



การศึกษาประสิทธิภาพการกำจัดน้ำเสียด้วยสาหร่าย *Spirulina sp.* RMUTL  
โดยผลิตพลังงานเป็นผลพลอยได้

THE STUDY OF EFFICIENCY *SPIRULINA SP.* RMUTL FOR REMOVAL WASTEWATER  
ENERGY AS BY-PRODUCT

करञ्चिद जिनकाम्<sup>1\*</sup>, निथिवत्त जाम्भूरुत्त<sup>2</sup>, पत्त्रा वण्णपण्णकम्म<sup>3</sup>, सिरपरा चैनेत्र<sup>3</sup>, नन्नपण्णत्त जिनकाम्<sup>4</sup> และพิสิฐ สิริสุริยจันทร<sup>5</sup>  
<sup>1</sup>นักวิชาการศึกษา, <sup>2</sup>ผู้ช่วยศาสตราจารย์, <sup>3</sup>อาจารย์, <sup>4</sup>คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา เชียงใหม่  
<sup>5</sup>นักวิทยาศาสตร์, <sup>6</sup>รองศาสตราจารย์, <sup>7</sup>คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาถึงประสิทธิภาพการกำจัดน้ำเสียของสาหร่าย *Spirulina sp.* RMUTL โดยใช้น้ำทิ้งจากโรงพิมพ์ ความเข้มข้นร้อยละ 20, 40, 60, 80 และ 100 ผลการศึกษา พบว่า ในระดับความเข้มข้นของน้ำเสียที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของสาหร่าย *Spirulina sp.* RMUTL คือ ระดับความเข้มข้นของน้ำเสียร้อยละ 20 มีประสิทธิภาพการกำจัดน้ำเสียในรูปของ TSS, BOD, COD, TN และ TP สูงสุด เท่ากับ ร้อยละ 10.26±2.22, 34.78±0.57, 44.53±1.13, 55.79±1.90 และ 17.59±0.58 ตามลำดับ โดยสาหร่าย *Spirulina sp.* RMUTL มีการเจริญเติบโตสูงสุดมีค่าความหนาแน่นของเซลล์สาหร่าย เท่ากับ 0.54±0.02 และอัตรา การเจริญเติบโตจำเพาะ 0.31±0.02 ต่อวัน มีการผลิตไขมันเฉลี่ยอยู่ที่ 6.56±0.09 ร้อยละต่อน้ำหนักแห้ง  
คำสำคัญ: สาหร่ายสไปรูลิน่า RMUTL, น้ำเสีย, พลังงาน

ABSTRACT

The purpose of this research of this was to study the efficiency of *Spirulina sp.* RMUTL for removal wastewater by using printer waste at the concentrations of 20, 40, 60, 80 and 100%. The results showed that, the suitable waste concentration for maximum growth of *Spirulina sp.* RMUTL was 20%. The maximum removal efficiency was measured as TSS, BOD, COD, Total Nitrogen (TN) and Total Phosphorus (TP) values of 10.26±2.22, 34.78±0.57, 44.53±1.13, 55.79±1.90 and 17.59±0.58%, respectively. The maximum growth of *Spirulina sp.* RMUTL was  $OD_{560}$  0.54±0.02 and specific growth rate was 0.31±0.02 day<sup>-1</sup>, and the lipid content average was 6.56±0.09% by dry weight.

**KEYWORDS:** *Spirulina sp.* RMUTL, Wastewater, Energy

Khanchit Ngoenkhamkhong<sup>1\*</sup>, Nithiwat Jumroonrut<sup>2</sup>, Pattra Wongpankamol<sup>2</sup>, Siraprapa Chainetr<sup>3</sup>,  
Nannaphat Ngoenkhamkhong<sup>4</sup> and Phisit Seesuriyachan<sup>5</sup>

<sup>1</sup>Academic educator, <sup>2</sup>Assistant professor, <sup>3</sup>Lecturer, Faculty of Engineering, Rajamagala University of Technology Lanna, Chiang Mai

<sup>4</sup>Scientist, <sup>5</sup>Associate professor, Faculty of Agro-Industry, Chiang Mai University

## 1. บทนำ

ในปัจจุบันน้ำเสียจากบ้านเรือน และ โรงงานอุตสาหกรรมเป็นปัญหาสำคัญของการเกิดมลภาวะทางน้ำ โดยเฉพาะโรงงานฟอกย้อมสิ่งทอ ซึ่งก่อให้เกิดน้ำเสียในปริมาณมาก และบำบัดได้ยากเนื่องจากเป็นน้ำเสียที่มีความเข้มข้นของสีสูง รวมทั้งมีสารอินทรีย์ และอนินทรีย์เจือปนอยู่ในปริมาณมาก หากปล่อยลงสู่แหล่งน้ำสาธารณะโดยไม่มีการบำบัด ทำให้เกิดผลเสียต่อระบบนิเวศ ซึ่งจะส่งผลกระทบต่อสิ่งมีชีวิตและทำให้แหล่งน้ำเน่าเสีย เป็นอันตรายต่อสัตว์น้ำและมนุษย์ [1] ปัญหาของน้ำเสียภายในโรงพิมพ์นั้นเกิดขึ้นในกระบวนการพิมพ์มากกว่ากระบวนการก่อนพิมพ์ และกระบวนการหลังพิมพ์ โดยขั้นตอนการล้างฟองน้ำที่ใช้ทำความสะอาดหน่วยพิมพ์ใช้น้ำยาเช็ดผ้าที่มีน้ำมันก๊าดเป็นส่วนผสมและหมึกที่หลงเหลืออยู่หลุดออกมาปนเปื้อนในน้ำล้าง ส่งผลให้มีปริมาณน้ำเสียมากกว่ากระบวนการอื่นๆ โรงพิมพ์ในจังหวัดเชียงใหม่ส่วนใหญ่เป็นโรงพิมพ์ที่พิมพ์ในระบบออฟเซต ทั้งโรงพิมพ์ขนาดใหญ่ ขนาดกลางและขนาดเล็ก แต่ยังไม่มียุทธศาสตร์บำบัดน้ำเสียก่อนปล่อยลงสู่ท่อระบาย น้ำเสียที่เกิดขึ้นนั้นจึงส่งกลิ่นไม่พึงประสงค์ต่อบริเวณรอบข้างของโรงงาน ส่งผลกระทบต่อสิ่งมีชีวิตในลำน้ำ อีกทั้งไม่สามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ ดังนั้นจึงต้องมีการจัดการน้ำเสียจากกระบวนการผลิตสิ่งพิมพ์ของโรงงานอุตสาหกรรมการพิมพ์ก่อนการปล่อยน้ำเสียลงแหล่งระบายน้ำเสีย การจัดการน้ำเสียทำได้โดยการบำบัดน้ำเสียในอุตสาหกรรมการพิมพ์เสียก่อน โดยการบำบัดในน้ำเสียที่นิยมใช้ในอุตสาหกรรมการพิมพ์มี 4 วิธี คือ วิธีการบำบัดทางกายภาพ วิธีการบำบัดทางเคมี วิธีการบำบัดทางกายภาพร่วมกับทางเคมี และวิธีการบำบัดทางชีวภาพ [2] ทั้งนี้วิธีการบำบัดทางชีวภาพ เป็นวิธีที่น่าสนใจเพราะมีต้นทุนในการบำบัดต่ำและปลอดภัยกับสิ่งแวดล้อม การบำบัดน้ำเสียทางชีวภาพ โดยใช้สาหร่ายจึงเป็นแนวทางที่น่าสนใจ เนื่องจากสาหร่ายสามารถใช้สารอินทรีย์ที่มีปริมาณสูงในน้ำเสีย เป็นแหล่งคาร์บอนในการเจริญเติบโตและจากรายงานวิจัย พบว่า สาหร่ายบางชนิดยังมีประสิทธิภาพในการกำจัดโลหะหนักในน้ำเสียได้อีกด้วย ดังนั้นการใช้สาหร่ายในการบำบัดน้ำเสียหากมีการควบคุมปัจจัยที่สำคัญ เช่น ปริมาณแหล่งคาร์บอน แหล่งไนโตรเจน และอิทธิพลของความเค็มให้เหมาะสมทำให้สาหร่ายเจริญเติบโตได้ดี ส่งผลให้การสะสมชีวมวลในปริมาณที่สูง ทำให้เพิ่มประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสียมากยิ่งขึ้น จากผลการศึกษา พบว่า มีสาหร่ายน้ำจืดที่มีมากกว่า 50,000 ชนิด [3-4] ที่สามารถบำบัดน้ำเสีย และกำจัดโลหะได้ เช่น สาหร่ายสายพันธุ์ *Chlorella vulgaris* [5] *Chlorella sorokiniana* [6] *Chlorella pyrenoidosa* [7] *Scenedesmus obliquus* และ *Euglena viridis* [8] เป็นต้น คณะผู้วิจัยได้สังเกตเห็นการใช้ประโยชน์จากสาหร่าย *Spirulina* sp. RMUTL ในการลดน้ำเสีย อีกทั้งยังสามารถนำมวลสาหร่ายมาใช้ในการผลิตพลังงานในอนาคตได้ และช่วยลดปัญหาสิ่งแวดล้อมควบคู่กันไปได้อีกด้วย

