



การคัดแยกสายพันธุ์สาหร่ายขนาดเล็กที่มีความสามารถในการดูดซับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เพื่อปรับปรุงคุณภาพก๊าซชีวภาพ

Isolation of Microalgae Strains for Absorbing Carbon Dioxide to Improve Biogas Quality

ปฐมพร พูลสวัสดิ์¹, วชิร กัลยาณัง¹, นันทนิต โต้ะปอง^{1*}

Patomporn Pulsawad¹, Watcharee Kunyalung¹, Nantanit Tohpong^{1*}

¹สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย, จังหวัดปทุมธานี 12120, ประเทศไทย

¹Thailand Institute of Scientific and Technological Research (TISTR), Pathum Thani 12120, Thailand

*Corresponding author: Tel.: +66-8-55648289, E-mail: patomporn@tistr.or.th

บทคัดย่อ

การนำสาหร่ายขนาดเล็ก (Microalgae) มาใช้ประโยชน์ในการดูดซับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากก๊าซชีวภาพเป็นทางเลือกในการใช้เทคโนโลยีทางชีวภาพมาปรับปรุงคุณภาพของก๊าซชีวภาพ โดยทั่วไปองค์ประกอบของก๊าซชีวภาพจะมีสัดส่วนของก๊าซมีเทน (CH_4) ประมาณ 40-75% และสัดส่วนของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) ประมาณ 25-50% ในกระบวนการดูดซับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ของสาหร่ายขนาดเล็กเป็นปฏิกิริยาชีวเคมีที่เกิดขึ้นภายในเซลล์ที่ส่งผลให้สัดส่วนของก๊าซมีเทนในก๊าซชีวภาพ (biomethane) มีสัดส่วนที่สูงขึ้น เนื่องจากสาหร่ายขนาดเล็กใช้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เป็นแหล่งคาร์บอนให้กับเซลล์ ปัจจัยที่สำคัญในการส่งเสริมการดูดซับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ของสาหร่ายขนาดเล็ก ได้แก่ ชนิดของสาหร่ายขนาดเล็ก อัตราการป้อนก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และอากาศ ช่วงเวลาเวลาในการรับแสง สารอาหารที่จำเป็น รูปแบบของชุดปฏิกรณ์ชีวภาพ รวมทั้งสภาวะแวดล้อมที่ใช้ในการเพาะเลี้ยง ในงานวิจัยนี้ได้ทำการสำรวจและเก็บตัวอย่างสาหร่ายขนาดเล็กในพื้นที่ที่มีการเกิดก๊าซชีวภาพ ซึ่งได้แก่ ฟาร์มเลี้ยงสุกรและบ่อฝังกลบขยะที่มีการผลิตก๊าซชีวภาพเพื่อผลิตกระแสไฟฟ้า ทำการคัดแยกสายพันธุ์สาหร่ายขนาดเล็กเพื่อนำไปใช้ประโยชน์ในการดูดซับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในก๊าซชีวภาพและรวมถึงการพัฒนาต่อยอดเพื่อนำสาหร่ายขนาดเล็กไปใช้ประโยชน์ในด้านอื่น ๆ ตามศักยภาพของสายพันธุ์สาหร่ายขนาดเล็กชนิดนั้น ๆ ต่อไป

คำสำคัญ: ก๊าซชีวภาพ, การปรับปรุงคุณภาพก๊าซชีวภาพ, ความหลากหลายของสายพันธุ์สาหร่าย, การดูดซับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์

Abstract

Utilizing microalgae for the purpose of absorbing carbon dioxide from bio-based gas is an alternative approach in using biotechnology to enhance the quality of bio-based gas. Generally, the composition of biogas is approximately 40-75% of methane (CH_4) and 25-50% of carbon dioxide (CO_2). In microalgae's uptake process, carbon dioxide is a biochemical reaction that occurs inside the cell, resulting in a higher proportion of methane in the biogas, since microalgae can use carbon dioxide as a carbon source for the cells. The important factors in promoting carbon dioxide uptake of microalgae are microalgae species, CO_2 /Air feed rates, Light intensity and Light/Dark photoperiod, Nutrients required, bioreactor type and environmental conditions in culture. This research explored and collected microalgae samples in biogas-producing areas, such as pig farms and biogas-producing

Received: August 7, 2023

Revised: March 5, 2024

Accepted: March 11, 2024

Available online: June 30, 2024

landfills to generate electricity in order to screen algae species for use in absorbing carbon dioxide in biogas and further development for the use of microalgae in other areas according to the potential of that algae species.

Keywords: biogas, biogas upgrading, Biodiversity of microalgae, Carbon dioxide absorption

1 บทนำ

ก๊าซชีวภาพ (Biogas) เป็นก๊าซผสมที่มีองค์ประกอบของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ 30-40 % เป็นก๊าซที่สามารถละลายน้ำได้ถึง 25 เท่าเมื่อเปรียบเทียบกับก๊าซมีเทน (Zhou et al., 2017) การดูดซับคาร์บอนไดออกไซด์ด้วยตัวดูดซับ เช่น ถ่านกัมมันต์ (Activated carbon) ซีโอไลท์ (Zeolite) โซเดียมคาร์บอเนต (NaCO_3) และแคลเซียมออกไซด์ (CaO) (Li et al., 2008; Hunt et al., 2010; Pires et al., 2011) รวมทั้งการประยุกต์ใช้ องค์ประกอบของโลหะอินทรีย์ช่วยในการดูดซับ (Lin et al., 2017) การใช้สารเคมีก็เป็นอีกวิธีหนึ่งที่ยอมรับใช้เพื่อเป็นตัวทำลาย ในการดักจับคาร์บอนไดออกไซด์ เช่น Monoethanolamine (MEA), เอมีน (Amine) หรือโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ (KOH) (Kittel et al., 2009; Pires et al., 2011) นอกจากการใช้สารเคมี แล้วเทคโนโลยีเมมเบรนได้ถูกนำมาประยุกต์ใช้แยกก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ โดยทำหน้าที่เป็นตัวกรองด้วยคุณสมบัติการเป็นตัวเลือกผ่าน เช่น เยื่อโพลีเมอร์ (Scholes et al., 2009; Pires et al., 2011) อย่างไรก็ตามวิธีการแยกก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์โดยการแช่แข็ง (Cryogenic separation) ก็ได้รับการศึกษาและพัฒนาอย่างต่อเนื่อง วิธีการนี้มีประสิทธิภาพในการกำจัดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ได้ถึง 99.9% แต่มีต้นทุนสูง เสี่ยงพลังงานและค่าใช้จ่ายอย่างมากในการลดอุณหภูมิและเพิ่มอุณหภูมิเพื่อกำจัดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (Tuinier et al., 2010) นอกจากนี้ขบวนการกักเก็บคาร์บอนไดออกไซด์ไว้ใต้ชั้นเปลือกโลกที่ลึกมากหรือใต้มหาสมุทร (Carbon storage) เป็นงานวิจัยแนวคิดใหม่ที่ได้รับการศึกษาและพัฒนาประสิทธิภาพอย่างต่อเนื่อง (Kovscek and Cakici, 2005; Kita and Ohsumi, 2004) จากวิธีทางเคมีและทางกายภาพต่างๆ ที่กล่าวมาข้างต้นแล้ว วิธีการกำจัดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์โดยขบวนการทางชีวภาพกำลังเป็นงานวิจัยที่ได้รับการศึกษาอย่างกว้างขวางในปัจจุบัน โดยอาศัยหลักการของการดูดซับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ แล้วนำมาใช้เป็นแหล่งคาร์บอนของพืชเพื่อประโยชน์ในการสังเคราะห์แสงและเพิ่มชีวมวลในการเจริญเติบโตของต้นไม้ รวมทั้งเป็นธาตุอาหารของแพลงตอนพืชน้ำจืดและน้ำเค็ม (Williamson et al., 2012) ซึ่งหลักการเดียวกันนี้ได้เป็นแนวคิดของศึกษาวิจัยและพัฒนางานวิจัยการนำสาหร่ายขนาดเล็ก

