

รายงานการวิจัยประจำปีงบประมาณ 2546

เรื่อง

การกำจัดสารอินทรีย์และโลหะหนักจากน้ำเสียโดยใช้
สาหร่ายขนาดเล็ก (*Oscillatoria* sp., *Microcystis* sp.)

Removal of Organic Nutrients and Heavy Metal from
Waste Water through Treatment with Microalgae

(*Oscillatoria* sp., *Microcystis* sp.)

โดย

ดร. ปวีณา ทวีกิจการ

นางสาวสุนิรัตน์ เรืองสมบูรณ์

นางสาวกตินสุคนธ์ สุวรรณรัตน์

รศ. ศักดิ์ชัย ชูโชติ

RCH
TD
458.5
H43
SA51



T100824

เลขหมู่... ค. 2
เลขทะเบียน... 100824
ในเดือนปี... 22 JUN 2003

ภาควิชาวิทยาศาสตร์การประมง

คณะเทคโนโลยีการเกษตร

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหาร ลาดกระบัง

กรุงเทพฯ 10520

พ.ศ. 2546

บทคัดย่องานวิจัย

เรื่อง

การกำจัดสารอินทรีย์และโลหะหนักจากน้ำเสียโดยใช้สาหร่ายขนาดเล็ก

(*Oscillatoria* sp., *Microcystis* sp.)

Removal of Organic Nutrients and Heavy Metal from Waste Water through Treatment with
Microalgae (*Oscillatoria* sp., *Microcystis* sp.)

การทดลองใช้สาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินชนิด *Oscillatoria* sp. และ *Microcystis* sp. บำบัดน้ำ
เสียที่ น้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรม และน้ำเสียจากฟาร์มสัตว์น้ำ ในน้ำเสียสังเคราะห์
Oscillatoria สามารถลดปริมาณแอมโมเนีย ไนเตรท และฟอสเฟตได้ 42.73 97.48 และ 72.58
เปอร์เซ็นต์ ส่วน *Microcystis* ลดได้ 63.74 71.48 และ 98.95 เปอร์เซ็นต์ ในน้ำเสียจากโรงงาน
อุตสาหกรรม *Oscillatoria* สามารถลดปริมาณแอมโมเนีย ไนเตรท และฟอสเฟตได้ 97.36 92.41 และ
60.08 เปอร์เซ็นต์ ส่วน *Microcystis* ลดได้ 97.62 98.53 และ 54.68 เปอร์เซ็นต์ ส่วนในน้ำเสียจากฟาร์ม
สัตว์น้ำ *Oscillatoria* สามารถลดปริมาณแอมโมเนีย ไนเตรท และฟอสเฟตได้ 77.34 91.41 และ 94.21
เปอร์เซ็นต์ ส่วน *Microcystis* ลดได้ 59.87 93.88 และ 90.69 เปอร์เซ็นต์ ในการใช้ *Oscillatoria* และ
Microcystis กำจัดตะกั่วและแคดเมียมจากน้ำเสียสังเคราะห์พบว่า *Oscillatoria* มีระดับพีเอชที่เหมาะสม
ในการกำจัดตะกั่วและแคดเมียมคือ 3.5 และ 4.5 ส่วน *Microcystis* มีพีเอชที่เหมาะสมคือ 4.5 และ 6 โดย
Oscillatoria มีระยะเวลาในการกำจัดตะกั่วและแคดเมียมถึงจุดสมดุลที่ 60 นาที ส่วน *Microcystis* ถึงจุด
สมดุลที่ 120 นาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Abstract

Removal of Organic Nutrients and Heavy Metal from Waste Water through Treatment with Microalgae (*Oscillatoria* sp., *Microcystis* sp.)

The removal of nitrogen and phosphorus by the freshwater blue-green algae : *Oscillatoria* and *Microcystis* was studied in three types of wastewater :synthetic, industrial and fisheries farm wastewater. The amount of ammonia, nitrate and phosphate in synthetic wastewater that were removed by *Oscillatoria* were 42.73, 97.48 and 75.28%, by *Microcystis* were 63.74, 71.48 and 98.95%. The amounts of ammonia, nitrate and phosphate in industrial wastewater that were removed by *Oscillatoria* were 97.36, 92.41 and 60.08 % , by *Microcystis* were 97.62, 98.53 and 54.68 % respectively. The amounts of ammonia, nitrate and phosphate in fisheries farm wastewater that were removed by *Oscillatoria* were 77.34, 91.41 and 94.21%, by *Microcystis* were 59.87, 93.88 and 90.96% respectively. *Oscillatoria* showed the highest Pb and Cd removal ability under pH 3.5 and 4.5 of solution, whereas *Microcystis* showed the highest removal ability under pH 4.5 and 6. The adsorption equilibrium of *Oscillatoria* was attained within 60 min and *Microcystis* was 120 min.

การกำจัดสารอินทรีย์และโลหะหนักจากน้ำเสียโดยใช้สาหร่ายขนาดเล็ก

(*Oscillatoria* sp., *Microcystis* sp.)

