การลดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ด้วยสาหร่ายขนาดเล็ก *Chlorella vulgaris* TISTR 8580

Reduction of carbondioxide by microalgae: *Chlorella vulgaris* TISTR 8580

มนัสนันท์ งามถ้อย[1*] และพรรณวดี สุวัฒิกะ[2]

Manatsanan Ngamtoi[1*] and Panwadee Suwattiga[2]

[1] นักศึกษาปริญญาโทภาควิชาเทคโนโลยีอุตสาหกรรมเกษตร อาหารและสิ่งแวดล้อม
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ กรุงเทพมหานคร

[1] Graduated student, Department of Ago-Industial, Food and Environmental Technology,
Faculty of Applied Science, King Mongkut's University of Technology North Bangkok

[2] ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ภาควิชาเทคโนโลยีอุตสาหกรรมเกษตร อาหารและสิ่งแวดล้อม
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ กรุงเทพมหานคร

[2] Assistant Professor, Department of Ago-Industial, Food and Environmental Technology,
Faculty of Applied Science, King Mongkut's University of Technology North Bangkok

[*]**Corresponding author, E-mail:** mama_milk@live.com

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อต้องการนำก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ความเข้มข้นสูง เช่น จากกิจกรรมการเผาไหม้หรือกิจกรรมอื่นๆในอุตสาหกรรม มาใช้ในการเลี้ยงสาหร่ายเพื่อลดการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์สู่บรรยากาศด้วยวิธีทางชีววิทยา โดยศึกษาการเจริญเติบโตของสาหร่าย 3 สายพันธุ์ ได้แก่ *Chlorella vulgaris* TISTR 8580,*Chlorococcum sp.* TISTR 8583 และ *Scenedesmus sp.* TISTR 8479 ในน้ำหมักชีวภาพที่ผ่านการฆ่าเชื้อและไม่ผ่านการฆ่าเชื้อ ในสภาวะทดลองแบบธรรมชาติและที่อัตราความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ 0.5% และ 1% ซึ่งผลการศึกษาพบว่าสาหร่ายแต่ละชนิดมีการอัตราเจริญเติบโตต่างกันในสภาวะธรรมชาติ สาหร่าย*Chlorella vulgaris* TISTR 8580 เจริญเติบโตได้สูงสุด ในวันที่ 19 ของการเพาะเลี้ยง จำนวนเซลล์สาหร่ายสูงสุด $14.61\pm0.24 \times 10^6$ และ $10.62\pm0.67 \times 10^6$ เซลล์ต่อมิลลิลิตร ในน้ำหมักชีวภาพที่ผ่านและไม่ผ่านการฆ่าเชื้อตามลำดับ และที่อัตราความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ 0.5% และ 1 % พบว่าในวันที่ 19 ของการเพาะเลี้ยงจำนวนเซลล์สาหร่ายสูงสุด $4.48\pm0.31 \times 10^6$ และ $2.26\pm0.15 \times 10^6$ เซลล์ต่อมิลลิลิตร ในน้ำหมักชีวภาพที่ไม่ผ่านการฆ่าเชื้อ ตามลำดับ

คำสำคัญ: สาหร่ายขนาดเล็ก *Chlorella vulgaris* การลดก๊าซเรือนกระจก น้ำมันจากสาหร่าย

Abstract

This research aims to cultivate algae with a high concentration of carbon dioxide deriving from fuel combustion or other activities from the industry in order to reduce carbon dioxide emission by biological process. This research investigated the differences of the growth of 3 algae species: *Chlorella vulgaris* TISTR 8580, *Chlorococcum sp.* TISTR 8583 and *Scenedesmus sp.* TISTR 8479 in liquid fertilizer of sterile and non-sterile on natural experimental conditions and the concentration of carbon dioxide at 0.5% and 1%. The results showed that in natural condition the growth of alga *Chlorella vulgaris* TISTR 8580 was the highest on day 19th of cultivation. The maximum numbers of algal cells were $14.61\pm0.24 \times 10^6$ and $10.62\pm0.67 \times 10^6$ cells ml^{-1} in liquid fertilizer of sterile and non-sterile respectively. The concentration of carbon dioxide at 0.5% and 1% in the day 19th of cultivation illustrated that the cell algae was $4.48\pm0.31 \times 10^6$ and $2.26\pm0.15 \times 10^6$ cells ml^{-1} in non- sterile liquid fertilizer respectively.

