

ประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสียและให้น้ำมัน
ของผำ (*Wolffia globosa*) และเตา (*Cladophora* sp.)
THE POTENTIAL OF WOLFFIA GLOBOSA AND CLADOPHORA SP.
TREATED THE WASTEWATER AND LIPID PRODUCTION

สุขสมาน สังโยคะ¹ ปาหนัน กุศลมา¹ และรัชณีพร สุทธิภาสลิป^{2*}

Suksaman Sangyoka¹ Panan Kusolma¹ and Rachaneeporn Suthiphasilp^{2*}

¹Faculty of Science and Technology, Pibulsongkram Rajabhat University, Phitsanulok 65000

²Faculty of Agricultural Technology, Chiangmai Rajabhat University, Chiangmai 63000

*corresponding author e-mail: rsuthiphasilp@hotmail.com

บทคัดย่อ

งานวิจัยครั้งนี้เป็นการศึกษาประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำทิ้งจากศูนย์อาหารของมหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม จ.พิษณุโลก โดยเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสียและอัตราการให้น้ำมันของผำ (*Wolffia globosa*) และเตา (*Cladophora* sp.) ภายใต้การทำงานแบบกะที่ระยะเวลา 30 วัน โดยการศึกษาแบ่งออกเป็น 3 ชุดการทดลอง ได้แก่ 1) น้ำเสีย (ชุดควบคุม) 2) น้ำเสียที่มีการเพาะเลี้ยงผำ 3) น้ำเสียที่มีการเพาะเลี้ยงเตา จากการวิจัยพบว่า ผำและเตาสามารถบำบัดสารอินทรีย์ที่อยู่ในน้ำเสียได้ โดยประสิทธิภาพในการบำบัดค่าซีโอดีของน้ำเสียที่เพาะเลี้ยงผำและเตาคิดเป็น 87 เปอร์เซ็นต์ ในขณะที่ประสิทธิภาพในการบำบัดค่าซีโอดีของน้ำเสียที่เพาะเลี้ยงผำคิดเป็น 87 เปอร์เซ็นต์ และประสิทธิภาพในการบำบัดค่าซีโอดีของน้ำเสียที่เพาะเลี้ยงเตาคิดเป็น 89 เปอร์เซ็นต์ หลังการกักเก็บน้ำเสียที่ระยะเวลา 30 วัน ได้ทำการเก็บเกี่ยวผำและเตาเพื่อวัดอัตราการเจริญเติบโต โดยพบว่าผำและเตามีอัตราการเจริญเติบโตจำเพาะเท่ากับ 1.63 เปอร์เซ็นต์/วัน และ 4.05 เปอร์เซ็นต์/วัน ตามลำดับ เมื่อวิเคราะห์ปริมาณน้ำมันที่สกัดได้จากผำและเตา พบว่า ผำมีอัตราการให้ปริมาณน้ำมัน เท่ากับ 3.06 ± 1.58 กรัม (w/w) และเตามีอัตราการให้น้ำมัน เท่ากับ 1.51 ± 0.51 กรัม (w/w) แสดงให้เห็นว่าผำมีอัตราการให้น้ำมันสูงกว่าเตา เมื่อเปรียบเทียบค่าความแตกต่างทางสถิติโดยใช้ T-test เปรียบเทียบความแตกต่างของผลผลิตและปริมาณการให้น้ำมันของผำและเตาพบว่ามีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($p < 0.05$)

คำสำคัญ: การบำบัดน้ำเสีย การเพาะเลี้ยง ผลผลิตชีวมวล ผำ เตา

Abstract

This research examines the potential to treat the wastewater from the cafeteria of the Phibulsongkram Rajabhat University, Phitsanulok province by comparison the efficiency of wastewater treatment and the rate of lipid via *Wolffia globosa* and *Cladophora* sp. The experiment was under bench-scale batch experiment with hydraulic retention time of 30 days, three treatments: 1) wastewater from the cafeteria (control) 2) the cafeteria wastewater cultivated with *Wolffia globosa* and 3) the cafeteria wastewater cultivated with *Cladophora* sp. The result found *Wolffia globosa* and *Cladophora* sp. show ability to reduce COD in the wastewater for 87%. The performance of the *Wolffia globosa* reduced the BOD in the wastewater for 87%, while *Cladophora* sp. reduction of BOD in the wastewater for 89%. At the end of the 30 days study, cultures of *Wolffia globosa* and *Cladophora* sp. were increased gradually in the first week and the specific growth rates of increase were 1.63 percentage/day and 4.05 percentage/day, respectively. It was found that the amount of lipid extracted from the *Wolffia globosa* was 3.06 ± 1.58 g (w/w) and the *Cladophora* sp. was 1.51 ± 0.51 g (w/w), *Wolffia globosa* higher than *Cladophora* sp. These results indicated that the statistically comparison using T-Test of the yield and lipid extracted of *Wolffia globosa* and *Cladophora* sp. were different at the confidence level of 95 percentage ($p < 0.05$).

Keywords: wastewater treatment, cultivation, biomass production, *Wolffia globosa*, *Cladophora* sp.

บทนำ

น้ำเสีย คือ น้ำที่มีการปนเปื้อนจนกระทั่งกลายเป็นน้ำที่ไม่ต้องการและน่ารังเกียจของคนทั่วไป ไม่เหมาะที่จะนำมาใช้ประโยชน์หรือถ้าปล่อยลงสู่แหล่งน้ำธรรมชาติก็จะส่งผลให้คุณภาพน้ำของธรรมชาตินั้นเสียหายได้ ดังนั้นน้ำเสียจึงต้องผ่านกระบวนการบำบัดเพื่อลดความสกปรกของสารพิษที่ปนเปื้อนและเชื้อโรคต่าง ๆ ให้หมดไปหรือให้เหลือน้อยที่สุดก่อนปล่อยลงสู่แหล่งน้ำธรรมชาติ

กระบวนการบำบัดน้ำเสียนั้นสามารถทำได้หลายวิธีโดยอาศัยกระบวนการทางกายภาพ เคมี และชีวภาพ ซึ่งกระบวนการบำบัดน้ำเสียส่วนใหญ่ต้องมีการใช้ค่าใช้จ่ายในการดำเนินการค่อนข้างสูง โดยเฉพาะอย่างยิ่งระบบบำบัดที่ใช้กระบวนการเติมอากาศเพื่อการบำบัดความสกปรกของน้ำในรูปของสารอินทรีย์ เมื่อพิจารณาถึงคุณสมบัติในการสังเคราะห์แสงและดึงเอาสารอินทรีย์ที่

