

ผลของคาร์บอนไดออกไซด์ต่อการผลิตไขมันและประสิทธิภาพในการลด
ปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ด้วยสาหร่าย **SPIRULINA SP.**
THE EFFECT OF CARBON DIOXIDE ON LIPID CONTENT AND
CO₂ MITIGATION EFFICIENCY BY USING SPIRULINA SP.

ครรชิต เงินคำคง^{1*} ศิราภรณ์ ชื่นบาล² และนันท์นภัส มโนนนท์³
Khunchit Ngoenkhamkhong*, Siraporn Cheunbarn², and Nunnapat Monanun³

¹Faculty of Engineer, Rajamagala University of Technology LANNA

²Faculty of Science, Maejo University, ³Faculty of Agro-Industry, Chiang Mai University

*corresponding author e-mail: kunchit2516@hotmail.com

บทคัดย่อ

จากการศึกษาผลของคาร์บอนไดออกไซด์ต่อการผลิตไขมันและการลดปริมาณ
ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ด้วยสาหร่ายสไปรูลินา โดยทำการเลี้ยงสาหร่ายในอาหารเหลวสูตรซารูก
ในถังไบโอรีแอคเตอร์ปริมาตร 5.00 ลิตร โดยให้ความเข้มแสงที่ 4,000 ลักซ์ และให้อากาศตลอด
24 ชั่วโมง ในชุดควบคุม โดยชุดการทดลองทำการเติมก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ร้อยละ 99 ที่อัตราการ
การไหล 0.10, 0.20 และ 0.30 vvm ตามลำดับ หลังจากเพาะเลี้ยงเป็นเวลา 16 วัน พบว่าการเติมก๊าซ
คาร์บอนไดออกไซด์ ร้อยละ 99.00 ที่อัตราการไหล 0.10 vvm มีการเจริญของสาหร่ายและประสิทธิภาพ
ในการลดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ดีกว่าที่อัตราการไหล 0.20 และ 0.30 vvm โดยมีค่าอัตราการ
เจริญเติบโตจำเพาะสูงสุด 0.41 ± 0.00 ต่อวัน มวลสาหร่ายสูงสุด $3,500 \pm 43.59$ มิลลิกรัมต่อลิตร และ
ปริมาณไขมันเฉลี่ย 4.16 ± 0.22 ร้อยละต่อน้ำหนักแห้ง ประสิทธิภาพในการลดปริมาณก๊าซ
คาร์บอนไดออกไซด์เฉลี่ยร้อยละ 94.31 ± 1.53

คำสำคัญ: Spirulina sp. การลดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ไขมัน

Abstract

In this study, the effect of carbon dioxide on lipid content and CO₂ mitigation efficiency using Spirulina sp. Which this species was cultivated in working volume 5 liters bioreactor with zarrouk's medium under 24 hours light intensity 4,000 lux and aeration, with air for control. The different concentration of CO₂ (99%) in the experiment were at 0.10, 0.20 and 0.30 vvm flow rates. After the duration of the experiments which was 16 days, the concentration of CO₂ at 0.1 vvm flow rate, the growth of algae and CO₂ mitigation efficiency were better than at the 0.20 and 0.30 vvm flow rates. The maximum specific growth rate was 0.41 ± 0.00 per day. The highest biomass productivity was $3,500 \pm 43.59$ mg/l and the lipid content average was $4.16 \pm 0.22\%$ by weight. The mean CO₂ mitigation efficiencies were $94.31 \pm 1.53\%$.