## 2. วัตถุประสงค์ของการวิจัย

- 2.1 เพื่อศึกษาประสิทธิภาพการกำจัดสารอินทรีย์ในน้ำเสีย ของสาหร่าย *Spirulina* sp. RMUTL
- 2.2 เพื่อศึกษาการผลิตไขมันของสาหร่าย *Spirulina* sp. RMUTL เพื่อนำไปผลิตพลังงานทดแทนในอนาคต

## 3. สมมุติฐานงานวิจัย

สาหร่ายมีความสำคัญในการบำบัดน้ำเสีย เนื่องจากมีคลอโรฟิลล์อยู่ในตัวซึ่งคลอโรฟิลล์จะเป็นส่วนสำคัญที่ทำให้เกิดการสังเคราะห์แสง สาหร่ายสามารถสังเคราะห์คาร์โบไฮเดรตจากคาร์บอนไดออกไซด์และน้ำ แล้วได้ออกซิเจนเป็นผลพลอยได้ โดยคาร์โบไฮเดรตที่ได้จะเป็นสารตั้งต้นในการสร้างเซลล์ใหม่ ส่วนออกซิเจนที่เกิดขึ้นจะช่วยให้แหล่งน้ำหรือน้ำเสียมีปริมาณออกซิเจนละลายน้ำ (Dissolved oxygen) สูงขึ้น [9] ดังนั้นสาหร่ายจะมีบทบาทสำคัญมากในการบำบัดน้ำเสีย สำหรับมวลสาหร่าย

ที่ได้จากระบบบำบัดน้ำเสีย ผลิตเป็นพลังงานทดแทนได้ ปัจจุบันวิธีที่ได้รับความนิยมในการบำบัดน้ำเสียโดยใช้กระบวนการทางชีววิทยา เช่น การใช้สาหร่ายคูดซ์บารอินทรีย์และโลหะหนักเข้าเซลล์จากนั้นเปลี่ยนไปเป็นรูปที่ไม่เป็นพิษทำให้ประหยัดพื้นที่ ต้นทุนค่าสารเคมี และระยะเวลาในการบำบัด [10] ดังนั้นคณะผู้วิจัยจึงมีแนวคิดที่จะศึกษาถึงการใช้ประโยชน์จากสาหร่าย *Spirulina* sp. RMUTL ในการกำจัดสารอินทรีย์จากน้ำเสีย โดยวางกรอบแนวความคิด และตั้งสมมุติฐานของการศึกษาในครั้งนี้ ดังนี้

1. ศึกษาประสิทธิภาพการกำจัดสารอินทรีย์ในน้ำเสียซึ่งเป็นปัญหาทางสิ่งแวดล้อม
2. การบำบัดน้ำเสียโดยวิธีทางชีววิทยาควรเป็นวิธีดีกว่าการบำบัดน้ำเสียโดยวิธีทางเคมี
3. นำมวลสาหร่ายที่ผลิตได้ไปสกัดหาปริมาณไขมันของสาหร่าย *Spirulina* sp. RMUTL เพื่อนำไปผลิตเป็นพลังงานทดแทนในอนาคต

#### 4. วิธีการดำเนินงานวิจัย

4.1 สารเคมี สารเคมีที่ใช้ในการวิเคราะห์ทุกชนิดเป็น Analytical reagent (AR)

4.2 สาหร่ายที่ใช้ในการศึกษาสายพันธุ์ *Spirulina* sp. RMUTL ได้มาจากหลักสูตรวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี เลี้ยงในอาหารเหลวสูตร Zarrouk's medium

4.3 น้ำเสียที่ใช้ในการศึกษาได้มาจาก หจก. อาร์เอสโปรดักส์ซัพพลาย อำเภอเมือง จังหวัดเชียงใหม่

4.4 การเตรียมหัวเชื้อสาหร่ายและการเพิ่มปริมาณ

นำหัวเชื้อสาหร่าย *Spirulina* sp. RMUTL มาเลี้ยงในอาหารเหลวสูตร Zarrouk's medium โดยใช้หัวเชื้อเริ่มต้นมีค่าความหนาแน่นของเซลล์สาหร่าย (Optical density : OD<sub>560</sub>) อยู่ที่ 0.80 มาถ่ายลงถังขนาด 50 ลิตร ที่บรรจุอาหารเหลว ปริมาตร 30 ลิตร เพื่อทำการเพิ่มปริมาณสาหร่าย โดยให้แสงไฟจากหลอดฟลูออโรไลต์ [11] ความเข้มแสงประมาณ 4,000 ลักซ์ โดยให้แสงตลอด 24 ชั่วโมง และให้อากาศจากเครื่องเป่าอากาศ ตลอด 24 ชั่วโมง ทำการเลี้ยงสาหร่ายจนมีค่าความหนาแน่นของเซลล์สาหร่ายอยู่ในช่วง 0.30-0.50 เพื่อใช้เป็นหัวเชื้อตั้งต้นในการทดลองขั้นต่อไป