Removal of Organic Nutrients and Heavy Metal from Waste Water through Treatment with Microalgae (*Oscillatoria* sp., *Microcystis* sp.)

คำนำ

ปัญหามลภาวะทางน้ำเป็นปัญหาของประชากรโลก มีสาเหตุหลักมาจากน้ำทิ้งจากบ้านเรือน แหล่งเกษตรกรรม และโรงงานอุตสาหกรรม ซึ่งทำให้แหล่งน้ำได้รับผลกระทบจากความร้อน สารอินทรีย์ ยาฆ่าแมลง และ โลหะหนัก (Chiras, 1994) ในปัจจุบันปัญหาเหล่านี้ทวีความรุนแรงขึ้นเนื่องจากการเพิ่มของจำนวนประชากร ความต้องการใช้ทรัพยากรที่เพิ่มมากขึ้นมีผลทำให้ปัญหามลพิษของแหล่งน้ำทวีความรุนแรงมากกว่าในอดีต

ปัญหาน้ำเน่าเสียจากสารอินทรีย์ มีแหล่งที่มาของน้ำทิ้งจากบ้านเรือน แหล่งเกษตรกรรม และโรงงานอุตสาหกรรมประเภทแปรรูปผลผลิตทางการเกษตร ซึ่งน้ำทิ้งเหล่านี้มีธาตุอาหารที่สูงเกิน จนแหล่งน้ำธรรมชาติไม่สามารถบำบัดได้ด้วยตัวเองจึงเกิดปรากฏการณ์ยูโทรฟิเคชัน (Eutrophication) มีการเพิ่มปริมาณของสาหร่ายขนาดเล็กจำนวนมาก และสาหร่ายเหล่านี้มีช่วงชีวิตสั้น ทำให้เกิดการตายพร้อม ๆ กันมีผลให้แหล่งน้ำเน่าเสียแบบเฉียบพลัน หรืออาจทำให้มีสาหร่ายที่สร้างสารพิษจำนวนมากเกิดขึ้นในแหล่งน้ำแทน

ปัจจุบันวิธีชีวภาพบำบัด (biological treatment) เป็นวิธีที่ได้รับความนิยมแพร่หลายในการบำบัดน้ำเสียโดยการใช้ตัวบำบัดชีวภาพ เช่น แบคทีเรีย (Shuttleworth, 1993), สาหร่าย (Fehrmann, 1993; Cho, 1994; Hammouda, 1995), yeast (Volesky, 1995), รากพืชและพืชน้ำ (Chen, 1996) โดยเฉพาะการใช้สาหร่ายขนาดเล็กในการบำบัดน้ำเสียที่มีสารอินทรีย์ปนเปื้อน สาหร่ายจะทำการดูดซับสารอินทรีย์เข้าเซลล์เพื่อใช้ในการเจริญเติบโต (Singh, 1998) จึงสามารถกำจัดไนเตรท, ฟอสเฟต, และลดค่าบีโอดี ในน้ำเสียได้ดี

ส่วนการใช้สาหร่ายขนาดเล็กในการบำบัดโลหะหนักจากน้ำเสีย ซึ่งมีความเข้มข้นต่ำในมวลน้ำปริมาณมากนั้น สามารถทำได้ดีมีประสิทธิภาพสูง เพราะสาหร่ายไม่ได้รับอันตรายจากโลหะหนักที่เจือจาง แต่จะทำการดูดซับโลหะหนักไว้ที่ผิวเซลล์ และอีกส่วนหนึ่งจะนำเข้าสู่เซลล์ไปใช้ประโยชน์ในการเจริญเติบโตหรือเปลี่ยนรูปไปในรูปซึ่งไม่เป็นอันตราย (Chodat et al, 1994) การที่สาหร่ายดูดซับโลหะหนักไว้ที่ผิวเซลล์นี้ ทำให้สามารถใช้สารเคมีล้างโลหะหนักเหล่านี้ออกมาใช้ใหม่ได้อีก และสาหร่ายที่ถูกล้างเอาโลหะหนักออกแล้วยังสามารถนำกลับมาใช้บำบัดน้ำเสียได้ใหม่อีกด้วย จึงนับว่าเป็นวิธีที่มีประสิทธิภาพมาก (Inthom, 2001)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ดังนั้นหากมีการศึกษาถึงประสิทธิภาพของการใช้สาหร่ายบำบัดสารอินทรีย์ในน้ำเสียจากฟาร์มสัตว์น้ำและบำบัดโลหะหนัก (ตะกั่ว และแคดเมียม) จากโรงงานอุตสาหกรรมซึ่งข้อมูลที่ได้จะเป็นประโยชน์ในการใช้กำหนดแนวทางการนำไปใช้ได้จริงเพื่อลดต้นทุนและการจัดระบบการบำบัดน้ำเสียให้มีประสิทธิภาพและที่สำคัญคือไม่เป็นอันตรายต่อสิ่งแวดล้อมและทรัพยากรธรรมชาติ

