

การบำบัดน้ำเสียจากโรงงานผลิตไบโอดีเซลด้วยสาหร่ายขนาดเล็ก *Scenedesmus dimorphus*

Wastewater Treatment from Biodiesel Production Plant

Using Microalgae *Scenedesmus dimorphus*

ทักษพร รัตนมุกข์ (Tuksaporn Rattanamuk)* ดร. อัจฉราภรณ์ เปี่ยมสมบูรณ์ (Ajcharaporn Piumsomboon)**

ดร. วรวิทย์ จุฬาลักษณ์านุกูล (Warawut Chulalaksananukul)***

บทคัดย่อ

จากการศึกษาสาหร่ายขนาดเล็ก *Scenedesmus dimorphus* ที่ใช้การบำบัดน้ำทิ้งจากกระบวนการผลิตไบโอดีเซล พบว่าสาหร่าย *S. dimorphus* ที่เลี้ยงในน้ำที่ปรับความเข้มข้นของไนเตรตเป็น 40 มิลลิกรัม/ลิตร มีอัตราการเติบโตสูงสุดเท่ากับ 0.86 ± 0.03 ต่อวัน และมีความสามารถในการบำบัดน้ำทิ้งได้ดีกว่าสาหร่ายที่เลี้ยงในน้ำที่ไม่มีไนเตรต โดยสามารถลดปริมาณฟอสเฟตได้ถึง 37.13 เปอร์เซ็นต์ บีโอดี 64.06 เปอร์เซ็นต์ และ ซีโอดี 57.50 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ส่วนการลดปริมาณแอมโมเนียพบว่าสาหร่ายในทุกชุดการทดลองมีประสิทธิภาพไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($P > 0.05$) นอกจากนี้ยังพบว่า *S. dimorphus* ที่เลี้ยงในน้ำที่ปรับความเข้มข้นของไนเตรตเป็น 80 มิลลิกรัม/ลิตร แม้มีประสิทธิภาพในการลดปริมาณสารอาหารได้ดีแต่เมื่อสิ้นสุดการทดลองยังคงมีไนเตรตเหลืออยู่ในน้ำที่สูงถึง 51.43 มิลลิกรัม/ลิตร

ABSTRACT

From the study Microalgae, *Scenedesmus dimorphus* was used to treat wastewater from biodiesel production plant. The result showed that *S. dimorphus* grown in nitrate-adjusted wastewater (40 mg/l nitrate) had the highest specific growth rates of $0.86 \pm 0.03 \text{ day}^{-1}$ and it had more effective in wastewater treatment than microalgae that grown in non-adjusted nitrate concentration wastewater. This could reduce phosphate 37.13%, BOD 64.06 % and COD 57.50 %, respectively. However, the efficiency in ammonia removal all treatment were not significantly different ($p \text{ value} > 0.05$). Moreover, culture of *S. dimorphus* in a 80 mg/l nitrate-adjusted wastewater had high efficiency of wastewater treatment but the concentration of nitrate left at the end of the experiment was as high as 51.43 mg/l.

คำสำคัญ : สาหร่ายขนาดเล็ก ไบโอดีเซล การบำบัดน้ำทิ้ง

Key Words: microalgae, biodiesel, wastewater treatment

*มหบัณฑิต หลักสูตรสาขาวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

**รองศาสตราจารย์ ภาควิชาวิทยาศาสตร์ทางทะเล คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

***รองศาสตราจารย์ ภาควิชาพฤกษศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทนำ

ปัจจุบันในประเทศไทยมีโรงงานผลิตไบโอดีเซลประเภทเมทิลเอสเตอร์ของกรดไขมัน (บี100) ที่ได้รับความเห็นชอบการจำหน่ายจากกรมธุรกิจพลังงาน จำนวน 13 โรงและมีกำลังการผลิตรวมถึง 4,455,800 ลิตรต่อวัน (กระทรวงพลังงาน, 2552) แต่กระบวนการผลิตไบโอดีเซล 100 ลิตร ก่อให้เกิดน้ำเสียได้ถึง 20 ลิตร (ภัทรลักษณ์ จารุวัตร, 2551) ซึ่งน้ำเสียดังกล่าวต้องอาศัยกระบวนการบำบัดหลายขั้นตอนเนื่องจากมีการปนเปื้อนของกลีเซอรอล เมทานอล กรดไขมัน สารเร่งปฏิกิริยา สาร และสารอินทรีย์ น้ำเสียที่ผ่านการบำบัดแล้วจะมีสารอินทรีย์บางส่วน รวมทั้งมีแอมโมเนีย ไนเตรด ฟอสเฟต เหลืออยู่ในปริมาณสูง ดังนั้นการนำสาหร่ายขนาดเล็กมาใช้ในการบำบัดน้ำในขั้นที่สาม (tertiary treatment) เพื่อกำจัดสารอินทรีย์และสารเจือปนอื่นต่างๆ เช่น ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส ที่หลงเหลือจากการบำบัดขั้นที่สอง (secondary treatment) ก่อนปล่อยออกสู่สิ่งแวดล้อมเป็นทางเลือกหนึ่งที่น่าสนใจ (Tam & Wong, 1996) นอกจากนี้ผลผลิตที่ได้จากสาหร่ายขนาดเล็กนับว่ามีองค์ประกอบที่หลากหลายอันได้แก่ โปรตีน ไขมัน คาร์โบไฮเดรต สารสี และไฮโดรคาร์บอนซึ่งสามารถนำมาใช้ประโยชน์ได้อีกทางหนึ่ง