Keywords: Spirulina sp., CO₂ mitigation, lipid content

บทนำ

ภาวะโลกร้อน (global warming) เกิดจากปรากฏการณ์เรือนกระจกที่รุนแรงกว่าที่ควรจะเป็นตามธรรมชาติ โดยความร้อนจากดวงอาทิตย์ถูกเก็บกักไว้ในโลกมากขึ้น ส่งผลให้อุณหภูมิพื้นผิวโลกสูงขึ้น โดยกิจกรรมของมนุษย์มีส่วนสำคัญที่ทำให้ปริมาณก๊าซเรือนกระจกในบรรยากาศเพิ่มมากขึ้น เช่น การผลิตและใช้พลังงาน การเผาไหม้เชื้อเพลิง การเกษตรอุตสาหกรรม การตัดไม้ทำลายป่า การรั่วไหลของก๊าซจากอุตสาหกรรม และการใช้ผลิตภัณฑ์ที่มีก๊าซเรือนกระจกเป็นองค์ประกอบ เป็นต้น (บัณฑิต และคณะ, 2557) ก๊าซเรือนกระจกที่สำคัญ ได้แก่ ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ โดยประเทศไทยมีปริมาณการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เพิ่มขึ้นในช่วงทศวรรษที่ผ่านมา (วิฑูรย์, 2555) เพื่อเป็นการลดภาวะโลกร้อนที่เกิดจึงต้องหาวิธีเพื่อลดปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่ปลดปล่อยสู่ชั้นบรรยากาศ โดยมุ่งเน้นในการนำก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์กลับมาใช้ประโยชน์ผ่านกระบวนการต่าง ๆ อย่างไรก็ตามการสังเคราะห์แสงของสาหร่ายถือเป็นแนวทางหนึ่งในการใช้ประโยชน์จากก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ผ่านกระบวนการทางชีวภาพที่มีประสิทธิภาพและไม่ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม เนื่องจากสาหร่ายมีการเติบโตโดยใช้แสงเป็นพลังงาน และใช้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เป็นแหล่งคาร์บอนในการสังเคราะห์แสง และเป็นสารอาหารหลักเพื่อการเจริญเติบโตและสร้างมวลสาหร่าย อีกทั้งยังเป็นวิธีที่ช่วยลดปริมาณ ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ เช่น สาหร่าย *Spirulina platensis* มีประสิทธิภาพในการลดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์อยู่ระหว่างร้อยละ 90-100 (Bahr et al., 2014) รวมไปถึงสามารถนำมวลสาหร่ายไปใช้ประโยชน์ในอุตสาหกรรมต่าง ๆ ได้อีกด้วย ดังนั้นจะเห็นได้ว่าสาหร่ายมีความสำคัญต่อมนุษย์ในด้านต่าง ๆ ทั้งด้านสิ่งแวดล้อม และการนำมาใช้ประโยชน์ด้านอื่น ๆ เช่น ด้านระบบนิเวศวิทยา ด้านลดก๊าซเรือนกระจก ด้านอาหาร ด้านอุตสาหกรรม ด้านเกษตรกรรม และด้านการใช้เป็นพลังงานชีวภาพ เป็นต้น (Demirbas, 2010) สาหร่ายมีศักยภาพสูงในการนำไปเป็นวัตถุดิบในการผลิตไบโอดีเซล โดยเฉพาะอย่างยิ่งสาหร่ายซึ่งพบอยู่ทั่วไปตามแหล่งน้ำธรรมชาติ และสาหร่ายมีคุณลักษณะเด่นที่แตกต่างจากพืชน้ำมันชนิดอื่น ๆ หลายอย่าง คือ การเจริญเติบโตเร็ว ให้ผลผลิตเซลล์และน้ำมันต่อพื้นที่สูงเมื่อเทียบกับพืชพลังงานอื่น ๆ รวมถึงการเพาะเลี้ยงสาหร่ายดังกล่าวไม่ได้เป็นการแย่งพื้นที่เพราะปลูกพืชชนิดอื่น ๆ กับพืชอาหารหรือพืชพลังงานอื่น ๆ ด้วยเหตุนี้ นักวิจัยจากหลาย ๆ ประเทศจึงพุ่งความสนใจไปที่การผลิตน้ำมันจากสาหร่ายมากขึ้น โดยในประเทศไทยมีการวิจัยเพื่อผลิตเชื้อเพลิงชีวภาพจากสาหร่ายตามหน่วยงานต่าง ๆ เช่น มหาวิทยาลัยขอนแก่นได้ทำการศึกษาเกี่ยวกับการผลิตน้ำมันจากสาหร่ายสายพันธุ์ *Chlorella sp.* KKU-S2 และสายพันธุ์อื่น ๆ เพื่อนำไปผลิตไบโอดีเซล (รัตนภรณ์, 2554)

จากความสำคัญของปัญหานี้จึงมีการศึกษาวิจัยและการพัฒนาการนำสาหร่ายมาผลิตเป็นพลังงานทดแทนและช่วยลดปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ เพื่อสนับสนุนแนวคิดดังกล่าว งานวิจัยนี้จึงมีความสนใจศึกษาผลของการเปลี่ยนแปลงคาร์บอนไดออกไซด์ต่อการผลิตไขมันและประสิทธิภาพของการลดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ของสาหร่าย *Spirulina sp.* ซึ่งผลที่ได้จากงานวิจัยนี้สามารถนำไปใช้เป็นข้อมูลสำหรับการพิจารณาศักยภาพความเป็นไปได้ของการใช้ประโยชน์จากสาหร่ายในด้านอุตสาหกรรมในเชิงพาณิชย์ ทั้งในด้านการลดปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และการผลิตเป็นพลังงานทดแทนในอนาคตต่อไป

วิธีดำเนินการวิจัย

1. สารเคมีและวัสดุ

สำหรับที่ใช้ในการศึกษาสายพันธุ์ *Spirulina* sp. ได้รับมาจากสาขาวิชาเทคโนโลยีชีวภาพ คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ เลี้ยงในอาหารเหลวสูตรซารุค และสารเคมีที่ใช้ในการวิเคราะห์ทุกชนิดเป็น (analytical reagent; AR)