วัตถุประสงค์

1. ศึกษาประสิทธิภาพของสาหร่ายขนาดเล็ก (*Oscillatoria, Microcystis*) ในการบำบัดน้ำเสียจากฟาร์มสัตว์น้ำ และโรงงานแปรรูปผลิตภัณฑ์การเกษตร
2. ศึกษาประสิทธิภาพของสาหร่ายขนาดเล็ก (*Oscillatoria, Microcystis*) ในการกำจัดโลหะหนักในน้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรม

การตรวจเอกสาร

ปัญหาน้ำเน่าเสียจากสารอินทรีย์ มีแหล่งที่มาของน้ำทั้งจากบ้านเรือน แหล่งเกษตรกรรม และโรงงานอุตสาหกรรมประเภทแปรรูปผลผลิตทางการเกษตร ซึ่งน้ำทิ้งเหล่านี้มีธาตุอาหารที่สูงเกิน จนแหล่งน้ำธรรมชาติไม่สามารถบำบัดได้ด้วยตัวเองจึงเกิดปรากฏการณ์ยูโทรฟิเคชัน (Eutrophication) มีการเพิ่มปริมาณของสาหร่ายขนาดเล็กจำนวนมาก และสาหร่ายเหล่านี้มีช่วงชีวิตสั้น ทำให้เกิดการตายพร้อม ๆ กันมีผลให้แหล่งน้ำเน่าเสียแบบเฉียบพลัน หรืออาจทำให้มีสาหร่ายที่สร้างสารพิษจำนวนมากเกิดขึ้นในแหล่งน้ำแทน ซึ่งสาหร่ายเหล่านี้สามารถปล่อยสารพิษออกมาสะสมในสัตว์น้ำ หรือตกค้างในน้ำ เมื่อมนุษย์นำสัตว์น้ำหรือนำน้ำจากแหล่งน้ำนั้นมาบริโภคทำให้ได้รับพิษเหล่านี้เข้าสู่ร่างกาย เพราะพิษนี้ไม่สามารถถูกทำลายได้ด้วยคลอรีนหรือความร้อน

โดยในปี 2524 - 2540 มีรายงานเกิดการเพิ่มปริมาณมากของสาหร่ายในอ่าวไทยถึง 43 ครั้ง มีผลทำให้น้ำมีปริมาณแอมโมเนียสูง ไม่สามารถนำไปใช้เพาะเลี้ยงสัตว์น้ำได้ (Suvapepun, 1998) และมีการเพิ่มปริมาณของสาหร่ายพิษอย่างเฉียบพลัน (algae bloom) พิษจากสาหร่ายสะสมในสัตว์น้ำ ทำให้ประชาชนที่บริโภคสัตว์น้ำมีอาการคลื่นไส้ อาเจียน ชัก และหมดสติ ถึง 12 ราย (สุทธิชัย, 2527 ก) และสัตว์น้ำที่สะสมพิษของสาหร่ายไว้เมื่อนำไปเป็นอาหารสัตว์บ่งจะทำให้สัตว์เป็นอัมพาต (สุทธิชัย, 2527 ข) ส่วนในแหล่งน้ำจืดพบรายงานการเพิ่มปริมาณของสาหร่าย *Microcystis* sp. ซึ่งสามารถสร้างสาร *Microcystin* อันเป็นสาเหตุของมะเร็งตับ ขึ้นในช่วงปี 2539-2540 ณ บริเวณเขื่อนแม่กวง เขื่อนลำตะคอง อ่างเก็บน้ำบางพระ เขื่อนแก่งกระจาน สระน้ำหน้าเรือนจำคลองเปรม (Mahakhant et al. 1998) และในปี 2540 มีรายงานปลาตายถึง 3.8 ตันในแม่น้ำพอง เนื่องจากน้ำทิ้งของโรงงานผลิตเยื่อกระดาษ และโรงงานมันสำปะหลัง นอกจากนี้มีรายงานน้ำทิ้งจากการเกษตรทำให้มีผู้ได้รับสารพิษตกค้างทางการเกษตร 3,055 ราย เสียชีวิต 30 ราย (กรมควบคุมมลพิษ, 2540)

