

การบำบัดไนโตรเจนในน้ำเสียจากฟาร์มสุกร ด้วยจุลสาหร่าย *Chlorella vulgaris* แบบเซลล์ตรึง Nitrogen removal from swine wastewater using immobilized-cell of *Chlorella vulgaris*

ภัทรพร คุณาพงษ์กิติ¹ สุรีย์พร ธรรมิกพงษ์¹ และผุสดี ภูมรา^{*1}

Pattaraporn Kunapongkiti¹, Sureeporn Thummikkaphong¹ and Phussadee Phummara^{*1}

รับบทความ 23 กันยายน 2567/ ปรับแก้ไข 22 พฤศจิกายน 2567/ ตอรับบทความ 3 ธันวาคม 2567

Received: September 23, 2024/ Revised: November 22, 2024/ Accepted: December 3, 2024

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาประสิทธิภาพการบำบัดไนโตรเจนในน้ำเสียจากฟาร์มสุกร (Swine Wastewater; SW) โดยใช้จุลสาหร่ายสายพันธุ์ *Chlorella vulgaris* (*C. vulgaris*) แบบเซลล์ตรึง โดยใช้จุลสาหร่าย กลุ่ม *C. vulgaris* ที่ขยายพันธุ์ในห้องปฏิบัติการเป็นระยะเวลา 11 วัน โดยใช้อาหารเลี้ยงสาหร่ายชนิดเหลวสูตรมาตรฐาน Blue-Green Medium (BG-11) ภายใต้ความเข้มแสง 1,800 lux มาใช้ในการศึกษาประสิทธิภาพการบำบัดไนโตรเจนในน้ำเสียจากฟาร์มสุกรด้วยจุลสาหร่ายกลุ่ม *Chlorella vulgaris* แบบเซลล์ตรึง (immobilized cell) ด้วยโซเดียมอัลจิเนต พบว่า จุลสาหร่ายแบบเซลล์ตรึงสามารถบำบัดไนโตรเจนจากฟาร์มสุกรได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยที่ไนโตรเจนในน้ำเสียจากฟาร์มสุกรได้ ค่าความเข้มข้นแอมโมเนีย ไนไตรท์ และไนเตรท เริ่มต้น ในถังปฏิกรณ์ 50% SW มีค่าความเข้มข้นแอมโมเนีย ไนไตรท์ และไนเตรท 228 mgN L⁻¹, 0 mgN L⁻¹, และ 1.3 mgN L⁻¹ ตามลำดับ และ ถังปฏิกรณ์ 100% SW มีค่า 440 mgN L⁻¹, 0 mgN L⁻¹, และ 2.5 mgN L⁻¹ ตามลำดับ เมื่อทดลองเดินระบบผ่านไป 13 วัน ถังปฏิกรณ์ 50% SW และถังปฏิกรณ์ 100%SW มีประสิทธิภาพการบำบัดแอมโมเนียได้ 100%

คำสำคัญ : น้ำเสียจากฟาร์มสุกร จุลสาหร่ายแบบเซลล์ตรึง การบำบัดแอมโมเนีย

Abstract

This study aimed to evaluate the efficiency of nitrogen removal from swine wastewater (SW) using immobilized microalgae *Chlorella vulgaris* (*C. vulgaris*) microalgae. The *C. vulgaris* culture was grown in the laboratory for 11 days using the standard Blue-Green Medium (BG-11) under a light intensity of 1,800 lux. The experiment focused on assessing nitrogen removal efficiency using *C. vulgaris* cells immobilized with sodium alginate. The result indicated that the immobilized microalgae effectively removed nitrogen from swine farm wastewater. Initial concentrations of ammonia, nitrite, and nitrate in the 50% SW reactor, the initial concentrations of ammonia, nitrite, and nitrate were 228 mgN L⁻¹, 0 mgN L⁻¹, and 1.3 mgN L⁻¹, respectively. In the 100% swine wastewater reactor were 440 mgN L⁻¹, 0 mgN L⁻¹, and 2.5 mgN L⁻¹, respectively. After 13 days of operation, both the 50% SW and 100% SW reactors achieved 100% ammonia removal efficiency.

Keywords : Swine wastewater, Microalgae immobilized-cell, Ammonia removal

¹สาขาวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏราชชนรินทร์ 422

ถนนมรุพงษ์ ตำบลหน้าเมือง อำเภอเมือง จังหวัดฉะเชิงเทรา 24000

*Corresponding Author, Email: phussadee.phu@rru.ac.th

บทนำ

กระบวนการบำบัดน้ำเสียทางชีวภาพ (Biological treatment) เป็นการใช้จุลินทรีย์ในการกำจัดสารอาหาร ได้แก่ สารอินทรีย์ (organic) ไนโตรเจน (N) และฟอสฟอรัส (P) ที่ละลายอยู่ในน้ำ ไนโตรเจนในน้ำส่งผลให้เกิดปรากฏการณ์ยูโทรฟิเคชัน (eutrophication) ทำให้พืชน้ำเจริญเติบโต ปัจจุบันแนวคิดของเสียกลับมาใช้ประโยชน์ (waste recycling) ด้วยกระบวนการดักจับของสารอาหารจากน้ำเสีย (nutrient recovery) ในกระบวนการดักจับสารอาหารจากน้ำเสียโดยใช้กระบวนการทางชีวภาพนั้นเป็นการใช้สารอาหารที่เหลืออยู่ในน้ำทิ้งเพื่อใช้ในการเจริญเติบโตของสิ่งมีชีวิตในน้ำ

