FEAT JOURNAL
FARM ENGINEERING AND AUTOMATION TECHNOLOGY JOURNAL
วารสารวิศวกรรมฟาร์มและเทคโนโลยีการควบคุมอัตโนมัติ

การเพาะเลี้ยงสาหร่ายน้ำมันด้วยน้ำเสียชุมชนที่ผ่านการบำบัด

Algae Oil Cultivation using Treated Domestic Wastewater

ธัญลักษณ์ ราษฎร์ภักดี[1*], ขวัญกมล พรมมา[2], วันวิสาข์ ทองอินทร์[3] และ นฤนาท เสวิวัฒน์[1]
Thunyalux Ratpukdi[1*], Kwankamon Promma[2], Wanwisa Thong-in[3] and Narunart Sewiwat[1]
[1] ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น 123 ถ.มิตรภาพ ต.ในเมือง อ.เมือง จ.ขอนแก่น 40002
[2] บริษัท ไมนฮาร์ท (ประเทศไทย) จำกัด 1550 ธนภูมิ ทาวเวอร์ ถ.เพชรบุรีตัดใหม่ มักกะสัน ราชเทวี กรุงเทพฯ10400
[3] บริษัท กรีนเนอร์ คอนซัลแทนท์จำกัด 19/1-2 อาคารวังเด็ก 3 ชั้น 7 ถ.วิภาวดีรังสิต จอมพล จตุจักร กรุงเทพฯ10900

Received: January 2015
Accepted: June 2015

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ได้ศึกษาการเจริญเติบโตและการผลิตไขมันของสาหร่ายสีเขียวขนาดเล็ก (microalgae) ด้วยน้ำเสียชุมชนที่ผ่านการบำบัดแล้วจากมหาวิทยาลัยขอนแก่นเนื่องจากในน้ำเสียที่มีธาตุอาหารที่สาหร่ายต้องการเพื่อใช้ในการเจริญเติบโตและเปรียบเทียบอัตราการเจริญเติบโตจำเพาะจากการให้แหล่งคาร์บอนจากก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์บริสุทธิ์และคาร์บอนไดออกไซด์จากก๊าซชีวภาพที่ทำการหมักจากมูลไก่แห้งและมีชุดควบคุม ที่ไม่มีการเติมก๊าซใดๆ โดยสาหร่ายที่นำมาเพาะเลี้ยงคือสายพันธุ์ *Scenedesmus Sp.* ทำการเลี้ยงในระบบปิด ที่สภาวะแวดล้อมและแสงแดดตามธรรมชาติผลการศึกษาพบว่าสาหร่ายที่ทำการเพาะเลี้ยงด้วยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์บริสุทธิ์มีมวลและอัตราการเจริญเติบโตที่ดีที่สุดคือ 34 mg/L-day รองลงมาคือสาหร่าย ที่เพาะเลี้ยงด้วยชุดควบคุม 1 คือ 32 mg/L-day สาหร่ายที่ทำการเพาะเลี้ยงด้วยชุดไบโอแก๊สคือ 26 mg/L-day และสาหร่ายที่เพาะเลี้ยงด้วยชุดควบคุม 2 มีมวลและอัตราการเจริญเติบโตต่ำที่สุดคือ 12 mg/L-day และการเพาะเลี้ยงด้วยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์บริสุทธิ์สามารถนำมาสกัดน้ำมันได้ในปริมาณ 10.4% w/w และการเพาะเลี้ยงด้วยไบโอแก๊สสามารถสกัดน้ำมันได้ในปริมาณ 8.6% w/w ซึ่งไม่ต่างจากการเลี้ยงด้วย ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์บริสุทธิ์มากนักจากผลการศึกษาดังกล่าวแสดงให้เห็นว่าการเพาะเลี้ยงสาหร่ายสายพันธุ์ *Scenedesmus Sp.* ด้วยน้ำเสียชุมชนมีศักยภาพที่จะนำไปสกัดน้ำมัน โดยต้องพิจารณาในเชิงเศรษฐศาสตร์สำหรับการใช้เป็นพลังงานทางเลือกต่อไปในอนาคต

คำหลัก : สาหร่ายน้ำมัน น้ำเสียชุมชน ไบโอก๊าซ คาร์บอนไดออกไซด์

*ติดต่อ:thunyalux@kku.ac.th, โทรศัพท์: 043-202571, 080-4692440, โทรสาร043-202571-2 ต่อ 105