วิธีการดำเนินงานวิจัย

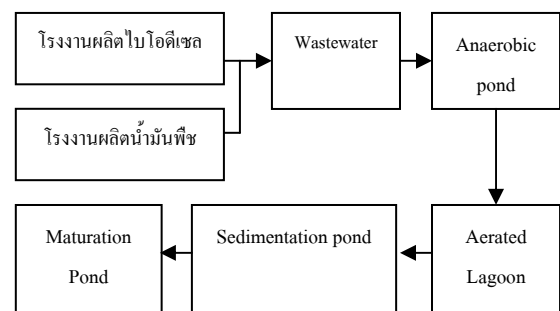
ระเบียบวิธีวิจัย

งานวิจัยนี้เป็นงานวิจัยเชิงทดลองในห้องปฏิบัติการเพื่อศึกษาความสามารถในการบำบัดน้ำทิ้งจากโรงงานผลิตไบโอดีเซลของสาหร่ายขนาดเล็ก ซึ่งในน้ำทิ้งโรงงานผลิตไบโอดีเซลของบริษัท น้ำมันพืชปทุม จำกัด มีปริมาณฟอสเฟตเหลือในระบบบำบัดสูงและมีปริมาณไนโตรเจนต่ำ ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงทำการศึกษาผลของการเติมไนเตรดในระดับความเข้มข้นต่างๆ

ต่ออัตราการเจริญเติบโตและความสามารถในการบำบัดน้ำทิ้งจากโรงงานผลิตไบโอดีเซล

การเตรียมพันธุ์สาหร่าย

สาหร่าย *Scenedesmus dimorphus* ที่ใช้ในการทดลองนี้ได้จากน้ำทิ้งในบ่อดักตะกอนของระบบบำบัดน้ำเสียโรงงานน้ำมันพืชปทุม โดยทำการกรองสาหร่ายผ่านถุงกรองแพลงก์ตอนขนาดตาผ้า 20 ไมครอน จากนั้นนำสาหร่ายมาแยกให้บริสุทธิ์ด้วยวิธี streak plating (ลัดดา วงศ์รัตน์, 2541) เมื่อได้สาหร่ายที่บริสุทธิ์แล้วจึงทำการขยายพันธุ์ในอาหารเหลวสูตร Bold's Basal medium (Bold, 1949) ที่ผ่านการฆ่าเชื้อ โดยทำการเลี้ยงแบบปลอดเชื้อ (aseptic technique) ในหลอดทดลองใช้ปริมาตรอาหาร 3-5 มิลลิลิตรเพื่อเตรียมหัวเชื้อเริ่มต้น ภายใต้สภาวะความเข้มแสง $50 \mu\text{mol.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$ ช่วงแสงสว่าง:มืด 12:12 ชั่วโมง อุณหภูมิ 31 ± 2 องศาเซลเซียส เมื่อสาหร่ายมีปริมาณเพิ่มมากขึ้นซึ่งใช้เวลาประมาณ 7-14 วัน จึงขยายปริมาตรเป็น 100 มิลลิลิตรเพื่อใช้เป็นหัวเชื้อในการศึกษาต่อไป



ภาพที่ 1 แผนผังระบบบำบัดน้ำเสียของโรงงานน้ำมันพืชปทุม จำกัด

การเก็บและวิเคราะห์คุณภาพน้ำทิ้งจากโรงงาน ผลิตไบโอดีเซล

เก็บตัวอย่างน้ำทิ้งจากบ่อดักตะกอนของโรงงานน้ำมันพืชปทุม ตรวจวัดค่าความเป็นกรด-เบส อุณหภูมิ บีโอดี ซีโอดี สภาพเบส แอมโมเนีย และออร์โทฟอสเฟต