น้ำเสียจากฟาร์มสุกรที่ผ่านการบำบัดด้วยกระบวนการบำบัดแบบไร้อากาศยังมีความเข้มข้นของไนโตรเจนสูงมาก มีความเข้มข้นของแอมโมเนียระหว่าง 1,196 ถึง 3,141 mg L⁻¹ (Jaafarzadeh Haghighi Fard et al. (2016) อย่างไรก็ตาม ความเข้มข้นแอมโมเนียสูงส่งผลให้การเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ลดลง (Kwon et al., 2020; Park et al., 2010; Tam และ Wang, 1996) โดยที่ การเจริญเติบโตของจุลินทรีย์สายพันธุ์ *Chlorella vulgaris* แบบแขวนลอยถูกยับยั้งที่ความเข้มข้นแอมโมเนีย 750 mg L⁻¹ (Tam และ Wang, 1996) ซึ่งถือได้ว่าจุลินทรีย์กลุ่ม *Chlorella vulgaris* มีความทนต่อความเข้มข้นแอมโมเนียสูง ดังนั้น การทดลองนี้จึงได้เลือกใช้จุลินทรีย์กลุ่ม *Chlorella vulgaris* ยิ่งไปกว่านั้น งานวิจัยของ (Mohsenpour et al., 2021, De-Bashan and Bashan, 2010) พบว่า จุลินทรีย์แบบเซลล์ตรึงสามารถประสิทธิภาพการกำจัดสารอาหารในระบบน้ำเสียได้เพิ่มขึ้น การทดลองนี้ได้ทดลองใช้ตรึงเซลล์จุลินทรีย์ (Immobilized cell) โดยใช้โซเดียมอัลจิเนต เพื่อใช้บำบัดไนโตรเจนในน้ำเสียจากฟาร์มสุกร การใช้เซลล์ตรึง (Immobilized cell) เป็นการทำให้เซลล์จุลินทรีย์หนาแน่นขึ้น เพื่อรองรับอัตราการรับภาระ (loading rate) ของสิ่งสกปรกเข้าสู่ระบบและป้องกันการหลุดรอดของเซลล์จุลินทรีย์ออกนอกระบบ (washout) นอกจากนี้จุลินทรีย์แบบเซลล์ตรึงยังง่ายต่อการแยกเซลล์ออกจากน้ำเสีย การตรึงเซลล์สามารถทำได้หลายวิธี เช่น การรวมตัวของจุลินทรีย์เองโดยมีลักษณะคล้ายเม็ด (Self-aggregation) การยัดติดของเซลล์บนพื้นผิวทั้งภายในและภายนอกของวัสดุ และการห่อหุ้มเซลล์เป็นเม็ดด้วยโพลีเมอร์ (Encapsulation) งานวิจัยที่ผ่านมา พบว่าการตรึงเซลล์จุลินทรีย์มีศักยภาพในการบำบัดน้ำเสีย

(Li et al., 2022; Pang et al., 2020; Sutherland and Ralph, 2019) สอดคล้องกับงานวิจัยของ Cao et al. (2022) พบว่า การใช้เซลล์ตรึงจุลินทรีย์สายพันธุ์ *C. vulgaris* มีอัตราการกำจัดสารอาหารสูงในระบบแบบต่อเนื่อง และจุลินทรีย์ภายในเม็ดบีดียังถูกกระตุ้นให้เกิดไขมัน (lipid) และแป้งที่สามารถนำไปสร้างมูลค่าได้

ถึงแม้ว่าเทคโนโลยีการบำบัดน้ำเสียแบบชีวภาพโดยใช้จุลินทรีย์ในปัจจุบันสามารถบำบัดน้ำเสียได้อย่างมีประสิทธิภาพ การบำบัดน้ำเสียจากฟาร์มสุกรนิยมใช้ระบบบำบัดแบบไร้อากาศ (anaerobic digestion) ยังมีแอมโมเนียไนโตรเจน 1,196-3,141 mg L⁻¹ การตรึงเซลล์สำหรับจุลินทรีย์เพื่อใช้ในการบำบัดน้ำเสียยังช่วยปกป้องเซลล์จุลินทรีย์จากสารมลพิษในน้ำเสีย (de-Bashan and Bashan (2010), Moreno-Garrido (2008)) และทำให้เซลล์หนาแน่นขึ้นเมื่อเทียบกับเซลล์แบบแขวนลอย (Kube et al., 2019; Shen et al., 2017) ดังนั้นการใช้การตรึงเซลล์จุลินทรีย์ช่วยให้จุลินทรีย์เจริญเติบโตต่อไปได้และสามารถเพิ่มประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียจากฟาร์มสุกรได้ งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาประสิทธิภาพการบำบัดไนโตรเจนน้ำเสียจากฟาร์มสุกร โดยใช้จุลินทรีย์สายพันธุ์ *C. vulgaris* แบบเซลล์ตรึง เพื่อศึกษาประสิทธิภาพการบำบัดไนโตรเจนในน้ำเสียจากฟาร์มสุกร โดยการใช้จุลินทรีย์สายพันธุ์ *C. vulgaris* แบบเซลล์ตรึงในการช่วยในการกำจัดไนโตรเจนจากการนำกลับสารอาหารจากน้ำเสียจากฟาร์มสุกร