ส่วนปัญหามลพิษทางน้ำจากโลหะหนักพบว่ามีแหล่งที่มาจากโรงงานอุตสาหกรรมเป็นหลัก โดยในน้ำทิ้งจะมีการปนเปื้อนของปรอท, ตะกั่ว, แคดเมียม, สังกะสี, ทองแดง (Jackson, 1996; Raven, 1993) ซึ่งมาตรฐานน้ำทิ้งกำหนดให้มีปริมาณไม่เกิน 0.0005, 0.05, 0.001, 0.1 และ 0.02 มิลลิกรัมต่อลิตรตามลำดับ (Sindermann, 1996) แต่เนื่องจากโรงงานอุตสาหกรรมส่วนใหญ่ตั้งอยู่ติดแหล่งน้ำสาธารณะ จึงมีการระบายน้ำทิ้งลงสู่แหล่งน้ำโดยตรง ซึ่งพบว่าประมาณ 80 เปอร์เซ็นต์ ของโรงงานอุตสาหกรรมที่น้ำทิ้งที่มีตะกั่วสูงกว่ามาตรฐานที่กำหนด (พรสวรรค์, 2529) ซึ่งโลหะหนักเหล่านี้ถูกดูดซับเข้าสู่สิ่งมีชีวิตในน้ำ และเข้าสู่ห่วงโซ่อาหารซึ่งมีมนุษย์อยู่บนสุด จึงมีความเสี่ยงในการได้รับพิษของโลหะหนักสูงมาก (Jackson, 1996) เช่นตะกั่วเมื่อเข้าสู่ร่างกายจะสะสมจนถึงระดับหนึ่งและทำให้เป็นโรคโลหิตจาง ไตพิการ เยื่อหุ้มสมองอักเสบ (Jackson, 1996) หรือ แคดเมียมที่เป็นสารประกอบในการผลิตเครื่องไฟฟ้า ซึ่งมักปนมากับน้ำทิ้งและกักตุนจากบ่อบำบัดของโรงงาน ซึ่งกักตุนนี้เกษตรกรนิยมนำไปใช้แทนปุ๋ยในการปลูกพืชผักทำให้แคดเมียมสะสมอยู่ในพืชผักเหล่านี้เมื่อมนุษย์บริโภคผักไม่ผ่านการล้างอย่างถี่ถ้วน อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

และสัตว์น้ำที่มีการสะสมแคดเมียมเข้าไปนาน ๆ จะก่อให้เกิดโรคไตร่วมกับโรคกระดูกเสื่อม (อีไต อีไต) (บุปผา, 2527) โดยในปี 2540 มีรายงานผู้ป่วยได้รับพิษโลหะหนัก 211 ราย เสียชีวิต 1 ราย (กรมควบคุมมลพิษ, 2540)

ที่ผ่านมาการบำบัดน้ำเสียจากสารอินทรีย์ แต่เดิมมักนิยมใช้สาหร่ายขนาดใหญ่หรือใช้พืชน้ำ ซึ่งจำเป็นต้องมีบ่อขนาดใหญ่ ใช้พื้นที่มาก ใช้ระยะเวลานาน (Raven, 1993) ดังนั้นฟาร์มสัตว์น้ำและโรงงานอุตสาหกรรมหลายแห่งจึงหลีกเลี่ยงที่จะบำบัดน้ำเสียก่อนปล่อยลงสู่แหล่งน้ำธรรมชาติเสมอ (พรสวรรค์, 2529) ส่วนการบำบัดน้ำเสียที่มีโลหะหนักปนเปื้อนมีหลายวิธีที่นำมาใช้เช่น การตกตะกอนทางเคมี การแลกเปลี่ยนไอออน การสกัดด้วยตัวทำละลาย หรือการระเหย (Raven, 1993) ซึ่งน้ำเสียที่มีโลหะหนักปนเปื้อนเหล่านี้จะมีโลหะหนักในปริมาณต่ำอยู่ในมวลน้ำปริมาณมาก ทำให้การรวบรวมโลหะหนักที่เจือจางในน้ำปริมาณมากต้องใช้ระยะเวลานาน มีค่าใช้จ่ายสูง และจำเป็นต้องควบคุมปัจจัยต่าง ๆ ให้คงที่ มิฉะนั้นโลหะหนักจะไม่ถูกแยกออกจากน้ำเสีย นอกจากนี้ตะกอนของโลหะหนักที่เกิดขึ้นในบ่อบำบัดจะต้องรวบรวมไปกำจัดในที่ที่เฉพาะเจาะจง ไม่ให้เป็นอันตรายต่อสิ่งแวดล้อมตามมา (Wilde, 1993) ซึ่งก่อให้เกิดความยุ่งยากในการปฏิบัติ

ปัจจุบันวิธีชีวภาพบำบัด (biological treatment) เป็นวิธีที่ได้รับความนิยมแพร่หลายในการบำบัดน้ำเสียโดยการใช้ตัวบำบัดชีวภาพ เช่น แบคทีเรีย (Shuttleworth, 1993), สาหร่าย (Fehrmann, 1993; Cho, 1994; Hammouda, 1995), yeast (Volesky, 1995), รากพืชและพืชน้ำ (Chen, 1996) โดยเฉพาะการใช้สาหร่ายขนาดเล็กในการบำบัดน้ำเสียที่มีสารอินทรีย์ปนเปื้อน สาหร่ายจะทำการดูดซับสารอินทรีย์เข้าเซลล์เพื่อใช้ในการเจริญเติบโต (Singh, 1998) จึงสามารถกำจัดไนเตรท, ฟอสเฟต, และลดค่าบีโอดี ในน้ำเสียได้ดี นอกจากนี้หลังจากการบำบัดสาหร่ายเหล่านี้ยังสามารถนำไปใช้เป็นปุ๋ยและอาหารสัตว์ได้ (Chiras, 1994) โดยชนิดสาหร่ายที่มีรายงานนำไปใช้บำบัดน้ำเสียได้แก่ การใช้ *Selenastrum*, *Scenedesmus*, *Chlorella* ลดไนเตรท, ฟอสเฟต, การใช้ *Oscillatoria* ลด บีโอดี, ซีโอดี, ไนเตรท, แอมโมเนีย และฟอสเฟต (Kumar, 1994; Manoharan, 1993)