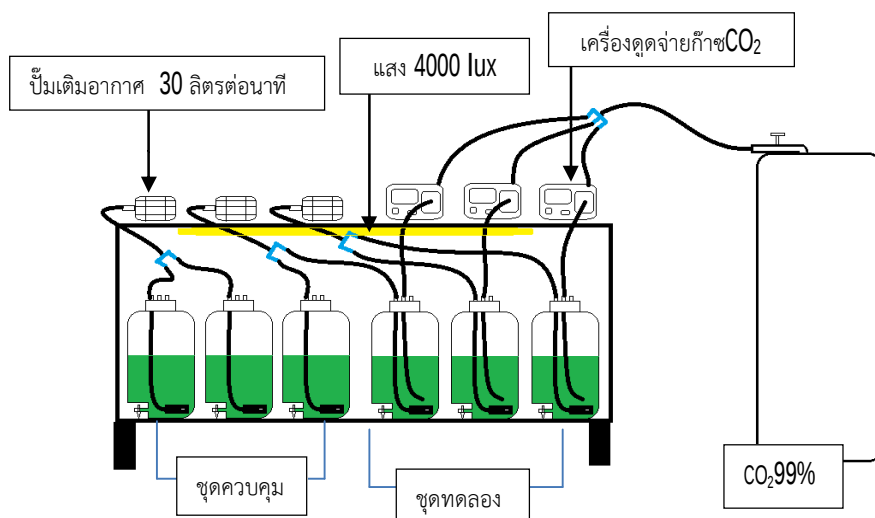
2. การเตรียมหัวเชื้อสำหรับ

นำหัวเชื้อสำหรับ *Spirulina* sp. มาเลี้ยงในอาหารเหลวสูตรซารุคเพื่อทำการเพิ่มปริมาณสำหรับ โดยใช้หัวเชื้อเริ่มต้นมีค่าการดูดกลืนแสงอยู่ที่ 1 จำนวน ร้อยละ 2 โดยปริมาตร มาเทลงถึงขนาด 50 ลิตร ที่บรรจุอาหารเหลวปริมาตร 40 ลิตร ให้แสงจากหลอดไฟสีส้ม (warm white light) ค่าความเข้มแสง 4,000 ลักซ์ (4 in 1 multi-function environmental meter model ST-8820; Taiwan) โดยให้แสงตลอด 24 ชั่วโมง และเติมอากาศจากเครื่องปั๊มอากาศที่อัตราการเติม 30 ลิตรต่อนาที ตลอด 24 ชั่วโมง ทำการเลี้ยงสำหรับจนมีค่าการดูดกลืนแสง (optical density; OD₅₆₀) อยู่ที่ 1 โดยใช้เครื่อง UV-visible spectrophotometer (Biochrom Libra Model S12; UK) เพื่อใช้เป็นหัวเชื้อตั้งต้นในการทดลองขั้นต่อไป

3. ศึกษาผลของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ต่อผลผลิตของสำหรับ *Spirulina* sp. ที่อัตราการเติมปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่แตกต่างกัน นำหัวเชื้อสำหรับที่เพาะเลี้ยงไว้ในข้อ 2 มาทำการศึกษา โดยแบ่งการทดลองออกเป็น 2 ชุดการทดลอง ชุดการทดลองละ 3 ข้ำ โดยทำการทดลองในถังไบโอรีแอคเตอร์ 10 ลิตร ปริมาตร 5 ลิตร ในชุดการทดลองที่ 1 หรือชุดควบคุมเติมอากาศจากปั๊มเติมอากาศตลอด 24 ชั่วโมง อัตรา 30 ลิตรต่อนาที ในขณะที่ชุดที่ 2 ซึ่งเป็นชุดการทดลองนั้น นอกจากเติมอากาศแล้วทำการเติมก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ร้อยละ 99 ที่อัตราการไหล 0.1 vvm ตลอดเวลาการทดลองโดยใช้เครื่อง peristaltic pump (Watson Marlow Model 502S; UK) ในการดูจ่ายปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ทำการเก็บตัวอย่างทุก ๆ 2 วัน เป็นเวลา 16 วัน โดยศึกษาถึงการเจริญเติบโตของสำหรับในรูปน้ำหนักแห้ง (Toledo et al., 2013) และผลของการเติมปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ที่อัตราการไหลแตกต่างกันส่งผลต่ออัตราการเจริญเติบโตของสำหรับ โดยพิจารณาจากค่าอัตราการเจริญเติบโตจำเพาะ (μ) ซึ่งคำนวณได้จากสมการที่ 1 (Vonshak, 1986) หลังจากนั้นทำการทดลองซ้ำเดิม และเปลี่ยนอัตราการไหลของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จาก 0.1 เป็น 0.2 และ 0.3 vvm (ภาพที่ 1)

$$\begin{aligned}\mu &= \ln(N/N_0)/t && \dots\dots\dots (1) \\ \mu &= \text{อัตราการเจริญเติบโตจำเพาะ (ต่อวัน)} \\ N &= \text{มวลสำหรับเริ่มต้นในการทดลอง (มิลลิกรัมต่อลิตร)} \\ N_0 &= \text{มวลสำหรับวันเก็บตัวอย่าง (มิลลิกรัมต่อลิตร)} \\ T &= \text{เวลา (วัน)}\end{aligned}$$

4. ศึกษาค่าความเป็นกรดต่างของอาหารเหลว โดยใช้เครื่องวัดความเป็นกรดต่าง (Ohaus Model Starter 3100; USA) โดยทำการตรวจวัดตัวอย่างทุก ๆ 2 วัน



ภาพที่ 1 แผนภาพวิธีการเลี้ยงสาหร่าย *Spirulina* sp. และการเติมก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในชุดการทดลองและชุดควบคุม

5. ศึกษาประสิทธิภาพการลดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ของสาหร่าย *Spirulina* sp.

ทำการศึกษาถึงประสิทธิภาพของการลดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ โดยทำการวัดปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ก่อนเข้าและหลังออกจากถังไบโอรีแอคเตอร์ โดยใช้เครื่องวัดองค์ประกอบก๊าซ (Geotech Model Biogas 5000; UK) แล้วนำค่าที่ได้ไปคำนวณหาประสิทธิภาพการลดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ของสาหร่าย *Spirulina* sp. จากสมการ 2 (Chien-Ya et al., 2012) และวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติโดยใช้โปรแกรม Minitab Version 17 (Minitab Inc. USA)

$$\text{ประสิทธิภาพการลด CO}_2 \text{ (\%)} = \frac{\text{ปริมาณก๊าซ CO}_2 \text{ ก่อนเข้าชุดการทดลอง} - \text{ปริมาณก๊าซ CO}_2 \text{ หลังออกจากชุดการทดลอง}}{\text{ปริมาณก๊าซ CO}_2 \text{ ก่อนเข้าชุดการทดลอง}} \times 100 \quad \dots\dots\dots (2)$$

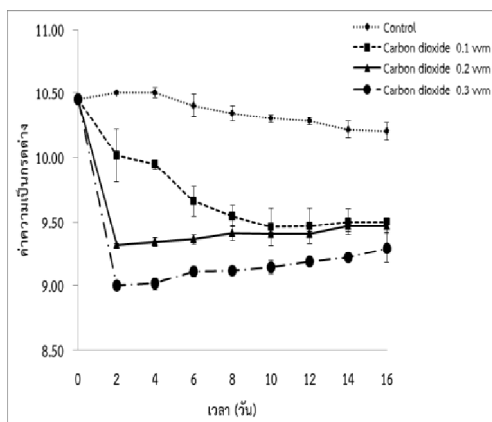
6. ศึกษาประสิทธิภาพของการผลิตไขมันสาหร่าย *Spirulina* sp.