Abstract

This research investigated growth and lipid production from microalgae (Scenedesmus Sp.) using treated wastewater from the wastewater treatment plant of KhonKaen University as source of nutrient. The study compared the specific growth rate from different carbon sources including pure carbon dioxide gas and biogas as well as a control (no carbon addition). Algae were cultivated in a closed system and natural environment of (light and temperature). The study found that a system control with 100% CO_2 has highest growth rate of 34 mg / L-day, followed by control unit 1 of 32 mg / L-day, Bio-gas of 26 mg / L-day and control unit 2 of 12 mg / L-day. The lipid content of the system using pure was10.4%w/w while that of using biogas was 8.6%w/w. This was not much different. The study showed that cultivation of algae species Scenedesmus Sp.using wastewater has potential oil production. However, further study on economical aspect has to be done for alternative energy in the future.

Keywords : algae oil, domestic wastewater, biogas, carbondioxide

1. บทนำ

ในปัจจุบันการใช้พลังงานฟอสซิลเช่นน้ำมันหรือถ่านหิน มีเพิ่มมากขึ้นส่งผลต่อการปล่อยก๊าซเรือนกระจกเช่น คาร์บอนไดออกไซด์สู่ชั้นบรรยากาศ นอกจากนั้นยังทำให้แหล่งพลังงานเหล่านี้ลดจำนวนลง ส่งผลต่อความไม่มั่นคงทางพลังงานในอนาคต ดังนั้นพลังงานทางเลือก หรือ พลังงานที่ไม่มีวันหมด (Renewable energy) จึงเป็นแนวทางที่ได้รับความสนใจในการศึกษา และวิจัยเพื่อทดแทนพลังงานจากฟอสซิลและลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจก

การผลิตเชื้อเพลิงจากสาหร่ายเป็นแนวทางพลังงานทางเลือกแบบหนึ่งที่ใช้ไขมันจากสาหร่ายมาผลิตเป็นน้ำมันเชื้อเพลิง เนื่องจากสาหร่ายเป็นจุลชีพที่มีไขมันเป็นองค์ประกอบของเซลล์สูง ประมาณร้อยละ 30 ของน้ำหนัก และสาหร่ายยังมีอัตราการเจริญเติบโตที่รวดเร็ว สามารถเพิ่มจำนวนได้เป็นเท่าตัวภายในเวลา 8-10 ชั่วโมง

จากผลการวิจัยก่อนหน้านี้มีการประเมินว่าการเพาะเลี้ยงสาหร่ายสามารถให้ผลผลิตได้ระหว่าง 15-25 ตัน/เฮกเตอร์/ปี (2.4-4 ตัน/ไร่/ปี) คิดเป็นน้ำมันที่สกัดได้ 4.5-7.5 ตัน/เฮกเตอร์/ปี [1] ซึ่งมีปริมาณ สูงกว่าเมื่อเทียบกับพืชพลังงานอื่นเช่น ถั่วเหลือง (0.4 ตัน/เฮกเตอร์/ปี) ปาล์มน้ำมัน (3.62 ตัน/เฮกเตอร์/ปี) และสบู่ดำ (4.14 ตัน/เฮกเตอร์/ปี) [2-3] ซึ่งเป็นการใช้พื้นที่อย่างมีประสิทธิภาพ นอกจากประโยชน์ที่จะได้รับจากน้ำมันที่สกัดได้จากสาหร่ายแล้ว สาหร่ายยังดูดซับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ได้ดีมากกว่าพืชบนบก 10-50 เท่า [4-5] ทำให้ลดการปล่อยคาร์บอนไดออกไซด์สู่ชั้นบรรยากาศ สำหรับประโยชน์ในทางอื่นนั้นได้แก่ การนำสาหร่ายไปใช้ เป็นอาหารสัตว์ เนื่องจากมวลสาหร่ายนั้นประกอบ ไปด้วยโปรตีนและคาร์โบไฮเดรตซึ่งสามารถใช้เป็นอาหารสัตว์ได้เป็นอย่างดี ด้วยเหตุผลดังกล่าว การเพาะเลี้ยงสาหร่ายจึงเป็นทางเลือกที่น่าสนใจสำหรับปัจจุบันและอนาคต