ตารางที่ 1 ค่าพารามิเตอร์ที่ศึกษาและวิธีการวิเคราะห์

(APHA, AWWA and WPCF, 1992)

พารามิเตอร์	วิธีวิเคราะห์
ความเป็นกรด-เบส	pH meter
อุณหภูมิ	Thermometer
แอมโมเนีย	Phenate method
ไนเตรด	Cadmium reduction
ฟอสเฟต	Ascorbic method
บีโอดี	5 Days incubation
ซีโอดี	Closed reflux

การศึกษาประสิทธิภาพของสาหร่าย *Scenedesmus dimorphus* ในการบำบัดน้ำทิ้งจากโรงงานผลิตไบโอดีเซล

เตรียมหัวเชื้อสาหร่ายโดยการเพาะเลี้ยงสาหร่ายในอาหารเหลวปริมาตร 100 มล. เลี้ยงภายใต้อุณหภูมิตามธรรมชาติของห้องทดลอง ให้แสงสว่างความเข้มแสง $50 \mu\text{mol.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$ ช่วงแสงสว่าง: มีด 12:12 ชั่วโมง ทำการเขย่าขวดวันละหนึ่งครั้ง เมื่อได้หัวเชื้อในระยะเอกซ์โพเนนเชียล นำไปปั่นเหวี่ยง 2 ครั้งด้วยความเร็วรอบ 5,000 รอบ/นาที เป็นเวลาครั้งละ 5 นาที ในน้ำกลั่นที่ไม่มีไนโตรเจนและฟอสฟอรัสเป็นองค์ประกอบพักเซลล์ไว้ 2 วัน นำสาหร่ายมาศึกษาประสิทธิภาพการบำบัดน้ำทิ้งโดยนำน้ำทิ้งจากโรงงานผลิตไบโอดีเซลที่กรองผ่านกระดาษกรอง GF/C มาวิเคราะห์คุณภาพน้ำก่อนเริ่มทำการทดลองเพื่อหาค่าความเป็นกรด-เบส อุณหภูมิ บีโอดี ซีโอดี แอมโมเนีย ไนเตรด ออร์โธ-ฟอสเฟต แล้วแบ่งชุดการทดลองเป็นชุดควบคุม(เลี้ยงสาหร่ายในน้ำทิ้งไม่ปรับปริมาณไนเตรด) และชุดการทดลองที่มีการปรับความเข้มข้นไนเตรด เป็น 20 มิลลิกรัม/ลิตร 40 มิลลิกรัม/ลิตร และ 80 มิลลิกรัม/ลิตร ชุดการทดลองชุดละ 3 ข้ว โดยมีปริมาตรในการเลี้ยง 1 ลิตร ใช้เวลาในการทดลอง 12 วัน จากนั้นสุ่มเก็บตัวอย่างทุกวัน หาค่าความหนาแน่นของเซลล์สาหร่าย โดย

นำตัวอย่างสาหร่ายที่เก็บมาหยดลงบนสไลด์นับเซลล์ (haemocytometer) นำไปนับจำนวนเซลล์ภายใต้กล้องจุลทรรศน์ สร้างกราฟความสัมพันธ์ระหว่างความหนาแน่นของเซลล์สาหร่าย(เซลล์/มิลลิลิตร)และระยะเวลาที่เลี้ยง (วัน) แล้วคำนวณหาอัตราการเติบโตจำเพาะ (specific growth rate; μ) ในระยะการเติบโตทวีคูณ (exponential phase) และเวลาการเพิ่มจำนวนเป็นสองเท่าของสาหร่าย ดังสมการ (Guillard, 1975)