การวิเคราะห์หาปริมาณน้ำมัน (lipid content) โดยใช้วิธีซอกซ์เลต (soxhlet extraction) (APHA, AWWA & WEF, 2005; ผกาวดี และคณะ, 2553)

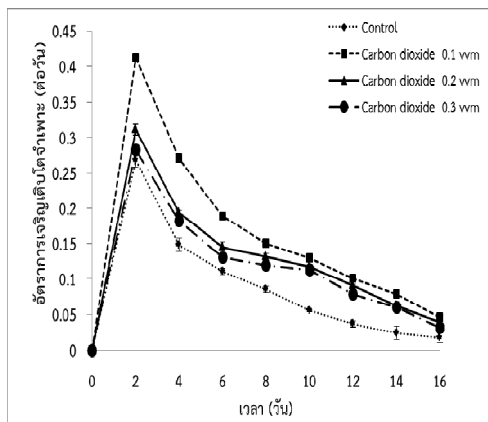
ผลการวิจัย

1. ความเป็นกรดต่าง (pH)

จากการศึกษาผลของปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ต่อค่าความเป็นกรดต่างของอาหารเหลวโดยสาหร่าย *Spirulina* sp. มีค่าความเป็นกรดต่างของอาหารเหลวเมื่อเติมปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (ร้อยละ 99) ที่อัตราการไหล 0.10, 0.20, 0.30 vvm และชุดควบคุม มีค่าอยู่ระหว่าง 9.30 ± 0.14 - 10.50 ± 0.10 , 9.33 ± 0.03 - 10.45 ± 0.00 , 9.00 ± 0.01 - 10.45 ± 0.00 และ 10.20 ± 0.07 - 10.50 ± 0.04 ตามลำดับ (ภาพที่ 2)



ภาพที่ 2 ผลของปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ต่อค่าความเป็นกรดต่างของอาหารเหลว



ภาพที่ 3 ผลของปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ต่อค่าอัตราการเจริญเติบโตจำเพาะของสาหร่าย *Spirulina sp.*

2. ค่าอัตราการเจริญเติบโตจำเพาะ (specific growth rate; μ)

จากการศึกษาผลของปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่มีต่อค่าอัตราการเจริญเติบโตจำเพาะของสาหร่าย *Spirulina sp.* โดยที่อัตราการไหล 0.10, 0.20, 0.30 vvm และชุดควบคุมเมื่อนำค่ามวลสาหร่าย *Spirulina sp.* ในแต่ละวัน มาหาค่าอัตราการเจริญเติบโตจำเพาะ พบว่าเมื่อมีการเติมปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่มีอัตราการไหลเพิ่มมากขึ้น ค่าอัตราการเจริญเติบโตจำเพาะของสาหร่าย *Spirulina sp.* มีแนวโน้มลดลง (ภาพที่ 3) และอัตราการเจริญเติบโตจำเพาะในทุกชุดการทดลองที่เติมก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ มีค่าอัตราการเจริญเติบโตจำเพาะมากกว่าชุดควบคุมที่ไม่มีการเติมก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ดังภาพที่ 3 โดยพบว่าในวันที่ 2 ค่าอัตราการเจริญเติบโตจำเพาะสูงสุดของสาหร่าย *Spirulina sp.* ของการเติมปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ร้อยละ 99 ที่อัตราการไหล 0.10, 0.20, 0.30 vvm และชุดควบคุม คือ 0.41 ± 0.00 , 0.31 ± 0.03 , 0.28 ± 0.00 และ 0.27 ± 0.01 ต่อวัน ตามลำดับ

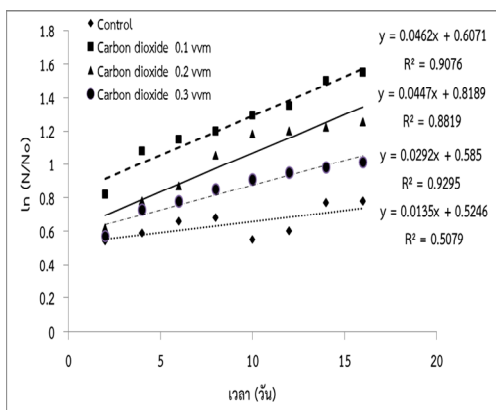
เมื่อพล็อตหาค่าความสัมพันธ์ของการเจริญเติบโตของสาหร่ายระหว่างค่า $\ln(N/No)$ และเวลา เพื่อหาค่าอัตราการเจริญเติบโตจำเพาะเฉลี่ยต่อวัน (ภาพที่ 4) การทดลองที่เติมก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่อัตราการไหล 0.10, 0.20, 0.30 vvm และชุดควบคุมมีค่าอัตราการเจริญเติบโตจำเพาะเฉลี่ยที่ 0.046, 0.045, 0.029 และ 0.014 ต่อวัน ตามลำดับ