ส่วนการใช้สาหร่ายขนาดเล็กในการบำบัดโลหะหนักจากน้ำเสีย ซึ่งมีความเข้มข้นต่ำในมวลน้ำปริมาณมากนั้น สามารถทำได้ดีมีประสิทธิภาพสูง เพราะสาหร่ายไม่ได้รับอันตรายจากโลหะหนักที่เจือจาง แต่จะทำการดูดซับโลหะหนักไว้ที่ผิวเซลล์ และอีกส่วนหนึ่งจะนำเข้าสู่เซลล์ไปใช้ประโยชน์ในการเจริญเติบโตหรือเปลี่ยนรูปไปในรูปซึ่งไม่เป็นอันตราย (Chodat et al, 1994) การที่สาหร่ายดูดซับโลหะหนักไว้ที่ผิวเซลล์นี้ ทำให้สามารถใช้สารเคมีล้างโลหะหนักเหล่านี้ออกมาใช้ใหม่ได้อีก และสาหร่ายที่ถูกล้างเอาโลหะหนักออกแล้วยังสามารถนำกลับมาใช้บำบัดน้ำเสียได้ใหม่อีกด้วย จึงนับว่าเป็นวิธีที่มีประสิทธิภาพมาก (Inthorn, 2001) โดยชนิดสาหร่ายขนาดเล็กที่มีการนำมาใช้บำบัดโลหะหนักได้แก่ การใช้ *Chlorella* ดูดซับโครเมียม การใช้ *Scenedesmus*, *Cyclotella*, *Phaeodactylum* ดูดซับอลูมิเนียม, สังกะสี, ปรอท, ตะกั่ว, ทองแดง และแคดเมียม (Daniel et al, 2001) การใช้ *Oscillatoria* ดูดซับสังกะสี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(Ahuja, 1999), แมงกานีสและแคดเมียม (Bender et al, 1994), ทองแดง (Ahuja, 1997) และใช้ *Microcystis* ดูดซับเหล็กและทองแดง (Singh, 1998)

จะเห็นได้ว่าการบำบัดน้ำเสียโดยใช้สาหร่ายขนาดเล็กเป็นวิธีที่เหมาะสมและมีประสิทธิภาพมาก เพราะประหยัดพื้นที่ ต้นทุน และระยะเวลา (Ahuja, 1999; Inthorn, 2001) นอกจากนี้สาหร่ายยังสามารถทำงานได้ในสภาวะแวดล้อมที่ผันแปรสูง ทั้งอุณหภูมิ พีเอช หรือมีการปนเปื้อนของไอออนอื่น ๆ (Peterson and Nyholm, 1993; Terauchi, 1995; Wang, W. et al, 1997) โดยเฉพาะกลุ่มสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงิน (Les, 1984; Proulx, 1998; Mallick, 1994; Nagase, 1997) เพราะเจริญเติบโตเร็ว เพาะเลี้ยงง่าย โตได้ดีในอาหารสังเคราะห์ (Desikachary, 1959; Stanier, 1971; Peterson and Nyholm, 1993; Wang, W. et al, 1997) เช่น *Oscillatoria* และ *Microcystis* ซึ่งทั้งสองชนิดเพาะเลี้ยงง่าย เจริญได้รวดเร็ว ทนทานและดูดซับของเสียได้ดี (Lewin, 1962) สามารถพบได้ในแหล่งน้ำธรรมชาติทั่วไปในประเทศไทย จึงมีความเหมาะสมและเป็นไปได้ในการใช้น้ำบำบัดน้ำเสียจากฟาร์มเลี้ยงสัตว์และโรงงานอุตสาหกรรม หากมีข้อมูลการนำไปใช้ถูกต้องและเหมาะสมในบ้านเรา



อุปกรณ์และวิธีการ

อุปกรณ์

1. สาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงิน *Oscillatoria* และ *Microcystis*
2. โหลแก้วขนาด 12 ลิตร
3. ขวดแก้วขนาด 1 ลิตร
4. ถังพลาสติกขนาด 150 ลิตร
5. เครื่องวัดความเป็นกรดเป็นด่าง HANNA รุ่น HI 8424
6. เครื่องวัดปริมาณออกซิเจนที่ละลายน้ำ HANNA รุ่น HI 9143
7. Hot air oven
8. เครื่องชั่งน้ำหนักทศนิยม 4 ตำแหน่ง
9. เครื่อง Spectrophotometer
10. เครื่อง Atomic Absorption Spectrophotometer
11. เครื่อง centrifuge
12. เครื่องแก้ว สารเคมี สำหรับวิเคราะห์น้ำ
13. อุปกรณ์พลาสติกทนกรด สำหรับวิเคราะห์โลหะหนัก
14. สารละลายมาตรฐานของตะกั่วและแคดเมียม
15. ก๊าซอะเซทิลีน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วิธีการ