4.5 ศึกษาประสิทธิภาพในการกำจัดสารอินทรีย์ในน้ำเสีย รวมไปถึงการผลิตไขมันของสาหร่าย *Spirulina* sp. RMUTL

นำน้ำเสียมาปรับความเข้มข้นต่างๆ กับน้ำกลั่น 5 ระดับความเข้มข้น โดยแบ่งการทดลองออกเป็น 5 ชุดการทดลอง ชุดการทดลองละ 3 ซ้ำ โดยทำการทดลองในถังปฏิกรณ์ขนาด 10 ลิตร พื้นที่ทำการ 8 ลิตร โดยในแต่ละระดับความเข้มข้นจะมีน้ำเสียจากโรงพิมพ์คือน้ำกลั่นร้อยละ 20, 40, 60, 80 และร้อยละ 100 ดังนี้

Treatment 1 (T1)	1.6 ลิตร : 6.4 ลิตร (ร้อยละ 20)
Treatment 2 (T2)	3.2 ลิตร : 5.8 ลิตร (ร้อยละ 40)
Treatment 3 (T3)	4.8 ลิตร : 3.2 ลิตร (ร้อยละ 60)
Treatment 4 (T4)	6.4 ลิตร : 1.6 ลิตร (ร้อยละ 80)
Treatment 5 (T5)	8 ลิตร : 0 ลิตร (ร้อยละ 100)

นำหัวเชื้อสาหร่ายที่เพาะเลี้ยงไว้ โดยมีค่าความหนาแน่นของเซลล์สาหร่าย อยู่ในช่วง 0.30-0.50 เติมน้ำลงในชุดการทดลองทุกชุดการทดลอง ร้อยละ 2 โดยเติมอากาศจากปั๊มเติมอากาศตลอด 24 ชั่วโมง โดยให้แสงไฟจากหลอดฟลูออโรไลต์ ค่าความเข้มแสงประมาณ 4,000 ลักซ์ ตลอด 24 ชั่วโมง เป็นเวลา 30 วัน วิเคราะห์ตัวอย่างทุกๆ 5 วัน โดยทำการวิเคราะห์ค่าของแข็งแขวนลอย

ทั้งหมด, ค่าความเป็นกรดต่าง, ค่าบีโอดี, ค่าซีโอดี, ไนโตรเจนทั้งหมด และค่าฟอสฟอรัสทั้งหมด เพื่อศึกษาคุณภาพน้ำทิ้งก่อนและหลังการเพาะเลี้ยงสาหร่าย (ตารางที่ 1) และศึกษาอัตราการเจริญเติบโตในรูปของความหนาแน่นของเซลล์สาหร่ายและอัตราการเจริญเติบโตจำเพาะ เพื่อดูแนวโน้มการเจริญเติบโต รวมไปถึงวิเคราะห์หาปริมาณไขมันของสาหร่าย

ตารางที่ 1 พารามิเตอร์ และวิธีวิเคราะห์ [11-12]

พารามิเตอร์ที่ใช้ในการวิเคราะห์	วิธีวิเคราะห์
1. ค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH)	pH meter
2. ของแข็งแขวนลอยทั้งหมด (TSS)	Total suspended solids dried at 103-105 °C
3. บีโอดี (BOD)	5-day BOD Test
4. ซีโอดี (COD)	Close reflux method
5. ไนโตรเจนทั้งหมด (Total Nitrogen)	Kjeldahl method
6. ฟอสฟอรัสทั้งหมด (Total P)	Vananomolybdophosphoric acid method
7. ปริมาณไขมัน (Lipid content)	Soxhlet extraction

#### 4.6 การรวบรวมข้อมูล

นำข้อมูลมาวิเคราะห์ผลการทดสอบทางสถิติโดยใช้โปรแกรม Minitab version 16 (Minitab Inc. USA) และวิเคราะห์ความแตกต่างในแนวนอนด้วยวิธี Tukey simultaneous ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

### 5. ผลการวิจัยและอภิปรายผล

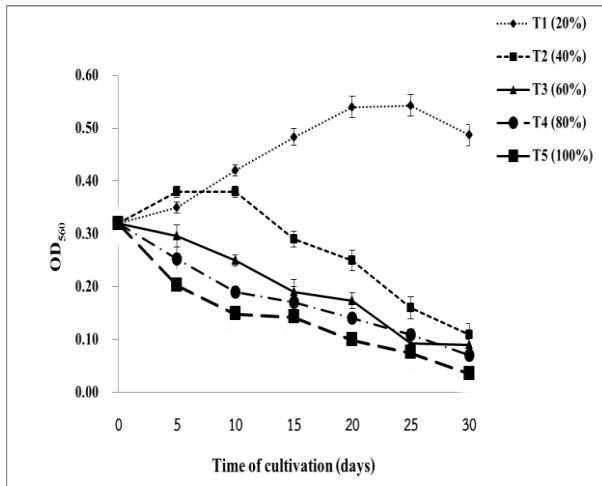
#### 5.1 ผลการศึกษาถึงค่าความเป็นกรดต่างของสาหร่าย *Spirulina* sp. RMUTL ในแต่ละระดับความเข้มข้นของน้ำเสีย

จากการศึกษาถึงค่าความเป็นกรดต่างของสาหร่าย *Spirulina* sp. RMUTL ในแต่ละระดับความเข้มข้นของน้ำเสีย พบว่า มีการเปลี่ยนแปลงค่าความเป็นกรดต่างอยู่ในช่วง 9.50-11.20 ซึ่งเหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของสาหร่าย แต่อย่างไรก็ตามในการเพาะเลี้ยงสาหร่าย *Spirulina* sp. RMUTL นั้นจะมีการควบคุมค่าความเป็นกรดต่างให้อยู่ในช่วง 9.50-11.20 ถ้ามีค่าต่ำกว่าต้องการมีการปรับค่าความเป็นกรดต่างด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ และจากรายงานวิจัยของ Michele & Jorge (2007) พบว่าสาหร่าย *Spirulina* sp. เจริญเติบโตได้ดีและมีมวลสาหร่ายมากๆ จะมีค่าความเป็นกรดต่างอยู่ในช่วง 9.04-9.88 และ 9.00-9.50 [14]