3. ค่ามวลสาหร่าย (biomass)

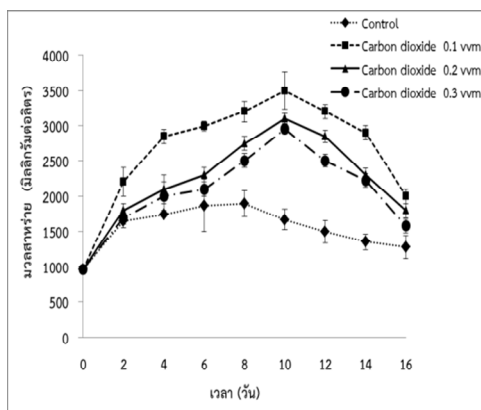
จากการศึกษา ผลของปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่มีต่อค่ามวลสาหร่าย *Spirulina sp.* พบว่ามวลสาหร่ายสูงสุดของการเติมปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ร้อยละ 99 ที่อัตราการไหล 0.10, 0.20, 0.30 vvm และชุดควบคุม คือ $3,500 \pm 43.59$, $3,100 \pm 72.11$, $2,960 \pm 10.00$ และ $1,900 \pm 5.51$ มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ (ภาพที่ 5)

4. ประสิทธิภาพการลดปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ และปริมาณไขมันของสาหร่าย *Spirulina sp.* จากการศึกษาศักยภาพการลดปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ของสาหร่าย *Spirulina sp.* พบว่าชุดการทดลองที่เติมก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่อัตราการไหล 0.10, 0.20 และ 0.30 vvm มีประสิทธิภาพในการลดปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เฉลี่ยที่ร้อยละ 94.31 ± 1.53 , 92.89 ± 1.20

และ 92.00 ± 0.94 ตามลำดับ และมีประสิทธิภาพในการลดปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์สูงสุดในวันที่ 2 คือร้อยละ 97.00 ± 2.50 , 95.00 ± 1.53 และ 93.00 ± 5.20 ตามลำดับ (ภาพที่ 6) ส่วนการศึกษาปริมาณไขมันของสาหร่าย *Spirulina sp.* พบว่าชุดการทดลองที่เติมก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่อัตราการไหล 0.10, 0.20, 0.30 vvm และชุดควบคุม มีการผลิตไขมันเฉลี่ยที่ 4.16 ± 0.22 , 3.91 ± 0.09 , 3.82 ± 0.08 และ 3.26 ± 0.17 ร้อยละต่อน้ำหนักแห้งตามลำดับ (ตารางที่ 1)



ภาพที่ 4 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า $\ln(N/N_0)$ กับเวลาของสาหร่าย *Spirulina sp.*



ภาพที่ 5 ผลของปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ต่อค่ามวลสาหร่าย *Spirulina sp.*

ตารางที่ 1 ประสิทธิภาพการลดปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ มวลสาหร่าย อัตราการเจริญเติบโตจำเพาะ และปริมาณไขมันของสาหร่าย *Spirulina sp.* ที่อัตราการไหล 0.10, 0.20 และ 0.30 vvm

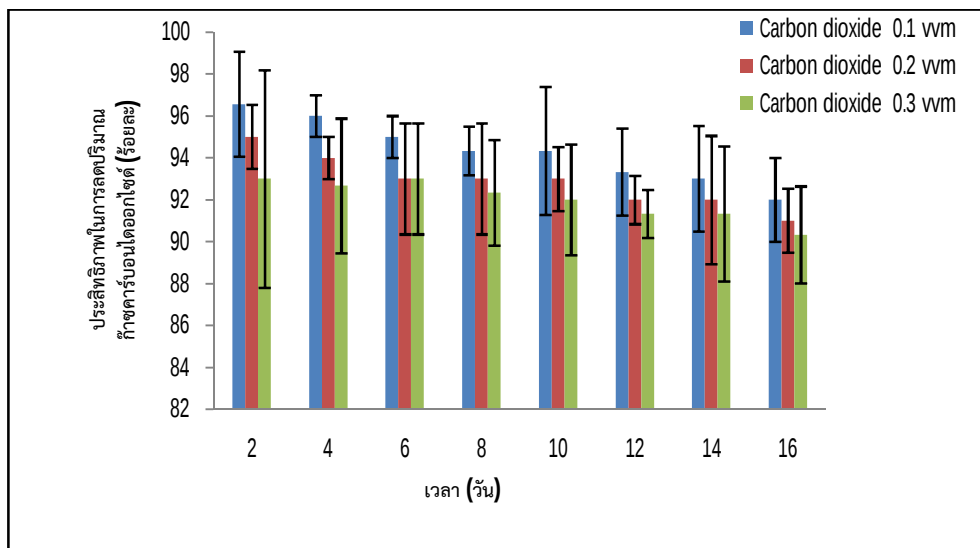
อัตราการเติมปริมาณก๊าซ	ชุดควบคุม	0.1 vvm	0.2 vvm	0.3 vvm
ปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่เข้า (%)	-	99	99	99
ปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่ออก (%)	-	5.63 ± 0.55	7.05 ± 0.54	7.92 ± 0.14
ประสิทธิภาพในการลดปริมาณ CO_2 (%)	-	94.31 ± 1.53^A	92.89 ± 1.20^{AB}	92.00 ± 0.94^B
มวลสาหร่าย (มิลลิกรัมต่อลิตร)	$1,900 \pm 5.51^C$	$3,500 \pm 43.59^A$	$3,100 \pm 72.11^B$	$2,960 \pm 10.00^B$
อัตราการเจริญเติบโตจำเพาะ (ต่อวัน)	0.27 ± 0.01^C	0.41 ± 0.00^A	0.31 ± 0.03^B	0.28 ± 0.00^{BC}
ปริมาณไขมัน (ร้อยละต่อน้ำหนักแห้ง)	3.26 ± 0.17^B	4.16 ± 0.22^A	3.91 ± 0.09^A	3.82 ± 0.08^A