วิธีการทดลอง

1. น้ำเสียจากฟาร์มสุกร

การทดลองนี้ใช้น้ำเสียหลังผ่านกระบวนการบำบัดแบบไร้อากาศ (Anaerobic) จากฟาร์มสุกร โดยเก็บตัวอย่างน้ำเสียจากถังปฏิกรณ์แบบไร้อากาศ จากฟาร์มสุกรที่ใช้การบำบัดแบบไร้อากาศเป็นระยะเวลานานกว่า 10 ปี การทดลองนี้ทดลองใช้น้ำเสียเริ่มต้น 2 ความเข้มข้น ได้แก่ การทดลองที่ 1 ใช้น้ำเสีย 50% ด้วยน้ำกลั่นปราศจากไอออน 50% (50% SW) การทดลองที่ 2 ไม่เจือจางน้ำเสีย (100% SW)

2. การเพิ่มจำนวนจุลินทรีย์ กลุ่ม *Chlorella vulgaris* ก่อนนำไปทดลองเลี้ยงในน้ำเสียจากฟาร์มสุกร

การทดลองนี้นำจุลินทรีย์กลุ่ม *Chlorella vulgaris* (*Chlorella vulgaris* TISTR 8580) ที่ใช้ในการ

ทดลองได้จากสถาบันวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย (วว.) ซึ่งเป็นหัวเชื้อจุลสาหร่ายกลุ่ม *C. vulgaris* เป็นกลุ่มจุลสาหร่ายที่นำไปสกัดเป็นน้ำมันไบโอดีเซลได้น้ำหัวเชื้อ *Chlorella vulgaris* TISTR 8580 ที่ผ่านการแยกเชื้อและทำให้บริสุทธิ์มาแล้วขยายต่อในห้องปฏิบัติการ โดยใช้อาหารเลี้ยงสาหร่ายชนิดเหลวสูตรมาตรฐาน Blue-Green Medium (BG-11) การศึกษาการเจริญเติบโตของจุลสาหร่าย เริ่มต้นโดยใช้หัวเชื้อจุลสาหร่าย *C. vulgaris* ความเข้มข้นที่ 10% v/v ควบคุม pH 6.5-8.5 ภายใต้อุณหภูมิห้องเป็นระยะเวลา 11 วัน โดยใน 1 วัน เปิดไฟแสงโดยใช้หลอดไฟแสงสีขาวที่ให้ความสว่าง 1,800 lux (โดยใช้ lux meter) เป็นเวลา 12 ชั่วโมง และเติมอากาศโดยเครื่องเติมอากาศเป็นเวลา 12 ชั่วโมง และปิดการทำงานของเครื่องเติมอากาศเป็นเวลา 12 ชั่วโมง ในระหว่างนี้ได้นับจำนวนเซลล์สาหร่ายด้วย Hemacytometer ทุกวัน เมื่อจุลสาหร่ายเจริญเติบโตจนจำนวนคงที่แล้ว (steady state) นำไปใช้ในการตรึงเซลล์จุลสาหร่ายต่อไป

3. การตรึงเซลล์จุลสาหร่าย

นำเซลล์สาหร่าย *C. vulgaris* ที่ได้จากการทดลองที่ 2.1 มาซึ่งน้ำหนักแห้งด้วยการกรองผ่านกระดาษกรอง GF/C (APHA, 2012) นำเซลล์สาหร่าย *C. vulgaris* ที่ได้จากน้ำ 10% w/v จุลสาหร่ายตรึงเซลล์สาหร่ายด้วย 20% โซเดียมอัลจิเนต (w/v) จากนั้นขึ้นรูปเป็นเม็ดกลม (Immobilized microalgae beads) ด้วยสารละลาย CaCl_2 0.6 g/L ที่ทิ้งไว้ 1 คืน หลังจากนั้นล้างด้วยน้ำปราศจากไอออน ซึ่งประยุกต์วิธีของ Emparan et al. (2021)

การทดลองที่ 2.1 มาล้างด้วยน้ำปราศจากไอออนและทำการปั่นเหวี่ยงด้วยเครื่อง centrifuge ด้วยความเร็ว 5,000 rpm เวลา 10 นาที ทิ้งน้ำใสทิ้ง ทำซ้ำเป็นจำนวน 3 ครั้ง ต่อจากนั้น