(Microalgae) สายพันธุ์ต่างๆ มาใช้ประโยชน์ในการดูดซับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ เนื่องจากความหลากหลายและคุณสมบัติของแต่ละสายพันธุ์ของสาหร่าย อายุการเจริญเติบโตพร้อมระยะเวลาเก็บเกี่ยวที่สั้นรวมทั้งมวลชีวภาพต่อหน่วยการผลิตที่มีปริมาณสูง มีการศึกษาอย่างกว้างขวางในกรณีการใช้ประโยชน์จาก Microalgae เช่นการศึกษาถึงประสิทธิภาพของสาหร่ายขนาดเล็กสายพันธุ์ *Chlorella* sp. ในการดูดซับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากก๊าซชีวภาพในระบบการหมักแบบไร้อากาศโดยตรง (ครรชิต และคณะ, 2559) นอกจากนี้ยังมีการศึกษาการใช้ไฮโดรโนแบคทีเรียสายพันธุ์ต่างๆ เพื่อดูดซับคาร์บอนไดออกไซด์ในก๊าซชีวภาพ ได้แก่ *Anabaena cylindricall* และ *Spirulina platensis* เพื่อประยุกต์ใช้เป็นตัวดูดคาร์บอนไดออกไซด์ในธรรมชาติ (Bose et al., 2019)

เทคโนโลยีการกำจัดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากการผลิตก๊าซชีวภาพเป็นเทคโนโลยีการเพิ่มคุณภาพและสัดส่วนของก๊าซชีวภาพ อย่างไรก็ตามวิธีการดั้งเดิมได้แก่การใช้ระบบดักจับด้วยน้ำ ยังคงนิยมใช้และได้รับการพัฒนาอย่างต่อเนื่อง (ชนมนและสุวรรณ, 2559) ด้วยเหตุผลของค่าใช้จ่ายในการดูแลจัดการที่ไม่ซับซ้อน มีประสิทธิภาพและความเสถียรของระบบสูง รวมทั้งมีความปลอดภัยในการปฏิบัติงาน (Xiao et al., 2014) อย่างไรก็ตามน้ำจากระบบดังกล่าวนี้พบว่ามีโบคาร์บอเนตจากการละลายน้ำของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ซึ่งส่งผลให้น้ำมีระดับค่าพีเอชต่ำ มีคุณสมบัติที่ไม่เหมาะสมในการปล่อยลงสู่สิ่งแวดล้อมหรือแหล่งน้ำธรรมชาติ จึงต้องทำการเวียนน้ำหลังผ่านการดักจับคาร์บอนไดออกไซด์นำกลับมาใช้ใหม่ โดยต้องมีขบวนการปรับความเป็นกรดของน้ำเพื่อให้มีค่าพีเอชที่เหมาะสมก่อนเวียนน้ำกลับเข้าระบบบำบัดแบบไร้อากาศซึ่งเป็นการเพิ่มขั้นตอนการปฏิบัติงานและเพิ่มค่าใช้จ่าย ด้วยเหตุนี้จึงมีแนวคิดการนำน้ำหลังการดักจับคาร์บอนไดออกไซด์มาบำบัดด้วยวิธีทางชีวภาพโดยการดักจับด้วย Microalgae ซึ่งสามารถเป็นแหล่งคาร์บอนของกระบวนการสังเคราะห์แสงและเป็นการเพิ่มมูลค่าและสร้างผลิตภัณฑ์จากสาหร่ายขนาดเล็ก

การประยุกต์ใช้เทคโนโลยีดักจับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ด้วยสาหร่ายกำลังมีแนวโน้มที่ได้รับความสนใจและมีการพัฒนาอย่างกว้างขวางเนื่องจากคุณสมบัติที่หลากหลายของสาหร่าย รวมทั้งเป็นขบวนการที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม โดยการเวียนกลับ

เอาก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์มาใช้เพื่อสร้างผลิตภัณฑ์มูลค่าเพิ่มโดยไม่ปลดปล่อยออกสู่บรรยากาศ ลดผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อม ใช้พลังงานต่ำ ช่วยลดปริมาณการใช้สารเคมีและค่าใช้จ่ายด้านการจัดการ (Tippayawong and Thanompongchart, 2010) ดังนั้นความชัดเจนในการเลือกใช้ประโยชน์จากสาหร่ายขนาดเล็กในการพัฒนาในเชิงพาณิชย์จะเป็นการลดต้นทุนการผลิต สามารถกำหนดทิศทางการวางแผนทางการตลาดในการสร้างผลิตภัณฑ์มูลค่าเพิ่ม การเจาะจงสายพันธุ์ที่จะนำไปใช้ประโยชน์ซึ่งเป็นเป้าหมายของงานวิจัยนี้โดยจะดำเนินการศึกษาเพื่อหาสายพันธุ์ที่เหมาะสมกับสภาพแวดล้อมและภูมิอากาศ รวมทั้งมีความทนทานต่อคุณลักษณะของน้ำหลังผ่านระบบดักจับที่มีพีเอชต่ำ

2 อุปกรณ์และวิธีการ

2.1 การสำรวจและเก็บตัวอย่างในพื้นที่

พื้นที่เก็บตัวอย่างสาหร่ายเป็นพื้นที่ที่เกิดก๊าซชีวภาพ ได้แก่ ฟาร์มสุกรในจังหวัดฉะเชิงเทรา 3 ตำแหน่ง และบ่อฝังกลบขยะขององค์การบริหารส่วนจังหวัดนนทบุรี 4 ตำแหน่ง

2.2 การวิเคราะห์คุณสมบัติของตัวอย่างน้ำ

การเก็บรวบรวมตัวอย่างน้ำในพื้นที่ดังกล่าวข้างต้น เพื่อนำมาวิเคราะห์คุณสมบัติทั้งทางกายภาพและทางเคมี ได้แก่ (pH, DO, Turbidity, BOD, COD, Total solid, Total Nitrogen, Phosphorus, Potassium, Calcium, Copper, Magnesium, Manganese, Zinc และ Iron) โดยวิธีการวิเคราะห์ที่อ้างอิงตามวิธีมาตรฐานการวิเคราะห์น้ำและน้ำเสีย (Rodge et al., 2017)

2.3 การคัดแยกและเก็บรวบรวมสายพันธุ์สาหร่ายขนาดเล็ก

1. การเก็บรวบรวมสายพันธุ์สาหร่ายที่เจริญเติบโตได้ดีในสภาวะที่เกิดก๊าซชีวภาพเพื่อนำมาระบุสายพันธุ์สาหร่าย
2. คัดแยกและระบุสายพันธุ์สาหร่ายขนาดเล็กเบื้องต้น ด้วยกล้องจุลทรรศน์ฟลูออเรสเซนซ์ กำลังขยาย 40 เท่า
3. การคัดเลือกสาหร่ายขนาดเล็ก โดยการนำตัวอย่างน้ำหรือตัวอย่างดินที่เก็บจากธรรมชาติมาเพาะเลี้ยงในอาหารสูตร BG-11 โดยเลี้ยงในขวดรูปชมพู่ ขนาด 250 ml ปริมาตรอาหาร 100 ml บนเครื่องเขย่าความเร็วรอบ 100 rpm บ่มภายใต้แสงฟลูออเรสเซนซ์ ที่ความเข้มแสง $60 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ที่อุณหภูมิ $28 \pm 1^\circ\text{C}$ เป็นเวลา 21-day ทำการแยกให้ได้สายพันธุ์สาหร่ายบริสุทธิ์เดี่ยวๆ
4. เก็บรักษาสาหร่ายขนาดเล็กที่คัดแยกได้ไว้ที่ศูนย์ความเป็นเลิศด้านสาหร่าย ของศูนย์ความหลากหลายทางชีวภาพ

สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย (วว.) เพื่อนำไปประยุกต์ใช้ประโยชน์ต่อไป

3 ผลและวิจารณ์

จากผลการวิเคราะห์คุณภาพน้ำทั้งคุณสมบัติทางกายภาพและทางเคมีของแหล่งน้ำในบริเวณที่เกิดก๊าซชีวภาพในบริเวณฟาร์มหมูซึ่งแสดงดังรูปที่ 1



Figure 1 The wastewater from a swine farming. (sample collection pond No. 2, 3 and 4).