1. การใช้ *Oscillatoria* sp. และ *Microcystis* sp. บำบัดน้ำเสียที่มีสารอินทรีย์ปนเปื้อน

แยกสาหร่าย *Oscillatoria* และ *Microcystis* จากน้ำในคลองประเวศน์ บริเวณใกล้สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหาร ลาดกระบัง เลี้ยงในอาหารสูตร BG-11 ภายใต้การให้แสงต่อเนื่อง ความเข้มแสงประมาณ 3000 ลักซ์ อุณหภูมิ ประมาณ 25 องศาเซลเซียส เก็บเซลล์สาหร่ายซึ่งอยู่ในช่วงต้น stationary phase (ประมาณวันที่ 10-12 ของการเลี้ยง) มาใช้ในการทดลองบำบัดน้ำเสียขั้นถัดไป

1.1 น้ำเสียสังเคราะห์

เตรียมน้ำเสียสังเคราะห์โดยใช้ปุ๋ยสูตร 16-20-0 0.1 กรัมต่อลิตร ยูเรีย 0.05 กรัมต่อลิตร และ แอมโมเนียมซัลเฟต 0.1 กรัมต่อลิตร ละลายในน้ำกลั่น และใส่น้ำเสียสังเคราะห์ปริมาตร 10 ลิตร ในโหลแก้วใสขนาดความจุ 12 ลิตร จำนวน 15 โหล ใส่สาหร่าย *Oscillatoria* ที่ระดับ 1, 2 และ 3 กรัมต่อลิตร น้ำหนักเปียก *Microcystis* ที่ระดับ 1, 1.5 และ 2 กรัมต่อลิตร น้ำหนักเปียก ลงในโหลทดลองระดับละ 3 โหล และมีชุดควบคุมที่ไม่ใส่สาหร่ายอีก 3 โหล นำโหลทดลองไปวางในที่ที่ได้รับแสงตามธรรมชาติ โดยพรางแสงด้วยตาข่ายพลาสติกสีดำให้ความเข้มแสงลดลงประมาณ 50 เปอร์เซ็นต์ เนื่องจากโหลทดลองมีปริมาตรน้ำน้อยถ้าได้รับแสงเต็มที่จะทำให้อุณหภูมิสูงมากเกินไป วิเคราะห์ค่าคุณภาพน้ำคือพีเอช ออกซิเจนละลายน้ำ แอมโมเนีย ไนเตรท ฟอสเฟต โดยวิเคราะห์ที่เริ่มต้นการทดลองก่อนใส่สาหร่ายและที่ระยะเวลา 1, 2, 3, 5, 11 และ 14 วันหลังใส่สาหร่าย ส่วนค่าไนไตรท์ ไนโตรเจนรวม ฟอสฟอรัสรวม ความกระด้าง ความเป็นด่าง วิเคราะห์ที่เริ่มต้นการทดลองและสิ้นสุดการทดลอง ช่วงเวลาในการเก็บน้ำเพื่อวิเคราะห์ในทุกครั้งคือประมาณ 10.00 นาฬิกา

1.2 น้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรม

นำน้ำเสียจากบ่อบำบัดน้ำเสียเขตนิคมอุตสาหกรรมลาดกระบังซึ่งเป็นบ่อบำบัดน้ำเสียประเภทที่มีสารอินทรีย์ปนเปื้อน ปริมาตร 10 ลิตร ใส่ในโหลแก้วขนาด 12 ลิตร ใส่ *Oscillatoria* ปริมาณ 3 กรัมต่อลิตร น้ำหนักเปียกลงในโหลทดลองจำนวน 3 โหล และ *Microcystis* 1.5 กรัมต่อลิตร น้ำหนักเปียก ในอีก 3 โหล มีโหลที่บรรจุเฉพาะน้ำเสียเป็นชุดควบคุมอีก 3 โหล นำโหลทดลองไปวางในที่ที่ได้รับแสงตามธรรมชาติ โดยพรางแสงด้วยตาข่ายพลาสติกสีดำให้ความเข้มแสงลดลงประมาณ 50 เปอร์เซ็นต์ วิเคราะห์ค่าคุณภาพน้ำคือ พีเอช ออกซิเจนละลายน้ำ บีโอดี แอมโมเนีย ไนเตรท และฟอสเฟต ที่ก่อนทดลองและวันที่ 1, 2, 3, 5, 11 และ 14 วัน ของการทดลอง ส่วนค่าไนไตรท์ ไนโตรเจนรวม ฟอสฟอรัสรวม ความกระด้าง ความเป็นด่าง วิเคราะห์ที่เริ่มต้นการทดลองและสิ้นสุดการทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.3 น้ำเสียจากฟาร์มสัตว์น้ำ