$$\mu = \frac{\ln N_t - \ln N_0}{t}$$

และ

$$G = \frac{\ln 2}{\mu}$$

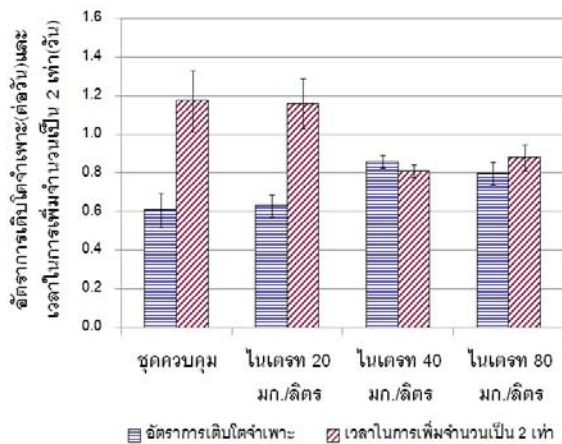
โดย N_0 = จำนวนเซลล์เริ่มต้น (เซลล์ต่อมิลลิลิตร)
 N_t = จำนวนเซลล์สุดท้าย (เซลล์ต่อมิลลิลิตร)
 μ = อัตราการเติบโตจำเพาะ (ต่อวัน)
 t = เวลาระหว่าง N_0 กับ N_t (วัน)
 G = เวลาการเพิ่มจำนวนเป็นสองเท่า (วัน)

เก็บน้ำสำหรับวิเคราะห์ปริมาณแอมโมเนีย ไนเตรด และออร์โธฟอสเฟต ทุกสามวันวิเคราะห์บีโอดีและซีโอดี เมื่อสิ้นสุดการทดลอง

ผลการวิจัยและการอภิปรายผล

ผลการศึกษาของโรงงานน้ำมันพืชพบว่ามีค่าความเป็นกรด-เบส 7.5 อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส แอมโมเนีย 5.17 มิลลิกรัม/ลิตร ไนเตรด 8.97 มิลลิกรัม/ลิตร ฟอสเฟต 45.25 มิลลิกรัม/ลิตร บีโอดี 205 มิลลิกรัม/ลิตร และ ซีโอดี 414 มิลลิกรัม/ลิตร การศึกษาการเลี้ยงสาหร่าย *S. dimorphus* พบว่าสาหร่ายในชุดควบคุมมีการเติบโตสูงสุดในช่วง 5 วัน โดยมีอัตราการเติบโตจำเพาะเท่ากับ 0.61 ± 0.09 ต่อวัน เมื่อทำการปรับความเข้มข้นของไนเตรดเป็น 20 40 และ 80

มิลลิกรัม/ลิตร พบว่าสาหร่ายมีอัตราการเติบโตจำเพาะเพิ่มขึ้นโดยสาหร่ายในชุดปรับไนเตรต 40 และ 80 มิลลิกรัม/ลิตร มีอัตราการเติบโตใกล้เคียงกันเท่ากับ 0.86 ± 0.03 ต่อวัน และ 0.80 ± 0.06 ต่อวัน (ภาพที่ 2) ซึ่งไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P > 0.05$)



ภาพที่ 2 อัตราการเติบโตจำเพาะและเวลาของการเพิ่มจำนวนเป็นสองเท่า (ค่าเฉลี่ย $\pm$ ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน) ของสาหร่าย *S. dimorphus*

S. dimorphus ในทุกชุดการทดลองสามารถลดปริมาณแอมโมเนียอย่างรวดเร็วในช่วง 3 วันแรก (ภาพที่ 3) เนื่องจากสาหร่ายมีการเพิ่มจำนวนแบบทวีคูณในช่วงเวลาดังกล่าวทำให้มีการดึงแอมโมเนียไปใช้ในการเติบโต สอดคล้องกับ Kassim (2002) ที่พบว่าสาหร่ายสีเขียว 3 ชนิด ได้แก่ *Scenedesmus abundance*, *Scenedesmus quadricauda* และ *Chlorella vulgaris* จะใช้แอมโมเนียในน้ำทิ้งได้ดีในช่วงสัปดาห์แรก