จากการสำรวจและเก็บข้อมูลพบว่า ฟาร์มเลี้ยงสุกร ได้มีการจัดทาระบบหมักแบบไร้อากาศเพื่อใช้ในการบำบัดน้ำเสีย แต่เนื่องจากสภาวะโรคระบาดที่เกิดขึ้นกับสุกร จึงเป็นสาเหตุให้ปริมาณของเสียที่จะเข้าระบบน้อยลง จึงหันมาใช้บ่อฝังธรรมชาติในการกำจัดน้ำเสียและของเสียที่ออกมาจากฟาร์ม โดยมีบ่อรองรับน้ำเสียทั้งหมด 4 บ่อก่อนที่จะปล่อยลงสู่บ่อกักเก็บเพื่อใช้น้ำสำหรับบ่อเลี้ยงกุ้ง ลักษณะบ่อรองรับน้ำทิ้งทั้ง 4 บ่อมีลักษณะเป็นบ่อน้ำนิ่งที่มีการกักเก็บน้ำอยู่ช่วงเวลาหนึ่งก่อนปล่อยจากบ่อที่ 1 ไปยังบ่อที่ 2 และบ่อถัดๆ ไป โดยบ่อที่ 1 มีลักษณะเหนียวข้นลักษณะน้ำเป็นสีเข้ม ส่วนในบ่อที่ 2, 3 และบ่อที่ 4 ลักษณะทางกายภาพสีของน้ำมีความจางลงนอกจากนี้ในบ่อที่ 4 ยังพบสาหร่ายสีเขียวลอยอยู่ผิวหน้าของน้ำ จากการวิเคราะห์คุณสมบัติทางเคมีของน้ำ (แสดงดังตารางที่ 1) พบว่าค่าความเป็นกรดต่าง (pH) ทั้ง 3 บ่อมีความเป็นกลางถึงด่างอ่อน ๆ อยู่ที่ประมาณ 7.16-7.78 ความขุ่นของน้ำจะพบว่า บ่อที่ 4 มีความขุ่นน้อยที่สุดซึ่งเป็นสภาวะที่แสงแดดสามารถส่องผ่านส่งผลต่อการสังเคราะห์แสงของสาหร่าย นอกจากนี้ปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำ (DO) ตรวจพบได้ในบ่อน้ำทิ้งที่ 4 บ่อสุดท้ายก่อนปล่อยน้ำเข้าสู่บ่อเลี้ยงกุ้ง อย่างไรก็ตามปริมาณธาตุอาหารหลัก ได้แก่ ไนโตรเจน (N) ฟอสฟอรัส (P) โพแทสเซียม (K) และธาตุอาหารรองมีผลต่อ

การเจริญเติบโตของสาหร่ายนั้น ตรวจพบในบ่อบำบัดน้ำเสียทั้ง 3 บ่อ

ในการสำรวจและเก็บตัวอย่างน้ำและสาหร่าย ในบริเวณของ บ่อฝังกกลบขยะอบจ. จังหวัดนนทบุรี ซึ่งเป็นมีพื้นที่ของหลุมฝัง กลบขยะประมาณ 120 Rai ภาระบรรจุปริมาณขยะได้ 5×10^6 Ton สามารถผลิตก๊าซชีวภาพได้ 6.2 MW day^{-1} ในบริเวณ 4 จุด แสดงดังรูปที่ 2, 3 และ 4



Figure 2 The wastewater (pond No. 1) from landfill of the Nonthaburi Provincial Administrative Organization. (sample collection points 1 and 2).



Figure 3 The wastewater (pond No. 2) of the landfill of the Nonthaburi Provincial Administrative Organization. (sample collection points 3).



Figure 4 The wastewater (pond No. 3) of landfill of the Nonthaburi Provincial Administrative Organization. (sample collection point 4).

ผลการวิเคราะห์คุณสมบัติทางกายภาพและเคมีของน้ำในบ่อ ฝังกกลบขยะ อบจ. นนทบุรี พบว่าความเป็นกรดเป็นด่างของน้ำ ค่อนข้างเป็นกลางถึงด่างอ่อนๆ อยู่ระหว่าง 7.04 - 8.51 ความขุ่น ของน้ำในแต่ละจุดค่อนข้างแตกต่างกันอยู่ระหว่าง 34.6 - 118 เอ็นทียู (NTU) และตรวจพบการละลายของออกซิเจนในน้ำต่ำ มากจนไม่สามารถตรวจพบได้ ($0.0 \text{ mg}_{\text{O}_2} \text{ ml}^{-1}$) แต่อย่างไรก็ตาม พบว่าปริมาณสารอินทรีย์ที่อยู่ในน้ำมีปริมาณค่อนข้างสูงรวมทั้ง ยังตรวจพบธาตุอาหารหลัก N, P, K รวมทั้งธาตุอาหารรองต่าง ๆ ที่มีส่วนสำคัญในการส่งเสริมการเจริญเติบโตของสาหร่ายขนาดเล็กด้วย ผลการวิเคราะห์แสดงดังตารางที่ 1

ตัวอย่างสาหร่ายที่เก็บได้จากบริเวณฟาร์มสุกรและแหล่งน้ำ บริเวณบ่อฝังกกลบขยะอบจ. นนทบุรี เพื่อนำมาวิเคราะห์เพื่อชี้บ่ง ถึงสายพันธุ์สาหร่ายขนาดเล็ก พบถึงความหลากหลายของสาย พันธุ์สาหร่ายขนาดเล็กที่สามารถเจริญเติบโตได้ในบริเวณดัง กล่าวถึง 39 Isolate ที่แตกต่างกัน (ดังรูปที่ 5) แม้ว่าผลการ วิเคราะห์คุณภาพน้ำทั้งสองแหล่งจะระบุถึงปริมาณออกซิเจนที่ ละลายน้ำได้น้อยจนไม่สามารถตรวจพบ (ดังตารางที่ 1) โดย ปริมาณออกซิเจนเป็นปัจจัยสำคัญที่ทำให้เกิดปฏิกิริยาออกซิ เดชัน ส่งผลต่อปฏิกิริยาชีวเคมีภายในเซลล์ซึ่งเป็นขบวนการใน การสร้างอาหารให้กับเซลล์ ส่งเสริมการเจริญเติบโตและการ ดำรงชีวิตของสิ่งมีชีวิตและสาหร่ายขนาดเล็ก อย่างไรก็ตามสาหร่าย ที่เก็บรวบรวมได้เป็นสาหร่ายขนาดเล็กที่มีการเจริญเติบโตบริเวณ ผิวน้ำของแหล่งน้ำ ดังนั้นสาหร่ายขนาดเล็กในบริเวณดังกล่าว จึงสามารถดึงออกซิเจนจากอากาศมาใช้ในขบวนการสังเคราะห์ แสงและปฏิกิริยาชีวเคมีภายในเซลล์ได้ นอกจากนี้ความขุ่นของ น้ำ (Turbidity) ไม่ได้เป็นอุปสรรคในการกีดขวางแสงแดด ของ สาหร่ายขนาดเล็กที่ลอยอยู่บนผิวน้ำเพื่อนำไปใช้เป็นพลังงานใน ขบวนการสังเคราะห์แสง รวมทั้งคุณสมบัติทางเคมีของแหล่งน้ำ ดังกล่าวที่ระบุถึงปริมาณสารอินทรีย์ที่สาหร่ายนำไปใช้ประโยชน์ ได้ จึงเป็นสาเหตุที่สำคัญในการตรวจพบความหลากหลายของ สายพันธุ์สาหร่ายขนาดเล็กถึง 39 Isolate อย่างไรก็ตามวิจัยนี้มี วัตถุประสงค์เพื่อคัดเลือกสายพันธุ์ที่เก็บรวบรวมได้ในบริเวณที่มี การเกิดก๊าซชีวภาพ เพื่อศึกษาการเจริญเติบโตในการใช้ คาร์บอนไดออกไซด์จากก๊าซชีวภาพและศึกษาถึงปัจจัยต่างๆที่จะ ส่งผลต่อการสร้างหรือผลิตก๊าซมีมูลค่าเพิ่มและเพื่อเป็นแนวทาง ในการพัฒนาสู่อุตสาหกรรมต่อไป ด้วยเหตุนี้จึงคัดเลือกสายพันธุ์ สาหร่ายขนาดเล็กจากทั้งฟาร์มเลี้ยงสุกรและบ่อฝังกกลบขยะ อบจ. นนทบุรี เพื่อหาสายพันธุ์ที่มีศักยภาพได้ทั้งหมดจำนวน 13 Isolate (ดังตารางที่ 2) เพื่อทำการศึกษาวิจัยต่อไป และจาก

การศึกษาการเจริญเติบโตของสาหร่ายขนาดเล็กได้มีระบุถึงปัจจัยต่าง ๆ ที่มีผลต่อการเจริญเติบโตของสาหร่ายได้แก่ ปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) ผลของสารอาหาร ผลของแสง (Light intensity) ผลของอุณหภูมิ (Temperature) ค่าความเป็นกรดด่าง (pH) และอัตราการไหลของก๊าซและการกวน

Table 1 Water quality in the sampling area to isolate microalgae.