นำน้ำทิ้งจากบ่อเลี้ยงปลาของภาควิชาวิทยาศาสตร์การประมง คณะเทคโนโลยีการเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหาร ลาดกระบัง ปริมาตร 10 ลิตร ใส่ในโหลแก้วขนาด 12 ลิตร ใส่ *Oscillatoria* ปริมาณ 3 กรัมต่อลิตร น้ำหนักเปียก ลงในโหลทดลองจำนวน 3 โหล และ *Microcystis* 1.5 กรัมต่อลิตร น้ำหนักเปียก ในอีก 3 โหล มีโหลที่บรรจุเฉพาะน้ำเสียเป็นชุดควบคุมอีก 3 โหล นำโหลทดลองไปวางในที่ที่ได้รับแสงตามธรรมชาติ โดยพรางแสงด้วยตาข่ายพลาสติกสีดำให้ความเข้มแสงลดลงประมาณ 50 เปอร์เซ็นต์ ทำการวิเคราะห์น้ำเช่นเดียวกับในข้อ 1.2

2. การใช้ *Oscillatoria* sp. และ *Microcystis* sp. กำจัดโลหะหนักจากน้ำเสียสังเคราะห์

2.1 การกำจัดตะกั่วจากน้ำเสียสังเคราะห์

เตรียมน้ำเสียสังเคราะห์ที่มีตะกั่วปนเปื้อนเข้มข้น 1 มิลลิกรัมต่อลิตร โดยละลาย $Pb(NO_3)_2$ ในน้ำ Deionized water จากนั้นหาค่าพีเอชที่เหมาะสมต่อการกำจัดตะกั่วของ *Oscillatoria* และ *Microcystis* โดยใส่สาหร่ายน้ำหนัก 5 กรัมต่อลิตร น้ำหนักเปียก ลงในสารละลายตะกั่วที่ระดับพีเอชต่าง ๆ ทิ้งไว้เป็นระยะเวลา 24 ชั่วโมง (มีการกวนน้ำตลอดเวลา) วัดปริมาณตะกั่วที่เหลือในสารละลาย และหาระดับพีเอชที่สาหร่ายสามารถกำจัดตะกั่วได้มากที่สุด และหาระยะเวลาในการกำจัดตะกั่วที่เหมาะสมกับสาหร่ายแต่ละชนิด โดยใส่สาหร่าย 5 กรัมต่อลิตร น้ำหนักเปียก ในสารละลายตะกั่วที่ระดับพีเอชที่เหมาะสม วัดปริมาณตะกั่วที่เหลือในสารละลายที่ระยะเวลาต่าง ๆ กัน โดยใช้เครื่อง Atomic Absorption Spectrophotometer

2.2 การกำจัดแคดเมียมจากน้ำเสียสังเคราะห์

เตรียมน้ำเสียสังเคราะห์แคดเมียมเข้มข้น 1 มิลลิกรัมต่อลิตร โดยละลาย $Cd(NO_3)_2$ ในน้ำ Deionized water และหาพีเอชต่าง ๆ ที่เหมาะสมในการกำจัดแคดเมียมของ *Oscillatoria* และ *Microcystis* โดยทำเช่นเดียวกับในข้อ 2.1

ผล

1. การใช้ *Oscillatoria* sp. และ *Microcystis* sp. บำบัดน้ำเสียที่มีสารอินทรีย์ปนเปื้อน

1.1 น้ำเสียสังเคราะห์

1.1.1 *Oscillatoria*

การเปลี่ยนแปลงค่าคุณภาพน้ำของน้ำเสียสังเคราะห์ที่ใช้ *Oscillatoria* ในการบำบัด (ภาพที่ 1) คือปริมาณแอมโมเนียในทุกชุดการทดลองมีค่าลดลงจากค่าเริ่มต้น โดยในชุดที่มีสาหร่ายนั้นลดปริมาณแอมโมเนียได้ดีกว่าชุดที่ไม่มีสาหร่าย โดยมีค่าแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (ตารางที่ 1) และที่ระดับจำนวนสาหร่ายสูงสุด 3 กรัมต่อลิตร สามารถลดปริมาณแอมโมเนียได้ดีที่สุด

ปริมาณไนเตรทลดลงอย่างรวดเร็วในช่วง 2 วันแรกของการทดลองและลดลงเรื่อย ๆ จนสิ้นสุดการทดลอง ในชุดควบคุมปริมาณไนเตรทลดลงเล็กน้อย แต่อย่างไรก็ตามในชุดที่มีสาหร่ายสามารถลดปริมาณไนเตรทลงได้มากกว่าชุดที่ไม่มีสาหร่าย โดยมีปริมาณไนเตรทที่เหลือแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับชุดควบคุม (ตารางที่ 2)