ปนเปื้อนอยู่ในน้ำมาใช้ในการเจริญเติบโตซึ่งจะช่วยลดปริมาณสารที่ทำให้น้ำเน่าเสียส่งผลให้น้ำมีคุณภาพดีขึ้น การบำบัดน้ำเสียโดยใช้พืชน้ำและสาหร่ายจึงเป็นทางเลือกหนึ่งที่ช่วยประหยัดค่าใช้จ่ายในการบำบัดน้ำเสียก่อนที่จะปล่อยทิ้งลงสู่แหล่งน้ำธรรมชาติ ทำให้ไม่ต้องสร้างระบบบำบัดที่มีขนาดใหญ่ มีการลงทุนสูงและลดการใช้พลังงานไฟฟ้า รวมไปถึงในเรื่องของการบำรุงและดูแลรักษา นอกจากนี้พืชน้ำและสาหร่ายบางชนิดยังมีคุณสมบัติในการให้น้ำมัน ซึ่งสามารถนำไปเป็นวัตถุดิบในการผลิตไบโอดีเซลได้อีกด้วย โดยปัจจุบันพบว่าไบโอดีเซลเป็นพลังงานทางเลือกที่สำคัญอย่างหนึ่งที่มีคุณสมบัติในการเผาไหม้เหมือนกับน้ำมันดีเซลและเป็นพลังงานที่ไม่ก่อให้เกิดมลพิษต่อสิ่งแวดล้อม

พืชน้ำและสาหร่ายขนาดเล็กมีข้อได้เปรียบกว่าพืชทางการเกษตรที่นำมาใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตไบโอดีเซล อาทิ ปาล์ม อ้อย และมันสำปะหลัง หลายประการ ทั้งนี้สาหร่ายสามารถเจริญเติบโตได้อย่างรวดเร็วในระยะเวลาอันสั้น โดยพบว่าภายใน 24 ชั่วโมง สาหร่ายสามารถเจริญเติบโตได้อย่างสมบูรณ์ในขณะที่พืชชนิดอื่นต้องใช้เวลาในการปลูกมากกว่า 1 ปี นอกจากนี้สาหร่ายขนาดเล็กยังมีอัตราการให้น้ำมันสูงกว่าพืชชนิดอื่นเมื่อเปรียบเทียบกับหน่วยพื้นที่ รวมถึงการเพาะเลี้ยงสาหร่ายยังช่วยลดปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เนื่องจากสาหร่ายต้องการใช้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในกระบวนการสังเคราะห์แสง จึงเป็นการลดภาวะโลกร้อนได้อีกทางหนึ่ง ปัจจุบันมีรายงานการนำสาหร่ายมาทดสอบหาคักยภาพในการใช้ประโยชน์อย่างเป็นรูปธรรมที่หลากหลาย อาทิ การวิจัยเพื่อนำสาหร่ายขนาดเล็ก *Chlorella sp.* มาใช้ในการลดปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (วีระยุทธ และคณะ, 2555) การนำสาหร่าย *Dunaliella tertiolecta* มาสกัดน้ำมันเพื่อผลิตเป็นพลังงานทดแทน (Kishimoto et al., 1994) การนำสาหร่าย *Chlorella vulgaris* มาผลิตเป็นไบโอดีเซล (พนิดา, 2552) และใช้สาหร่าย *Spirulina sp.* ในการบำบัดน้ำเสีย (สุจยา, 2551) เนื่องจากพบว่าสาหร่าย *Spirulina sp.* มีศักยภาพในการลดปริมาณสารอาหารในน้ำเสียได้ดี โดยสาหร่ายขนาดเล็กที่มีการนำมาใช้ทดสอบประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสีย ได้แก่ สาหร่ายสีเขียว *Scenedesmus quadricauda* และสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงิน *Spirulina platensis* (Gantar and Dalmacija, 1991) เป็นต้น นอกจากนี้ยังพบว่าสาหร่ายขนาดเล็ก *Spirulina sp.* มีศักยภาพในการลดปริมาณแอมโมเนียไนโตรเจนและฟอสฟอรัสทั้งหมดในน้ำเสียได้สูงถึงร้อยละ 52.74 และ 52.55 ตามลำดับ (Xu et al., 2006) อย่างไรก็ตามพบว่ามีการรายงานการใช้ประโยชน์จากผำ (*Wolffia globosa*) และเตา (*Cladophora sp.*) ซึ่งเป็นพืชน้ำและสาหร่ายที่พบในแหล่งน้ำจืดของประเทศไทยมาใช้ประโยชน์ในแง่ของการบำบัดน้ำเสียและผลิตพลังงานทดแทนยังมีอยู่อย่างจำกัด จากเหตุผลดังกล่าวมา ผู้วิจัยจึงสนใจที่จะทำการศึกษาประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำทิ้งจากศูนย์อาหารของมหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม

(ส่วนทะเลแก้ว) จ.พิษณุโลก โดยเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสียและอัตราการให้น้ำมัน

วิธีดำเนินการวิจัย

พืชและสาหร่ายที่ใช้ในการทดลอง

ผำ (*Wolffia globosa*) เป็นพืชขนาดเล็กที่สุดในโลก และเป็นพืชดอกที่มีขนาดเล็ก ไม่มีราก คล้ายตะไคร่น้ำ รูปร่างเป็นเม็ดกลมเล็กๆ มีเส้นผ่าศูนย์กลางประมาณ 0.1-0.2 มม. มีสีเขียวลอยอยู่บริเวณผิวน้ำเป็นแพ พบได้ในแหล่งน้ำธรรมชาติที่มีน้ำใสนิ่ง นิยมนำมาทำเป็นอาหารประเภทคั่ว หรือยำ เป็นแหล่งโปรตีนและกรดอะมิโนจำเป็นในปริมาณสูง

เทาหรือเตา เป็นสาหร่ายน้ำจืดสีเขียวในสกุล *Spirogyra* ซึ่งมีหลายชนิด พบมากในแหล่งน้ำนิ่ง สะอาด ใส รูปร่างเป็นเส้นยาวคล้ายผม ไม่มีกิ่งก้าน นิยมนำมากินเป็นผักสด ผักลวก กับน้ำพริก หรือเอามายำ และแกงส้ม

ผำและเทาที่ใช้ในการทดลองนี้ได้มาจากสถาบันเศรษฐกิจพอเพียง มหาวิทยาลัยราชภัฏ พิบูลสงคราม (ส่วนทะเลแก้ว)