ในการเพาะเลี้ยงสาหร่ายนั้นมีองค์ประกอบที่สำคัญสามประการคือแสง แหล่งคาร์บอน และแร่ธาตุอาหาร สาหร่ายจะใช้จากสารอนินทรีย์คาร์บอนเช่นก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์หรือคาร์บอนเนตไอออนและแร่ธาตุอาหารร่วมกับแสงเพื่อเจริญเติบโต อย่างไรก็ตามการเพาะเลี้ยงสาหร่ายโดยอาศัยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในบรรยากาศนั้นมีข้อจำกัดเพราะทำให้สาหร่ายเติบโตได้ช้า เพื่อเร่งให้สาหร่ายเจริญเติบโตเร็วขึ้นจะต้องเพิ่มก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เข้าไปในน้ำที่ใช้เพาะเลี้ยงสาหร่าย เนื่องจากการใช้คาร์บอนไดออกไซด์บริสุทธ์นั้นมีราคาสูง

ประกอบกับการเติมธาตุอาหารได้แก่ไนโตเจน และฟอสฟอรัส ก็จะเพิ่มต้นทุนเช่นกัน ด้วยเหตุนี้จึงมีแนวคิดที่จะใช้แหล่งคาร์บอนไดออกไซด์ที่ต้นทุนต่ำเพื่อใช้ในการเพาะเลี้ยงสาหร่าย ซึ่งได้แก่ ก๊าซชีวภาพ โดยก๊าซชีวภาพนั้นมีส่วนประกอบหลักได้แก่ มีเทน และ ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ และน้ำเสียที่ผ่าน การบำบัดแล้วซึ่งเป็นแหล่งของธาตุไนโตเจน และฟอสฟอรัสสำหรับการเจริญโตของสาหร่าย

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อหาอัตราการเจริญเติบโตและปริมาณน้ำมันของสาหร่าย ที่เพาะเลี้ยงด้วยน้ำเสียชุมชนที่ผ่านการบำบัดแล้ว จากระบบบำบัดน้ำเสียมหาวิทยาลัยขอนแก่นโดยใช้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และก๊าซชีวภาพเป็น แหล่งอาหารเพื่อเป็นการนำร่องสู่การผลิตสาหร่าย ที่ให้ผลผลิตดีและลดต้นทุนในการผลิตสำหรับใช้เป็นแหล่งพลังงานทดแทนต่อไปได้

2. วัสดุและวิธีการทดลอง

2.1 น้ำเสียที่ใช้เลี้ยงสาหร่าย

น้ำเสียที่ใช้ในการเลี้ยงสาหร่ายเป็นน้ำเสียชุมชนที่ผ่านการบำบัดด้วยระบบบ่อปรับเสถียรแล้ว ของมหาวิทยาลัยขอนแก่นโดยเก็บจากบ่อบำบัดบ่อสุดท้ายก่อนการเติมคลอรีนจากนั้นนำมานึ่งฆ่าเชื้อ ที่อุณหภูมิ 121°C ความดัน 15 – 20 psi เป็นเวลา 1 ชั่วโมง 45 นาที น้ำที่ผ่านการนึ่งฆ่าเชื้อแล้ว มีลักษณะในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ลักษณะน้ำเสียที่ใช้ในการเลี้ยงสาหร่าย

พารามิเตอร์	ค่า
ความเป็นด่าง (mg/L as $CaCO_3$)	143
COD (mg/L)	70.40
Total Phosphorous (mg/L)	0.55
NH_3 (mg-N/L)	0.70
TKN (mg-N/L)	7.75
Organic Nitrogen (mg-N/L)	7.05
Nitrate (mg-N/L)	0.01