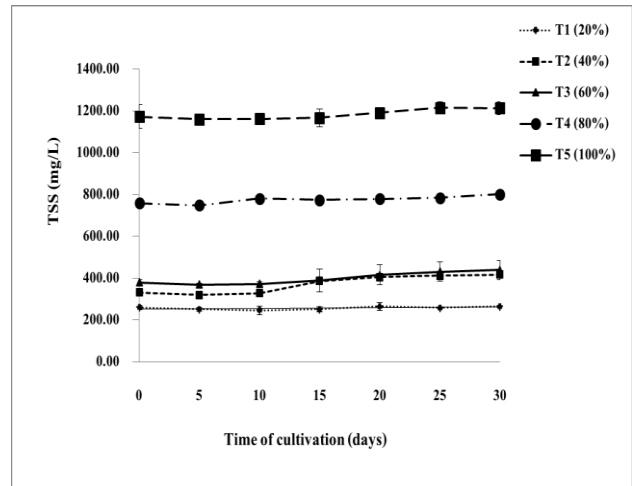
#### 5.2 ผลการศึกษาถึงการเจริญเติบโตของสาหร่าย *Spirulina* sp. RMUTL ในแต่ละระดับความเข้มข้นของน้ำเสีย

จากการศึกษาถึงการเจริญเติบโตของสาหร่าย *Spirulina* sp. RMUTL ที่ระดับความเข้มข้นของน้ำเสียร้อยละ 20, 40, 60, 80 และ 100 พบว่า น้ำเสียที่ระดับความเข้มข้นร้อยละ 20 มีค่าความหนาแน่นของเซลล์สาหร่ายค่อยๆ เพิ่มขึ้น สูงสุดในวันที่ 20 ของการทดลอง คือ  $0.54 \pm 0.02$  ส่วนน้ำเสียที่ระดับความเข้มข้นร้อยละ 40 มีค่าความหนาแน่นของเซลล์สาหร่ายสูงสุดในวันที่ 5 ของการทดลอง คือ  $0.37 \pm 0.04$  ในขณะที่น้ำเสียที่ระดับความเข้มข้นร้อยละ 60, 80 และ 100 ค่าความหนาแน่นของเซลล์สาหร่ายมีค่าลดลงอย่างต่อเนื่องและเมื่อสิ้นสุดการทดลองพบว่ามีค่าความหนาแน่นของเซลล์สาหร่ายน้อยกว่าตอนเริ่มต้นการทดลอง (รูปที่ 2)

เมื่อพิจารณาค่าความหนาแน่นของเซลล์สาหร่ายในน้ำเสียแต่ละระดับความเข้มข้น พบว่าเมื่อเวลาผ่านไปค่าความหนาแน่นของเซลล์สาหร่าย มีแนวโน้มลดลงในทุกชุดการทดลอง และพบว่าน้ำเสียที่ระดับความเข้มข้นร้อยละ 20 เท่านั้นที่สาหร่าย *Spirulina* sp. RMUTL เจริญเติบโตได้ดี ในขณะที่น้ำเสียระดับความเข้มข้นร้อยละ 40, 60, 80 และ 100 สาหร่ายไม่สามารถเจริญเติบโตได้ เนื่องจากสาหร่ายไม่สามารถปรับตัวได้



รูปที่ 2 การเจริญเติบโตของสาหร่าย *Spirulina* sp. RMUTL



รูปที่ 3 ประสิทธิภาพการกำจัดของแข็งแขวนลอยทั้งหมดในน้ำเสียของสาหร่าย *Spirulina* sp. RMUTL

จากตารางที่ 2 พบว่า ค่าอัตราการเจริญเติบโตจำเพาะสูงสุดของสาหร่าย *Spirulina* sp. RMUTL ในระดับความเข้มข้นของน้ำเสียร้อยละ 20, 40, 60, 80 และ 100 มีค่าอัตราการเจริญเติบโตจำเพาะสูงสุดอยู่ที่  $0.31 \pm 0.02$ ,  $0.24 \pm 0.01$ ,  $0.24 \pm 0.01$ ,  $0.07 \pm 0.01$  และ  $0.03 \pm 0.01$  ต่อวัน ตามลำดับ และเมื่อนำข้อมูลอัตราการเจริญเติบโตจำเพาะที่ได้จากการศึกษาไปวิเคราะห์ค่าความแตกต่างของลักษณะการเจริญเติบโตจำเพาะ พบว่า ในแต่ละระดับความเข้มข้นของน้ำเสียร้อยละ 20 (T1), 40 (T2), 80 (T4) และ 100 (T5) สาหร่ายมีอัตราการเจริญเติบโตจำเพาะที่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ และยังพบความสัมพันธ์ระหว่างค่าอัตราการเจริญเติบโตกับประสิทธิภาพการกำจัดสารอินทรีย์ของสาหร่าย *Spirulina* sp. RMUTL พบว่า ในช่วงแรกสาหร่ายจะเข้าสู่ช่วงปรับตัว (Log phase) เข้ากับสภาวะและเข้าสู่ช่วงเจริญเติบโต (Exponential phase) จึงมีความต้องการให้สารอินทรีย์ในปริมาณมากเพื่อใช้ในการเจริญเติบโต ทำให้สาหร่ายมีประสิทธิภาพในการกำจัดสารอินทรีย์ได้ดี หลังจากนั้นสาหร่ายจะเข้าสู่ระยะการเจริญเติบโตช้าลง (Phase of declining relative growth) และเข้าสู่การเจริญเติบโตหยุดนิ่ง (Stationary phase) ทำให้ค่าอัตราการเจริญเติบโตจำเพาะและประสิทธิภาพการกำจัดสารอินทรีย์ของสาหร่ายมีแนวโน้มลดลงเมื่อเวลาเพิ่มขึ้น

ตารางที่ 2 ค่าอัตราการเจริญเติบโตจำเพาะสูงสุดของสาหร่าย *Spirulina* sp. RMUTL ในแต่ละระดับความเข้มข้นของน้ำเสีย

สาหร่าย	อัตราการเจริญเติบโตจำเพาะสูงสุด (ต่อวัน)				
	T1	T2	T3	T4	T5
<i>Spirulina</i> sp. RMUTL	0.31±0.02A	0.24±0.01B	0.10±0.02C	0.07±0.01C	0.03±0.01D

หมายเหตุ : ค่าเฉลี่ย ( $\pm$  S.D.) ตัวอักษร A, B, C และ D ที่แตกต่างกันในแนวนอนแสดงว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ด้วยวิธี Tukey simultaneous