การเก็บตัวอย่างน้ำเสียและการวิเคราะห์

น้ำเสียที่ใช้ในการทดลองเป็นน้ำทิ้งจากศูนย์อาหาร (บริเวณหอพักหญิง) มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม (ส่วนทะเลแก้ว) ซึ่งศูนย์อาหารดังกล่าวมีร้านค้าที่ประกอบกิจการทั้งหมด 9 ร้าน ได้แก่ ร้านขายข้าวราดแกง จำนวน 2 ร้าน ร้านขายก๋วยเตี๋ยว จำนวน 2 ร้าน ร้านขายข้าวมันไก่ ร้านขายส้มตำ ร้านขายผลไม้ ร้านขายเครื่องดื่มและร้านของหวาน อย่างละ 1 ร้าน โดยน้ำทิ้งที่เกิดขึ้นภายในศูนย์อาหารดังกล่าวเกิดขึ้นจากกิจกรรมการประกอบอาหาร การล้างทำความสะอาด และเศษอาหารที่เป็นน้ำรวมถึงเครื่องดื่มต่าง ๆ ที่เหลือจากการบริโภค การเก็บตัวอย่างน้ำทำโดยการเก็บแบบจ้วง (grab) ที่บริเวณท่อรวบรวมน้ำทิ้งด้วยขวดเก็บตัวอย่างน้ำ ขนาดบรรจุ 2,000 ลิตร จากนั้นจึงนำมาทำการตรวจวิเคราะห์คุณภาพน้ำภายในห้องปฏิบัติการทางสิ่งแวดล้อม คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม ตามวิธีการดังแสดงในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 วิธีการวิเคราะห์คุณภาพน้ำ

พารามิเตอร์	วิธีการวิเคราะห์
อุณหภูมิ (temperature)	เทอร์โมมิเตอร์ ยี่ห้อ Precision รุ่น 903
ความเป็นกรด-ด่าง (pH)	pH meter ยี่ห้อ Mettler Toledo รุ่น Seven Easy
Chemical Oxygen Demand(COD)	วิธี closed reflux titrimetric method (AOAC official method No. 973.46, 2000)

ตารางที่ 1 วิธีการวิเคราะห์คุณภาพน้ำ (ต่อ)

พารามิเตอร์	วิธีการวิเคราะห์
Biological Oxygen Demand (BOD)	BOD ₅ (standard method)
Nitrite	โดยใช้ spectrophotometer ยี่ห้อ Thermo Scientific รุ่น Evolution 201 (APHA, AWWA & WEF No. 4500-NO2 - B, 1998)
น้ำมัน	ใช้ separator Funnel โดยใช้เฮกเซน (hexane) เป็นตัวทำละลาย

วิธีการทดลอง

น้ำทิ้งจากศูนย์อาหารบริเวณหอพักหญิง มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม (ส่วนทะเลแก้ว) จะนำมาทำการทดลองเพื่อหาประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสียโดยผ่านและเทในห้องปฏิบัติการด้านสิ่งแวดล้อม การทดลองเป็นแบบกะ (batch) ในโหลแก้วขนาดปริมาตรบรรจุ 2,000 มิลลิลิตร แบ่งการทดลองออกเป็น 3 ชุดทดลอง ได้แก่ น้ำเสีย (ชุดควบคุม) น้ำเสียที่มีการเลี้ยงผ้า และน้ำเสียที่มีการเลี้ยงสาหร่ายทะเล ทำการทดลองชุดละ 3 ซ้ำ ปริมาตรทำการภายในโหลแก้วเท่ากับ 1,000 มิลลิลิตร ใช้ผ้าและเทเริ่มต้นในการทดลองโหลละ 10 กรัม (น้ำหนักเปียก) ในระหว่างการทดลองทำการเติมอากาศโดยใช้เครื่องปั๊มลมขนาด 3.5 วัตต์ ต่อกับหัวจ่ายอากาศแบบกลมภายในโหลแก้ว วันละ 30 นาที ให้แสงสว่าง 2,000 ลักซ์ ด้วยหลอดไฟฟลูออเรสเซนต์ ขนาด 14 วัตต์ วันละ 8 ชั่วโมง ตลอดระยะเวลา 30 วัน ในระหว่างที่ทำการทดลองจะทำการวิเคราะห์ค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ในน้ำเสีย ได้แก่ อุณหภูมิ พีเอช ซีโอดี และไนไตรต์ และในวันที่ 0 และวันที่ 30 ซึ่งเป็นวันสุดท้ายของการเดินระบบการทดลองจะทำการตรวจวิเคราะห์ค่าบีโอดีของน้ำเพื่อเปรียบเทียบคุณภาพน้ำที่ผ่านการบำบัดด้วยพีชน้ำและสาหร่ายกับค่ามาตรฐานควบคุมการระบายน้ำทิ้งจากอาคารบางประเภทและบางขนาดตามประกาศของกระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม

หลังระยะเวลาของการกักเก็บที่ 30 วัน ได้ทำการเก็บเกี่ยวผ้าและเทโดยการกรองผ่านชุดกรองสูญญากาศ (vacuum filter set) จากนั้นนำไปชั่งหาน้ำหนักเปียก คำนวณอัตราการเจริญเติบโตจำเพาะ (specific growth rate, SRG) โดยใช้สมการที่ (1)

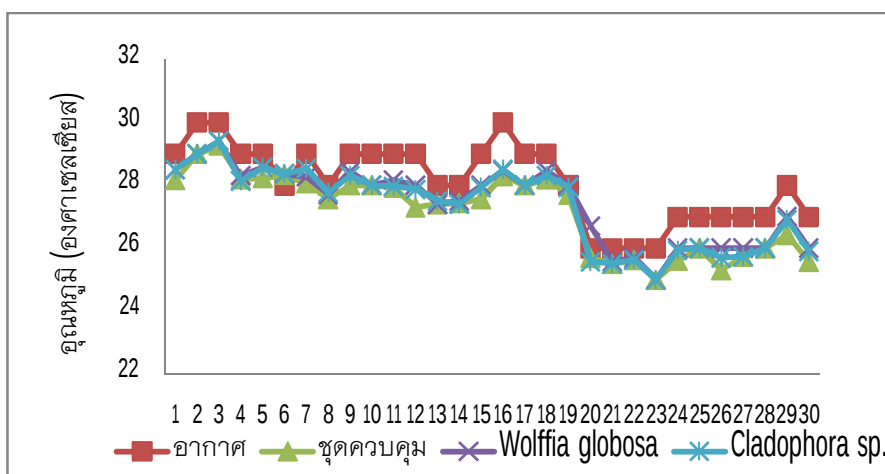
$$SGR (\%/วัน) = [(ln \text{มวลเมื่อสิ้นสุดการทดลอง} - \text{มวลเริ่มต้นการทดลอง}) \times 100] / \text{ระยะเวลา (วัน)} (1)$$

