มข้นของก๊าซมีเทนเพิ่มขึ้น โดยเฉลี่ย 89.33% เมื่อเปรียบเทียบกับชุดควบคุม ผลการทดลองพบว่าความเข้มข้นของก๊าซมีเทนสูงสุด 69.59% ในชุดควบคุมและ 96.41% ในชุดอัดก๊าซชีวภาพ นอกจากนี้ผลการทดลองแสดงว่าประสิทธิภาพการลดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ด้วยชุดอัดก๊าซชีวภาพเพิ่มขึ้น 92% ในส่วนของสัดส่วนก๊าซออกซิเจนพบว่า ปริมาณความเข้มข้นของออกซิเจนเพิ่มขึ้นทั้ง 2 ชุดการทดลอง ในขณะที่สัดส่วนของก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์มีปริมาณความเข้มข้นลดลงทั้งชุดควบคุมและชุดอัดก๊าซชีวภาพ ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยที่ศึกษาเกี่ยวกับการปรับปรุงคุณภาพก๊าซชีวภาพจากระบบบำบัดน้ำเสียแบบไร้อากาศด้วยระบบ photo-bioreactor ด้วยสาหร่ายขนาดเล็กหลายสายพันธุ์ร่วมกัน ได้แก่ *Chlorella sp., Tetradesmus obliquus, Lindavia sp. และ Synechococcus sp.* รายงานว่าสามารถเพิ่มความเข้มข้นของก๊าซมีเทนได้ 85-87% และลดปริมาณความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ได้ถึง 88-90% (Méndez et al., 2022).

5. บทสรุป

จากผลการวิจัยระบุได้ว่า สาหร่ายสายพันธุ์ *Monoraphidium sp.* ที่เลี้ยงในระบบ photo-bioreactor มี ประสิทธิภาพในการลด CO_2 ได้ถึง 35.21 (ชุดควบคุม) และ 67.72% (ชุดอัดก๊าซชีวภาพ) การเพิ่มขึ้นของ CH4 สูงสุดถึง 69.59 (ชุดควบคุม) และ 96.41% (ชุดอัดก๊าซชีวภาพ) ซึ่งเป็นปริมาณน้ำหนักเซลล์แห้งสูงสุดเท่ากับ 1.42 (ชุดให้อากาศ) และ 3.10 (ชุดอัดก๊าซชีวภาพ) กรัมต่อลิตร ปริมาณรงควัตถุซึ่งได้แก่ คลอโรฟิลล์เอ คลอโรฟิลล์บี คลอโรฟิลล์เอบี และแคโรทีนอยด์สูงสุดในชุดอากาศ เท่ากับ 6.11, 1.52, 7.63, 30.67 µg/ml ตามลำดับ และในชุดอัดก๊าซชีวภาพ เท่ากับ 15.85 , 4.84, 21.22, 81.48 ตามลำดับ ความสามารถในการดูดซับ CO_2 ทำให้ก๊าซชีวภาพที่ออกจากระบบมีความเข้มข้นของ CH_4 ที่สูงขึ้นซึ่งตรงตามวัตถุประสงค์ในการปรับปรุงคุณภาพก๊าซชีวภาพด้วยกระบวนการดูดซับด้วยน้ำและส่งต่อให้สาหร่ายขนาดเล็กใช้

ประโยชน์ด้วยกระบวนการทางชีวภาพซึ่งจะการเปลี่ยนก๊าซชีวภาพเป็นไบโอมีเทน

นอกจากนี้การนำสาหร่ายขนาดเล็กมาศึกษาวิจัยในครั้งนี้เป็นการเลี้ยงแบบขั้นตอนเดียว (ขั้นตอนการเลี้ยง+การดูดซับ) เป็นแนวทางที่สามารถนำไปใช้เป็นประโยชน์ในการดัดจับ CO_2 เพื่อแก้ปัญหาปริมาณ CO_2 ที่ถูกปลดปล่อยจากกิจกรรมต่างๆ ของมนุษย์ เป็นสาเหตุหลักในการเกิดก๊าซเรือนกระจก นับเป็นปัญหาด้านสิ่งแวดล้อมที่สำคัญในระดับโลกต่อไปในอนาคต

กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยขอขอบคุณสถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย (วว.) ที่ช่วยเหลือและสนับสนุนโครงการวิจัย ขอบคุณฟาร์มสุกรคุณบรรพต อเนกสุวรรณกุลและองค์การบริหารส่วนจังหวัดนนทบุรี ที่อนุเคราะห์ให้เข้าพื้นที่และเก็บตัวอย่างมาทำการวิจัยในครั้งนี้

เอกสารอ้างอิง

Bahr, M., Diaz, I., Dominguez, A., Gonzalez Sanchez, A., & Muñoz, R. (2014). Microalgal-biotechnology as a platform for an integral biogas upgrading and nutrient removal from anaerobic effluents. *Environmental science & technology*, *48*(1), 573-581.

Boonma, S., Chaiklangmuang, S., Chaiwongsar, S., Pekkoh, J., Pumas, C., Ungsethaphand, T., & Peerapornpisal, Y. (2015). Enhanced carbon dioxide fixation and bio-oil production of a microalgal consortium. *CLEAN–Soil, Air, Water, 43*(5), 761-766.