2.2 ถังหมักก๊าซชีวภาพ

ถังหมักก๊าซชีวภาพแบบไร้อากาศเป็นถังพลาสติกมีขนาด 200 ลิตร ∅ 57 ซม. สูง 85 ซม. มีการเติมขี้ไก่แห้งประมาณ 12 กิโลกรัมต่อครั้ง เติมวันเว้นวันโดยขี้ไก่จะมีปริมาณ 1 ใน 3 ส่วนของปริมาตรถังหมักแล้วเติมน้ำให้มีปริมาตร 2 ใน 3 ส่วนของปริมาตรถังถังหมักแบบไร้อากาศจะถูกปิดสนิท ทำให้อยู่ในสภาพไร้ออกซิเจนเมื่อเวลาผ่านไปประมาณ 10 วันภายในถังจะเกิดปฏิกิริยาการหมักและเกิดก๊าซชีวภาพเกิดขึ้นในที่สุดก๊าซชีวภาพ ที่เกิดขึ้นจะผ่านถังฝอยเหล็กเพื่อกำจัดก๊าซ H_2S ที่เกิดขึ้นในการบวนการหมักและเป็นพิษต่อสาหร่าย ก่อนจะเก็บก๊าซชีวภาพที่ในถุงเก็บตัวอย่างขนาด 3 ลิตรเพื่อนำไปเพาะเลี้ยงสาหร่ายต่อไป

2.3 ถังปฏิกรณ์เพาะเลี้ยงสาหร่าย

ปฏิกรณ์เพาะเลี้ยงสาหร่ายเป็นถังพลาสติกสีขาวขุ่นขนาด 5 ลิตรโดยทำการเลี้ยงด้วยน้ำปริมาตร 4.5 ลิตร และด้านบนของถังถูกปิดด้วยแผ่นอะคริลิคเจาะรูเพื่อใช้ในการหมุนเวียนน้ำและเติมก๊าซ(รูปที่1) ส่วนด้านล่างของถังนั้นได้ทำการเจาะรู และต่อสายเข้ากับเครื่องรีดท่อหรือรีดสายยาง (peristaltic pump) ซึ่งเครื่องรีดนี้จะทำหน้าที่หมุนเวียนน้ำภายในถังและทำงานตลอด 24 ชั่วโมงและถังจะวางบน เครื่องกวน Magnetic Stirrer ช่วยในการกวนน้ำ เพื่อไม่ให้สาหร่ายตกตะกอนซึ่งจะกวนน้ำทุกวัน วันละ 5 ครั้ง ครั้งละ 20 นาทีในเวลา 08.00, 10.00, 12.00, 14.00 และ16.00

รูปที่ 1 ระบบเพาะเลี้ยงสาหร่าย

2.4 วิธีการทดลอง

การทดลองเพาะเลี้ยงสาหร่ายประกอบด้วย ชุดการทดลอง 3 ชุดได้แก่ 1) ใช้แหล่ง CO_2 บริสุทธิ์ 2) ใช้แหล่ง CO_2 จากก๊าซชีวภาพและ 3) ชุดควบคุม ที่ไม่มีการเติมคาร์บอนไดออกไซด์ ในการทดลองนี้จะมีชุดควบคุมที่ 1 และ ชุดควบคุมที่ 2 ซึ่งจะทำการเลี้ยงสาหร่ายคู่ขนาดไปกับชุดที่ใช้ CO_2 บริสุทธิ์ และ CO_2 จากก๊าซชีวภาพ ตามลำดับ สาเหตุที่ต้องแยกเป็นชุดควบคุม 1 และ 2 เกิดจากปัจจัยด้านอุณหภูมิของสภาพอากาศตามฤดูกาล

ขั้นตอนในการเพาะเลี้ยงคือผสมน้ำสำหรับเพาะเลี้ยง 4.5 ลิตรพร้อมกับหัวเชื้อสาหร่ายปริมาณ 25 มล. ลงไปในถังเพาะเลี้ยงในการเพาะเลี้ยงสาหร่ายจะมีการควบคุมช่วง pH ที่เหมาะกับการเจริญเติบโตของสาหร่ายคือ 6.5 - 8.5 ในการศึกษานี้ได้ทำการวัดค่า pH 5 ครั้งในเวลากลางวันซึ่งเป็นช่วงที่สาหร่ายสังเคราะห์แสงและเกิดการเจริญเติบโตคือ 8.00 น. 10.00น. 12.00น. 14.00น. และ 16.00น. ณ ขณะใด ที่ค่า pH ขึ้นสูงถึง8.5 จึงเติมก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ลงในถังเพาะเลี้ยงจนค่า pH ต่ำลงถึง 6.5 จึงหยุดการเติมก๊าซโดยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่ใช้มาจาก 2 แหล่งคือก๊าซชีวภาพที่เกิดจากการหมักของ ขี้ไก่ และก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์บริสุทธิ์มีการเก็บตัวอย่างสาหร่าย 50 มล. เพื่อวัดการเจริญเติบโต ทุกๆ วัน การทดลองนี้ทำการเลี้ยงสาหร่ายในช่วงเดือน ธันวาคม พ.ศ. 2556 อุณหภูมิในการเพาะเลี้ยง อยู่ในช่วง 15-32°C โดยมีค่าความเข้มแสงเฉลี่ยและ ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานท่ากับ 141.44 ± 65.29 W/m²