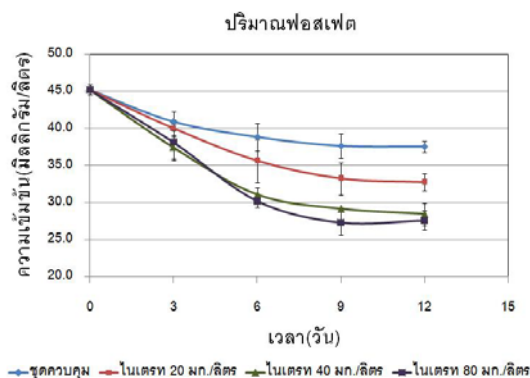
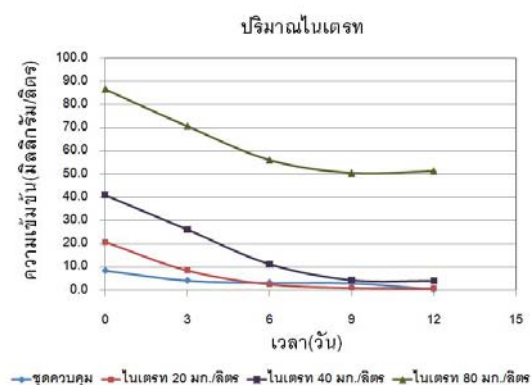
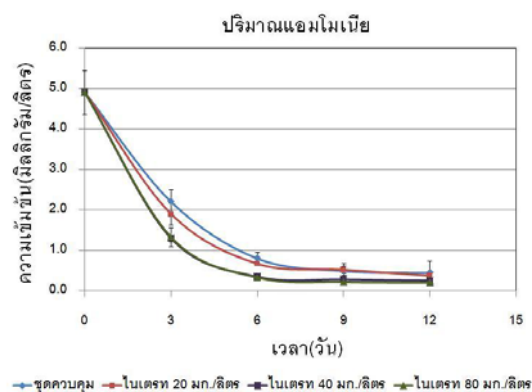
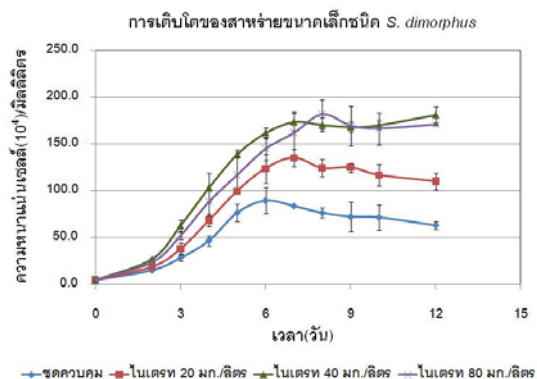
S. dimorphus ที่เลี้ยงในชุดควบคุมลดแอมโมเนียในน้ำทิ้งได้ถึง 93.53 เปอร์เซ็นต์และเมื่อปรับเพิ่มไนเตรตในน้ำทิ้งพบว่า ความสามารถในการลดแอมโมเนียเพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อยโดย *S. dimorphus* ที่เลี้ยงในความเข้มข้นไนเตรต 80 มิลลิกรัม/ลิตร มีความสามารถในการลดปริมาณแอมโมเนียสูงสุด 95.52 เปอร์เซ็นต์ อาจเนื่องมาจากสาหร่ายสามารถใช้แอมโมเนียในกระบวนการเมตาบอลิซึมโดยเฉพาะการ

สร้างกรดอะมิโนได้โดยตรง (Lobban & Harrison, 1994) และจะใช้แอมโมเนียในน้ำก่อนไนเตรต ดังนั้นอัตราการลดลงของแอมโมเนียในสาหร่ายทุกชุดการทดลองจึงไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ดังนั้นความเข้มข้นของไนเตรตที่เพิ่มขึ้นจึงไม่ส่งผลต่อความสามารถในการลดแอมโมเนียมากนัก

ในการลดปริมาณไนโตรเจนพบว่าสาหร่าย *S. dimorphus* ที่เลี้ยงในชุดควบคุมสามารถลดได้ถึง 93.77 เปอร์เซ็นต์ และในชุดการทดลองที่มีการปรับไนเตรตเพิ่มขึ้นเป็น 20 และ 40 มิลลิกรัม/ลิตร สาหร่ายยังสามารถดึงไนเตรตไปใช้ได้เกือบหมดเมื่อสิ้นสุดการทดลอง (96.14 และ 94.72 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ) แสดงให้เห็นว่าสาหร่ายชนิด *S. dimorphus* สามารถใช้ทั้งแอมโมเนียและไนเตรตควบคู่กันไปในการเติบโต (Round, 1977) โดยทั่วไปแล้วสาหร่ายสามารถดึงเอาไนเตรตไปเก็บไว้ในเซลล์ได้ในปริมาณสูง ดังนั้นสาหร่ายที่อยู่ในอาหารความเข้มข้นไนเตรตสูงจะสามารถสะสมเอาไนเตรตไปเก็บไว้ในเซลล์ได้มากกว่าสาหร่ายที่อยู่ในอาหารที่มีปริมาณไนเตรตต่ำ (Van, 1980) Gerloff and Skoog (1954) รายงานว่า สาหร่าย *Microcystis aeruginosa* สามารถดึงเอาไนโตรเจนที่มีอยู่ในอาหารไปใช้เพิ่มมากขึ้นหากมีการเพิ่มปริมาณสารอาหาร เป็นผลให้เซลล์มีการสะสมไนโตรเจนเพิ่มขึ้นจาก 4 เปอร์เซ็นต์ เป็น 7.7 เปอร์เซ็นต์ แต่ในชุดที่ปรับไนเตรตเป็น 80 มิลลิกรัม/ลิตร ยังคงมีไนเตรตเหลืออยู่ในน้ำทิ้งค่อนข้างสูง (51.43 มิลลิกรัม/ลิตร) เนื่องจากปริมาณไนเตรตมีมากเกินไปความต้องการของสาหร่าย