Keyword: Microalgae, *Chlorella Vulgaris*, CO_2 sequestration, Fatty acid

บทนำ

เป็นที่ทราบกันโดยทั่วไปว่ากิจกรรมของมนุษย์ก่อให้เกิดการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ออกสู่อากาศเป็นจำนวนมาก หากสามารถนำก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากกิจกรรมต่างๆ เข้าสู่ระบบเลี้ยงสาหร่าย นอกจากลดปริมาณการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์แล้ว ยังสามารถผลิตสาหร่ายเพื่อใช้ประโยชน์เป็นการสร้างมูลค่าเพิ่ม

การผลิตเชื้อเพลิงชีวภาพในรุ่นแรกและรุ่นที่สอง พบว่าประสบความสำเร็จในระดับเศรษฐกิจเชิงพานิช ซึ่งเชื้อเพลิงชีวภาพส่วนใหญ่สกัดมาจากพืชอาหาร เช่น น้ำมันปาล์ม อ้อย น้ำตาล หัวบีทขาว ข้าวสาลี ข้าวบาเลย์ ข้าวโพด และอื่นๆ แต่สนองความต้องการพลังงานได้ช้าและการขนส่งที่จำกัด (Singh A. et al, 2011)

การผลิตเชื้อเพลิงชีวภาพรุ่นที่สามจากสาหร่าย พบว่าสาหร่ายเจริญเติบโตได้อย่างรวดเร็ว เนื่องจากโครงสร้างที่เรียบง่าย มีความหลากหลาย และให้ผลผลิตน้ำมันที่สูงมาก เมื่อเทียบกับผลผลิตน้ำมันที่ได้จากพืชและไขสัตว์ในหน่วยน้ำหนักแห้ง (Parmar A.A., 2011) การเลี้ยงสาหร่ายใช้พื้นที่ในการเพาะเลี้ยงน้อย และอาจใช้พื้นที่ที่ไม่เหมาะสมในการเพาะปลูกเพาะเลี้ยงได้ ใช้ต้นทุนในการสร้างระบบเพาะเลี้ยงต่ำ เนื่องจากสาหร่ายต้องการเพียงที่ว่าง แสงแดด น้ำ และสารอาหาร ซึ่งอาหารที่ใช้ราคาถูก (ยุวดี พีรพรพิศาล และคณะ, 2553)

สาหร่ายเป็นสิ่งมีชีวิตขนาดเล็กที่มีความสามารถในการสังเคราะห์แสงและตรึงคาร์บอนจากก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ให้อยู่ในรูปของคาร์โบไฮเดรทและพลังงานแบบต่าง ๆ ทำให้เมื่อเพาะเลี้ยงสาหร่ายแล้วยัง

ช่วยลดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เนื่องจากการสังเคราะห์แสง เป็นการช่วยเพิ่ม carbon-credit ให้แก่หน่วยงานและประเทศ (ยุวดี พีรพรพิศาลและคณะ, 2553) สาหร่ายหลายชนิดสามารถสะสมปริมาณไขมันได้อย่างมหาศาลเอื้อต่อการผลิตน้ำมัน ค่าเฉลี่ยของไขมันอยู่ระหว่าง 1 – 70 % แต่สาหร่ายบางชนิดสามารถผลิตไขมันได้ถึง 90 % ของน้ำหนักแห้ง (ยศวดี สวัสดิรักษา, 2547)

ปุ๋ยอินทรีย์น้ำหรือน้ำหมักชีวภาพ เป็นปุ๋ยอินทรีย์ในรูปของเหลวที่ได้มาจากการย่อยสลายวัสดุเหลือใช้จากพืชหรือสัตว์ลักษณะสด โดยกิจกรรมของจุลินทรีย์ในสภาพที่ไม่มีออกซิเจนเป็นส่วนใหญ่ ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีลักษณะเป็นของเหลวสีน้ำตาลซึ่งประกอบด้วยธาตุอาหารเป็นจำนวนมาก (พงษ์ พฤกษา, 2548) มีต้นทุนในการผลิตต่ำ ด้วยเหตุนี้จึงมีแนวคิดนำน้ำหมักชีวภาพมาใช้เป็นแหล่งอาหารในการเพาะเลี้ยงสาหร่าย ซึ่งสาหร่ายที่นำมาศึกษาทั้ง 3 ชนิด คือ *Chlorella vulgaris, Chlorococcum sp.* และ *Scenedesmus sp.* มีปริมาณไขมันเท่ากับ 12.2-40.0 53.7 และ 40.8-53.9 (mg/L/day) ตามลำดับ (Teresa M. Mata, 2010)