หมายเหตุ ตัวอักษร A, B และ C ที่แตกต่างกันในแนวนอนแสดงว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($p \leq 0.05$) ด้วยวิธี Tukey simultaneous

อภิปรายผล

1. ในชุดการทดลองเติมก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่อัตราการไหล 0.10 vvm ซึ่งมีค่าความเป็นกรดต่างอยู่ระหว่าง 9.30 ± 0.14 - 10.50 ± 0.10 เป็นค่าที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของสาหร่าย เพราะมีมวลสาหร่าย และมีอัตราการเจริญเติบโตจำเพาะสูงสุดที่สอดคล้องกับรายงานวิจัยของ Xianhai et al. (2012) พบว่าค่าความเป็นกรดต่างมีผลต่อค่ามวลสาหร่าย และอัตราการเจริญเติบโตจำเพาะของสาหร่าย *Spirulina platensis* จะเจริญเติบโตได้ดีจะมีค่าความเป็นกรดต่างในช่วง 8.50-9.50 ภายใต้การเติมก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่สม่ำเสมอ และจากรายงานวิจัยของ Michele & Jorge (2007) พบว่า

สาหร่าย *Spirulina sp.* เจริญเติบโตได้ดีและมีมวลสาหร่ายมาก ๆ จะมีค่าความเป็นกรดต่าง 9.04-9.88 ภายใต้การเติมปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์สูงสุดที่ร้อยละ 18.00 ส่วนผลการวิจัยของ Piyanast & Sililuck (2013) พบว่าสาหร่าย *Spirulina maxima* เติบโตในสูตรอาหารซาราค่าความเป็นกรดต่างอยู่ในช่วง 9.00-9.50 มีค่าอัตราการเจริญเติบโตจำเพาะ 0.37-0.40 และมีมวลสาหร่าย 3,700-4,120 มิลลิกรัมต่อลิตร ส่วนชุดการทดลองที่เติมปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่อัตราการไหล 0.30 vvm ในวันแรก ๆ ค่าความเป็นกรดต่างมีค่าลดต่ำลง เป็นเพราะก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์มีคุณสมบัติละลายน้ำได้ดี เมื่อละลายน้ำจะทำปฏิกิริยาเป็นกรดคาร์บอนิกทำให้ค่าความเป็นกรดต่างลดต่ำลง หลังจากนั้น เมื่อสาหร่ายปรับตัวเข้ากับสภาวะได้และเข้าสู่ช่วงเจริญเติบโต จึงมีความต้องการใช้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในปริมาณมากเพื่อใช้ในการสังเคราะห์แสง เมื่อสาหร่ายใช้คาร์บอนไดออกไซด์หมดไป สาหร่ายจะดึงเอาคาร์บอนไดออกไซด์จากไบคาร์บอเนต (HCO_3^-) มาเป็นคาร์บอเนต (CO_3^{2-}) และ ไฮดรอกไซด์ (OH^-) ตามลำดับ เป็นผลให้ค่าความเป็นกรดต่างดังกล่าวเปลี่ยนสภาพเป็นต่างมากขึ้น ซึ่งการศึกษาของ Siswo et al. (2014) พบว่าการเติมก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ร้อยละ 36-58 ค่าความเป็นกรดต่างจะลดลงจาก 10.00 เป็น 7.00



ภาพที่ 6 ประสิทธิภาพการลดปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ของสาหร่าย *Spirulina sp.*

2. ผลของปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่มีต่ออัตราการเจริญเติบโตจำเพาะของสาหร่าย *Spirulina sp.* พบว่าเมื่อมีการเติมปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่มีอัตราการไหลเพิ่มมากขึ้นอัตราการเจริญเติบโตจำเพาะของสาหร่าย *Spirulina sp.* มีแนวโน้มลดลง และอัตราการเจริญเติบโตจำเพาะในทุกชุดการทดลองที่เติมก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ มีค่าอัตราการเจริญเติบโตจำเพาะมากกว่าชุดควบคุมที่ไม่มีการเติมก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ แสดงให้เห็นว่าก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ มีผลต่อการเจริญเติบโตของสาหร่าย *Spirulina sp.* เนื่องจากสาหร่าย *Spirulina sp.* ในทุกชุดการทดลองมีการนำเอาก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ไปใช้ในการกระบวนการสังเคราะห์แสง ซึ่งเป็นแหล่งพลังงานที่สำคัญจึงทำให้สาหร่ายมีการเจริญเติบโตอย่างรวดเร็ว หลังจากนั้นสาหร่ายจะเข้าสู่ระยะการเจริญเติบโตช้าลง ทำให้ค่าอัตราการ

เจริญเติบโตจำเพาะมีแนวโน้มลดลง เมื่อสาหร่ายจะเข้าสู่ระยะหยุดการเจริญเติบโต ทำให้ค่าอัตราการเจริญเติบโตจำเพาะมีแนวโน้มลดลง เมื่อเวลาเพิ่มขึ้นการเติมปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ที่อัตราการไหล 0.10 vvm มีค่าอัตราการเจริญเติบโตจำเพาะสูงสุดของสาหร่าย *Spirulina sp.* สูงที่สุดต่อวัน จึงเป็นสภาวะที่เหมาะสมในการเพาะเลี้ยง