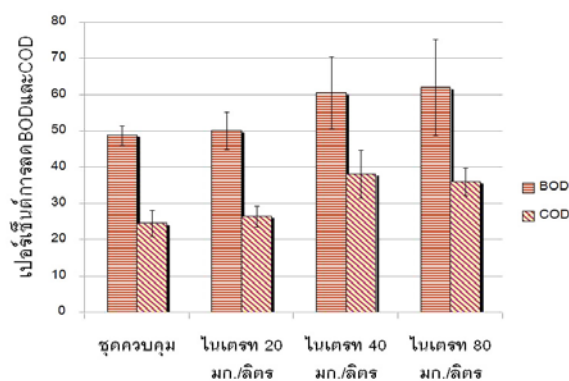
การศึกษาความสามารถในการลดปริมาณฟอสเฟตพบว่าสาหร่าย *S. dimorphus* ที่เลี้ยงในชุดควบคุมมีความสามารถลดฟอสเฟตเท่ากับ 21.39 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งค่อนข้างต่ำ เนื่องมาจากปริมาณฟอสเฟตในน้ำทิ้งมีค่าสูงมาก (45.25 มิลลิกรัม/ลิตร) และไนโตรเจนอนินทรีย์ในน้ำ (แอมโมเนีย 5.17 มิลลิกรัม/ลิตร และไนเตรต 8.97 มิลลิกรัม/ลิตร) ไม่เพียงพอต่อการเติบโตของสาหร่าย ดังนั้นไนโตรเจนที่มีจะถูกใช้

จนหมดก่อนที่ฟอสเฟตจะหมด (Kaplan *et al.*, 1986) เมื่อทำการปรับความเข้มข้นไนเตรตในน้ำทิ้งสำหรับที่เลี้ยงในไนเตรตความเข้มข้น 40 และ 80 มิลลิกรัม/ลิตร สามารถลดฟอสเฟตได้เท่ากับ 37.13 และ 38.98 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ซึ่ง Pang and Ong (1988) รายงานว่า สาหร่ายจะสามารถใช้ฟอสฟอรัสได้ดีขึ้น เมื่อมีการเพิ่มปริมาณไนโตรเจนในอาหารเลี้ยง สอดคล้องกับการศึกษาของ สุวรรณภาณุตระกูล (2540) และ จักรพงษ์ ศรีพนมยม (2543) ที่พบว่าไนเตรตในอาหารเลี้ยงเป็นปัจจัยจำกัดความสามารถในการใช้ฟอสเฟตของสาหร่ายขนาดเล็ก



ภาพที่ 3 การเติบโตและความสามารถในการลดปริมาณสารอาหารในน้ำทิ้งของสาหร่าย *S. dimorphus*

ความสามารถในการลดปริมาณบีโอดีและซีโอดีพบว่า *S. dimorphus* ที่เลี้ยงในน้ำทิ้งไม่ปรับไนเตรตมีความสามารถในการลดเท่ากับ 54.49 เปอร์เซ็นต์ และ 44.35 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ เมื่อทำการปรับความเข้มข้นไนเตรตในน้ำทิ้งพบว่าที่ความเข้มข้นไนเตรต 40 และ 80 มิลลิกรัม/ลิตร สาหร่ายสามารถลดบีโอดีและซีโอดีได้ใกล้เคียงกันโดยสามารถลดบีโอดีได้ 64.06 และ 66.11 เปอร์เซ็นต์ ค่าซีโอดีสามารถลดได้ 57.50 และ 59.24 ตามลำดับ ปริมาณบีโอดีและซีโอดีที่ลดลงนี้อาจเนื่องจากสาหร่ายสามารถดึงเอาสารอินทรีย์ที่ปนเปื้อนในน้ำมาใช้ในการเติบโตและน้ำทิ้งที่นำมาใช้ไม่ได้ผ่านการฆ่าเชื้อจึงทำให้มีจุลินทรีย์อยู่เป็นจำนวนมากซึ่งจุลินทรีย์เหล่านี้สามารถใช้สารอินทรีย์ในน้ำได้เช่นกัน (สุรวดี นาคธน, 2539)