ในงานวิจัยเรื่องนี้มุ่งหวังเพื่อหาอัตราการใช้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์สูงสุดของสาหร่ายในการเจริญเติบโตในน้ำหมักชีวภาพเพื่อผลิตไขมันสูง เหมาะแก่การนำไปผลิตไบโอดีเซล ทำให้การผลิตไบโอดีเซลจากสาหร่ายเป็นการสร้างรายได้ สร้างแหล่งพลังงานทดแทน และลดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

ศึกษาการเจริญเติบโตของสาหร่ายขนาดเล็ก 3 ชนิด คือ *Chlorella vulgaris* TISTR 8580, *Chlorococcum sp.* TISTR 8583 และ *Scenedesmus sp.* TISTR 8479 ในสภาวะทดลองแบบธรรมชาติและที่อัตราความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ 0.5% และ 1%

แนวคิด ทฤษฎี กรอบแนวคิด

สาหร่ายขนาดเล็กมีความสามารถนำก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่มีความเข้มข้นสูงมาใช้ในการเจริญเติบโต

วิธีดำเนินการวิจัย

ขั้นตอนที่หนึ่งศึกษาการเจริญเติบโตของสาหร่าย *Chlorella vulgaris* TISTR 8580, *Chlorococcum sp.* TISTR 8583 และ *Scenedesmus sp.* TISTR 8479 โดยทำการทดลองแบบแบตซ์ ในระบบเปิดอ่างแก้วสี่เหลี่ยมผืนผ้าขนาด 50 x 20 x 25 เซนติเมตร ความจุ 37 ลิตร อ่างจะบรรจุน้ำหมักชีวภาพที่ผ่านการเตรียมมาแล้ว ปริมาตร 30 ลิตร อัตราการเติมอากาศ 200 มิลลิลิตรต่อนาที (Sheng-Yi Chiu, 2008) ตลอด 24 ชั่วโมง เป็นเวลา 25 วัน สาหร่ายหัวเชื้อเริ่มต้น 5×10^5 เซลล์ต่อมิลลิลิตร

ขั้นตอนที่สองศึกษาการเจริญเติบโตและการใช้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ของสาหร่ายในน้ำหมักชีวภาพ โดยคัดเลือกสายพันธุ์สาหร่ายที่เจริญเติบโตได้ดีที่สุดในขั้นตอนที่หนึ่ง และทำการทดลองเช่นเดียวกับขั้นตอนที่หนึ่ง โดยผสมก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์บริสุทธิ์กับอากาศก่อนป้อนเข้าระบบที่ความเข้มข้นของคาร์บอนไดออกไซด์ที่เข้าระบบเท่ากับ 0.5% และ1% ตลอด 24 ชั่วโมง การวิเคราะห์พารามิเตอร์ต่างๆของน้ำหมักชีวภาพ จำนวนเซลล์สาหร่าย และความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (ตารางที่ 1) โดยทำการวิเคราะห์คุณภาพน้ำหมักชีวภาพก่อน-หลังทำการทดลอง วิเคราะห์จำนวนเซลล์สาหร่าย ทุก 2 วัน การวิเคราะห์ปริมาณน้ำมันที่สาหร่ายสะสมในเซลล์ ปริมาณโปรตีน และปริมาณคาร์โบไฮเดรต หลังทำการทดลองเสร็จสิ้น

ตารางที่ 1 พารามิเตอร์ที่ทำการวิเคราะห์และวิธีการวิเคราะห์

พารามิเตอร์	วิธีการวิเคราะห์
1. วิเคราะห์คุณภาพน้ำหมักชีวภาพ	
- pH	Electrometric method
- Electrical conductivity	Electrometric method
- ความขุ่น	Nephelometric Turbidity Unit
- ไนโตรเจนทั้งหมด (TkN)	Kjeldahl method
- ไนเตรต(Nitrate)	Brucine
- ไนไตรต์(Nitrites)	NED
- แอมโมเนีย(ammonia)	Titration
- ฟอสฟอรัสทั้งหมด (TP)	Vanadomolybdophosphoric
- อินทรีย์คาร์บอน (OC)	Titration
2. วิเคราะห์สาหร่ายในระยะเวลาเพาะเลี้ยง	
- จำนวนเซลล์สาหร่าย	Hemacytometer
- ปริมาณน้ำมันที่สาหร่ายสะสมในเซลล์	Bligh and Dryer
- ปริมาณโปรตีน	Kjeldahl method
- ปริมาณคาร์โบไฮเดรต	Phenol sulfuric
3. ความเข้มข้นก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์	ใช้เครื่อง Testo 330-1LL