ผ้าและเทที่เก็บเกี่ยวได้จะถูกนำมาสกัดเพื่อวิเคราะห์หาปริมาณไขมันและน้ำมันใน Separator Funnel โดยใช้เฮกเซน (hexane) เป็นตัวทำละลาย

ผลการทดลอง

อุณหภูมิ

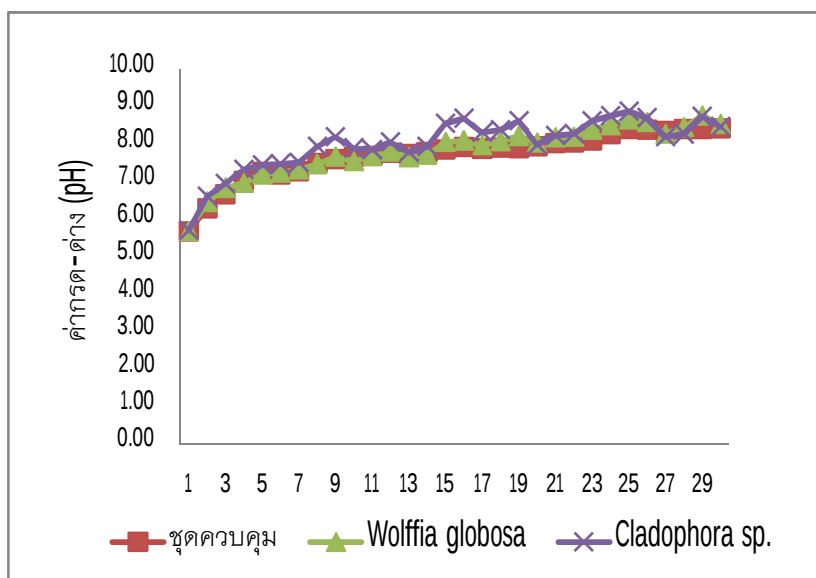
อุณหภูมิเป็นคุณสมบัติทางกายภาพของน้ำ อุณหภูมิจะมีผลต่อการเจริญเติบโตของสิ่งมีชีวิตที่อยู่ในน้ำและส่งผลกระทบต่ออัตราการละลายของสารปนเปื้อนในน้ำ โดยอุณหภูมิสูงจะช่วยเร่งให้เกิดการย่อยสลายของสารอินทรีย์ในน้ำเกิดได้เร็วขึ้นแต่ต้องไม่สูงเกินขีดจำกัดที่จุลินทรีย์ในน้ำจะเจริญเติบโตได้ จากการตรวจวัดค่าอุณหภูมิของน้ำเสียตลอดระยะเวลา 30 วัน พบว่าอุณหภูมิของน้ำเสียในโหลแก้วมีค่าอยู่ระหว่าง 25-30 องศาเซลเซียส ซึ่งเป็นช่วงที่เหมาะสมต่อการดำรงชีวิตและเจริญเติบโตของสิ่งมีชีวิต (ภาพที่ 1)



ภาพที่ 1 อุณหภูมิของน้ำทิ้งระหว่างการทดลอง

ค่าพีเอช

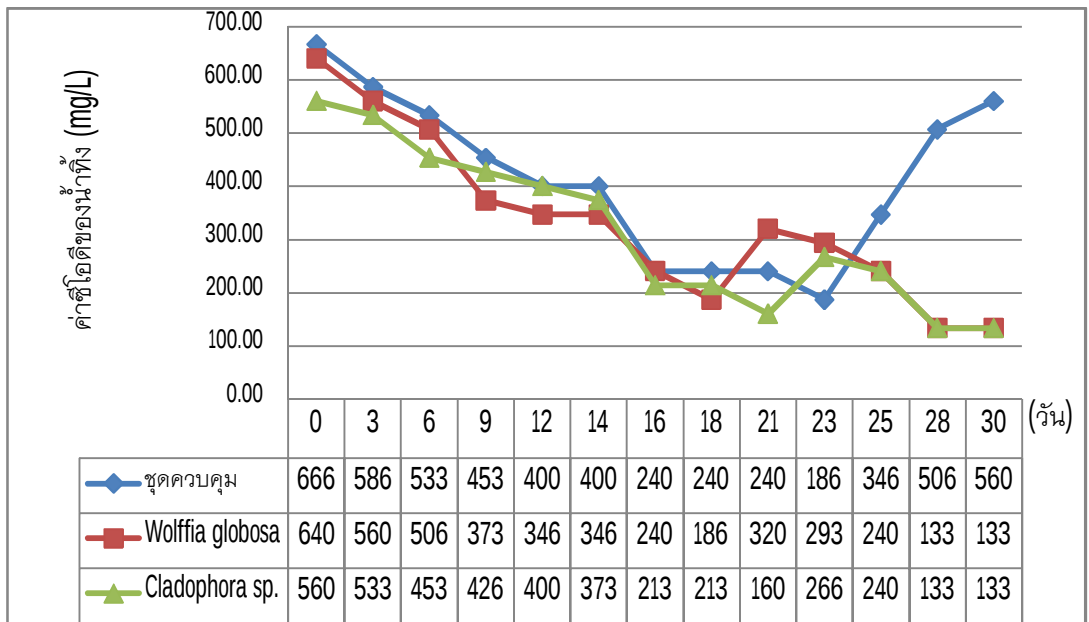
พีเอช (pH) เป็นการวัดความเข้มข้นของธาตุไฮโดรเจน (H) ที่มีอยู่ในน้ำเสีย ไม่มีหน่วยแต่มีตารางบอกจาก 1 ถึง 14 น้ำเสียที่เป็นกลางจะมีพีเอช เท่ากับ 7 พีเอชมีความสำคัญมากต่อระบบบำบัดทางชีวภาพ เพราะจุลินทรีย์ในระบบจะทำงานได้ดีในช่วงพีเอช 6.8-8 เท่านั้น จากการวิเคราะห์ค่าพีเอชของน้ำเสียตลอดระยะเวลาที่ทำการศึกษา (ภาพที่ 2) พบว่าค่าพีเอชของน้ำเสียอยู่ในช่วง 6-9 โดยแนวโน้มของค่าพีเอชของน้ำเสียมีค่าเพิ่มขึ้นจาก 6 ซึ่งเป็นสภาวะที่เป็นกรดอ่อนไปสู่สภาวะที่เป็นกลางและต่าง เนื่องจากน้ำเสียที่มีพีเอชสูงขึ้นเกิดจากการย่อยสลายสารประกอบ อินทรีย์ไนโตรเจน ซึ่งได้แอมโมเนีย CH_3 หรือแอมโมเนีย ไอออน (NH_4^+) ออกมาส่งผลให้น้ำเสียมีสภาวะที่เป็นด่าง (ธีระพงษ์ และคณะ, 2555)