จากรายงานวิจัยของ Sumardiono et al. (2014) ศึกษาถึงการใช้ประโยชน์จากก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากระบบผลิตก๊าซชีวภาพในการเพาะเลี้ยงสาหร่าย *Spirulina platensis* โดยมีส่วนประกอบของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ร้อยละ 48.97 พบว่าสาหร่าย *S. platensis* มีค่าอัตราการเจริญเติบโตจำเพาะสูงสุดอยู่ที่ 0.39 ต่อวัน และมีแนวโน้มที่เพิ่มขึ้นขณะที่ Sydney et al. (2010) ทำการศึกษาถึงศักยภาพของสาหร่าย *S. platensis* LEB-52 ในการลดปริมาณ ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ผลจากการศึกษาพบว่าสาหร่ายเจริญเติบโตได้ดีเมื่อมีการเติมก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ร้อยละ 36-58 นอกจากนี้ Hoseine et al. (2014) ยังพบว่าสาหร่ายบางสายพันธุ์ เช่น *S. platensis* PCC9108 สามารถเจริญเติบโตได้ดีเมื่อมีการเติมก๊าซไอเสียลงไปมีอัตราการเจริญเติบโตจำเพาะ 0.28 ต่อวัน และมีมวลสาหร่าย 980 มิลลิกรัมต่อลิตร แต่อย่างไรก็ตามอัตราการเติมก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์มีส่วนสำคัญต่อการเจริญเติบโตของสาหร่ายที่แตกต่างกัน (Emma & Rosalam, 2012)

3. ผลของปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่มีต่อค่ามวลสาหร่าย *Spirulina sp.* พบว่าเมื่อมีการเติมปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่มีอัตราการไหลมากขึ้น ค่ามวลสาหร่ายมีแนวโน้มลดลง ซึ่งจากรายงานวิจัยของครุฑชิต และคณะ (2559) ศึกษาถึงประสิทธิภาพของสาหร่าย *Chlorella sp.* TISTR 8432 ในการลดปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากระบบผลิตก๊าซชีวภาพ พบว่า ที่อัตราการไหล 0.10 vvm การเจริญเติบโตของสาหร่ายดีกว่าที่อัตราการไหล 0.15 vvm และมีมวลสาหร่ายถึง 2,100 มิลลิกรัมต่อลิตร

4. ประสิทธิภาพการลดปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ของสาหร่าย *Spirulina sp.* พบว่ามีประสิทธิภาพในการลดปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยมีค่าสูงสุดในวันที่ 2 ซึ่งสาหร่ายแต่ละชนิดมีประสิทธิภาพในการลดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่ต่างกัน บางสายพันธุ์ลดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ได้ดี เช่น สาหร่าย *S. platensis* มีประสิทธิภาพในการลดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ได้ถึงร้อยละ 98 (Alison, 2011) และร้อยละ 90-100 (Bahr et al., 2014) ส่วนการศึกษาปริมาณไขมันของสาหร่าย *Spirulina sp.* พบว่าปริมาณไขมันของสาหร่ายมีปริมาณน้อย อาจมาจากสายพันธุ์ของสาหร่าย และผลการเติมก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์มีผลต่อการสะสมของปริมาณไขมัน ซึ่งดูจากอัตราการเจริญเติบโตที่รวดเร็ว แต่สาหร่ายมีการสะสมไขมันภายในเซลล์น้อย ประสิทธิภาพในการลดปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ และการสะสมปริมาณไขมันของสาหร่าย จะต้องอยู่ภายใต้สภาวะที่เหมาะสม ต้องมีองค์ประกอบต่าง ๆ กัน เช่น สายพันธุ์ของสาหร่าย ความเข้มข้นของปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่ใช้ อุณหภูมิ ความเข้มของแสง รวมไปถึงองค์ประกอบของถังไบโอรีแอคเตอร์ (ผกาดี และคณะ, 2553)

สรุปผลการวิจัย

การเลี้ยงสาหร่าย *Spirulina sp.* ในอาหารเหลวสูตรซารุคในถังไบโอรีแอคเตอร์ปริมาตร 5 ลิตร ทำการเติมปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ร้อยละ 99 เป็นเวลา 16 วัน พบว่าการเติมก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ร้อยละ 99 ที่อัตราการไหล 0.10 vvm มีการเจริญเติบโตของสาหร่ายสูงสุด และมีประสิทธิภาพในการลดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์มากที่สุดค่าอัตราการเจริญเติบโตจำเพาะสูงสุด

เท่ากับ 0.41 ± 0.00 ต่อวัน มวลสาหร่ายสูงสุด เท่ากับ $3,500 \pm 43.59$ มิลลิกรัมต่อลิตร และปริมาณ
ไขมันเฉลี่ย เท่ากับ 4.16 ± 0.22 ร้อยละต่อน้ำหนักแห้ง ประสิทธิภาพในการลดปริมาณก๊าซ
คาร์บอนไดออกไซด์เฉลี่ยร้อยละ 94.31 ± 1.53

กิตติกรรมประกาศ

โครงการวิจัยนี้ได้รับทุนการสนับสนุนจากสำนักบริหารโครงการส่งเสริมการวิจัยในอุดมศึกษา
และพัฒนามหาวิทยาลัยแห่งชาติ สำนักงานคณะกรรมการการอุดมศึกษาและขอขอบคุณ นางสาวนิตยา
ตันติวา ให้คำปรึกษาด้านการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