Brindhadevi, K., Mathimani, T., Rene, E. R., Shanmugam, S., Chi, N. T. L., & Pugazhendhi, A. (2021). Impact of cultivation conditions on the biomass and lipid in microalgae with an emphasis on biodiesel. *Fuel*, *284*, 119058.

Brown, L. M. (1996). Uptake of carbon dioxide from flue gas by microalgae. *Energy Conversion and Management*, *37*(6-8), 1363 - 1367.

Dere, Ş., GÜNEŞ, T., & Sivaci, R. (1998). Spectrophotometric determination of chlorophyll-A, B and totalcarotenoid contents of some algae species using different solvents. *Turkish journal of Botany, 22*(1), 13-18.

International Chemical Safety Cards: ICSCs, ICSC: 0291, EC Number: 200-812-7. (n.d.). Retrieved June 3, 2024, fromhttps://chemicalsafety.ilo.org/dyn/icsc/showcard.display?p_lang=th&p_card_id=0291&pversion=2

Kaewkannetra, P., Thanonkeo, P. & Yuwaamonpitak, T. (2010). Research report on the cultivation of microalgae in closed/open systems as an alternative raw material for sustainable biodiesel production. Faculty of Technology, Khon Kaen University. (in Thai)

Koonaphapdeelert, S., Pholchan, P., Kantha, U., & Rerkkriangkrai, P. (2011). Biogas Upgrading Using Pressurized Water Scrubbing. *Journal of Engineering and Innovation*, *4*(1), 42-49. (in Thai)

Krebs, H. A., & Roughton, F. J. W. (1948). Carbonic anhydrase as a tool in studying the mechanism of reactions involving H2CO3, CO2 or HCO3′. *Biochemical Journal*, *43*(4), 550.

Mohanty, S. S., & Mohanty, K. (2023). Production of a wide spectrum biopesticide from Monoraphidium sp. KMC4 grown in simulated dairy wastewater. *Bioresource Technology, 374*, 128815.

Méndez, L., Garcia, D., Perez, E., Blanco, S., & Muñoz, R. (2022). Photosynthetic upgrading of biogas from anaerobic digestion of mixed sludge in an outdoors algal-bacterial photobioreactor at pilot scale. *Journal of Water Process Engineering*, *48*, 102891.

Namitha, B., Sathish, A., Kumar, P. S., Nithya, K., & Sundar, S. (2021). Micro algal biodiesel synthesized from *Monoraphidium* sp., and *Chlorella sorokiniana*: Feasibility and emission parameter studies. *Fuel*, *301*, 121063.

Ndiaye, M., Gadoin, E., & Gentric, C. (2018). CO_2 gas–liquid mass transfer and kLa estimation: Numerical investigation in the context of airlift photobioreactor scale-up. *Chemical Engineering research and design*, *133*, 90-102.

Pratum, C. (2011). The possibility of reducing carbon dioxide emissions with biological wastewater treatment systems from industrial plants. *Journal of Environmental Management, 11*(2), 108-133. (in Thai)

Ruiz-Ruiz, P., Estrada, A., & Morales, M. (2020). Carbon dioxide capture and utilization using microalgae. In *Handbook of microalgae-based processes and products*. pp. 185-206. Academic Press.

Salih, F. M. 2011. Microalgae tolerance to high concentrations of carbon dioxide: a review. *Journal of Environmental Protection*, *2*(05), 648.

Sartory, D. P. (1982). Spectrophotometric analysis of chlorophyll a in freshwater phytoplankton. *Technical Report TR 115 January 1982. 163 p, 14 fig, 26 tab, 100 ref*.

Serejo, M. L., Posadas, E., Boncz, M. A., Blanco, S., García-Encina, P., & Muñoz, R. (2015). Influence of biogas flow rate on biomass composition during the optimization of biogas upgrading in microalgal-bacterial processes. *Environmental science & technology*, *49*(5), 3228-3236.

Siddiki, S. Y. A., Mofijur, M., Kumar, P. S., Ahmed, S. F., Inayat, A., Kusumo, F., & Mahlia, T. M. I. (2022). Microalgae biomass as a sustainable source for biofuel, biochemical and biobased value-added products: An integrated biorefinery concept. *Fuel*, *307*, 121782.

Vecchi, V., Barera, S., Bassi, R., & Dall'Osto, L. 2020. Potential and challenges of improving photosynthesis in algae. *Plants*, *9*(1), 67.

Zhang, W., Zhao, C., Cao, W., Sun, S., Hu, C., Liu, J., & Zhao, Y. (2020). Removal of pollutants from biogas slurry and CO2 capture in biogas by microalgae-based technology: a systematic

review. *Environmental Science and Pollution Research*, *27*, 28749-28767.

Zhao, B., Zhang, Y., Xiong, K., Zhang, Z., Hao, X., & Liu, T. (2011). Effect of cultivation mode on microalgal growth and CO2 fixation. *Chemical engineering research and design*, *89*(9), 1758-1762.