4. การศึกษาการบำบัดน้ำเสียฟาร์มสุกรด้วยจุลสาหร่ายกลุ่ม *Chlorella vulgaris* แบบเซลล์ตรึง

การศึกษการใช้จุลสาหร่ายกลุ่ม *C. vulgaris* บำบัดน้ำเสียหลังผ่านกระบวนการบำบัดจากฟาร์มสุกร การทดลองที่ 1 เจือจางน้ำเสียจากฟาร์มสุกรร้อยละ 50 (50% SW) และการทดลองที่ 2 ไม่เจือจางน้ำเสียจากฟาร์มสุกร (100% SW) และทำการทดลองในถังปฏิกรณ์ปริมาตร 2 ลิตร ด้วยน้ำเสียเข้าระบบที่เจือจางแล้วจะใช้เป็นอาหารของ จุลสาหร่ายกลุ่ม *C. vulgaris* โดยใช้ความเข้มข้นเริ่มต้นของสาหร่ายที่ 10% v/v ทดลองเดินระบบโดยใช้เซลล์จุลสาหร่ายแบบเซลล์ตรึง (Immobilized cell) และ ควบคุม pH 8.0-8.5 ภายใต้อุณหภูมิห้อง ใน 1

วัน เปิดไฟให้แสงโดยใช้หลอดไฟแสงสีขาว ที่ให้ความเข้มแสง 1,800 lux เป็นเวลา 12 ชั่วโมง เติมอากาศโดยเครื่องเติมอากาศเป็นเวลา 12 ชั่วโมง และปิดการทำงานของเครื่องเติมอากาศเป็นเวลา 12 ชั่วโมง เป็นระยะเวลา 13 วัน ซึ่งประยุกต์วิธีของ Park et al. (2010) ในระหว่างเดินระบบ วิเคราะห์ค่าความเข้มข้นแอมโมเนีย ไนโตรเจน และไนเตรทในน้ำทุกๆ 3 วัน

5. การวิเคราะห์แอมโมเนีย ไนโตรเจน และไนเตรท

เก็บตัวอย่างน้ำจากถังปฏิกรณ์ จากนั้นทำการกรองแยกตัวอย่างน้ำเสียด้วยกระดาษกรอง GF/C ต่อจากนั้น นำตัวอย่างน้ำที่ผ่านการเตรียมมาวิเคราะห์หา ค่าแอมโมเนียไนโตรเจน และไนเตรท ตัวอย่างละ 3 ซ้ำ ตามวิธี Standard method (APHA, 2012) ด้วยเครื่อง UV spectrophotometer (Thermo Scientific)

ผลการวิจัย

1. ผลการศึกษาการเจริญเติบโตของจุลสาหร่าย กลุ่ม *Chlorella vulgaris*

การทดลองนี้ นำหัวเชื้อ *Chlorella vulgaris* TISTR 8580 ที่ได้จากสถาบันวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย (วว.) ซึ่งเป็นการแยกเชื้อและทำให้บริสุทธิ์มาขยายต่อในห้องปฏิบัติการโดยใช้อาหารเลี้ยงสาหร่ายชนิดเหลวสูตรมาตรฐาน Blue-Green Medium (BG-11) เพื่อศึกษาการเจริญเติบโตของจุลสาหร่ายกลุ่ม *C. vulgaris* ภายใต้ความเข้มแสง 1,800 lux จากงานวิจัยที่ผ่านมา Martinez et al. (1997) พบว่าจุลสาหร่ายสายพันธุ์ *Chlorella pyrenoidosa* ใช้สารอินทรีย์ได้ดีภายใต้สภาวะความเข้มแสง 1,500 lux นอกจากนี้ จุลสาหร่ายสายพันธุ์ *Chlorella vulgaris* บำบัดไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และ COD ได้ภายใต้สภาวะความเข้มแสง 2,000 lux – 5,000 lux (Rajivgandhi et al. (2022), Weidong et al. (2015) Ding et al.lu(2014))

การทดลองนี้ศึกษาการเจริญเติบโตของจุลสาหร่ายโดยใช้วิธีการนับจำนวนเซลล์สาหร่ายด้วย Hemacytometer ทุกวัน พบว่า จุลสาหร่ายสายพันธุ์ *C. vulgaris* มีจำนวนเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วในวันที่ 2 ถึง วันที่ 5 (exponential phase) และเริ่มมีจำนวนคงที่ตั้งแต่วันที่ 5 เป็นต้นไป (stationary phase) โดยจำนวนเซลล์จุลสาหร่าย มีจำนวนคงที่อยู่ระหว่าง 4.88×10^7 เซลล์ถึง 9.20×10^7 เซลล์