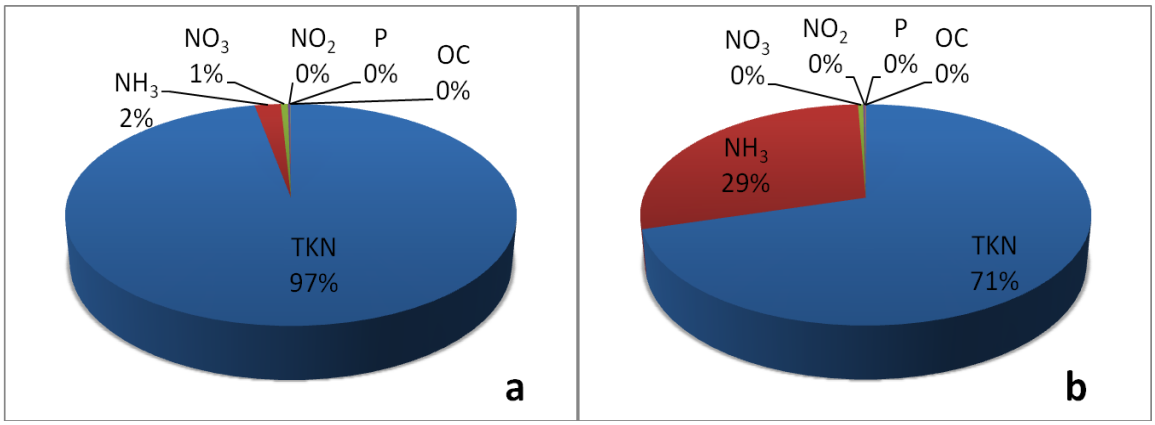
ผลการวิจัย

1. การเจริญเติบโตของสาหร่ายขนาดเล็กในน้ำหมักชีวภาพ

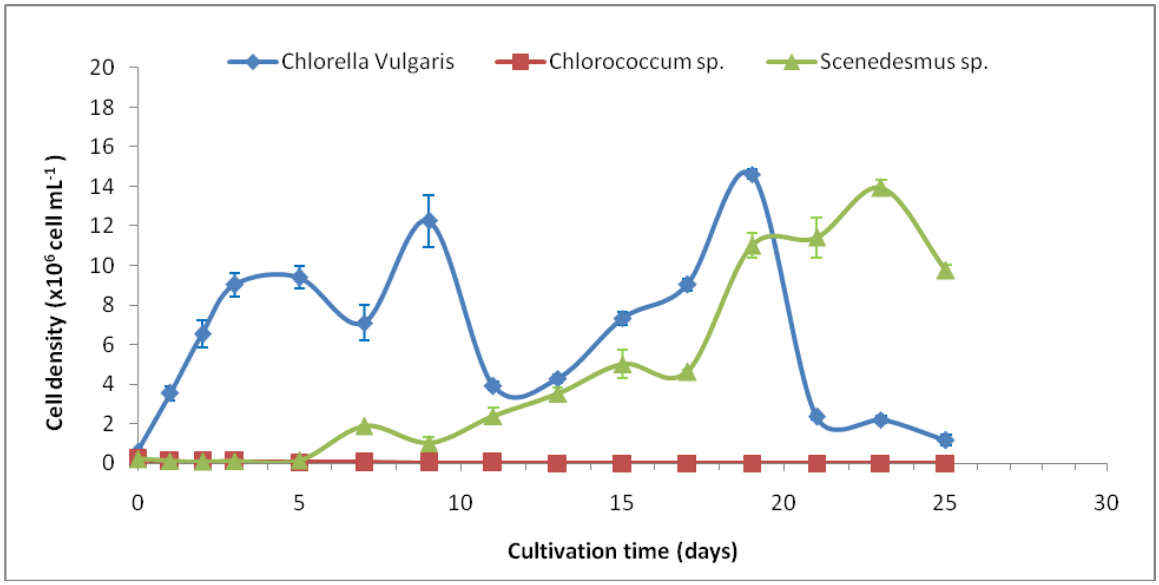
จากการศึกษาการเจริญเติบโตของสาหร่ายขนาดเล็กในน้ำหมักชีวภาพปริมาตร 30 ลิตร อัตราการเติมอากาศ 200 มิลลิลิตรต่อนาที ตลอด 24 ชั่วโมง เป็นเวลา 25 วัน แสดงทั้งแบบฆ่าเชื้อและไม่ฆ่าเชื้อ ดังภาพประกอบที่ 2 และ 3 การวิเคราะห์ปริมาณธาตุอาหารในน้ำหมักชีวภาพแสดงดังภาพประกอบที่ 1