### 5.3 ผลการศึกษาประสิทธิภาพการกำจัดค่าของแข็งแขวนลอยทั้งหมดของสาหร่าย *Spirulina* sp. RMUTL

#### 1) ค่าของแข็งแขวนลอยทั้งหมด (Total suspended solids; TSS)

จากการศึกษาประสิทธิภาพการกำจัดค่าของแข็งแขวนลอยทั้งหมดลดลงสูงสุดของสาหร่าย *Spirulina* sp. RMUTL ที่ระดับความเข้มข้นของน้ำเสียร้อยละ 20, 40, 60, 80 และ 100 คือ 246.67±20.28, 320.00±5.00, 370.00±10.33, 750.00±10.00 และ 1,140.00±17.32 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ (รูปที่ 3) คิดเป็นประสิทธิภาพในการกำจัดค่าของแข็งแขวนลอยทั้งหมดสูงสุดคือ ร้อยละ 10.26±2.22, 3.52±1.52, 2.63±1.32, 1.32±0.00 และ 0.97±0.25 ตามลำดับ และพบว่าทุกระดับความเข้มข้นของน้ำเสีย เมื่อระยะเวลาเพิ่มขึ้นปริมาณค่าของแข็งแขวนลอยทั้งหมดจะเพิ่มมากขึ้นทุกระดับความเข้มข้นน้ำเสีย ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากการตายลงของสาหร่าย ทำให้ซากของสาหร่ายปะปนอยู่ในน้ำเสีย

### 5.4 ผลการศึกษาประสิทธิภาพการกำจัดสารอินทรีย์ของสาหร่าย *Spirulina* sp. RMUTL

#### 1) ปริมาณสารอินทรีย์ที่อยู่ในรูปบีโอดี (Biochemical oxygen demand; BOD)

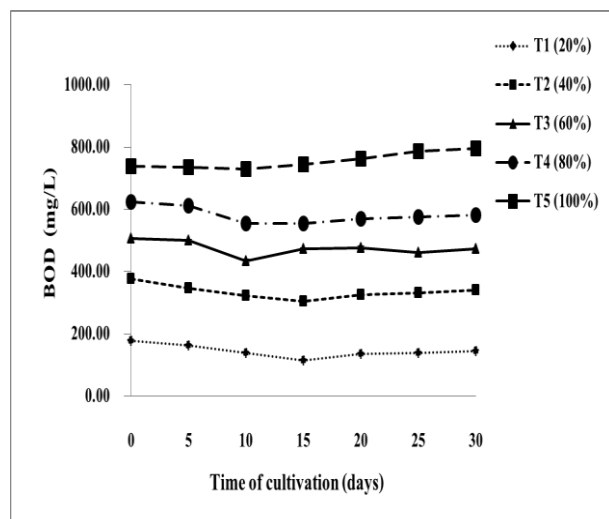
จากการศึกษาประสิทธิภาพการกำจัดสารอินทรีย์ที่อยู่ในรูปบีโอดีของสาหร่าย *Spirulina* sp. RMUTL ที่ระดับความเข้มข้นของน้ำเสียร้อยละ 20, 40, 60, 80 และ 100 พบว่า ที่ระดับความเข้มข้นของน้ำเสียร้อยละ 20 และร้อยละ 40 ค่าบีโอดีค่อยๆ ลดลง โดยพบว่าที่ระดับความเข้มข้นน้ำเสียร้อยละ 20 นั้น ค่าบีโอดีของน้ำเสียมีค่าลดลงต่ำสุดในวันที่ 15 มีค่าอยู่ที่ 115.00±1.00 มิลลิกรัมต่อลิตร คิดเป็นประสิทธิภาพการกำจัดสารอินทรีย์ในรูปของบีโอดีร้อยละ 34.78±0.57 ส่วนระดับความเข้มข้นของน้ำเสียร้อยละ 40 พบว่า ค่าบีโอดีของน้ำเสียมีค่าลดลงต่ำสุดในวันที่ 15 มีค่าอยู่ที่ 305.00±2.65 มิลลิกรัมต่อลิตร คิดเป็นประสิทธิภาพการกำจัดสารอินทรีย์ในรูปของบีโอดีร้อยละ 19.20±0.70 หลังจากนั้นค่าบีโอดีค่อยๆ เพิ่มขึ้นตามระยะเวลา ส่วนระดับความเข้มข้นน้ำเสียร้อยละ 60, 80 และ 100 มีประสิทธิภาพการกำจัดสารอินทรีย์ในรูปของบีโอดีร้อยละ 14.47±1.14, 11.09±0.93 และ 0.99±0.49 ตามลำดับ และพบว่าค่าบีโอดีมีแนวโน้มสูงขึ้นเมื่อเวลาการทดลองนานขึ้น (รูปที่ 4)

เมื่อนำข้อมูลประสิทธิภาพการกำจัดสารอินทรีย์ที่อยู่ในรูปของบีโอดีของสาหร่าย *Spirulina* sp. RMUTL ในแต่ละระดับความเข้มข้นของน้ำเสีย ไปวิเคราะห์ค่าความแตกต่างของลักษณะการกำจัดสารอินทรีย์ที่อยู่ในรูปของบีโอดี พบว่า ในแต่ละระดับความเข้มข้นของน้ำเสีย มีค่าประสิทธิภาพการกำจัดสารอินทรีย์ที่อยู่ในรูปของบีโอดีแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (ตารางที่ 3) พบว่า ระดับความเข้มข้นของน้ำเสียร้อยละ 20 (T1) มีประสิทธิภาพการกำจัดสารอินทรีย์ที่อยู่ในรูปของบีโอดีดีที่สุด

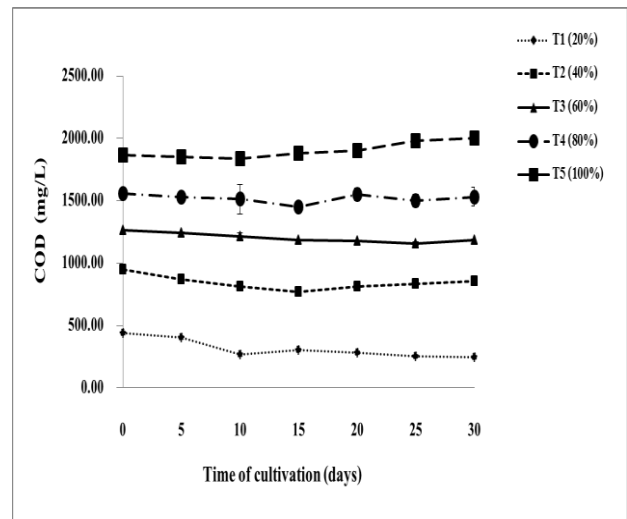
#### 2) ปริมาณสารอินทรีย์ที่อยู่ในรูปซีโอดี (Chemical oxygen demand; COD)

จากการศึกษาประสิทธิภาพการกำจัดสารอินทรีย์ที่อยู่ในรูปซีโอดีของสาหร่าย *Spirulina* sp. RMUTL ที่ระดับความเข้มข้นของน้ำเสียร้อยละ 20, 40, 60, 80 และ 100 โดยพบว่าค่าซีโอดีลดลงต่ำสุดอยู่ที่ 245.0±5.00, 768.33±2.89, 1,156.67±11.55,