2.5 การวัดและตรวจวิเคราะห์

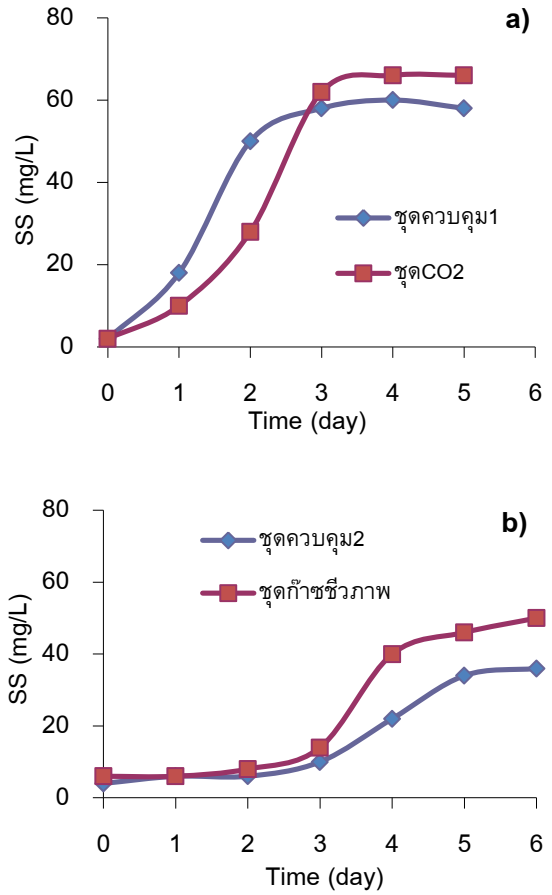
การวัดอัตราการเจริญเติบโตของสาหร่ายสามารถทำได้ 2 วิธีได้แก่ 1) ค่าของแข็งแขวนลอย (Suspended Solid, SS) สำหรับการวิเคราะห์พารามิเตอร์คุณภาพน้ำและไขมันในสาหร่ายอ้างอิงตาม Standard Method [6]

3. ผลการทดลองและวิจารณ์ผล

3.1 ความเข้มข้นของสาหร่ายและอัตราการเจริญเติบโต

ความเข้มข้นของสาหร่ายที่เพาะเลี้ยงด้วย CO_2 บริสุทธิ์ และ CO_2 จากก๊าซชีวภาพแสดงในรูปที่ 2a และ 2b ตามลำดับจากรูปที่ 2a จะเห็นว่าในช่วงแรก (0-1 วัน) สาหร่ายจะอยู่ในช่วงปรับตัวหรือช่วง Lag Phase ซึ่งเป็นช่วงที่มีอัตราการเจริญเติบโต ที่ค่อนข้างต่ำ หลังจากนั้น (2-3 วัน) จะเป็นช่วง ที่สาหร่ายเติบโตอย่างรวดเร็วเรียกว่าช่วง Log phase เป็นระยะที่เซลล์สาหร่ายมีการแบ่งตัวด้วยอัตราที่คงที่และจะถูกจำกัดด้วยสารอาหารที่มีอยู่ในระบบ หลังจากนั้นสาหร่ายจะอยู่ในช่วง Stationary Phase เป็นช่วงที่สาหร่ายมีอัตราการเจริญเติบโต และตายเท่ากัน เมื่อเปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่าง SS กับเวลาพบว่าชุดทดลองที่ทำการเพาะเลี้ยงด้วย CO_2 มี SS หรือความเข้มข้นของสาหร่ายเท่ากับ 66 mg/L สูงกว่าชุดควบคุม 1 ซึ่งเท่ากับ 58 mg/Lสำหรับการเพาะเลี้ยงด้วยก๊าซชีวภาพจะพบความเข้มข้นของสาหร่ายสูงสุดเท่ากับ 46 mg/L และชุดควบคุม 2 เท่ากับ 34 mg/L จากรูปที่ 2b จะเห็นว่าการเข้าสู่ Log phase จะใช้เวลามากว่า (0-3 วัน) ทั้งนี้อาจเป็นเพราะอุณหภูมิเฉลี่ยในขณะที่เลี้ยงต่ำกว่า ชุดที่เลี้ยงด้วย CO_2 บริสุทธิ์ ประมาณ 5 °C (รูปที่ 3) และอาจจะมีผลมาจากสัดส่วนของ CO_2 ที่มีเพียง ร้อยละ 49 ของก๊าซชีวภาพทั้งหมด