ภาพที่ 4 เปอร์เซ็นต์การลดปริมาณบีโอดีและซีโอดีในน้ำทิ้งของสาหร่าย *S. dimorphus*

ตารางที่ 2 เปรียบเทียบการลดลงของปริมาณสารอาหาร
ในน้ำทิ้งจากโรงงานผลิตไบโอดีเซลของ
S. dimorphus

	ชุด	NO ₃ ⁻	NO ₃ ⁻	NO ₃ ⁻
	ควบคุม	20	40	80
		mg/l	mg/l	mg/l
Ammonia	93.53	92.14	94.72	95.52
Nitrate	93.77	96.66	93.04	40.82
Phosphate	21.39	27.58	37.13	38.98
BOD	54.49	61.75	64.06	66.11
COD	44.35	49.42	57.50	59.24

สรุปผลการวิจัย

สาหร่ายขนาดเล็กชนิด *S. dimorphus* ที่เลี้ยงในชุดควบคุมนั้นมีประสิทธิภาพในการลดปริมาณแอมโมเนียและไนเตรตสูง (93 เปอร์เซ็นต์) แต่ประสิทธิภาพในการลดฟอสเฟตที่ยังค่อนข้างต่ำ (21 เปอร์เซ็นต์) และเมื่อทำการปรับปริมาณไนเตรตให้เพิ่มขึ้นก็พบว่าสาหร่ายมีอัตราการเติบโตสูงขึ้นรวมทั้งเพิ่มประสิทธิภาพการลดปริมาณสารอาหารโดยเฉพาะฟอสเฟตให้เพิ่มขึ้นประมาณ 1.5 เท่าของชุดควบคุม จากการศึกษาพบว่า การปรับไนเตรตเป็น 40 มิลลิกรัม/ลิตร เพื่อเพิ่มความสามารถในการบำบัดน้ำทิ้งของสาหร่ายนั้นเป็นความเข้มข้นที่เหมาะสมเพราะนอกจากประสิทธิภาพในการบำบัดเพิ่มขึ้นแล้วยังพบว่าปริมาณสารอาหารที่หลงเหลือในน้ำทิ้งเมื่อสิ้นสุดการทดลองมีค่าค่อนข้างต่ำ โดยระดับแอมโมเนียและไนเตรตอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานคุณภาพน้ำในแหล่งน้ำผิวดิน ส่วนค่าความเป็นกรด-เบส อุณหภูมิ ค่าบีโอดี และ ค่าซีโอดี เมื่อนำไปเปรียบเทียบกับมาตรฐานคุณภาพน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรมและนิคมอุตสาหกรรมพบว่าอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานที่กำหนดไว้

ข้อเสนอแนะ

1. การเติมไนเตรตควรทำอย่างระมัดระวัง เพราะไนเตรตที่มากเกินไปอาจก่อผลเสียเนื่องจากสารอาหารจำนวนมากนี้จะปนเปื้อนไปกับน้ำทิ้งหลังเก็บเกี่ยวสาหร่าย หากถูกปล่อยลงสู่แหล่งน้ำสาธารณะ จะก่อให้เกิดปรากฏการณ์น้ำเปลี่ยนสี (plankton bloom) จนเป็นสาเหตุให้เกิดมลพิษทางน้ำในที่สุด ทั้งยังเสียค่าใช้จ่ายในการบำบัดมากขึ้นอีกด้วย

2. จากการศึกษาพบว่า *S. dimorphus* มีการเติบโตและเพิ่มจำนวนค่อนข้างรวดเร็วจึงมีความเป็นไปได้ที่จะทำการศึกษาต่อในการเลี้ยงระบบเปิดโดยใช้แสงธรรมชาติรวมทั้งทำการศึกษองค์ประกอบทางชีวเคมีของสาหร่ายที่ผลิตได้เพื่อเป็นข้อมูลในการนำสาหร่ายไปใช้ประโยชน์ต่อไป

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณ สหสาขาวิชาวิทยาศาสตร์ สิ่งแวดล้อม บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, ภาควิชาพฤกษศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, ภาควิชาวิทยาศาสตร์ทางทะเล คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย และ บริษัท น้ำมันพืชปทุมจำกัด ที่เอื้อเฟื้อทุนสนับสนุนและสถานที่ในการศึกษา

เอกสารอ้างอิง

- กระทรวงพลังงาน. 2552. รายชื่อโรงงานผลิตไบโอดีเซล (ปี 100). ค้นเมื่อ 7 กันยายน 2552, จาก <http://www.doe.go.th/information/stat/B100.pdf>
- จักรพงษ์ ศรีพนมยม. 2543. อิทธิพลของปริมาณไนเตรตและฟอสเฟตในอาหารเพาะเลี้ยงสำหรับการเจริญของคลอโรลล่าที่ใช้ในการเลี้ยงโรดิเฟอร์. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาสัตวศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.