เอกสารอ้างอิง

- ครุฑเงินคำคง, นิธิวัฒน์ จำรูญรัตน์, สิทธิศักดิ์ แก้วหนัก, ฤชณฉัตร เมืองใจ, นิตยา ตันติวา, นันทน์ภัส มโนนันท์ และ
พิสิฐ ศรีสุริยจันทร์. (2559). ประสิทธิภาพของสาหร่าย *Chlorella* sp. TISTR 8432 ในการลดปริมาณก๊าซ
คาร์บอนไดออกไซด์จากระบบผลิตก๊าซชีวภาพ. วารสารวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคล
ล้านนา, 1(1), 51-58.
- บัณฑิต เศรษฐศิริโรตม์, อำนาจ ชิดโธสง และศุภกร ชินวรรณ. (2557). **Climat@risk**. กรุงเทพฯ: สำนักงานกองทุนสนับสนุน
การวิจัย.
- ผกาวิดี แก้วกันนตร, พรเทพ ถนอมแก้ว และฉมาลีสา ยวอมรพิทักษ์. (2553). รายงานการวิจัย เรื่องการเพาะเลี้ยงสาหร่าย
ขนาดเล็กในระบบปิด/เปิดเพื่อใช้เป็นวัตถุดิบทางเลือกในการผลิตพลังงานทดแทนไบโอดีเซลที่ยั่งยืน.
คณะเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยขอนแก่น.
- รัตนภรณ์ ลีสิงห์. (2554). จากสาหร่ายขนาดเล็กสู่เชื้อเพลิงชีวภาพ: โอกาสและความท้าทาย. วารสารวิทยาศาสตร์
มหาวิทยาลัยขอนแก่น, 39(3), 334-349.
- วิฑูรย์ ปัญญากุล. (2555). การเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศ. มูลนิธิสายใย. กรุงเทพฯ: โรงพิมพ์ไทยยูเนียนกราฟิกส์.
- Alison, C. (2011). **Use of Microalgae in Wastewater Treatment to Removecontaminants and
Purify Biogas**. Canada: University of Guelph Canada.
- APHA, AWWA & WEF. (2005). **Standard Methods for Extermination of Water and Waste Water**.
21st ed. USA; Washington, DC.
- Bahr, M., Diaz, I., Dominguez, A., Sanchez, A.G. & Munoz, R. (2014). Microalgal-biotechnology as a
platform for an integral biogas upgrading and nutrient removal from anaerobic effluents.
Environmental Science & Technology, 48, 573-581.
- Chien-Ya, K., Sheng-Yi, C., Tzu-Ting, H., Le, D., Ling-Kang, H. & Chih-Sheng, L. (2012). Ability of a mutant
strain of microalgae *Chlorella* sp. to capture carbon dioxide for biogas. **Journal of Applied
Energy**, 36, 176-183.
- Demirbas, A. (2010). Use of algae as biofuel sources. **Energy Conversion and Management**, 51, 2738-
2749.
- Emma, S., & Rosalam, S., (2012). Conversion of microalgae to biofuel. **Journal of Renewable and
Sustainable Energy Reviews**, 16, 4316-4342.
- Hoseini, S., Almodares, A., Afsharzadeh, S., Hatamipour, M. S. & Montazeri, F. (2014). Growth response of
Spirulina platensis PCC9108 to elevated CO₂ levels and flue gas. **Biological Journal of
Microorganism**, 2(8), 29-36.
- Michele, G.D.M., & Jorge, A.V.C. (2007). Carbon dioxide fixation by *Chlorella kessleri*, *C. vulgaris*,
Scenedesmus obliquus and *Spirulina* sp. cultivated in flasks and vertical tubular
photobioreactor. **Journal of Biotechnology**, 29, 1349-1352.

- Piyanast, S., & Sililuck, I. (2013). Effects of different initial pH of modified zarrok medium on large-Scale *Spirulina maxima* culture. **Journal of Medical and Bioengineering**, 2, 266-269.
- Siswo, S., Budiyo, I.S., & Setia, B.S. (2014). Utilization of biogas as carbon dioxide provider for *spirulina platensis* culture. **Journal of Biological Sciences**, 6(1), 53-59.
- Sumardiono, S., Yono, S.B.I. & Sasongko, S.B. (2014). Utilization of biogas as carbon dioxide provider for *Spirulina platensis* culture. **Biological Sciences**, 6(1), 53-59.
- Sydney, E.B., Sturm, W.J.C., Carvalho, D., Soccol, V.T., Larroche, C., Pandey, A. & Soccol, C.R. (2010). Potential carbon dioxide fixation by industrial important microalgae. **Bioresource Technology**, 101, 5892-5896.
- Toledo, C.A., Marcia, M., Eberto, N. & Sergio, R. (2013). Carbon dioxide fixation and lipid storage by *Scenedesmus obtusiusculus*. **Journal of Bioresource Technology**, 130, 652-658.
- Vonshak, A. (1986). **Microalgae: Laboratory Growth Techniques and Outdoor Biomass Production**. 2nd ed. Techniques in Bioproducity and Photosynthesis. New York: Pergamon Press.
- Xinahai, Z., Michael, K.D., Shiduo, Z., Xia, Z., Mengyang, W., Xiao Dong, C., I-Son, N., Keju, J., & Yinghua, L. (2012). Autotrophic cultivation of *Spirulina platensis* for CO₂ fixation and phycocyanin production. **Journal of Chemical Engineering**, 183, 192-197.