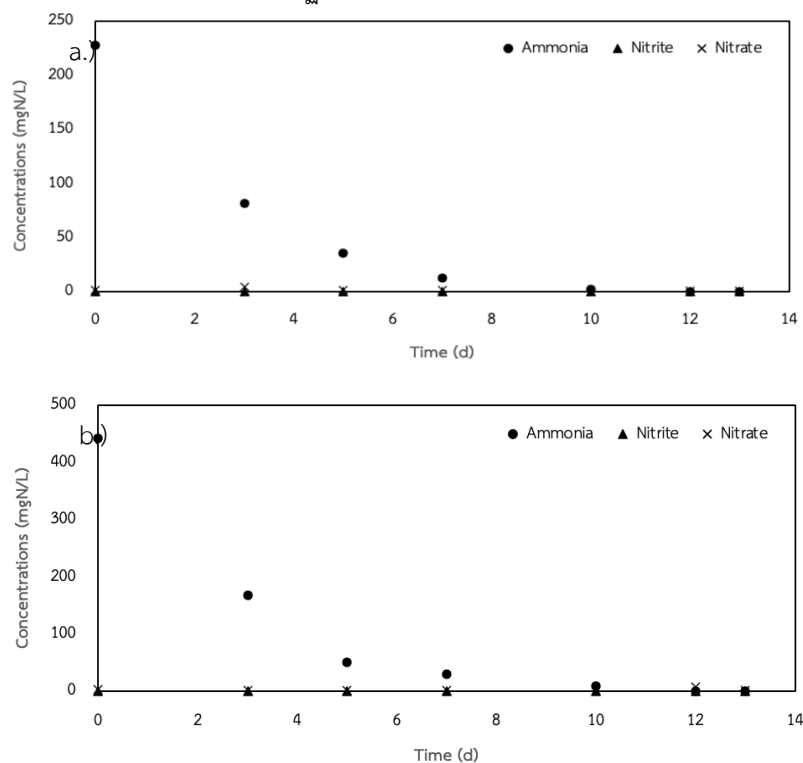
ผลการศึกษาการเจริญเติบโตของจุลสาหร่ายกลุ่ม *C. vulgaris* ภายใต้ความเข้มแสง 1,800 lux พบว่า

จุลสาหร่ายกลุ่ม *Chlorella vulgaris* เจริญเติบโตได้ดี โดยการเจริญเติบโตของจุลสาหร่าย กลุ่ม *C. vulgaris* มีจำนวนเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วในวันที่ 2 ถึง วันที่ 5 (exponential phase) และเริ่มมีจำนวนคงที่ (stationary phase) ตั้งแต่วันที่ 5 เป็นต้นไปจนถึงวันที่ 11 ดังนั้นการทดลองต่อไปจึงใช้ตัวอย่าง ดังนั้นจึงนำจุลสาหร่ายกลุ่ม *C. vulgaris* ที่ผ่านการเลี้ยงในวันที่ 11 มาใช้ในการทดลองถัดไป

2. ประสิทธิภาพการบำบัดไนโตรเจนน้ำเสียจากฟาร์มสุกรด้วยจุลสาหร่ายกลุ่ม *Chlorella vulgaris* แบบเซลล์ตรึง

ผลศึกษา พบว่า จุลสาหร่ายแบบเซลล์ตรึงสามารถประสิทธิภาพการกำจัดไนโตรเจนในน้ำเสียจากฟาร์มสุกรได้ การทดลองนี้ได้ทดลองใช้ตรึงเซลล์จุลสาหร่าย (Immobilized cell) โดยใช้โซเดียมอัลจิเนต โดยที่น้ำเสียใน ในส่วนของถังปฏิกรณ์ 50% SW มีค่าความเข้มข้นแอมโมเนีย ไนไตรท์ และไนเตรท เริ่มต้น 228 mgN L^{-1} , 0 mgN L^{-1} , และ 1.3 mgN L^{-1} ตามลำดับ เมื่อเดินระบบผ่านไป 7 วัน พบว่า ประสิทธิภาพในการบำบัดแอมโมเนีย 94% กล่าวคือ แอมโมเนียลดลงจาก $228+6.62 \text{ mgN L}^{-1}$ เหลือ $12.48+0.35 \text{ mgN L}^{-1}$ พบไนเตรทสะสมในระบบที่ความเข้มข้น $1.5\pm 0.0 \text{ mgN L}^{-1}$ และไม่พบการสะสมของไนไตรท์ ในส่วนของถังปฏิกรณ์

100% SW มีค่าความเข้มข้นแอมโมเนีย ไนไตรท์ และไนเตรท เริ่มต้น 440 mgN L^{-1} , 0 mgN L^{-1} , และ 2.5 mgN L^{-1} ตามลำดับ เมื่อทดลองเดินระบบผ่านไป 7 วัน พบว่า ถังปฏิกรณ์ 100% SW มีประสิทธิภาพในการบำบัดแอมโมเนีย 93% และ 68%ตามลำดับ กล่าวคือ ความเข้มข้นแอมโมเนียลดลงจาก $440\pm 2.52 \text{ mgN L}^{-1}$ เหลือ $28.86\pm 0.75 \text{ mgN L}^{-1}$ และความเข้มข้นไนเตรทลดลงจาก $2.5\pm 0.0 \text{ mgN L}^{-1}$ เหลือ $1.1\pm 0.0 \text{ mgN L}^{-1}$ และไม่พบความเข้มข้นไนไตรท์สะสมในระบบ เมื่อเดินระบบผ่านไป 13 วัน ไม่พบแอมโมเนียไนไตรท์และไนเตรทสะสมในระบบ ในถังปฏิกรณ์ทั้งสองถัง ดังนั้นถังปฏิกรณ์ 50% SW และถังปฏิกรณ์ 100% SW มีประสิทธิภาพการบำบัดแอมโมเนีย คือ 100% ดังนั้นจึงสรุปได้ว่าการตรึงเซลล์ จุลสาหร่ายสายพันธุ์ กลุ่ม *C. vulgaris* ในการบำบัดไนโตรเจนจากน้ำเสียจากฟาร์มสุกร