ภาพที่ 2 ค่ากรด-ต่าง ของน้ำทิ้งระหว่างการทดลอง

ค่าซีโอดี

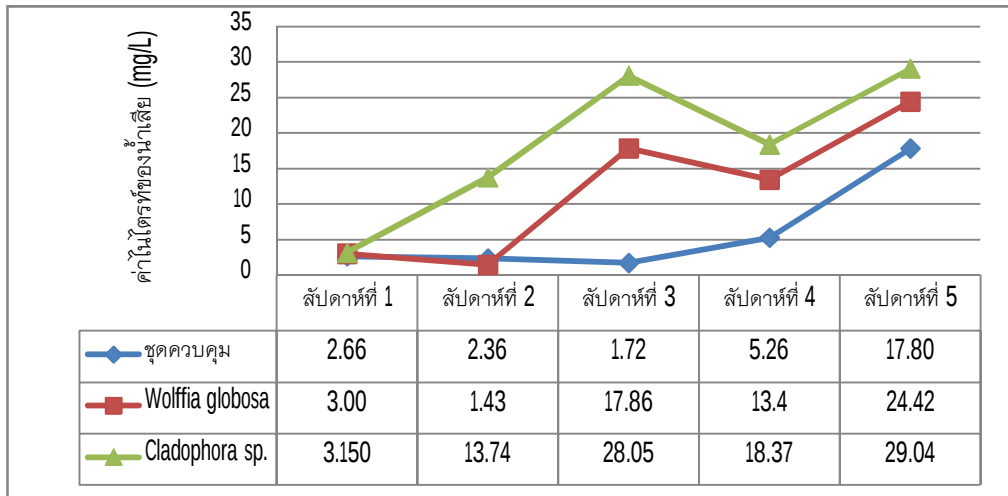
ค่าซีโอดี (COD) เป็นตัวแทนของสารอินทรีย์ (เศษอาหารและสิ่งปฏิกูล) ที่มีอยู่ในน้ำ สารอินทรีย์นั้นนอกจากจะเป็นสารอาหารของจุลินทรีย์แล้ว ยังทำให้ออกซิเจนที่ละลายอยู่ในน้ำ ลดน้อยลง เป็นอันตรายต่อการดำรงชีวิตของพืชและสัตว์หลายประเภทในน้ำ จากการวิเคราะห์ ค่าความสกปรกของน้ำทิ้งในรูปของซีโอดีในแต่ละชุดการทดลอง พบว่าคุณภาพของน้ำทิ้งภายใน โหลแก้วทดลองในชุดควบคุมซึ่งไม่มีการเลี้ยงผ้าและเหาแตกต่างจากชุดการทดลองที่มีการ เพาะเลี้ยงผ้าและเหา ในชุดการทดลองที่มีการเพาะเลี้ยงผ้าและเหาพบว่าค่าซีโอดีของน้ำเสียมีค่า ลดลงอย่างต่อเนื่องตั้งแต่วันแรก แสดงให้เห็นว่าผ้าและเหามีความสามารถในการนำสารอินทรีย์ ที่อยู่ในน้ำมาใช้เพื่อเป็นแหล่งอาหารสำหรับการเจริญเติบโตจึงทำให้ปริมาณค่าความสกปรกของ น้ำลดลง ในขณะที่ในชุดควบคุมปริมาณค่าซีโอดีมีแนวโน้มลดลงในช่วงแรก แต่เมื่อระยะเวลาผ่านไป 23 วัน ค่าซีโอดีในน้ำเสียกลับเพิ่มสูงขึ้น ซึ่งแสดงให้เห็นว่าในช่วงแรกที่ค่าความสกปรกของน้ำ ลดลงเนื่องจากเกิดการทำงานของจุลินทรีย์ที่ปนเปื้อนมากับน้ำเสีย โดยจุลินทรีย์ในน้ำจะใช้ สารอินทรีย์ในน้ำเป็นแหล่งอาหารและเพิ่มจำนวนขึ้น จนเมื่อปริมาณสารอินทรีย์ในน้ำหมดลง จุลินทรีย์ในน้ำจึงค่อย ๆ ตายลง ส่งผลให้น้ำเสียมีค่าซีโอดีสูงขึ้น (สาริตรี, 2554) ปริมาณสารอินทรีย์ ที่วัดค่ามาในรูปของค่าซีโอดีมีผลต่อการเจริญเติบโตของพืชน้ำและสาหร่าย โดยเฉพาะน้ำเสียที่มี ค่าซีโอดีในปริมาณที่พอเหมาะต่อปริมาณพืชน้ำและสาหร่ายในน้ำจะทำให้พืชน้ำและสาหร่าย เจริญเติบโตได้ดี (ภาพที่ 3)



ภาพที่ 3 ค่าซีโอดีของน้ำทิ้ง (COD) ระหว่างการทดลอง

ไนไตรต์ (Nitrite)