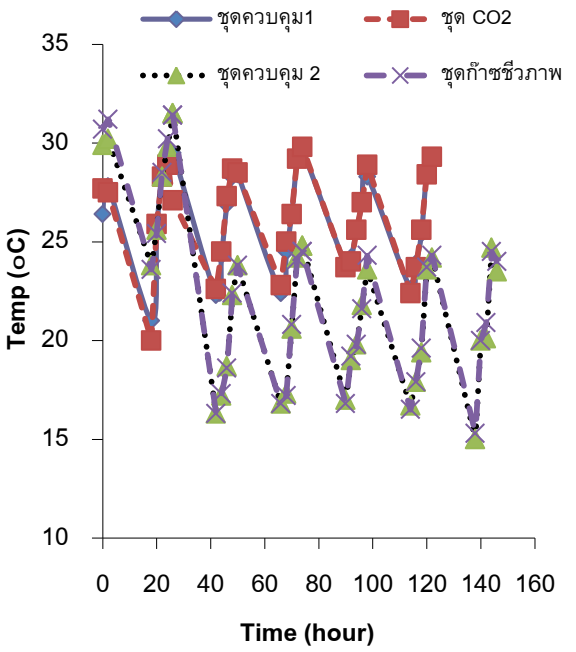
เมื่อทำการหาค่าอัตราการเจริญเติบโตของสาหร่ายโดยพิจารณาจากความชันของกราฟในรูปที่ 2a และ 2b จะพบว่า สาหร่ายที่ทำการเพาะเลี้ยง ด้วย CO_2 บริสุทธิ์มีอัตราการเจริญเติบโตที่ดีที่สุด คือ 34 mg/L-day รองลงมาคือสาหร่ายที่เพาะเลี้ยงด้วย ชุดควบคุม 1 คือ 32 mg/L-day สาหร่ายที่ทำการเพาะเลี้ยงด้วยชุดไบโอแก๊สคือ 26 mg/L-day และสาหร่ายที่เพาะเลี้ยงด้วยชุดควบคุม 2 มีมวลและอัตราการเจริญเติบโตต่ำที่สุดคือ 12 mg/L-day



รูปที่ 2 ความเข้มข้นของสาหร่ายที่ใช้แหล่งคาร์บอนไดออกไซด์ต่างกัน a) CO_2 b) ก๊าซชีวภาพ

3.2 ปริมาณไขมันจากสาหร่าย

เมื่อทำการเก็บเกี่ยวสาหร่ายมาแล้วจะทำการรวบรวมและนำไปปั่นเหวี่ยงที่ความเร็ว 5000 rpm เป็นเวลา 6 นาทีและนำไปตากให้แห้งและอบ ที่อุณหภูมิ 103°C เป็นเวลา 24 ชั่วโมงจากนั้นนำมวลสาหร่ายแห้งที่ได้ (~2 กรัม) ไปสกัดน้ำมันด้วยวิธี Soxhlet ด้วยเฮกเซนและระเหย ซึ่งพบว่าการเพาะสาหร่ายเลี้ยงด้วยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และก๊าซชีวภาพสามารถนำมาสกัดน้ำมันได้ในปริมาณ 10.4% w/wและ 8.6% w/w ตามลำดับ ซึ่งปริมาณไขมันนี้อยู่ในช่วงที่ต่ำกว่างานวิจัยของ บัญชา ขำศิริ และ ชยากร ภูมาศ [7] ที่เลี้ยงสาหร่ายโดยใช้น้ำทิ้ง จากบ่อหมักก๊าซชีวภาพจากมูลไก่โดยมีปริมาณไขมัน 14% w/w ทั้งนี้อาจเป็นเพราะปริมาณแร่ธาตุไนโตเจน และฟอสฟอรัส ที่สูงกว่า