ภาพที่ 1 ประสิทธิภาพการบำบัดแอมโมเนีย ไนไตรท์ และไนเตรท ในน้ำเสียจากฟาร์มสุกรที่ผ่านการบำบัดจากระบบไร้อากาศของการทดลอง 50% SW (a.) และ 100% SW (b.)

อภิปรายผล

ปัจจุบันการนำจุลสาหร่ายแบบเซลล์ตรึงมาใช้ในการบำบัดน้ำเสียจึงเป็นแนวคิดในการปรับปรุงการบำบัดน้ำเสียทางชีวภาพ การใช้เซลล์ตรึงเป็นการทำให้เซลล์จุลสาหร่ายหนาแน่นขึ้น เพื่อรองรับอัตราการรับภาระ (loading rate) ของสิ่งสกปรกเข้าสู่ระบบและป้องกันการหลุดรอดของเซลล์จุลสาหร่ายออกนอกระบบ งานวิจัยที่ผ่านมา พบว่า การตรึงเซลล์จุลสาหร่ายมีศักยภาพในการบำบัดน้ำเสีย (Li et al., 2022; Pang et al., 2020; Sutherland and Ralph, 2019) ถึงแม้ว่าจุลสาหร่ายสายพันธุ์ *C. vulgaris* ซึ่งเป็นจุลสาหร่ายที่มีความทนต่อความเข้มข้นแอมโมเนียสูงแบบจากการทดลองของ Tam and Wong (1996) พบว่าจุลสาหร่ายสายพันธุ์ *C. vulgaris* แบบแขวนลอยถูกยับยั้งการเจริญเติบโตที่ความเข้มข้นแอมโมเนีย 750 mg L^{-1} การใช้จุลสาหร่ายแบบเซลล์ตรึงช่วยปกป้องเซลล์จากมลพิษในน้ำเสียได้ (de-Bashan and Bashan (2010, Moreno-Garrido (2008)) และทำให้เซลล์หนาแน่นขึ้นเมื่อเทียบกับเซลล์แบบแขวนลอย (Kube et al., 2019; Shen et al., 2017)

จากการทดลองที่ผ่านมา พบว่า เมื่อใช้เซลล์ตรึงจุลสาหร่ายทำให้ประสิทธิภาพการย่อยสลายทางชีวภาพ (Zhuang et al., 2018, De-Bashan and Bashan, 2010) เนื่องจากการใช้ระบบเซลล์ตรึงทำให้การกำจัดสารอาหารในระบบดีขึ้นและเซลล์หนาแน่นขึ้น (De-Bashan and Bashan, 2010) งานวิจัยของ Cao et al. (2022) พบว่า เซลล์ตรึงจุลสาหร่ายสายพันธุ์ *C. vulgaris* มีประสิทธิภาพการกำจัดแอมโมเนียมากกว่า 55% ภายในช่วงเริ่มต้น 5 วัน และมีอัตราการกำจัดแอมโมเนียใน วันที่ 1 และ วันที่ 2 เท่ากับ 26.50 และ $28.95 \text{ mg L}^{-1} \cdot \text{d}$ ตามลำดับ และยังคงมีอัตราการบำบัดแอมโมเนียสูงต่อเนื่องไปจนถึงวันที่ 5 ของการทดลอง นอกจากนี้ การศึกษาของ Chen et al. (2021) พบว่า จุลสาหร่ายสายพันธุ์ *Chlorella sorokiniana* ที่ใช้ฟองน้ำและถ่านกัมมันต์เป็นตัวกลาง สามารถบำบัดไนโตรเจนจากน้ำเสียจากฟาร์มสุกรที่ไม่ผ่านการบำบัดได้ 94.1% จากการศึกษาของ Wu et al. (2020) พบว่า จุลสาหร่ายสายพันธุ์ *C. vulgaris* และ *Chlorella sp.* ที่ตรึงเซลล์จุลสาหร่ายด้วยแอลจิเนต สามารถบำบัดแอมโมเนียในน้ำเสียจากอุตสาหกรรมสิ่งทอได้ 90%