ไนโตรเจน เป็นธาตุสำคัญสำหรับพืช ซึ่งจะอยู่ในรูปของแอมโมเนียไนโตรเจน ไนไตรต์ (NO_2) ไนเตรต (NO_3) หากในน้ำมีปริมาณไนโตรเจนสูง จะทำให้พืชน้ำเจริญเติบโตอย่างรวดเร็ว เรียกว่า “ปรากฏการณ์สาหร่ายเบ่งบาน (Eutrophication)” เมื่ออินทรีย์ไนโตรเจนต่าง ๆ ปนเปื้อนมากับน้ำเสียจะเกิดการย่อยสลายของอินทรีย์ไนโตรเจนเหล่านี้ไปเป็นแอมโมเนีย ไนไตรต์ และไนเตรต ตามลำดับ พืชน้ำและสาหร่ายจะใช้ไนเตรตไปในการเจริญเติบโตและไนเตรตบางส่วนถูกแบคทีเรียในแหล่งน้ำย่อยสลายไปเป็นไนไตรต์และกลายเป็นก๊าซไนตรัสออกไซด์ (N_2O) ขึ้นสู่บรรยากาศของโลกต่อไป การเปลี่ยนแปลงรูปของไนโตรเจนสามารถเกิดขึ้นได้ตลอดเวลา หมุนเวียนเป็นวัฏจักรของไนโตรเจน (มันลิน และไพพรณ, 2538) สำหรับประสิทธิภาพในการบำบัดไนไตรต์ในน้ำเสียนั้น พบว่า จากการติดตามตรวจวิเคราะห์ค่าไนไตรต์ในน้ำเสียตลอดระยะเวลา 4 สัปดาห์ พบว่าค่าไนไตรต์ในน้ำเสียนั้นมีค่าเพิ่มขึ้นจากสัปดาห์แรก ในวันที่ 30 ค่าไนไตรต์ของน้ำเสียในชุดควบคุมมีค่าเท่ากับ 24.86 มก./ล. ค่าไนไตรต์ของน้ำเสียที่มีการเพาะเลี้ยงพืชมามีค่าเท่ากับ 38.82 มก./ล. และค่าไนไตรต์ของน้ำเสียที่มีการเพาะเลี้ยงเหามีค่าเท่ากับ 34.18 มก./ล. (ภาพที่ 4)



ภาพที่ 4 ค่าไนโตรเจนของน้ำเสียระหว่างการทดลอง

ผลผลิตและปริมาณการให้น้ำมันของผำและเตา

หลังการกักเก็บน้ำเสียที่ระยะเวลา 30 วัน ได้ทำการเก็บเกี่ยวผำและเตาเพื่อวัดอัตราการเจริญเติบโต โดยพบว่าผำและเตามีการเจริญเติบโตจากน้ำหนักเปียกเริ่มต้นที่ 10 กรัม เป็น 11.68 ± 5.01 กรัม และ 13.37 ± 1.34 กรัม โดยเพิ่มขึ้นคิดเป็น 16.8 และ 33.7 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ

เมื่อวิเคราะห์ปริมาณน้ำมันที่สกัดได้จากผำและเตาโดยใช้เฮกเซนเป็นตัวทำละลาย พบว่าผำมีอัตราการให้ปริมาณน้ำมัน เท่ากับ 3.06 ± 1.58 มิลลิกรัมต่อลิตร และเตามีอัตราการให้น้ำมัน เท่ากับ 1.51 ± 0.51 มิลลิกรัมต่อลิตร แสดงให้เห็นว่าผำมีอัตราการให้น้ำมันสูงกว่าเตา

เมื่อเปรียบเทียบค่าความแตกต่างทางสถิติโดยใช้ T-test เปรียบเทียบความแตกต่างของผลผลิตและปริมาณการให้น้ำมันของผำและเตา (ตารางที่ 2) พบว่ามีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($p \leq 0.05$)

ตารางที่ 2 ผลผลิตผำและเตา และปริมาณน้ำมันที่สกัดได้

พืชน้ำ/สาหร่าย	Wolffia globosa	Spirogyra sp.
ผลผลิต (กรัม)	11.68 ± 5.01^a	3.06 ± 1.58^b
ปริมาณการให้น้ำมัน (กรัมของน้ำมันต่อกรัมของวัตถุดิบ)	13.37 ± 1.34^a	1.51 ± 0.51^b

หมายเหตุ ตัวอักษร a b ที่แตกต่างกันในแนวนอน แสดงว่าผลผลิตและปริมาณการให้น้ำมันของผำและเตามีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($p \leq 0.05$) โดยวิธี T-test000

อภิปรายผลการวิจัย

จากการศึกษาประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียโดยผำและเทา ดังแสดงผลในตารางที่ 3 พบว่า

เมื่อพิจารณาอุณหภูมิของน้ำทิ้งจากศูนย์อาหารบริเวณหอหญิง มหาวิทยาลัยราชภัฏ พิบูลสงคราม (ส่วนทะเลแก้ว) พบว่าในวันที่ 30 อุณหภูมิของน้ำเสียชุดควบคุม เท่ากับ 25 องศาเซลเซียส อุณหภูมิของน้ำเสียที่เพาะเลี้ยงผำเท่ากับ 25 องศาเซลเซียส และอุณหภูมิของน้ำเสียที่เพาะเลี้ยงเทาเท่ากับ 25 องศาเซลเซียส ซึ่งเป็นช่วงที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของสิ่งมีชีวิตในน้ำโดยอุณหภูมิของน้ำที่เหมาะสมต่อการเจริญโตของพืชและสัตว์ควรมีค่าอยู่ระหว่าง 25-35 องศาเซลเซียส (กัณฑ์ชัย, 2540)

ค่าพีเอชของน้ำเสีย พบว่าในวันที่ 30 ค่าพีเอชของน้ำเสียชุดควบคุม เท่ากับ 8.4 พีเอชของน้ำเสียที่เพาะเลี้ยงผำ เท่ากับ 8.5 และค่าพีเอชของน้ำเสียที่เพาะเลี้ยงเทาเท่ากับ 8.8 เมื่อเปรียบเทียบกับกับมาตรฐานควบคุมการระบายน้ำทิ้งจากอาคารบางประเภทและบางขนาด ตามประกาศของกระทรวงวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม พ.ศ. 2548 ซึ่งกำหนดให้มีค่าพีเอชระหว่าง 5-9 พบว่ามีค่าพีเอชของทั้ง 3 ชุดทดลอง อยู่ในเกณฑ์มาตรฐาน