1,450.00±100.00 และ 1,838.33±12.58 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ (รูปที่ 5) คิดเป็นประสิทธิภาพในการกำจัดสารอินทรีย์ที่อยู่ในรูปซีโอดีสูงสุด คือ ร้อยละ 44.53±1.13, 18.84±0.30, 8.39±0.91, 6.85±6.42 และ 1.52±0.67 ตามลำดับ (ตารางที่ 3) และที่ระดับความเข้มข้นของน้ำเสียร้อยละ 20 พบว่า สารอินทรีย์ที่อยู่ในรูปซีโอดีมีค่าค่อยๆ ลดลงอย่างช้าๆ ในวันแรกๆ เนื่องจากสาหร่ายใช้เวลาในการปรับตัวหลังจากสาหร่ายปรับตัวได้แล้วสาหร่ายกำลังจะเติบโตเข้าสู่ในช่วง Exponential phase ทำให้มีประสิทธิภาพในการกำจัดสารอินทรีย์ที่อยู่ในรูปซีโอดีได้ดี โดยวันที่ 30 ของการทดลองค่าซีโอดีมีค่าต่ำสุด ส่วนที่ระดับความเข้มข้นของน้ำเสียร้อยละ 60, 80 และ 100 พบว่า สาหร่ายไม่สามารถเจริญเติบโตและมีอัตราการตายเพิ่มขึ้นส่งผลให้มีปริมาณสารอินทรีย์ที่อยู่ในรูปซีโอดีเพิ่มขึ้น (รูปที่ 5) และเมื่อนำข้อมูลประสิทธิภาพการกำจัดสารอินทรีย์ที่อยู่ในรูปของซีโอดีของสาหร่าย *Spirulina* sp. RMUTL ในแต่ละระดับความเข้มข้นของน้ำเสียไปวิเคราะห์ค่าความแตกต่างของลักษณะประสิทธิภาพการกำจัดสารอินทรีย์ที่อยู่ในรูปของซีโอดี พบว่า ในแต่ละระดับความเข้มข้นของน้ำเสียร้อยละ 20 (T1) และร้อยละ 40 (T2) มีประสิทธิภาพการกำจัดสารอินทรีย์ที่อยู่ในรูปของซีโอดีแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ส่วนในระดับความเข้มข้นของน้ำเสียร้อยละ 60 (T3), 80 (T4) และร้อยละ 100 (T5) ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ พบว่า ระดับความเข้มข้นของน้ำเสียร้อยละ 20 (T1) มีประสิทธิภาพการกำจัดสารอินทรีย์ที่อยู่ในรูปซีโอดีดีที่สุด



รูปที่ 4 ประสิทธิภาพการกำจัดสารอินทรีย์ที่อยู่ในรูปของบีโอดีของสาหร่าย *Spirulina* sp. RMUTL



รูปที่ 5 ประสิทธิภาพการกำจัดสารอินทรีย์ที่อยู่ในรูปซีโอดีของสาหร่าย *Spirulina* sp. RMUTL

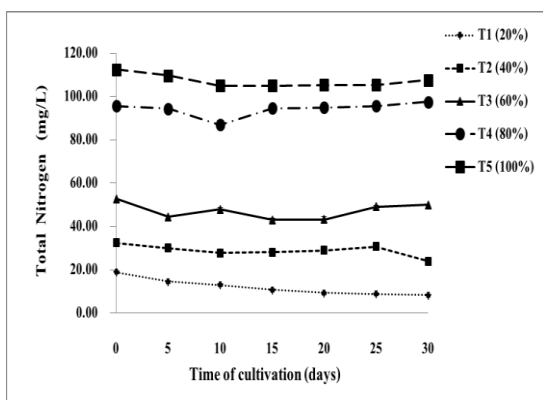
### 3) ปริมาณสารอินทรีย์ที่อยู่ในรูปไนโตรเจนทั้งหมด (Total Nitrogen; TN)

จากการศึกษาประสิทธิภาพการกำจัดสารอินทรีย์ที่อยู่ในรูปไนโตรเจนทั้งหมดของสาหร่าย *Spirulina* sp. RMUTL ที่ระดับความเข้มข้นของน้ำเสียร้อยละ 20, 40, 60, 80 และ 100 โดยพบว่าค่าไนโตรเจนทั้งหมดลดลงต่ำสุดอยู่ที่ 8.40±0.36, 24.00±1.00, 43.00±1.00, 87.00±2.00 และ 105.00±1.00 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ คิดเป็นประสิทธิภาพในการกำจัดสารอินทรีย์ที่อยู่ในรูปไนโตรเจนทั้งหมดสูงสุด คือ ร้อยละ 55.79±1.90, 25.93±3.09, 18.41±1.90, 9.06±2.09 และ 6.69±0.89 ตามลำดับ (ตารางที่ 3) โดยที่ระดับความเข้มข้นของน้ำเสียร้อยละ 20 มีประสิทธิภาพในการกำจัดสารอินทรีย์ที่อยู่ในรูปไนโตรเจนทั้งหมดดีกว่าที่ระดับความ

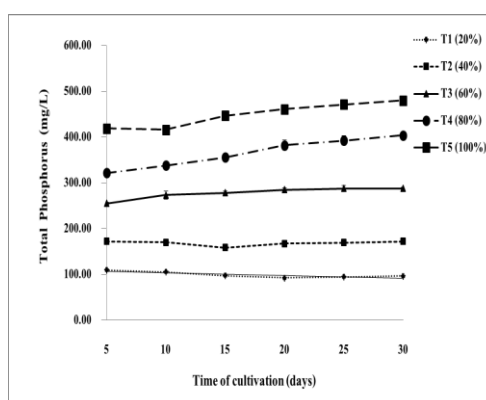
เข้มข้นของน้ำเสียร้อยละ 40, 60, 80 และ 100 และยังพบว่าที่ระดับความเข้มข้นของน้ำเสียร้อยละ 60, 80 และ 100 ปริมาณสารอินทรีย์ที่อยู่ในรูปไนโตรเจนทั้งหมดมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อเวลานานขึ้น (รูปที่ 6) และเมื่อนำข้อมูลประสิทธิภาพการกำจัดสารอินทรีย์ที่อยู่ในรูปของไนโตรเจนทั้งหมดของสาหร่าย *Spirulina* sp. RMUTL ในแต่ละระดับความเข้มข้นของน้ำเสียไปวิเคราะห์ค่าความแตกต่างของลักษณะประสิทธิภาพการกำจัดสารอินทรีย์ที่อยู่ในรูปของไนโตรเจนทั้งหมด พบว่า ในแต่ละระดับความเข้มข้นของน้ำเสียร้อยละ 20 (T1), 40 (T2) และร้อยละ 60 (T3) มีประสิทธิภาพการกำจัดสารอินทรีย์ที่อยู่ในรูปของไนโตรเจนทั้งหมดแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ส่วนในระดับความเข้มข้นของน้ำเสียร้อยละ 80 (T4) และร้อยละ 100 (T0) ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (ตารางที่ 3) โดยพบว่า ระดับความเข้มข้นของน้ำเสียร้อยละ 20 (T1) มีประสิทธิภาพการกำจัดสารอินทรีย์ที่อยู่ในรูปของไนโตรเจนทั้งหมดดีที่สุด