นอกจากนำจุลสาหร่ายมาใช้ในการบำบัดน้ำเสียแล้ว นักวิทยาศาสตร์ยังนำเซลล์จุลสาหร่ายไปผลิตเป็นเชื้อเพลิงชีวภาพ (Biofuels) งานวิจัยของ Cao et al. (2022) พบว่า การใช้เซลล์ตรึงจุลสาหร่ายสายพันธุ์ *C.*

vulgaris มีอัตราการกำจัดสารอาหารสูงในระบบแบบต่อเนื่อง และจุลสาหร่ายภายในเม็ดบีดียังถูกกระตุ้นให้เกิดไขมัน (lipid) และแป้งที่สามารถนำไปสร้างมูลค่าได้ นอกจากนี้ปริมาณโปรตีนของจุลสาหร่ายแบบเกาะผิว (Attached cell) มีปริมาณสูงกว่าโปรตีนของจุลสาหร่ายแบบแขวนลอยอย่าง มีนัยสำคัญ (Zhuang et al., 2018) จากการศึกษา พบว่า จุลสาหร่ายแบบเกาะผิวมีปริมาณโปรตีนสูงกว่าสาหร่ายที่แขวนลอยอยู่ 30% ถึงแม้ว่าจุลสาหร่ายแบบเกาะติดผิวมีอัตราการเพิ่มของจำนวนของจุลสาหร่ายและมีกิจกรรมการปลดปล่อยออกซิเจนช้ากว่าจุลสาหร่ายแบบแขวนลอย ดังนั้นการใช้การตรึงเซลล์จุลสาหร่ายนำไปผลิตเป็นพลังงานชีวภาพได้ในอนาคต

สรุปผลการวิจัย

การทดลองนี้ใช้จุลสาหร่าย กลุ่ม *Chlorella vulgaris* ที่ขยายต่อในห้องปฏิบัติการโดยใช้อาหารเลี้ยงสาหร่ายชนิดเหลวสูตรมาตรฐาน Blue-Green Medium (BG-11) ภายใต้ความเข้มแสง 1,800 lux ผลการทดลองพบว่า จุลสาหร่ายมีจำนวนเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วในวันที่ 2 ถึง วันที่ 5 (exponential phase) และเริ่มมีจำนวนคงที่ (stationary phase) ตั้งแต่วันที่ 5 เป็นต้นไปจนถึงวันที่ 11 ดังนั้นจึงนำจุลสาหร่าย กลุ่ม *C. vulgaris* ที่ผ่านการเลี้ยงในวันที่ 11 มาใช้ในการศึกษาประสิทธิภาพการบำบัดไนโตรเจนน้ำเสียจากฟาร์มสุกรด้วยจุลสาหร่ายกลุ่ม *C. vulgaris* แบบเซลล์ตรึง ด้วยโซเดียมอัลจิเนต การทดลองนี้แสดงให้เห็นว่าสามารถใช้จุลสาหร่ายกลุ่ม *C. vulgaris* แบบเซลล์ตรึงสามารถกำจัดแอมโมเนียในการบำบัดน้ำเสียจากฟาร์มสุกรได้อย่างมีประสิทธิภาพ จุลสาหร่ายแบบเซลล์ตรึงสามารถบำบัดไนโตรเจนจากฟาร์มสุกรได้อย่างมีประสิทธิภาพ เมื่อทดลองเดินระบบผ่านไป 7 วัน ถึงปฏิกรณ์ 50% SW และถึงปฏิกรณ์ 100% SW มีประสิทธิภาพการบำบัดแอมโมเนีย ประสิทธิภาพการบำบัดแอมโมเนียได้ 94% และ 93% ตามลำดับ และเมื่อเดินระบบต่อไปจนถึงวันที่ 13 พบว่า ถึงปฏิกรณ์ 50% SW และถึงปฏิกรณ์ 100%SW มีประสิทธิภาพการบำบัดแอมโมเนียได้ 100%

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับเงินอุดหนุนจากมหาวิทยาลัยราชภัฏราชนครินทร์ สำนักงานคณะกรรมการส่งเสริมวิทยาศาสตร์ วิจัยและนวัตกรรม และกองทุนส่งเสริม

วิทยาศาสตร์ วิจัยและนวัตกรรม ประจำปีงบประมาณ 2565 และขอขอบคุณ สถาบันวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี แห่งประเทศไทย (วว.) ที่ให้ความอนุเคราะห์จุลสาหร่าย สายพันธุ์ *Chlorella vulgaris* TISTR 8580 เพื่อใช้ในการ ทดลอง