ค่าซีโอดีของน้ำเสีย พบว่า ค่าซีโอดีในวันที่ 30 ของชุดควบคุมเท่ากับ 560 มก./ล. มีค่าเฉลี่ยค่าซีโอดีของน้ำเสียที่เพาะเลี้ยงผำเท่ากับ 80 มก./ล. และค่าซีโอดีของน้ำเสียที่เพาะเลี้ยงเทาเท่ากับ 80 มก./ล. ในขณะที่ค่าบีโอดีของชุดควบคุมมีค่าเท่ากับ 294.73 มก./ล. ค่าบีโอดีของน้ำเสียที่เพาะเลี้ยงผำเท่ากับ 40.54 มก./ล. และค่าบีโอดีของน้ำเสียที่เพาะเลี้ยงเทาเท่ากับ 36.18 มก./ล. เมื่อเปรียบเทียบกับกับมาตรฐานควบคุมการระบายน้ำทิ้งจากอาคารบางประเภทและบางขนาด ตามประกาศของกระทรวงวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม พ.ศ. 2548 ซึ่งกำหนดให้มีค่าไม่เกิน 20 มก./ล. พบว่า น้ำเสียทั้ง 3 ชุดการทดลองยังไม่ผ่านมาตรฐานดังกล่าว อย่างไรก็ตามพบว่าน้ำเสียที่มีการเพาะเลี้ยงผำและเทามีความสามารถบำบัดสารอินทรีย์ในน้ำได้ดีกว่าชุดควบคุม โดยประสิทธิภาพในการบำบัดค่าซีโอดีของน้ำเสียชุดควบคุมคิดเป็น 12.5 เปอร์เซ็นต์ ประสิทธิภาพในการบำบัดค่าซีโอดีของน้ำเสียที่เพาะเลี้ยงผำและเทาคิดเป็น 87 เปอร์เซ็นต์เท่ากัน ในขณะที่ประสิทธิภาพในการบำบัดค่าบีโอดีของชุดควบคุมคิดเป็น 12.5 เปอร์เซ็นต์ ประสิทธิภาพในการบำบัดค่าบีโอดีของน้ำเสียที่เพาะเลี้ยงผำคิดเป็น 87 เปอร์เซ็นต์ และประสิทธิภาพในการบำบัดค่าบีโอดีของน้ำเสียที่เพาะเลี้ยงเทาคิดเป็น 89 เปอร์เซ็นต์

สำหรับประสิทธิภาพในการบำบัดไนโตรเจนในน้ำเสียนั้น พบว่า ในวันที่ 30 ค่าไนโตรเจนของน้ำเสียในชุดควบคุมมีค่าเท่ากับ 24.86 มก./ล. ค่าไนโตรเจนของน้ำเสียที่มีการเพาะเลี้ยงผำมีค่าเท่ากับ 38.82 มก./ล. และค่าไนโตรเจนของน้ำเสียที่มีการเพาะเลี้ยงเทามีค่าเท่ากับ 34.18 มก./ล. แสดงให้เห็นว่าผำและเทาไม่มีความสามารถในการบำบัดไนโตรเจนในน้ำเสีย เนื่องจากมีปริมาณ

สะสมของไนไตรต์ในน้ำเสียเพิ่มสูงขึ้นจากสัปดาห์แรก ซึ่งการสะสมของไนไตรต์อาจเกิดขึ้นเนื่องจากสาเหตุใดสาเหตุหนึ่ง ดังนี้ 1) ขบวนการไนตริฟิเคชัน (Nitrification) ที่ไม่สมบูรณ์เนื่องจากขาดออกซิเจน และความไม่สมดุลของสัดส่วนระหว่างคาร์บอนกับไนโตรเจน (C : N ratio) ในน้ำเสีย 2) ขบวนการดีไนตริฟิเคชัน (Denitrification) ที่ไม่สมบูรณ์ เพราะขบวนการดีไนตริฟิเคชันที่จะเกิดขึ้นได้อย่างสมบูรณ์ในสภาวะตามธรรมชาติเป็นไปได้ยาก เนื่องจากจำเป็นต้องอาศัยปัจจัยประกอบหลาย ๆ อย่าง โดยเฉพาะการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นในระบบต้องใช้พลังงานเป็นจำนวนมากเพื่อดึงอิเล็กตรอนออก (Electron Transfer System; ETS) จึงเกิดการสะสมของไนไตรต์ขึ้น 3) ขบวนการไนเตรดรีดักชัน (Nitrate reduction) ในสภาวะการขาดออกซิเจนในระบบที่ทำให้การทดลอง ทำให้จุลินทรีย์บางชนิดดึงออกซิเจนจากไนเตรดมาใช้จนเกิดเป็นไนไตรต์และมีการสะสมเกิดขึ้น (กรมควบคุมมลพิษกระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม, 2545) นอกจากนี้ยังมีรายงานการศึกษาว่าไนไตรต์ที่พบในแหล่งน้ำอาจเกิดจากปฏิกิริยารีดักชันของไนเตรดโดยสาหร่ายเซลล์เดียวในสกุล *Chlorella* ซึ่งสามารถลดออกซิเจนในไนเตรดได้ ไนไตรต์ไม่ส่งผลกระทบต่อพืชน้ำแต่ไนไตรต์ในน้ำส่งผลต่อการดำรงของสัตว์ที่อยู่ในน้ำ เนื่องจากไนไตรต์จะไปทำปฏิกิริยากับฮีโมโกลบินในเลือดของสัตว์น้ำได้เมทธิโคโกลบินส่งผลให้ไม่สามารถขนถ่ายออกซิเจนได้ เกิดอาการเลือดเป็นพิษ และจะทำลายระบบประสาท ตับ ไตของสัตว์น้ำ มีการรายงานกรณีศึกษาพบว่าแม้มีไนไตรต์ในระดับต่ำ แต่มีอยู่เป็นระยะเวลานานๆ จะทำให้ขอบฝาปิดเหงือกของปลาเกิดอาการอักเสบหรือเหงือกบาน (มันลิน และไพพรรณ, 2538)

เมื่อพิจารณาอัตราการเจริญเติบโตของผำและเตา โดยใช้สมการคำนวณอัตราการเจริญเติบโตจำเพาะ (specific growth rate, SRG) พบว่าผำมีอัตราการเจริญเติบโตจำเพาะ 1.63 เปอร์เซ็นต์/วัน และเตามีอัตราการเจริญเติบโตจำเพาะ 4.05 เปอร์เซ็นต์/วัน แสดงให้เห็นว่าเตาสามารถเจริญเติบโตในน้ำทิ้งจากโรงอาหารได้ดีกว่าผำ

ตารางที่ 3 คุณภาพน้ำก่อนและหลังการบำบัดด้วยผำและเตา

ชุดทดลอง	อุณหภูมิ °C		ค่าพีเอช (pH)		COD (มก./ล.)		BOD (มก./ล.)		Nitrite (มก./ล.)	
	ก่อน	หลัง	ก่อน	หลัง	ก่อน	หลัง	ก่อน	หลัง	ก่อน	หลัง
ชุดควบคุม	29 °C	25 °C	5.6	8.4	640	560	336.84	294.73	2.33	24.86
ผำ	29 °C	25 °C	5.6	8.5	640	80	336.84	40.54	2.32	38.82
(<i>Wolffia globosa</i>)										
เตา	29 °C	25 °C	5.6	8.8	640	80	336.84	36.18	3.40	34.18
(<i>Spirogyra</i> sp.)										
*เกณฑ์มาตรฐาน	-		5-9		-		ไม่เกิน 20		-	