จากภาพประกอบที่ 1 การวิเคราะห์ธาตุอาหารในน้ำหมักชีวภาพ จะเห็นได้ว่าเมื่อมีการฆ่าเชื้อด้วยหม้อนึ่งความดันไอน้ำ ที่อุณหภูมิ 110 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 28 นาที ทำให้ค่าไนโตรเจนทั้งหมด (TKN) ลดลง และค่าแอมโมเนีย (NH_3) เพิ่มขึ้น ทั้งนี้เนื่องจากความดันและความร้อนทำให้ ค่าไนโตรเจนทั้งหมด (TKN) เปลี่ยนไปเป็นแอมโมเนีย (NH_3)

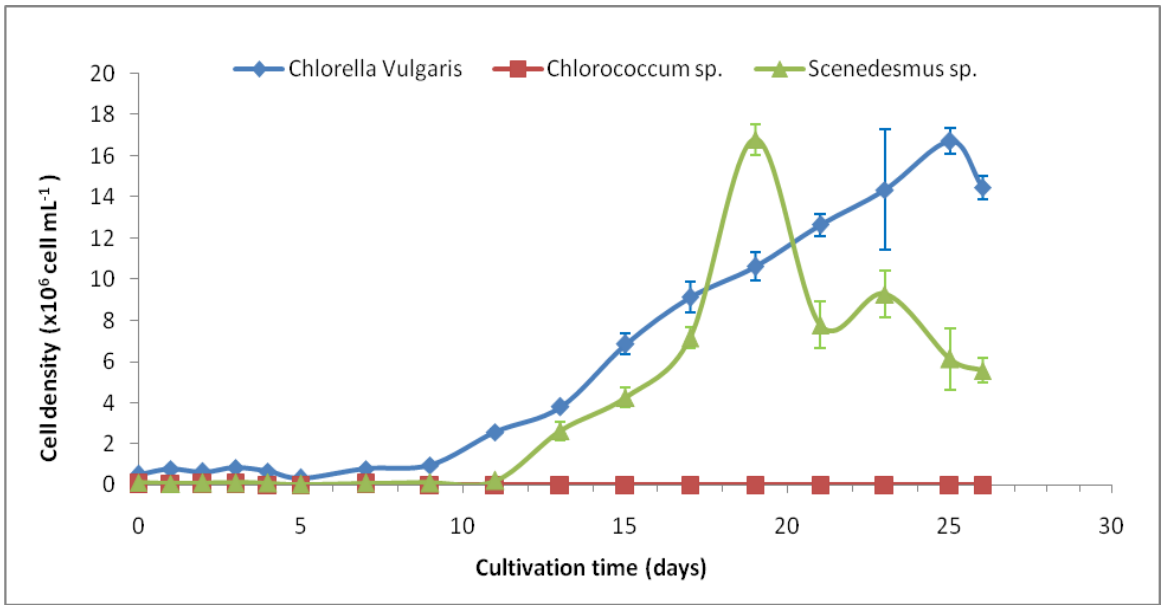
จากภาพประกอบที่ 2 การเลี้ยงสาหร่ายในน้ำหมักชีวภาพที่ไม่ผ่านการฆ่าเชื้อ พบว่าสาหร่าย *Chlorella vulgaris* TISTR 8580 เจริญเติบโตได้ดีที่สุดในวันที่ 19 ของการเพาะเลี้ยง จำนวนเซลล์สาหร่ายสูงสุด 14.61±0.24 x 10^6 เซลล์ต่อมิลลิลิตร สาหร่าย *Scenedesmus sp.* TISTR 8479 เจริญเติบโตได้ดีที่สุดในวันที่ 23 ของการเพาะเลี้ยง จำนวนเซลล์สาหร่ายสูงสุด 13.94±0.37 x 10^6เซลล์ต่อมิลลิลิตร และภาพประกอบที่ 3 การเลี้ยงสาหร่ายในน้ำหมักชีวภาพที่ผ่านการฆ่าเชื้อ พบว่าสาหร่าย *Chlorella vulgaris* TISTR 8580 เจริญเติบโตได้ดีที่สุดในวันที่ 25 ของการเพาะเลี้ยง จำนวนเซลล์สาหร่ายสูงสุด 16.72±0.62 x 10^6 เซลล์ต่อมิลลิลิตร สาหร่าย *Scenedesmus sp.* TISTR 8479 เจริญเติบโตได้ดีที่สุดในวันที่ 19 ของการเพาะเลี้ยง จำนวนเซลล์สาหร่ายสูงสุด 16.81±0.75 x 10^6 เซลล์ต่อมิลลิลิตร ส่วนสาหร่าย *Chlorococcum sp.* TISTR 8583 ไม่สามารถเจริญเติบโตได้ในสภาวะทดลอง จากผลดังกล่าวพิจารณาเลือกผลการเลี้ยงสาหร่ายในน้ำหมักชีวภาพที่ไม่ผ่านการฆ่าเชื้อ เนื่องจากให้ค่าการเจริญเติบโตไม่แตกต่างกันมาก การไม่ต้องฆ่าเชื้อจะประหยัดพลังงานและสะดวกในทางปฏิบัติมากกว่า สาหร่ายที่พิจารณาเลือกคือสาหร่าย *Chlorella vulgaris* TISTR 8580 เพื่อใช้ในการทดลองต่อไป เนื่องจากสามารถปรับตัวต่อสภาพแวดล้อมได้ดี มีช่วงการเจริญเติบโตสั้นกว่า สามารถเก็บเกี่ยวเซลล์สาหร่ายได้เร็ว