#### 4) ปริมาณสารอินทรีย์ที่อยู่ในรูปฟอสฟอรัสทั้งหมด (Total Phosphorus; TP)

จากการศึกษาประสิทธิภาพการกำจัดสารอินทรีย์ที่อยู่ในรูปฟอสฟอรัสทั้งหมดของสาหร่าย *Spirulina* sp. RMUTL ที่ระดับความเข้มข้นของน้ำเสียร้อยละ 20, 40, 60, 80 และ 100 โดยพบว่าค่าฟอสฟอรัสทั้งหมดลดลงต่ำสุดอยู่ที่  $92.77 \pm 0.65$ ,  $159.00 \pm 1.00$ ,  $246.67 \pm 5.77$ ,  $321.67 \pm 2.89$  และ  $416.33 \pm 4.04$  มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ (รูปที่ 7) โดยมีประสิทธิภาพในการกำจัดสารอินทรีย์ที่อยู่ในรูปฟอสฟอรัสทั้งหมดสูงสุดคือร้อยละ 17.59 $\pm$ 0.58, 9.78 $\pm$ 0.57, 7.67 $\pm$ 2.16, 6.31 $\pm$ 0.84 และ 1.77 $\pm$ 0.95 ตามลำดับ (ตารางที่ 3) และที่ระดับความเข้มข้นของน้ำเสียร้อยละ 20 มีประสิทธิภาพในการกำจัดสารอินทรีย์ที่อยู่ในรูปฟอสฟอรัสทั้งหมดดีกว่าที่ระดับความเข้มข้นของน้ำเสียร้อยละ 40, 60, 80 และ 100 และยังพบว่าที่ระดับความเข้มข้นของน้ำเสียร้อยละ 60, 80 และ 100 ปริมาณสารอินทรีย์ที่อยู่ในรูปฟอสฟอรัสทั้งหมดมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อเวลานานขึ้น และเมื่อนำข้อมูลประสิทธิภาพการกำจัดสารอินทรีย์ที่อยู่ในรูปของฟอสฟอรัสทั้งหมดของสาหร่าย *Spirulina* sp. RMUTL ในแต่ละระดับความเข้มข้นของน้ำเสียไปวิเคราะห์ค่าความแตกต่างของลักษณะประสิทธิภาพการกำจัดสารอินทรีย์ที่อยู่ในรูปของฟอสฟอรัสทั้งหมด พบว่า ในแต่ละระดับความเข้มข้นของน้ำเสียร้อยละ 20 (T1), 40 (T2), 80 (T4) และร้อยละ 100 (T0) มีประสิทธิภาพการกำจัดสารอินทรีย์ที่อยู่ในรูปของฟอสฟอรัสทั้งหมดแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ส่วนในระดับความเข้มข้นของน้ำเสียร้อยละ 60 (T3) และร้อยละ 80 (T4) ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยพบว่า ระดับความเข้มข้นของน้ำเสียร้อยละ 20 (T1) มีประสิทธิภาพการกำจัดสารอินทรีย์ที่อยู่ในรูปของฟอสฟอรัสทั้งหมดดีที่สุด



รูปที่ 6 ประสิทธิภาพการกำจัดสารอินทรีย์ที่อยู่ในรูปไนโตรเจนทั้งหมดของสาหร่าย *Spirulina* sp. RMUTL



รูปที่ 7 ประสิทธิภาพการกำจัดสารอินทรีย์ที่อยู่ในรูปฟอสฟอรัสทั้งหมดของสาหร่าย *Spirulina* sp. RMUTL



**ตารางที่ 3** ประสิทธิภาพการกำจัดปริมาณสารอินทรีย์สูงสุดที่อยู่ในรูปบีโอดี (BOD) ซีโอดี (COD) ไนโตรเจนทั้งหมด (TN) และฟอสฟอรัสทั้งหมด (TP) ของสาหร่าย *Spirulina* sp. RMUTL ในแต่ละระดับความเข้มข้นของน้ำเสีย

ตัวอย่าง	ประสิทธิภาพการกำจัดสารอินทรีย์			
	BOD (mg/L)	COD (mg/L)	TN (mg/L)	TP (mg/L)
Treatment 1 (T1)	34.78±0.57A	44.53±1.13A	55.79±1.90A	17.59±0.58A
Treatment 2 (T2)	19.20±0.70B	18.84±0.30B	25.93±3.09B	9.78±0.57B
Treatment 3 (T3)	14.47±1.14C	8.39±0.91C	9.06±2.09C	7.67±2.16BC
Treatment 4 (T4)	11.09±0.93D	6.85±6.42C	18.41±1.90D	6.31±0.84C
Treatment 5 (T5)	0.99±0.49E	1.52±0.67C	6.69±0.89D	1.77±0.95D

หมายเหตุ : ค่าเฉลี่ย (± S.D.) ตัวอักษร A, B, C, D และ E ที่แตกต่างกันในแนวดิ่งแสดงว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ด้วยวิธี Tukey simultaneous

**ตารางที่ 4** ผลของระดับความเข้มข้นของน้ำเสียต่อการผลิตไขมันของสาหร่าย *Spirulina* sp. RMUTL

สาหร่าย	ระดับความเข้มข้นของน้ำเสีย				
	T1	T2	T3	T4	T5
<i>Spirulina</i> sp. RMUTL (% by weight)	6.56±0.09A	5.49±0.50B	4.94±0.07BC	4.46±0.21C	3.12±0.12D

หมายเหตุ : ค่าเฉลี่ย (± S.D.) ตัวอักษร A, B, C และ D ที่แตกต่างกันในแนวนอนแสดงว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ด้วยวิธี Tukey simultaneous