หมายเหตุ ประกาศกระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม เรื่อง กำหนดมาตรฐานควบคุม การระบายน้ำทิ้งจากอาคารบางประเภทและบางขนาด ลงวันที่ 7 พฤศจิกายน 2548 ประกาศใน ราชกิจจานุเบกษา เล่มที่ 122 ตอนที่ 125 ลงวันที่ 29 ธันวาคม 2548

สรุปผลการศึกษา

จากการศึกษาประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำทิ้งจากศูนย์อาหารของมหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม (ส่วนทะเลแก้ว) จังหวัดพิษณุโลก โดยเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสียและอัตราการให้น้ำมันของผ้า (*Wolffia globosa*) และเหา (*Cladophora* sp.) ภายใต้การทำงานแบบกะ ที่ระยะเวลาการกักเก็บ 30 วัน พบว่า

1) ผ้าและเหาสามารถบำบัดสารอินทรีย์ที่อยู่ในน้ำเสียได้โดยประสิทธิภาพในการบำบัดค่าซีไอดีของผ้าและเหาคิดเป็น 87 เปอร์เซ็นต์เท่ากัน ในขณะที่ประสิทธิภาพในการบำบัดค่าบีโอดีของน้ำเสียที่เพาะเลี้ยงผาคิดเป็น 87 เปอร์เซ็นต์และประสิทธิภาพในการบำบัดค่าบีโอดีของน้ำเสียที่เพาะเลี้ยงเหาคิดเป็น 89 เปอร์เซ็นต์

2) เมื่อเปรียบเทียบผลผลิตและปริมาณการให้น้ำมันของผ้าและเหาทางสถิติโดยวิธี T-test ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($p \leq 0.05$) พบว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ เหาที่มีอัตราการเจริญเติบโตในน้ำทิ้งจากศูนย์อาหารได้ดีกว่าผ้า โดยผ้ามีอัตราการเจริญเติบโตจำเพาะเท่ากับ 1.63 เปอร์เซ็นต์/วัน และเหามีอัตราการเจริญเติบโตจำเพาะ เท่ากับ 4.05 เปอร์เซ็นต์/วัน ในขณะที่ผ้ามีอัตราการให้น้ำมันสูงกว่าเหาโดยผ้ามีอัตราการให้น้ำมัน เท่ากับ 3.06 ± 1.58 กรัม (w/w) และเหามีอัตราการให้น้ำมัน เท่ากับ 1.51 ± 0.51 กรัม (w/w)

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบคุณอาจารย์ และเจ้าหน้าที่ห้องปฏิบัติการ สาขาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงครามที่ได้ให้ความช่วยเหลือทางด้านอุปกรณ์ สารเคมี ตลอดจนคำแนะนำต่างๆ ในการวิจัยครั้งนี้

เอกสารอ้างอิง

- กรมควบคุมมลพิษ กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม. 2554. น้ำเสียชุมชนและระบบบำบัดน้ำเสีย. โรงพิมพ์คุรุสภาลาดพร้าว กรุงเทพฯ.
- กันทรีย์ ศรีวงศ์พันธุ์. 2540. มลพิษทางน้ำ. ปรินทิฟิเคชัน วิทยาศาสตร์บัณฑิต สาขาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยศิลปากร.
- ธีระพงษ์ หมั่นโอสถ ประภาส ปัตตาราโพธิ์ อัมรินทร์อุปถัมภ์ และวันเพ็ญ วิโรจน์บุญ. 2555. การใช้จุลินทรีย์ ประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสียชุมชน. โครงการงานนักศึกษาวิศกรรมศาสตรบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม. คณะวิศวกรรมศาสตร์. มหาวิทยาลัยขอนแก่น.
- พนิดา รัตนพลทิ. 2552. การประยุกต์ใช้สาหร่ายขนาดเล็กเพื่อผลิตไบโอดีเซล. ปรินทิฟิเคชันวิทยาศาสตร์ บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยขอนแก่น

- มันลิน ตันทูลเวศม์ และไพพรรณ พรประภา. 2544. การจัดการคุณภาพน้ำและการบำบัดน้ำเสียในบ่อเลี้ยงปลา และสัตว์น้ำอื่น ๆ เล่ม 1 การจัดการคุณภาพน้ำ. พิมพ์ครั้งที่ 4. กรุงเทพฯ. จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- วีรยุทธ รักษาศักดิ์ ยศสวัสดิ์ พิเชียรสุนทร บุญยฤทธิ์ ปัญญาภิญโญผล ปมทอง มาลากุล ณ อยุธยา และประเสริฐ ภาวนันต์. 2555. การเร่งการเจริญเติบโตของสาหร่ายขนาดเล็กโดยการเปลี่ยนรูปคาร์บอนไดออกไซด์. *วารสารวิศวกรรมศาสตร์*. 3(4), 15-26.
- สาวิตรี ไทรทับทิม. 2554. การนำสาหร่ายที่ผลิตน้ำมันไบโอดีเซลมาบำบัดน้ำเสียของโรงงานอุตสาหกรรม *รีไซเคิล*. ปริญญาพันธวิทยาสตรมหาบัณฑิต สาขาการจัดการสิ่งแวดล้อม. คณะพัฒนาลังคมและสิ่งแวดล้อม. สถาบันบัณฑิตพัฒนบริหารศาสตร์.
- สุจยา ฤทธิศร. 2551. การใช้ประโยชน์จากสาหร่ายเกลียวทองเพื่อการบำบัดน้ำเสียจากโรงงาน *อุตสาหกรรมสุราแช่พื้นบ้าน*. รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์. คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏจันทรเกษม. ปทุมธานี.
- Ganta, M., Obrecht, Z., and Dalmacija, B., 1991. Nutrient removal and algal succession during the growth of spirulina plateis and scenedesmus quadricauda on swine wastewater. *Bioresource Technolgy*. 36(2) p. 167-171.
- Kishimoto, M., Okakura, T., Nagashima, H., Minowa, T., Yokoyama, S.Y., Yamaberi, K., 1994. CO₂ Fixation and oil production using micro-algae. *Journal of Fermentation and Bioengineering*. 6(78) p. 479-482.
- Xu, H., Miao, X. and Wu, Q., 2006. High quality biodiesel production from a microalgae Chlorella protothecoides by heterotrophic growth in fermenters. *Journal Biotechnology*. 126, 499-507.