ภาพประกอบที่ 1 การวิเคราะห์ปริมาณธาตุอาหารในน้ำหมักชีวภาพ a: น้ำหมักชีวภาพที่ไม่ผ่านการฆ่าเชื้อ b: น้ำหมักชีวภาพที่ผ่านการฆ่าเชื้อ



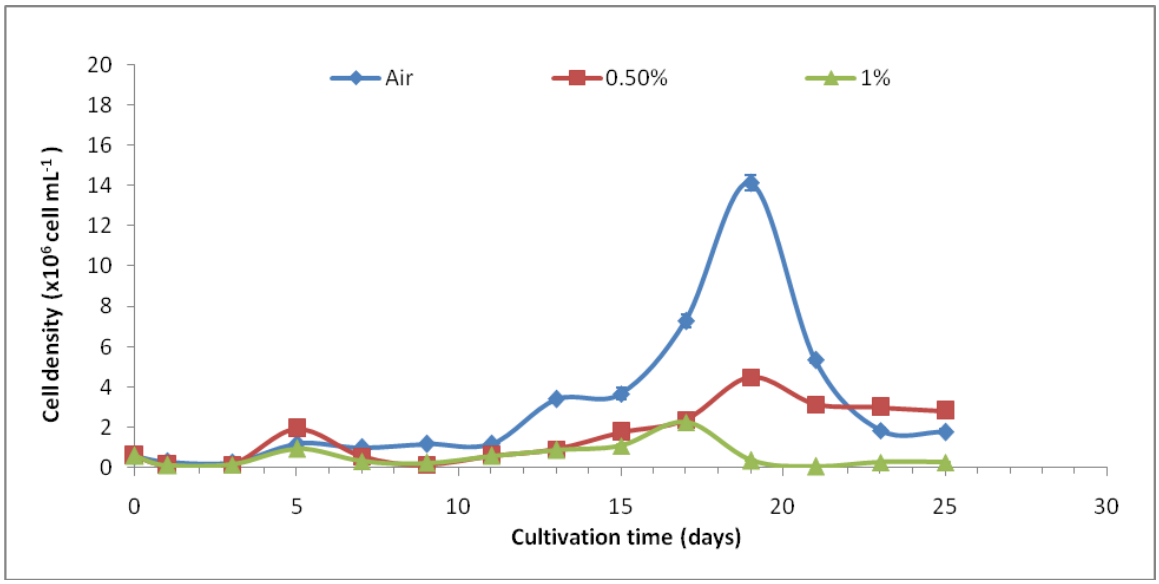
ภาพประกอบที่ 2 การเจริญเติบโตของสาหร่าย *Chlorella vulgaris* TISTR 8580,*Chlorococcum sp.* TISTR 8583 และ *Scenedesmus sp.* TISTR 8479 ในน้ำหมักชีวภาพที่ไม่ผ่านการฆ่าเชื้อ



ภาพประกอบที่ 3 การเจริญเติบโตของสาหร่าย *Chlorella vulgaris* TISTR 8580,*Chlorococcum sp.* TISTR 8583 และ *Scenedesmus sp.* TISTR 8479 ในน้ำหมักชีวภาพที่ผ่านการฆ่าเชื้อ

2. การเจริญเติบโตของสาหร่ายขนาดเล็กในน้ำหมักชีวภาพที่สภาวะอากาศตามธรรมชาติและอัตราความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ 0.5%, 1%