- ภัทรลักษณ์ จารุวัตร. 2551. การจัดการน้ำเสียจาก
 กระบวนการผลิตไบโอดีเซลด้วยกระบวนการ
 ร่วมระหว่างการนำกลับทางเคมีและ
 กระบวนการทางเคมีไฟฟ้า. วิทยานิพนธ์
 ปริญญาโทบัณฑิต สาขาวิชาวิทยาศาสตร์
 สิ่งแวดล้อม บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์
 มหาวิทยาลัย.
- ลัดดา วงศ์รัตน์. 2541. คู่มือการเลี้ยงแพลงก์ตอน. พิมพ์
 ครั้งที่ 2. กรุงเทพมหานคร: สำนักพิมพ์
 มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- สุวรรดี นาคชน. 2539. การลดปริมาณไนโตรเจนและ
 ฟอสฟอรัสในน้ำทิ้งจากฟาร์มสุกร. วิทยานิพนธ์
 ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต(สาธารณสุข
 ศาสตร์) สาขาวิชาเทคโนโลยีสิ่งแวดล้อม
 บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยมหิดล.
- สุวรรณ ภาณุตระกูล. 2540. ผลของสารละลาย
 ฟอสฟอรัสและไนโตรเจนต่อการเจริญเติบโต
 ของ *Chlorella* sp. ในน้ำทะเลสาบสงขลา. เอกสาร
 วิชาการฉบับที่ 10/2540 สถาบันวิจัยชีววิทยา
 และประมงทะเลเกิด กรมประมง.
- APHA, AWWA and WEF. 1998. Standard Methods
 for the Examination of Water and Wastewater.
 (19 th ed.). Washington D.C.
- Bold, H.C. 1949. The morphology of *Chlamydomonas*
chlamydogama sp. nov. *Bulletin of the*
Torrey botanical Club.76: 101-8.
- Gerloff, G.C. and Shog, F. 1954. Cell content of
 Nitrogen and Phosphorus as a Measure of their
 Availability for Growth of *Microcystis*
aeruginosa, In K.M. Mackenthun. Nitrogen
 and Phosphorus in Water. U.S. Department of
 health, Education and Welfare. Pp.30-31.
- Graham, L. E., Graham, J. M. L., Wilcox, W. 2002.
 Plant biology. Prentice Hall, Upper Saddle
 River, New Jersey, USA.
- Guillard, R.R.L. 1975. Culture of phytoplankton for
 feeding marine invertebrates. Culture of marin
 Invertebrate Animal. Plenum Press, USA.
 Pp26-60.
- Hodaifa, G., Eugenia, M.M. and Sanchez, S. 2008.
 Use of industrial wastewater from olive-oil
 extraction for biomass production of
Scenedesmus obliquus. *Bioresource Technology*
 99: 1111-1117.
- Kaplan, D., Richmond, A. E., Dubinsky, Z. and
 Auronson, S. 1986. Algal Nutrition. In : A
 Richmond(ed.), *CRC Handbook of Microalgae*
 Mass Culture, CRC Press. Inc., Boca Raton,
 Florida. 147-198.
- Kassim, T.I. 2002. Possible use of microalgae to
 remove phosphate and nitrate from wastewater.
 Proceeding of International Symposium on
 Environmental Pollution Control and Waste
 Management. 628-632.
- Lobban, C.S. and Harrison, P.J. 1994. Seaweed
 Ecology and Physiology. Cambridge University
 Press. pp. 181-182.
- Pang, S. M. and Ong, K. C. 1988. Algal biomass
 production in digested palm oil mill effluent.
Biology Wastes 25: 177-191.
- Round, F.E. 1977. The Biology of Algae 2nd edition.
 Edward Arnold, London. 552 pp.
- Tam, N.F.Y. and Wong, Y.S. 1996. Effect of ammonia
 concentrations on growth of *Chlorella vulgaris*
 and nitrogen removal from medium. *Bioresource*
Technology 57: 45-50.
- Van, E.C. 1980. Ecophysiological studies on
Spirulina platensis : Effect of temperature,
 light intensity and nitrate concentration on
 growth and ultrastructure. *Antonie van*
Leeuwenhoek 46(2): 113-127