เอกสารอ้างอิง

- APHA. (2012). Standard methods for the examination of water and wastewater (21st edition). American Public Health Association/American Water Works Association/Water Environment Federation.
- Cao, S., Teng, F., Lv, J., Zhang, Q., Wang, T., Zhu, C., Li, X., Cai, Z., Xie, L., & Tao, Y. (2022). Performance of an immobilized microalgae-based process for wastewater treatment and biomass production: Nutrients removal, lipid induction, microalgae harvesting and dewatering. *Bioresource technology*, 356, 127298.
- Chen, C. Y., Kuo, E. W., Nagarajan, D., Dong, C. D., Lee, D. J., Varjani, S., Lam, S.S., & Chang, J. S. (2021). Semi-batch cultivation of *Chlorella sorokiniana* AK-1 with dual carriers for the effective treatment of full strength piggery wastewater treatment. *Bioresource technology*, 326, 124773.
- de-Bashan, L.E., & Bashan, Y. (2010). Immobilized microalgae for removing pollutants: review of practical aspects. *Bioresource Technology*, 101(6), 1611–1627.
- Ding, J.F., Zhao, F.M., Cao, Y.F., Xing, L., Liu, W., Mei, S., & Li S.J. (2014) Cultivation of microalgae in dairy wastewater without sterilization. *International Journal of Phytoremediation*, 17, 222–227.
- Emparan, Q., Harun, R., & Sing Jye, Y. (2021). Efficiency of pollutants removal in treated palm oil mill effluent (TPOME) using different concentrations of sodium alginate-immobilized *Nannochloropsis* sp. cells. *International Journal of Phytoremediation*, 23(5), 454–461.
- Jaafarzadeh Haghighi Fard., N.A., Jorfi, S., Ahmadi, M., Mirali, S., & Kujlu, R. (2016). Treatment of mature landfill leachate by chemical precipitation and Fenton advanced oxidation process. *Environmental Health Engineering and Management Journal*, 3(1), 35-40.
- Kube, M., Mohseni, A., Fan, L., Roddick, F. (2019). Impact of alginate selection for wastewater treatment by immobilized *Chlorella vulgaris*. *Chemical Engineering Journal*, 358, 1601-1609.
- Kwon, G., Nam, J.H., Kim, D.M., Song, C., & Jahng, D. (2020). Growth and nutrient removal of *Chlorella vulgaris* in ammonia-reduced raw and anaerobically-digested piggery Wastewaters. *Environmental Engineering Research*, 25(2), 135-146.
- Li, S., Show, P.L., Ngo, H.H., & Ho, S.H. (2022). Algae-mediated antibiotic wastewater treatment: A critical review. *Environmental Science and Ecotechnology*, 9, 100145.
- Martínez, M.E., Camacho, F., Jiménez, J., & Espinola, J. (1997). Influence of light intensity on the kinetic and yield parameters of *Chlorella pyrenoidosa* mixotrophic growth. *Process Biochemistry*, 32(2), 93-98.
- Mohsenpour, S. F., Hennige, S., Willoughby, N., Adeleye, A., & Gutierrez, T. (2021). Integrating micro-algae into wastewater treatment: A review. *The Science of the total environment*, 752, 142168.
- Moreno-Garrido I. (2008). Microalgae immobilization: current techniques and uses. *Bioresource Technology*, 99(10), 3949–3964.
- Pang, N., Bergeron, A.D., Gu, X., Fu, X., Dong, T., Yao, Y., & Chen, S. (2020). Recycling of Nutrients from Dairy Wastewater by

- Extremophilic Microalgae with High Ammonia Tolerance. *Environmental Science & Technology*, 54(23), 15366–15375.
- Park, J., Jin, H.F., Lim, B.R., Park, K.Y., & Lee, K. (2010). Ammonia removal from anaerobic digestion effluent of livestock waste using green alga *Scenedesmus sp.* *Bioresource Technology*, 101(22), 8649–8657.
- Rajivgandhi., G., Ramachandran, G., Chelliah, C.K., Maruthupandy, M., Quero, F., Vijayalakshmi S., AL-Mekhlafi., F.A., Muhammad, A. Wadaan, M.A., Ranjitha, J., & Li, WJ. (2022). Green microalgal strain *Chlorella vulgaris* isolated from industrial wastewater with remediation capacity. *Environmental Technology & Innovation*, 28. 102597.
- Shen, Y., Gao, J., & Li, L. (2017). Municipal wastewater treatment via co-immobilized microalgal-bacterial symbiosis: microorganism growth and nutrients removal, *Bioresource Technology*. 243, 905-913.
- Sutherland, D.L., & Ralph, P.J. (2019). Microalgal bioremediation of emerging contaminants - Opportunities and challenges. *Water research*, 164, 114921.
- Tam, N.F.Y., & Wang, Y.S. (1996). Effect of ammonia concentrations on growth of *Chlorella vulgaris* and nitrogen removal from media. *Bioresource Technology*, 57(1), 45–50.
- Weidong, L., Wang, Z., Wang, X., & Yuan, Z. (2015). Cultivation of *Chlorella sp.* using raw dairy Wastewater for nutrient removal and biodiesel production: characteristics comparison of indoor bench-scale and outdoor pilot-scale cultures. *Bioresource Technology*, 192, 382–388
- Wu, J.Y., Lay, C.H., Chiong, M.C., Chew, K.W., Chen, C.C., Wu, S.Y., Zhou, D., Kumar, G., & Show, P.L. (2020). Immobilized *Chlorella* species mixotrophic cultivation at various textile wastewater concentrations. *Journal of Water Process Engineering*, 38, 101609.
- Zhuang, L.L., Wang, J.H., & Hu, H.Y. (2018). Differences between attached and suspended microalgal cells in ssPBR from the perspective of physiological properties. *Journal of Photochemistry and Photobiology B: Biology*, 181, 164–1