จากภาพประกอบที่ 4 พบว่าสาหร่าย *Chlorella vulgaris* TISTR 8580 เจริญเติบโตได้ดีที่สุดในสภาวะอากาศตามธรรมชาติ จำนวนเซลล์สาหร่ายสูงสุด 14.15±0.40 x 10^6 เซลล์ต่อมิลลิลิตร ในวันที่ 19 ของการเพาะเลี้ยง ที่อัตราความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ 0.5% จำนวนเซลล์สาหร่ายสูงสุด 4.48±0.31 x 10^6 เซลล์ต่อมิลลิลิตร ในวันที่ 19 ของการเพาะเลี้ยง และที่อัตราความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ 1% จำนวนเซลล์สาหร่ายสูงสุด 2.26±0.04 x 10^6 เซลล์ต่อมิลลิลิตร ในวันที่ 17 ของการเพาะเลี้ยง



ภาพประกอบที่ 4 การเจริญเติบโตของสาหร่าย *Chlorella vulgaris* TISTR 8580 ในน้ำหมักชีวภาพที่ไม่ผ่านการฆ่าเชื้อที่อัตราความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ 0.5% 1% และ สภาวะตามธรรมชาติ

สรุปและอภิปรายผล

จากการศึกษาการเจริญเติบโตของสาหร่ายขนาดเล็กในน้ำหมักชีวภาพที่ผ่านการฆ่าเชื้อด้วยหม้อนึ่งความดันไอน้ำ ที่อุณหภูมิ 110 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 28 นาทีและที่ไม่ผ่านการฆ่าเชื้อปริมาตร 30 ลิตร อัตราการเติมอากาศ 200 มิลลิลิตรต่อนาที ตลอด 24 ชั่วโมง เป็นเวลา 25 วันพบว่าสาหร่าย *Chlorella vulgaris* TISTR 8580 เจริญเติบโตได้ดีที่สุดในวันที่ 25 ของการเพาะเลี้ยง จำนวนเซลล์สาหร่ายสูงสุด 16.72±0.62 x 10^6 เซลล์ต่อมิลลิลิตร และวันที่ 19 ของการเพาะเลี้ยง จำนวนเซลล์สาหร่ายสูงสุด 14.61±0.24 x 10^6 เซลล์ต่อมิลลิลิตร ตามลำดับ สาหร่าย *Scenedesmus sp.* TISTR 8479 เจริญเติบโตได้ดีที่สุดในวันที่ 19 ของการเพาะเลี้ยง จำนวนเซลล์สาหร่ายสูงสุด 16.81±0.75 x 10^6 เซลล์ต่อมิลลิลิตร และวันที่ 23 ของการเพาะเลี้ยง จำนวนเซลล์สาหร่ายสูงสุด 13.94±0.37 x 10^6 เซลล์ต่อมิลลิลิตร ตามลำดับจะเห็นได้ว่าการฆ่าเชื้อน้ำหมักชีวภาพไม่มีผลต่อการเจริญเติบโตของสาหร่าย ดังนั้นจึงเลือกน้ำหมักชีวภาพที่ไม่ผ่านการฆ่าเชื้อมาทำการทดลองขั้นต่อไป เนื่องจากลดการใช้พลังงานอีกทางโดยสาหร่ายที่เจริญเติบโตได้ดีคือ สาหร่าย *Chlorella vulgaris* TISTR 8580 และ *Scenedesmus sp.* TISTR 8479 ส่วนสาหร่าย *Chlorococcum sp.* TISTR 8583 ไม่สามารถเจริญเติบโตได้ในสภาวะทดลอง ทั้งนี้เนื่องจากอุณหภูมิมีผลต่อการสังเคราะห์แสงและการหายใจของสาหร่าย ซึ่งในสภาวะที่เพาะเลี้ยงมีอุณหภูมิเฉลี่ยสูงถึง 31 องศาเซลเซียส จึงทำให้อัตราการเจริญเติบโตลดลง (ฤทัยรัตน์, 2548)