รูปที่ 3 การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิในช่วงเพาะเลี้ยงสาหร่าย

4. สรุปผลการทดลอง

งานวิจัยชิ้นนี้ได้ทำการศึกษาเกี่ยวกับการเพาะเลี้ยงสาหร่ายขนาดเล็ก (microalgae) สายพันธุ์ Scenedesmus Sp. เนื่องจากสาหร่ายสายพันธุ์ดังกล่าวมีปริมาณไขมันในเซลล์ที่ค่อนข้างสูง จึงสามารถนำมาสกัดน้ำมันและใช้ประโยชน์ในด้านพลังงานทางเลือก (ไบโอดีเซล) ได้และด้วยคุณลักษณะของน้ำเสียชุมชนที่จะมีธาตุอาหาร ที่สาหร่ายต้องการอยู่ผู้วิจัยจึงได้นำน้ำเสียชุมชน ที่ผ่านการบำบัดแล้วจากระบบบำบัดน้ำเสียมหาวิทยาลัยขอนแก่นมาใช้ในการเพาะเลี้ยงนอกจากนี้ได้มีการแบ่งการทดลองเป็น 2 ระบบ โดยแบ่งตามที่มาของแหล่งคาร์บอนซึ่งเป็นธาตุอาหารที่สำคัญที่สาหร่ายจะใช้ในการเจริญเติบโตโดยใช้ CO_2บริสุทธิ์และก๊าซชีวภาพโดยมีอัตราการเจริญเติบโต 34 และ 26 mg/L-day ตามลำดับ และ มีปริมาณน้ำมันใกล้เคียงกัน สำหรับปัจจัยในการเลี้ยง

พบว่า อุณหภูมิส่งผลกระทบต่อการเติบโตของสาหร่าย อย่างไรก็ตามปริมาณแร่ธาตุไนโตรเจนและฟอสฟอรัสอาจในน้ำทิ้งจากระบบบำบัดอาจจะยังไม่เพียงพอต่อความต้องการของสาหร่ายจึงจะต้องมีการเติมธาตุอาหารเพิ่มโดยใช้ในทิ้งที่จากถังหมักก๊าซชีวภาพเป็นส่วนผสม

5. กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบคุณกลุ่มวิจัยวิศวกรรมฟาร์มและเทคโนโลยีการควบคุมอัตโนมัติ มหาวิทยาลัย ขอนแก่นที่ให้การสนับสนุนทุนวิจัย

6. เอกสารอ้างอิง

[1] Tsukahara, K., Sawayama, S. (2005) Liquid fuel production using microalgae. J Jpn Petrol Inst, 48, pp. 251–259.

[2] Chisti Y. (2007). Biodiesel from microalgae. Biotechnol Adv., 25, pp. 294–306.

[3] Lam MK, Lee KT. (2011). Renewable and sustainable bioenergies production from palm oil mill effluent (POME): win–win strategies toward better environmental protection.BiotechnolAdv, 29, pp. 124–141.

[4]Khan SA, Rashmi, Hussain MZ, Prasad S, Banerjee UC.(2009). Prospects of biodiesel production from microalgae in India.Renewable Sustainable Energy Rev, 13, pp. 2361–2372.

[5] Li Y, Horsman M, Wu N, Lan CQ, Dubois-Calero, N. (2008). Biofuels from microalgae. Biotech nolProgr, 24, pp. 815–820.

[6] APHA; AWWA; WEF (1998). Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 20th Ed.; American Public Health Association, Washington, DC

[7] บัญชา ขำศิริ และ ชยากรภูมาศ (2556).การเพาะเลี้ยงสาหร่ายขนาดเล็กด้วยน้ำทิ้งจากบ่อหมักก๊าซชีวภาพจากมูลไก่เพื่อการผลิตไขมัน, วารสารวิจัยเทคโนโลยีการประมง, 7, S1, ตุลาคม 2556, หน้า 25-34.