### 5.5 การผลิตปริมาณไขมัน (Lipid content) ของสาหร่าย *Spirulina* sp. RMUTL

การศึกษาปริมาณไขมันของสาหร่าย *Spirulina* sp. RMUTL ในระดับความเข้มข้นของน้ำเสียร้อยละ 20, 40, 60, 80 และ 100 มีการผลิตไขมันเฉลี่ยที่ 6.56±0.09, 5.49±0.50, 4.94±0.07, 4.46±0.21 และ 3.12±0.12 ร้อยละต่อน้ำหนักแห้ง ตามลำดับ (ตารางที่ 4) และเมื่อนำข้อมูลการผลิตไขมันของสาหร่าย *Spirulina* sp. RMUTL ในแต่ละระดับความเข้มข้นของน้ำเสียไปวิเคราะห์ค่าความแตกต่างของลักษณะการผลิตไขมันของสาหร่าย พบว่า ในแต่ละระดับความเข้มข้นของน้ำเสียร้อยละ 20 (T1), 40 (T2), 80 (T4) และร้อยละ 100 (T5) มีการผลิตไขมันแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ส่วนในระดับความเข้มข้นของน้ำเสียร้อยละ 60 (T3) และร้อยละ 80 (T4) ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยพบว่าระดับความเข้มข้นของน้ำเสียร้อยละ 20 (T1) มีการผลิตไขมันดีที่สุด อาจกล่าวได้ว่าปริมาณไขมันของสาหร่ายมีปริมาณน้อยอาจมาจากสายพันธุ์ของสาหร่ายและผลของระดับความเข้มข้นของน้ำเสียอาจส่งผลต่อการสะสมของปริมาณไขมัน แต่อย่างไรก็ตามการสะสมปริมาณไขมันของสาหร่ายจะต้องอยู่ภายใต้สภาวะที่เหมาะสม ต้องมีองค์ประกอบต่างๆ กัน เช่น สายพันธุ์ของสาหร่าย ความเข้มข้นของปริมาณสารอาหารที่ใช้ อุณหภูมิ ความเข้มของแสง รวมไปถึงองค์ประกอบของถังไบโอริแอกเตอร์

## 6. สรุปผล

การศึกษาประสิทธิภาพการกำจัดสารอินทรีย์ในน้ำเสียด้วยสาหร่าย *Spilurina* sp. RMUTL ผลการศึกษา พบว่า ในระดับความเข้มข้นของน้ำเสียร้อยละ 20 มีปริมาณสารอินทรีย์และมีประสิทธิภาพการกำจัดสารอินทรีย์ในรูปของของแข็งทั้งหมด บีโอดี ซีโอดี ในโตรเจนทั้งหมด และฟอสฟอรัสทั้งหมด ดีว่าในระดับความเข้มข้นของน้ำเสียร้อยละ 40, 60, 80 และ 100 โดยมีค่าลดลงสูงสุด คือ  $246.67 \pm 20.82$ ,  $115.00 \pm 1.00$ ,  $245.00 \pm 5.00$ ,  $8.40 \pm 0.36$  และ  $92.77 \pm 0.65$  มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ คิดเป็นประสิทธิภาพการกำจัดน้ำเสียร้อยละ  $10.26 \pm 2.22$ ,  $34.78 \pm 0.57$ ,  $44.53 \pm 1.13$ ,  $55.79 \pm 1.90$  และ  $17.59 \pm 0.58$  ตามลำดับ โดยสาหร่าย *Spirulina* sp. RMUTL มีการเจริญเติบโตสูงสุดมีค่าความหนาแน่นของเซลล์สาหร่ายเท่ากับ  $0.54 \pm 0.02$  และอัตราการเจริญเติบโตจำเพาะ  $0.31 \pm 0.02$  ต่อวัน มีการผลิตไบโอมันเฉลี่ยอยู่ที่  $6.56 \pm 0.09$  ร้อยละต่อน้ำหนักแห้ง

## กิตติกรรมประกาศ

โครงการวิจัยนี้ได้รับทุนสนับสนุนจากสำนักงานคณะกรรมการการวิจัยแห่งชาติ

## เอกสารอ้างอิง

- [1] เปี่ยมศักดิ์ เมนะเสวต, แหล่งน้ำกับปัญหามลพิษ, กรุงเทพฯ: พิมพ์ครั้งที่ 2 สำนักพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2543.
- [2] ภาคภูมิ ศรีธรรมพินิจ, การกำจัดสีของน้ำเสียที่เกิดจากกระบวนการสร้างภาพแม่พิมพ์โดยวิธีการตกตะกอน, โครงการศึกษาระดับปริญญาตรี, มหาวิทยาลัยราชภัฏสวนสุนันทา กรุงเทพฯ, 2553.
- [3] Usmani, M. and Sultana, H. Use of microalgae for the removal of environmental pollutants, *International Journal of Scientific World*, 2015, 3 (1), pp. 1-11.
- [4] ทศพร ชงทอง, การกำจัดไนโตรเจนและฟอสฟอรัสในน้ำทิ้งจากแหล่งชุมชนโดยใช้สาหร่าย, วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, 2529.
- [5] Ting, Y.P., Lawson, F. and Prince, I.G. Uptake of cadmium and zinc by the algae *Chlorella vulgaris*, Part I. Individual iron species, *Biotechnol Bioeng*, 1989, 34, pp. 990-999.
- [6] Hernandez, J.P., De-Bashan, L.E. and Badhan, Y. Starvation enhances phosphorus Removal from wastewater by the microalgae *Chlorella* sp. co-immobilized with *Azopirillum brasilense*. *Enzyme Microb Technol*, 2006, 38, pp. 190-198.
- [7] Aziz, M.A. and Ng, W.J. Feasibility of wastewater treatment using the activated-algae process, *Bioresource Technology*, 1992, 40, pp. 205-208.
- [8] De-Godos, I., Vargas, V.A., Blanco, S., GarciaGonzalez, M.C., Soto, R., Gracia-Encina, P.A., Becares, E. and Muioz, R. A comparative evaluation of microalgae from the Degradation of piggery wastewater under photosynthetic oxygenation, *Bioresour Technol*, 2010, 101, pp. 5150-5158.
- [9] สันทัศน์ ศรีอนันต์ไพบูลย์, ระบบบำบัดน้ำเสีย, กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์ท็อป จำกัด, 2557.
- [10] Wang, W., J.W., Gorsuch and J.S. Hughes. *Plants for environmental studies*, New York: Lewis Publishers, 1997.
- [11] ศิริวรรณ ศรีสรจันทร์, การศึกษาสภาวะการเลี้ยงจุลสาหร่ายที่มีผลต่อปริมาณ โปรตีนและไขมัน. *วารสารวิศวกรรมศาสตร์มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ*, 2555, 7 (2), หน้า 62-71.
- [12] American Public Health Association (APHA), The American Water works Association (AWWA), The Water Environment Federation (WEF). 2005. *Standard Methods for extermination of water and wastewater*. 21<sup>st</sup> edition. Washington, DC.
- [13] Michele, G.D.M., & Jorge, A.V.C. Carbon dioxide fixation by *Chlorella kessleri*, *C. vulgaris*, *Scenesesmus obliquus* and *Spirulina* sp. cultivated in flasks and vertical tubular photobioreactor, *Jornal of Biotechnol*, 2007, 29, pp. 1349-1352.
- [14] Piyanast, S., & Sililuck, I. Effects of different initial pH of modified zarrouk medium on large-Scale *Spirulina maxima* culture, *Journal of Medical and Bioengineering*, 2013, 2, pp. 266-269.