การศึกษาการเจริญเติบโตของสาหร่าย *Chlorella vulgaris* TISTR 8580 ในน้ำหมักชีวภาพที่อัตราความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในบรรยากาศ, 0.5% และ 1% พบว่าการเติมอากาศเพียงอย่างเดียว สาหร่าย *Chlorella vulgaris* TISTR 8580 เจริญเติบโตได้ดีที่สุดในวันที่ 19 ของการเพาะเลี้ยง จำนวนเซลล์สาหร่ายสูงสุด 14.15±0.40 x 10^6 เซลล์ต่อมิลลิลิตร และที่อัตราความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ 0.5% และ 1 % จำนวนเซลล์สาหร่ายสูงสุด 4.48±0.31 x 10^6 เซลล์ต่อมิลลิลิตรในวันที่ 19 และ 2.26±0.04 x 10^6 เซลล์ต่อมิลลิลิตร ในวันที่ 17 ของการเพาะเลี้ยง ตามลำดับ จะเห็นได้ว่าที่สภาวะการเติมอากาศเพียงอย่างเดียวสาหร่ายสามารถเจริญเติบโตได้ดีกว่าที่สภาวะก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ 0.5% และ 1% ทั้งนี้เนื่องจากปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่เติมทำให้น้ำมีค่ากรด-เบสทำให้ไม่เหมาะแก่การเจริญเติบโต โดยทั่วไปสาหร่ายสีเขียวสายพันธุ์ *Chlorella* sp. มีค่ากรด-เบสที่เหมาะสมกับการเจริญประมาณ 6.7±0.3 (พนิดา, 2553)

จากการศึกษานี้พบว่าการใช้อากาศธรรมดา ด้วยอัตราการเติมอากาศ 200 มิลลิลิตรต่อนาที จะให้ผลดีกว่าการให้อากาศผสมก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ความเข้มข้นสูง การศึกษาขั้นต่อไปคือการวิเคราะห์ปริมาณน้ำมัน โปรตีน และคาร์โบไฮเดรตที่สาหร่ายผลิตได้

คำขอบคุณ

งานวิจัยนี้ได้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยดีต้องขอขอบคุณภาควิชาเทคโนโลยีอุตสาหกรรมเกษตร อาหารและสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ ที่เอื้อเฟื้อสถานที่ในการทำงานวิจัย และขอขอบคุณบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ ที่สนับสนุนทุนในการวิจัยในครั้งนี้

เอกสารอ้างอิง

พนิดา รัตนพลที. (2552).*การประยุกต์ใช้สาหร่ายขนาดเล็กเพื่อผลิตไบโอดีเซล*. ปริญญานิพนธ์ วท.ม. (เทคโนโลยีชีวภาพ). : บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยขอนแก่น.

พงษ์ พฤกษา. (2548). ปุ๋ยและน้ำสกัดชีวภาพ (พิมพ์ครั้งที่ 2). นนทบุรี: นีออน บุ๊ค มีเดีย.

ยุวดี พีรพรพิศาล, จีรพร เพกเกาะ, ชยากร ภูมาศ, กรองกาญจน์ จันต๊ะ และสุนิสา บุญมา .(2553). *การศึกษาสายพันธุ์สาหร่ายขนาดเล็กและพัฒนาสภาวะที่ใช้เพาะเลี้ยงเพื่อหาความเป็นไปได้ในการผลิตเป็นน้ำมันเชื้อเพลิง*. ภาควิชาชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.

ยศวดี สวัสดิรักษา. (2547).*การเพาะเลี้ยงสาหร่าย Botryococcusbraunii*ที่มีคาร์บอนสูงในน้ำทิ้งจากโรงงานแปรรูปอาหารทะเล. ปริญญานิพนธ์ วท.ม.(เทคโนโลยีชีวภาพ). : คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.

ฤทัยรัตน์ วิศาลสุวรรณกร. (2548). *ภาวะที่เหมาะสมสำหรับการเติบโตของสาหร่าย Chlorella sp. โดยใช้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เป็นแหล่งคาร์บอน เมื่อเพาะเลี้ยงในถังปฏิกรณ์ชีวภาพแสง.*ปริญญานิพนธ์ วท.ม.(เทคโนโลยีชีวภาพ). : คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

Parmar,A.A. (2011). Cyanobacteria and microalgae: A positive prospect for biofuels. *BioresourceTechnology*, 102,10163–10172.

Sheng-Yi Chiu., et al . (2008).Reduction of CO_2 by a high-density culture of *Chlorella sp.* in a semicontinuousphotobioreactor. *Bioresource Technology*, 99,3389-3396.

Singh A., Nigam,P.S. and Murphy,J.D. (2011).Renewable fuels from algae: An answer to debatable land based fuels. *Bioresource Technology*, 102,10–16.

Teresa M. Mata., Anto´ nio A. Martins and Nidia. S. Caetano. (2010). Microalgae for biodiesel production and other applications: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews,* 14, 217–232