Parameter (unit)	Wastewater from a pig farm			Wastewater from landfill of the Nonthaburi Provincial Administrative Organization			
	Pond 2	Pond 3	Pond 4	Point 1	Point 2	Point 3	Point 4
pH	7.16	7.37	7.78	8.51	8.43	7.03	7.40
Turbidity (NTU)	275	143	107	98.7	118	61.9	34.6
DO (mg O ₂ mL ⁻¹)	ND	ND	4.0	ND	ND	ND	ND
BOD (mg L ⁻¹)	366	483	110	366	400	1500	716
COD (mg L ⁻¹)	11,899	7,283	4,205	13,232	12,720	14,771	17,849
TS (mg L ⁻¹)	2,484	2,205	2,332	13,336	12,996	11,078	15,454
TNK (mg L ⁻¹)	439	360	315.1	223.9	218.9	1,159.3	1,203.4
P (mg L ⁻¹)	236	218	139	6.20	7.40	19.10	25.00
Ca (mg L ⁻¹)	79.3	66.7	67.4	80.2	76.8	66.4	51.2
Cu (mg L ⁻¹)	0.320	ND	ND	ND	ND	ND	ND
K (mg L ⁻¹)	193.0	181.0	183.0	1,178	1,231	1,037	1,119
Mg (mg L ⁻¹)	94.3	69.1	67.5	201	196	79.6	87.3
Mn (mg L ⁻¹)	0.996	0.253	0.193	0.780	0.747	1.58	1.18
Zn (mg L ⁻¹)	0.414	0.039	0.031	0.056	0.037	0.105	0.117
Fe (mg L ⁻¹)	2.02	0.288	0.351	1.35	1.15	2.39	5.45

^a อุณหภูมิของน้ำอยู่ในช่วง 32-34 องศาเซลเซียส

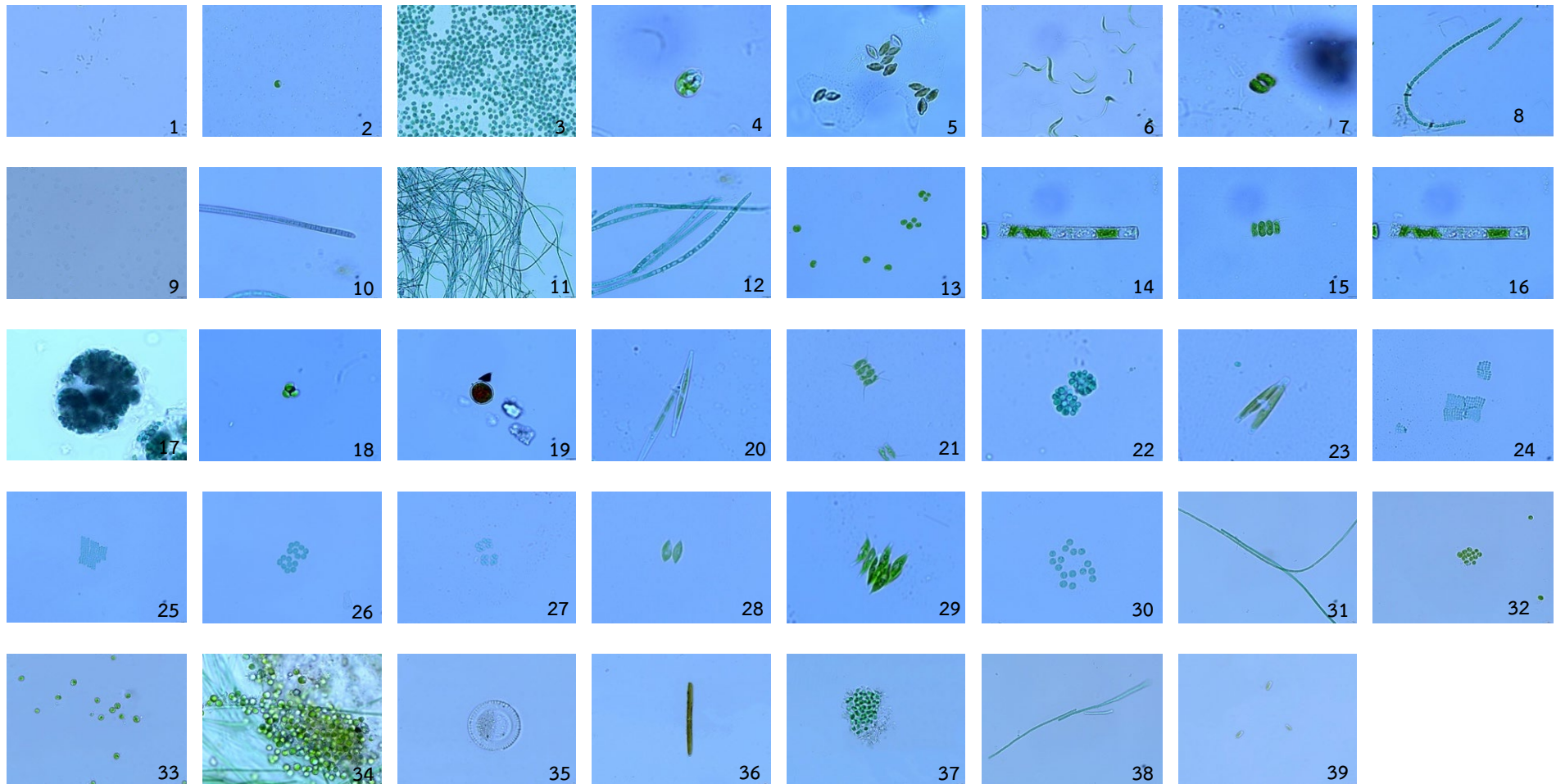


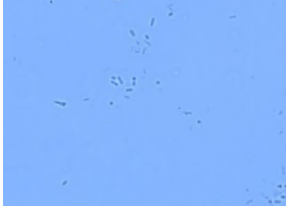
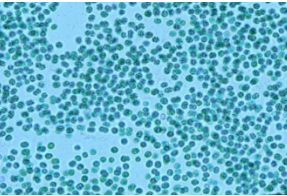
Figure 5 Characteristics of 39 strains microalgae isolated from swine farm and landfills. (1) *Synechococcus* sp. (2) *Chlorella* sp. (3) *Microcystis aeruginosa* (4) *Chlamydomonas* sp. (5) *Navicula* sp. (6) *Monoraphidium* sp. (7) *Didymocystis* sp. (8) *Pseudanabaena* sp. (9) *Synechocystis* sp. (10) *Oscillatoria* sp. (11) *Plectonema* sp. (12) *Raphidiopsis* sp. (13) *Tetrachlorella* sp. (14) *Scytonema* sp. (15) *Scenedesmus* sp. (16) *Oedogonium* sp. (17) *Gloeocapsa* sp. (18) *Coelastrella* sp. (19) *Haematococcus* sp. (20) *Nitzschia* sp. (21) *Scenedesmus* spp. (22) *Chlorogloeopsis fritschii* (23) *Navicula* spp. (24) *Merismopidia* spp. (25) *Merismopidia* sp. (26) *Coelomorion* sp. (27) *Crucigenia* sp. (28) *Acutodesmus*

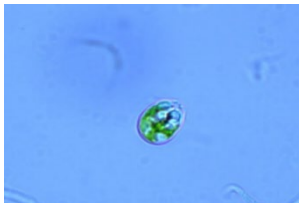
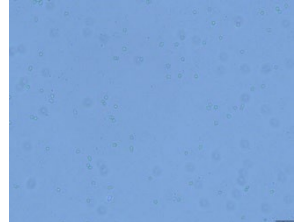
sp. (29) *Acutodesmus* spp. (30) *Microcystis* sp. (31) *Geitlerinema* sp. (32) *Chlorokybus* sp. (33) *Bracteacoccus* sp. (34) *Chlorococcum* sp. (35) *Cyclotella* sp. (36) *Bacillaria* sp. (37) *Aphanocapsa* sp. (38) *Pseudanabaena limnetica* และ (39) *Pseudococcomyxa* sp.

การเก็บตัวอย่างสาหร่ายขนาดเล็กจากฟาร์มหมูและบ่อฝังกลบขยะ อบจ. นนทบุรี พบความหลากหลายของสายพันธุ์สาหร่ายถึง 39 ไอโซเลท (แสดงดังรูปที่ 5) ซึ่งเป็นข้อมูลเบื้องต้นในการคัดเลือกสายพันธุ์สาหร่ายขนาดเล็กที่สำรวจเจอในบริเวณที่มีการเกิดก๊าซชีวภาพ โดยขั้นตอนการคัดเลือกสายพันธุ์สาหร่ายเพื่อการนำไปใช้ประโยชน์มีแนวทางและหลักการในการคัดเลือกสายพันธุ์สาหร่ายที่มีศักยภาพเพื่อนำไปศึกษาต่อแบ่งเป็น 3 กลุ่ม ใหญ่ๆ (แสดงดังรูปในตารางที่ 2)

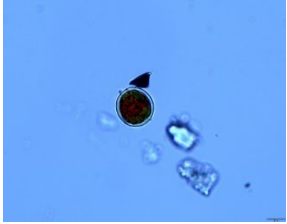
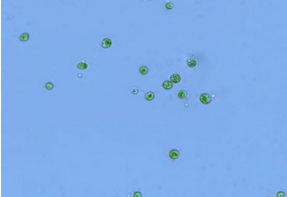
1. ประโยชน์ในการผลิตเป็นอาหารสุภาพและเวชสำอาง ได้แก่ สาหร่ายที่มีศักยภาพในการผลิตสารสีและสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพ รวมทั้งเป็นตัวบ่งชี้คุณภาพน้ำด้านสิ่งแวดล้อม
2. ประโยชน์เพื่อผลิตเป็นพลังงานทดแทน
3. ประโยชน์เพื่อผลิตโพลิเมอร์และพลาสติกชีวภาพ

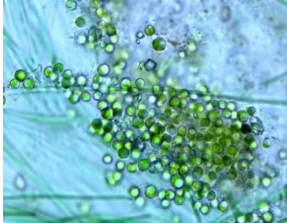
Table 2 Characteristics, properties, and potential uses of microalgae isolated from swine farms and landfills.

No.	Microalgae strains	Selection criteria			Properties and applications
		1	2	3	
1	<i>Synechococcus</i> sp. 	✓	✓		สาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงิน พบได้ในแหล่งน้ำทั่วไป ทั้งน้ำจืดและน้ำเค็ม ใช้พลังงานจากแสงอาทิตย์เปลี่ยน CO ₂ เป็นมวลชีวภาพ (biomass) (Włodarczyk et al., 2020) สามารถทนต่อสภาวะกำมะถันที่ทำปฏิกิริยา (Reactive sulfur species) เช่น ซัลไฟด์และซัลเฟนซัลเฟอร์ สามารถใช้ Peroxiredoxin (เอนไซม์ต้านอนุมูลอิสระ) เพื่อลด Sulfane sulfur ได้ (Liu et al., 2022) และยิ่งไปกว่านั้น ได้มีการศึกษาเพื่อใช้ประโยชน์จาก <i>Synechococcus</i> sp. ในการผลิตเป็นพลังงานพร้อมใช้เช่น แบตเตอรี่ (Bombelli et al., 2022)
2	<i>Chlorella</i> sp. 	✓	✓		สาหร่ายสีเขียว พบในน้ำจืด น้ำเค็ม และน้ำเสีย มีโปรตีนสูง มีไขมันสูง มีความสามารถในการทนต่อความเข้มข้นของ CO ₂ (แหล่งคาร์บอน) และอุณหภูมิที่สูง สามารถผลิตมวลชีวภาพและไขมันสูง (High biomass and lipid production) เพื่อผลิตไบโอดีเซล (Chi et al., 2019) ผลิตไบโอไฮเทน (bio-hythane production) (Lunprom et al., 2019) ผลิตก๊าซไฮโดรเจน (Hydrogen production) (Giang et al., 2019) และผลิตไบโอเอทานอล (bio-ethanol production) (Ngamsirisomsakul et al., 2019) กำจัดสารก่อมลพิษ (Pollutant removal) ได้แก่ Total nitrogen Total phosphate และโลหะหนักได้แก่ Cr (Santhosh et al., 2020) บำบัดน้ำทิ้งจากอุตสาหกรรมผลิตเครื่องหนัง (bioremediation) (Kandasamy et al., 2021)
3	<i>Microcystis aeruginosa</i> 	✓			สาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงิน เป็นสาหร่ายที่สร้างสารพิษสามารถพบได้พบได้ทั่วไปในแหล่งน้ำธรรมชาติ ทั้งในน้ำจืด น้ำเค็ม และน้ำกร่อย โดยจะผลิตสารกลุ่ม Microcystin คือสารพิษในกลุ่มที่มีพิษต่อตับ (สารพิษไมโครซิสตินมีคุณสมบัติเป็นสารส่งเสริมการเกิดมะเร็ง (tumor promotor) กลไก ความเป็นพิษต่อตับของไมโครซิสตินเกิดขึ้นเมื่อสารพิษถูกดูดซึมเข้าสู่กระแสเลือดโดยมี Bile salt เป็นตัวพาเข้าสู่เซลล์ตับ มีผลให้เซลล์ตับเหี่ยวลง เซลล์ตับปกติที่เคยอยู่ติดกันจะแยกออกจากกันและยังทำให้เซลล์บุหลอดเลือดฝอยที่เข้าสู่ตับแยกตามไปด้วย ผลคือเลือดซึมออกมาที่เนื้อเยื่อตับและอาจ ส่งผลให้เกิดภาวะการช็อกได้ การได้รับไมโครซิสตินในปริมาณสูง สามารถก่อให้เกิดภาวะตับอักเสบได้ (นพรัตน์, 2556)

No.	Microalgae strains	Selection criteria			Properties and applications
		1	2	3	
4	<i>Chlamydomonas sp.</i> 	✓	✓		สาหร่ายสีเขียว ใช้ในการบำบัดน้ำเสีย (Wastewater remediation) (Behl et al., 2020) เช่น ดูดซับสีย้อมจากผ้าทอที่ปนเปื้อนในน้ำ บำบัดน้ำเสีย ที่ปนเปื้อนด้วย NH_4^+-N จากโรงงานผลิตธาตุหายาก (rare earth elements, REEs) น้ำเสียจากฟาร์มหมู (Zhou et al., 2023) และเป็นตัวดูดซับของแข็งที่ละลายในน้ำ ได้แก่ โครเมียม (Cr(VI)-DS) (Ayele et al., 2021) ผลิตไฟฟ้าชีวภาพ (Bioelectricity generation) (Nadzri et al., 2023) สามารถตรึง CO_2 (CO_2 fixation) และผลิตไขมันเป็นวัตถุดิบเพื่อผลิตน้ำมันชีวภาพ (Bio-oil production) (Mondal et al., 2016) นอกจากนี้ยังสามารถผลิตลูทีน (Lutein production) เป็นรงควัตถุหรือ สารสีในกลุ่มแคโรทีนอยด์ (Carotenoid) มีส่วนช่วยบำรุงสุขภาพดวงตาและป้องกันโรคตาบางชนิด (Ma et al., 2019)
5	<i>Monoraphidium sp.</i> 	✓	✓		สาหร่ายสีเขียว สามารถตรึง CO_2 (CO_2 fixation) ผลิต Lipid เป็นสารตั้งต้นในการผลิตน้ำมันชีวภาพ (Bio-oil production) และไบโอดีเซล (Biodiesel production) (Namitha et al., 2021) ใช้เป็นอาหารในการเลี้ยงไรแดง สามารถทนต่อ COD ได้สูงถึง 2,000 มก./ลิตร (Boonma et al., 2015) มีการนำมาใช้บำบัดน้ำเสียจากโรงงานผลิตน้ำมัน และยังสามารถผลิตสารพิษจากพืช (Phytochemicals) ซึ่งเป็นสารเคมีที่มีฤทธิ์ทางชีวภาพที่พบเฉพาะในพืช ได้แก่ Chloroacetic acid และ 2, 4- di tert butylphenol มีฤทธิ์สามารถยับยั้งการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ที่ก่อโรคในพืช (Phytopathogens) มีงานวิจัยการนำสารดังกล่าวไปผลิตสารกำจัดศัตรูพืชทางชีวภาพทดแทนสารกำจัดศัตรูพืชสังเคราะห์ ซึ่งสามารถยับยั้งเชื้อ <i>Xanthomonas oryzae</i> และ <i>Pantoea agglomerans</i> ที่ก่อโรคในข้าวได้ (Mohanty et al., 2023)
6	<i>Synechocystis sp.</i> 	✓			สาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงิน พบได้ในน้ำจืด สามารถผลิตเชื้อเพลิงชีวภาพ (biofuel production) ผลิตไกลซีนบีเทน (Glycinebetaine production) ซึ่งใช้เป็นสารเติมแต่ง (Ingredient) ในอุตสาหกรรมต่างๆ เช่น ใช้เป็นสารให้ความชุ่มชื้นในอุตสาหกรรมอาหารและเครื่องสำอางเป็นที่รู้จักกันดีในทางการค้าซึ่งมีชื่อเรียกว่า ไตรเมทิลไกลซีน (Trimethylglycine) หรือ TMG นอกจากนี้มีงานวิจัยที่พบว่า ไกลซีนบีเทนจะช่วยลดระดับโฮโมซิสทีน (Homocysteine) ในร่างกาย หากระดับโฮโมซิสทีนในเลือดสูงจะเสี่ยงเกิดโรคหลอดเลือดหัวใจตีบตันได้ (ฤทัยรัตน์ และ เพ็ชร, 2563)

No.	Microalgae strains	Selection criteria			Properties and applications
		1	2	3	
7	<i>Oscillatoria sp.</i> 	✓			สาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงิน ลักษณะเซลล์จะเรียงต่อกันเป็นเส้นสายเดี่ยว พบได้ในแหล่งน้ำทั่วไป ทั้งน้ำจืดและน้ำเค็ม ใช้ประโยชน์ในการบำบัดน้ำทิ้งจากอุตสาหกรรมผลิตเครื่องหนัง (bioremediation) พบว่าสามารถย่อยสลายโครเมียมและแมกนีเซียมได้ 60-80% ของโลหะทั้ง 2 ชนิด (Santhosh et al., 2020) สามารถผลิต Biobutanol สามารถสังเคราะห์ Silver nanoparticles (Biosynthesis) (Adebayo-Tayo et al., 2019) ผลิต Fatty acid, amino acid derivative, indolizine derivative, ether derivative, cinchoninic acid, phenol, pyridine derivative, benzyl alcohol derivative and triazine derivative (Bioactive compounds) ซึ่งมีคุณสมบัติเป็นสารต้านแบคทีเรียต่อแบคทีเรียก่อโรคแกรมบวกชนิดต่างๆ (<i>S. aureus</i> และ <i>B. subtilis</i>) และแกรมลบ (<i>P. aeruginosa</i> และ <i>E. coli</i>) (Bhuyar et al., 2020) และสามารถผลิต Phycobiliprotein Accumulation (ไฟโคบิลิโปรตีน (phycobiliproteins, PBPs) คือรงควัตถุรอง (Accessory pigment) ที่พบในไซยาโนแบคทีเรียและสาหร่ายสีแดงหลายชนิด ทำหน้าที่ในการดูดกลืนพลังงานแสงในช่วงที่คลอโรฟิลล์ดูดกลืนไม่ได้ เพื่อเปลี่ยนเป็นพลังงานเคมีและนำไปใช้ในการสร้างอาหารภายในเซลล์ ปัจจุบัน PBPs ถูกนำมาประยุกต์ใช้เป็นสารสีในอาหาร เครื่องดื่ม ผลิตภัณฑ์เสริมอาหาร เครื่องสำอาง รวมถึงใช้เป็นสารออกฤทธิ์เภสัชกรรมเนื่องจากมีฤทธิ์ด้านการอักเสบ ยับยั้งการเจริญของเชื้อไวรัส ป้องกันการเกิดอนุมูลอิสระ เสริมสร้างการทำงานของเซลล์ตับและเซลล์ประสาท (Zuorro et al., 2021)
8	<i>Scenedesmus sp.</i> 	✓	✓	✓	สาหร่ายสีเขียว มีโปรตีนและไขมันสูง ตรึง CO₂ (CO₂ fixation) ผลิตน้ำมันชีวภาพ (Bio-oil production) (Boonma et al., 2015) ผลิตสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพและโภชนาเภสัช (Biological active compounds and nutraceuticals) เช่น alkaloids, flavonoids, glycosides, phenols, lignin's, saponins, sterols, tannins, anthraquinone และ reducing sugar ซึ่งมีคุณสมบัติในการต้านเบาหวาน สารต้านอนุมูลอิสระ ต้านการอักเสบ และฤทธิ์ต้านจุลชีพ ซึ่งพบว่าสามารถฤทธิ์สามารถต้านแบคทีเรียได้แก่ <i>E.coli</i>, <i>S. typhi</i>, <i>C. perfringens</i> และ <i>B. subtilis</i> และราได้แก่ <i>A. niger</i> และ <i>C. albicans</i> ได้ (Patil et al., 2019) และยังสามารถกำจัดสารก่อมลพิษ (pollutant removal) ที่ปนเปื้อน ได้แก่ NH₄⁺, NH₃, N, P, และ PO₄³⁻ โลหะหนักได้แก่ Cr, Cu, Pb และ Zn และยังใช้เป็นวัตถุดิบผลิตพลาสติกชีวภาพ (Bio-plastic) โดยใช้ biomass ผสมกับ plasticizer (สารเติมแต่งที่ใส่ไปในกระบวนการผลิตพลาสติก) ให้เป็นเนื้อเดียวกันแล้วนำไปขึ้นรูป เพื่อให้มีคุณสมบัติการทนต่อความร้อน การดูดซับน้ำและแรงดึง (Kandasamy et al., 2021)

No.	Microalgae strains	Selection criteria			Properties and applications
		1	2	3	
9	<i>Haematococcus sp.</i> 	✓			<i>Haematococcus</i> เป็นสกุลของสาหร่ายในวงศ์ <i>Haematococcaceae</i> สมาชิกของกลุ่มนี้เป็นสาเหตุทั่วไปของสีชมพูที่พบในอ่างน้ำนก ฮีมาโตคอคคัสชนิดที่โดดเด่นที่สุดชนิดหนึ่งคือ <i>H. pluvialis</i> ซึ่งใช้ในผลิตภัณฑ์เครื่องสำอางเนื่องจากการผลิตแอสตาแซนธิน ซึ่งเป็นแคโรทีนอยด์ต้านอนุมูลอิสระที่มีประสิทธิภาพภายใต้สภาวะความเครียด สามารถผลิตแอสตาแซนธิน (Astaxanthin production) (Cheirsilp et al., 2020) ซึ่งเป็นสารประเภทแคโรทีนอยด์ (Carotenoid) จากธรรมชาติ ที่มีคุณสมบัติช่วยในการต้านอนุมูลอิสระ ผลิตสารสี ได้แก่ แคโรทีนอยด์ และคลอโรฟิลล์ ผลิตไขมัน (Lipid production) และผลิตโปรตีน (Protein production) (Yap et al., 2022)
10	<i>Acutodesmus sp.</i> 	✓	✓		สาหร่ายสีเขียว เป็น Taxonomically accepted species of Scenedesmus มี acute cell poles มีโปรตีนสูง (>40%) สามารถเจริญได้ในอาหารที่มีปริมาณแอมโมเนียไนโตรเจนสูงได้ สามารถตรึง CO ₂ (CO ₂ Fixation) และผลิตไขมันเพื่อผลิตน้ำมันชีวภาพ (Bio-Oil Production) ไปพร้อมกัน สามารถผลิตสารสี (Pigment) ได้แก่ ลูทีน (Lutein) (Zhu et al., 2022), แคโรทีนอยด์ (Carotenoid) (Grama et al., 2014) และใช้ในการบำบัดของเสีย (Kim et al., 2019)
11	<i>Bracteacoccus sp.</i> 	✓	✓		สาหร่ายสีเขียว ถูกนำมาใช้ประโยชน์ในการเป็นตัวกำจัดทางชีวภาพ (Bioremoval) สามารถกำจัด Methylene Blue ที่ละลายอยู่ในน้ำ (Al-Fawwaz et al., 2023) สามารถผลิต Biomass, carotenoids และ lipids ซึ่งใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตไบโอดีเซล และการใช้ประโยชน์ในการเป็นบ่งชี้ทางชีวภาพ (Bioindication) และการทดสอบทางชีวภาพสำหรับความเป็นพิษของโลหะหนัก (Biotesting of toxicity of heavy metals) ได้แก่ Zn และ Mn (Maltsev et al., 2021)

No.	Microalgae strains	Selection criteria			Properties and applications
		1	2	3	
12	<i>Chlorococcum sp.</i> 	✓	✓		เป็นสาหร่ายสีเขียว อยู่ในวงศ์ Chlorococcaceae สามารถกักตะกอนไขมันในน้ำเสียได้ สามารถผลิตไขมันเป็นสารตั้งต้นในการผลิตไบโอดีเซล ผลิตไขมันที่สามารถออกฤทธิ์ทางชีวภาพ (Bioactive Lipids) ได้แก่ Sulfoquinovosyl diacylglycerols (SQDG), HexCer-t36:2 (t18:1/18:1 and 18:2/18:0) cerebrosides with a phytosphingosine (4-hydrosphinganine) base, phosphatidylcholine (PC) และ phosphatidylethanolamine (PE) ซึ่งมีฤทธิ์ต้านการอักเสบและต้านการเกิดลิ่มเลือด (Anti-Inflammatory and Anti-Thrombotic Activities) (Shiels et al., 2021) และสามารถผลิตกิจกรรมเอนไซม์ต้านอนุมูลอิสระ (Antioxidant enzyme activities) ซึ่งได้แก่ Malondialdehyde (MDA), peroxidase (POD), superoxide dismutase (SOD) และ catalase (CAT) โดยการกระตุ้นด้วย Cu^{2+} หรือ Cd^{2+} ที่มีความเข้มข้นต่างกัน (Qiu et al., 2022)
13	<i>Pseudococcomyxa sp</i> 	✓			ผลิตสาร Mycosporine-like amino acids (MAAs) กรดอะมิโนคล้ายมัยโคสปอรินเป็นสารทุติยภูมิขนาดเล็กที่ผลิตโดยสิ่งมีชีวิตที่อาศัยอยู่ในสภาพแวดล้อมที่มีแสงแดดส่องถึงปริมาณมาก เป็นสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพ ซึ่งสารที่ถูกสร้างนั้น ขึ้นอยู่กับปัจจัยต่าง ๆ เช่น ระยะเวลาที่ได้รับแสง (Photoperiod) ความเข้มแสง (Light intensity) ช่วงคลื่นแสง (Wavelength) อุณหภูมิ (Temperature) สารอาหารที่ใช้เลี้ยง (Nutrients) ถังหมัก (Bioreactors) และระยะของการเจริญเติบโตเมื่อเก็บเกี่ยว ปัจจัยต่าง ๆ เหล่านี้มีผลต่อองค์ประกอบทางเคมีของสาหร่ายขนาดเล็กทั้งสิ้นทำให้สารออกฤทธิ์ทางชีวภาพที่สกัดจากสาหร่ายมีคุณสมบัติและประโยชน์ที่หลากหลาย ยกตัวอย่างเช่น เป็นสารต้านอนุมูลอิสระ ครีมนันแดด สารให้ ความชุ่มชื้น สารเพิ่มความขาว ต้านการอักเสบ (Antiinflammatory) สารเพิ่มความหนา (Thickening) และสารทำให้ไวต่อการกระตุ้นอาการแพ้ทางผิวหนัง (Skin sensitizer) (Karsten et al., 2005)

4 สรุป

การแยกสาหร่ายจากฟาร์มสุกรและบ่อฝึกลบขยะ สาหร่ายขนาดเล็ก 39 Isolate เมื่อทำการวิเคราะห์และระบุได้สายพันธุ์สาหร่ายขนาดเล็กที่มีศักยภาพในการพัฒนาต่อยอดเชิงธุรกิจ จากฟาร์มเลี้ยงสุกรพบว่ามี 10 Isolate ได้แก่ *Monoraphidium* sp. *Scenedesmus* sp. *Chlorella* sp. *Synechococcus* sp. *Chlamydomonas* sp. *Synechocystis* sp. *Haematococcus* sp. *Oscillatoria* sp. *Microcystis aeruginosa* และ *Acutodesmus* sp. และจากหลุมฝึกลบขยะขององค์การบริหารส่วนจังหวัดนนทบุรีพบว่ามี 3 Isolate ได้แก่ *Bracteacoccus* sp. *Chlorococcum* sp. และ *Pseudococcomyxa* sp. ซึ่งจะนำไปทำการศึกษาวิจัยต่อไป

5 กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยขอขอบคุณสถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย (วว.) ที่ช่วยเหลือและสนับสนุนโครงการวิจัย ขอบคุณฟาร์มสุกรคุณบรรพต อเนกสุวรรณกุลและองค์การบริหารส่วนจังหวัดนนทบุรี ที่อนุเคราะห์ให้เข้าพื้นที่และเก็บตัวอย่างมาทำการวิจัยในครั้งนี้

6 เอกสารอ้างอิง

ครรชิต เงินคำคง, นิธิวัฒน์ จำรูญรัตน์, สิทธิศักดิ์ แก้วหนัก, ฤชณฉัตร เมืองใจ, นิตยา ต้นติ้ว, นันทน์ภัส มโนนนท์, พิสิฐ ศรีสุริยจันทร์. 2559. ประสิทธิภาพของสาหร่าย *Chlorella* sp. TISTR 8432 ในการลดปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากระบบผลิตก๊าซชีวภาพ. วารสารวิศวกรรมศาสตร์มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา 1(1), 51-58.

ชนมน จันทนา, สุวรรณ หอมพล. 2559. การกำจัดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในก๊าซชีวภาพจากมูลโคด้วยวิธีดักจับด้วยน้ำที่ความดันต่ำ. วารสารวิชาการพระจอมเกล้าพระนครเหนือ 26(1), 51-60.

นพรัตน์ สิทธิวงศ์. 2556. การติดตามตรวจสอบสาหร่ายที่สร้างสารพิษสีเขียวแกมน้ำเงินและสารพิษไมโครซิสตินในหนองหาร จังหวัดสกลนคร. คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีมหาวิทยาลัยราชภัฏสกลนคร

ฤทัยรัตน์ สุทธิสุวรรณ, เพ็ชร สุธิภรณ์. 2564. การหาภาวะที่เหมาะสมของการผลิตไกลซีนบีเทนภายใต้ความเครียดจากเกลือโดยไซยาโนแบคทีเรียชนิดเซลล์เดี่ยว

Synechococcus sp. MH 393765. วารสารวิจัยมทร. กรุงเทพฯ 15(1), 110-121.

Adebayo-Tayo, B., Salaam, A., Ajibade, A. 2019. Green synthesis of silver nanoparticle using *Oscillatoria* sp. extract, its antibacterial, antibiofilm potential and cytotoxicity activity. *Heliyon* 5(10), e02502.

Ayele, A., Suresh, A., Benor, S., Konwarh, R. 2021. Optimization of chromium (VI) removal by indigenous microalga (*Chlamydomonas* sp.) - based biosorbent using response surface methodology. *Water Environment Research* 93(8), 1276-1288.

Behl, K., Sessa Charan, P., Joshi, M., Sharma, M., Mathur, A., Kareya, M. S., Nigam, S. 2020. Multifaceted applications of isolated microalgae *Chlamydomonas* sp. TRC-1 in wastewater remediation, lipid production and bioelectricity generation. *Bioresource technology* 304, 122993.

Bhuyar, P., Rahim, M. H. A., Maniam, G. P., Ramaraj, R., Govindan, N. 2020. Exploration of bioactive compounds and antibacterial activity of marine blue-green microalgae (*Oscillatoria* sp.) isolated from coastal region of west Malaysia. *SN Applied Sciences* 2, 1-10.

Bombelli, P., Savanth, A., Scarampi, A., Rowden, S. J., Green, D. H., Erbe, A., Howe, C. J. 2022. Powering a microprocessor by photosynthesis. *Energy and Environmental Science* 15(6), 2529-2536.

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.

Bose, A., Lin, R., Rajendran, K., O'Shea, R., Xia, A., Murphy, J.D. 2019. How to optimise photosynthetic biogas upgrading: a perspective on system design and microalgae selection. *Biotechnology advances* 37(8), p.107444.

Cheirsilp, B., Wantip, K., Chai-issarapap, N., Maneechote, W., Pekkoh, J., Duangjan, K., Srinuanpan, S. 2022.

- Enhanced production of astaxanthin and co-bioproducts from microalga *Haematococcus* sp. integrated with valorization of industrial wastewater under two-stage LED light illumination strategy. *Environmental Technology and Innovation* 28, 102620.
- Chi, N. T. L., Duc, P. A., Mathimani, T., Pugazhendhi, A. 2019. Evaluating the potential of green alga *Chlorella* sp. for high biomass and lipid production in biodiesel viewpoint. *Biocatalysis and agricultural biotechnology* 17, 184-188.
- Giang, T. T., Lunprom, S., Liao, Q., Reungsang, A., Salakkam, A. 2019. Enhancing hydrogen production from *Chlorella* sp. biomass by pre-hydrolysis with simultaneous saccharification and fermentation (PSSF). *Energies* 12(5), 908.
- Grama, B. S., Chader, S., Khelifi, D., Stenuit, B., Jeffryes, C., Agathos, S. N. 2014. Characterization of fatty acid and carotenoid production in an *Acutodesmus* microalga isolated from the Algerian Sahara. *biomass and bioenergy* 69, 265-275.
- Hellebust, J. A. 1985. Mechanisms of response to salinity in halotolerant microalgae. *Biosalinity in Action: Bioproduction with Saline Water* 89, 69-81.
- Hunt, A.J., Sin, E.H., Marriott, R., Clark, J.H. 2010. Generation, capture, and utilization of industrial carbon dioxide. *ChemSusChem* 3(3), 306-322.
- Kandasamy, S., Narayanan, M., He, Z., Liu, G., Ramakrishnan, M., Thangavel, P., Carvalho, I. S. 2021. Current strategies and prospects in algae for remediation and biofuels: An overview. *Biocatalysis and Agricultural Biotechnology* 35, 102045.
- Kim, D. G., Lee, C., Yun, Y. S., Hong, C. H., Choi, Y. E. 2019. Recycling waste nutrient solution originating from the plant factory with the cultivation of newly isolated *Acutodesmus* species. *Journal of biotechnology* 289, 15-25.
- Kita, J., Ohsumi, T. 2004. Perspectives on biological research for CO₂ ocean sequestration. *Journal of oceanography* 60(4), 695-703.
- Kittel, J., Idem, R., Gelowitz, D., Tontiwachwuthikul, P., Parrain, G. Bonneau, A. 2009. Corrosion in MEA units for CO₂ capture: pilot plant studies. *Energy Procedia* 1(1), 791-797.
- Kovscek, A.R. Cakici, M.D. 2005. Geologic storage of carbon dioxide and enhanced oil recovery. II. Cooptimization of storage and recovery. *Energy conversion and Management* 46(11-12), 1941-1956.
- Li, G., Xiao, P., Webley, P., Zhang, J., Singh, R. Marshall, M. 2008. Capture of CO₂ from high humidity flue gas by vacuum swing adsorption with zeolite 13X. *Adsorption* 14(2-3), 415-422.
- Lin, Y., Kong, C., Zhang, Q., Chen, L. 2017. Metal-organic frameworks for carbon dioxide capture and methane storage. *Advanced Energy Materials* 7(4), 1601296.
- Liu, D., Chen, J., Wang, Y., Meng, Y., Li, Y., Huang, R. Liu, J. 2022. *Synechococcus* sp. PCC7002 Uses Peroxiredoxin to Cope with Reactive Sulfur Species Stress. *Mbio* 13(4), e01039-22.
- Lunprom, S., Phanduang, O., Salakkam, A., Liao, Q., Imai, T., Reungsang, A. 2019. Bio-hythane production from residual biomass of *Chlorella* sp. biomass through a two-stage anaerobic digestion. *International Journal of Hydrogen Energy* 44(6), 3339-3346.
- Ma, R., Zhao, X., Xie, Y., Ho, S. H., Chen, J. 2019. Enhancing lutein productivity of *Chlamydomonas* sp. via high-intensity light exposure with corresponding carotenogenic genes expression profiles. *Bioresource technology* 275, 416-420.
- 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.
- Mondal, M., Ghosh, A., Sharma, A. S., Tiwari, O. N., Gayen, K., Mandal, M. K., Halder, G. N. 2016. Mixotrophic cultivation of *Chlorella* sp. BTA 9031 and

- Chlamydomonas* sp. BTA 9032 isolated from coal field using various carbon sources for biodiesel production. *Energy Conversion and Management* 124, 297-304.
- Nadzri, N. A. A., Yasin, N. H. M., Bakar, M. H. A., Thanakodi, S., Salehmin, M. N. I., Takriff, M. S., Maeda, T. 2023. Photosynthetic microbial desalination cell (PhMDC) using *Chlamydomonas* sp. (UKM6) and *Scenedesmus* sp. (UKM9) as biocatalysts for electricity production and water treatment. *International Journal of Hydrogen Energy* 48(31), 11860-11873.
- 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.
- Ngamsirisomsakul, M., Reungsang, A., Liao, Q., Kongkeittakajorn, M. B. 2019. Enhanced bio-ethanol production from *Chlorella* sp. biomass by hydrothermal pretreatment and enzymatic hydrolysis. *Renewable Energy* 141, 482-492.
- Patil, L., Kaliwal, B. B. 2019. Microalga *Scenedesmus bajacalifornicus* BBKLP-07, a new source of bioactive compounds with in vitro pharmacological applications. *Bioprocess and biosystems engineering* 42(6), 979-994.
- Pires, J.C.M., Martins, F.G., Alvim-Ferraz, M.C.M. Simões, M. 2011. Recent developments on carbon capture and storage: an overview. *Chemical engineering research and design* 89(9), 1446-1460.
- Rodge, B.B., Andrew, D.E. Eugene, W.R. 2017. Standard methods for the examination of water and wastewater (Vol. 23). Washington, DC: American public health association.
- Santhosh, S., Rajalakshmi, A. M., Navaneethakrishnan, M., Jenny Angel, S., Dhandapani, R. 2020. Lab-scale degradation of leather industry effluent and its reduction by *Chlorella* sp. SRD3 and *Oscillatoria* sp. SRD2: a bioremediation approach. *Applied Water Science* 10(5), 1-11.
- Scholes, C.A., Kentish, S.E. Stevens, G.W. 2009. The effect of condensable minor components on the gas separation performance of polymeric membranes for carbon dioxide capture. *Energy Procedia* 1(1), 311-317.
- Tippayawong, N. Thanompongchart, P. 2010. Biogas quality upgrade by simultaneous removal of CO₂ and H₂S in a packed column reactor. *Energy* 35(12), 4531-4535.
- Tuinier, M.J., van Sint Annaland, M., Kramer, G.J. Kuipers, J.A.M. 2010. Cryogenic CO₂ capture using dynamically operated packed beds. *Chemical Engineering Science* 65(1), 114-119.
- Williamson, P., Wallace, D.W., Law, C.S., Boyd, P.W., Collos, Y., Croot, P., Denman, K., Riebesell, U., Takeda, S. Vivian, C. 2012. Ocean fertilization for geoengineering: a review of effectiveness, environmental impacts and emerging governance. *Process Safety and Environmental Protection* 90(6), 475-488.
- Włodarczyk, A., Selão, T. T., Norling, B., Nixon, P. J. 2020. Newly discovered *Synechococcus* sp. PCC 11901 is a robust cyanobacterial strain for high biomass production. *Communications Biology* 3(1), 215.
- Xiao, Y., Yuan, H., Pang, Y., Chen, S., Zhu, B., Zou, D., Ma, J., Yu, L. Li, X. 2014. CO₂ removal from biogas by water washing system. *Chinese Journal of Chemical Engineering* 22 (8), 950-953.
- Yap, S. M., Lan, J. C. W., Kee, P. E., Ng, H. S., Yim, H. S. 2022. Enhancement of protein production using synthetic brewery wastewater by *Haematococcus pluvialis*. *Journal of Biotechnology* 350, 1-10.
- Zhou, K., Chaemchuen, S. Verpoort, F. 2017. Alternative materials in technologies for Biogas upgrading via CO₂ capture. *Renewable and sustainable energy reviews* 79, 1414-1441.

- Zhou, Y., He, Y., Guo, X., Dai, J., Lai, X., Hong, B., Wang, M. 2023. Pilot-scale remediation of rare earth elements ammonium wastewater by *Chlamydomonas* sp. YC in summer under outdoor conditions. *Bioresource Technology* 372, 128674.
- Zhu, L., Gao, H., Li, L., Zhang, Y., Zhao, Y., Yu, X. 2022. Promoting lutein production from the novel alga *Acutodesmus* sp. by melatonin induction. *Bioresource Technology* 362, 127818.
- Zuorro, A., Leal-Jerez, A. G., Morales-Rivas, L. K., Mogollón-Londoño, S. O., Sanchez-Galvis, E. M., García-Martínez, J. B., Barajas-Solano, A. F. 2021. Enhancement of Phycobiliprotein Accumulation in Thermotolerant *Oscillatoria* sp. through Media Optimization. *ACS omega* 6(16), 10527-10536.
- Al-Fawwaz, A. T., Al Shra'ah, A., Elhaddad, E. 2023. Bioremoval of Methylene Blue from Aqueous Solutions by Green Algae (*Bracteacoccus* sp.) Isolated from North Jordan: Optimization, Kinetic, and Isotherm Studies. *Sustainability* 15(1), 842.
- Maltsev, Y., Maltseva, A., Maltseva, S. 2021. Differential Zn and Mn sensitivity of microalgae species from genera *Bracteacoccus* and *Lobosphaera*. *Environmental Science and Pollution Research* 28(40), 57412-57423.
- Shiels, K., Tsoupras, A., Lordan, R., Nasopoulou, C., Zabetakis, I., Murray, P., Saha, S. K. 2021. Bioactive lipids of marine microalga *Chlorococcum* sp. SABC 012504 with anti-inflammatory and anti-thrombotic activities. *Marine drugs* 19(1), 28.
- Qiu, C., Wang, W., Zhang, Y., Zhou, G. J., Bi, Y. 2022. Response of antioxidant enzyme activities of the green microalga *Chlorococcum* sp. AZHB to Cu²⁺ and Cd²⁺ stress. *Sustainability* 14(16), 10320.
- Karsten, U., Friedl, T., Schumann, R., Hoyer, K., Lembecke, S. 2005. Mycosporine-like amino acids and phylogenies in green algae: prasiola and its relatives from the *trebouxiophyceae* (chlorophyta) 1. *Journal of Phycology* 41(3), 557-566.