ปริมาณ soluble reactive phosphorus มีการผันแปรมาก ในช่วง 5 วันแรกของการทดลองโดยปริมาณ soluble reactive phosphorus ในทุกชุดการทดลองมีค่าลดลงในช่วง 5 วันแรก จากนั้นปริมาณ soluble reactive phosphorus มีค่าเพิ่มขึ้นในทุกชุดการทดลอง ในชุดควบคุมมีการลดลงเล็กน้อย และในชุดที่มีสาหร่ายสามารถลด soluble reactive phosphorus ได้ดีกว่าชุดควบคุม และปริมาณที่ลดลงมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (ตารางที่ 3)

ค่าพีเอชของน้ำเสียสังเคราะห์เมื่อใส่สาหร่ายลงไป ในน้ำเสียสังเคราะห์ค่าพีเอชของน้ำเพิ่มสูงขึ้นและค่อนข้างคงที่ โดยในชุดที่มีสาหร่ายมากกว่าจะทำให้พีเอชของน้ำเสียสูงกว่าในชุดที่มีสาหร่ายน้อย ส่วนในชุดควบคุมมีค่าของพีเอชต่ำที่สุดและมีค่าลดลงตลอดการทดลอง และในชุดที่มีสาหร่ายนั้นมีค่าพีเอชแตกต่างกับชุดควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (ตารางที่ 4)

ปริมาณออกซิเจนละลายน้ำในทุกชุดการทดลองมีความผันแปรค่อนข้างสูง โดยในช่วง 5 วันแรกของการทดลองปริมาณออกซิเจนลดลงตลอด จากนั้นปริมาณออกซิเจนจะเพิ่มขึ้น โดยในชุดที่มีสาหร่ายจะมีค่าออกซิเจนสูงกว่าชุดควบคุม และส่วนใหญ่มีค่าแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับชุดควบคุม (ตารางที่ 5)

ปริมาณไนไตรท์ total phosphorus , total nitrogen ความกระด้าง ความเป็นด่าง ซึ่งทำการวิเคราะห์ในวันเริ่มต้นและวันสิ้นสุดการทดลองนั้นปริมาณไนไตรท์ มีค่าเพิ่มขึ้นในวันสุดท้ายของการทดลอง แต่พบว่าในชุดที่มีสาหร่ายมีค่าต่ำกว่าในชุดควบคุม ส่วนค่า total phosphorus ความกระด้าง ซึ่ง

เพิ่มขึ้นในวันสุดท้ายเช่นกันนั้น ในชุดที่มีสาหร่ายมีค่าสูงกว่าชุดควบคุม สำหรับค่าความเป็นด่างมีค่าลดลงในวันสุดท้าย โดยในชุดควบคุมมีการลดลงมากที่สุด (ตารางที่ 6)

1.1.2 *Microcystis*

การเปลี่ยนแปลงค่าคุณภาพน้ำต่าง ๆ ในน้ำเสียสังเคราะห์ที่บำบัดโดย *Microcystis* (ภาพที่ 2) คือ ปริมาณแอมโมเนียในชุดทดลองที่ใส่สาหร่ายมีค่าลดลงต่ำสุดในวันที่ 1 ของการทดลอง หลังจากนั้น มีค่าเพิ่มสูงขึ้นใกล้เคียงกับวันแรกของการทดลองและผันแปรเล็กน้อยจนถึงสิ้นสุดการทดลอง โดยในชุดทดลองที่ใส่สาหร่าย 1 กรัมต่อลิตร มีค่าแอมโมเนียสูงที่สุด ส่วนชุดทดลองที่ใส่ 1.5 และ 2 กรัมต่อลิตรมีค่าใกล้เคียงกันและต่ำกว่าชุดควบคุม และส่วนใหญ่ปริมาณแอมโมเนียในทุกชุดการทดลองไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ (ตารางที่ 7)

ปริมาณไนเตรทของทุกชุดการทดลองที่ใส่สาหร่ายลดลงอย่างรวดเร็วตั้งแต่วันที่ 1 ของการทดลองและลดลงเรื่อย ๆ จนถึงสิ้นสุดการทดลอง ในชุดควบคุมและชุดที่ใส่สาหร่ายมีปริมาณไนเตรทแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติโดยชุดที่มีสาหร่ายมากที่สุดคือ 2 กรัมต่อลิตร จะกำจัดไนเตรทได้มากที่สุด (ตารางที่ 8)

ปริมาณ soluble reactive phosphorus ในชุดทดลองที่ใส่สาหร่ายมีค่าลดลงอย่างรวดเร็วในวันแรกของการทดลอง จากนั้นลดลงอย่างต่อเนื่องและมีปริมาณต่ำจนถึงสิ้นสุดการทดลอง ส่วนในชุดควบคุมมีปริมาณคงที่ตลอดการทดลอง โดยค่า soluble reactive phosphorus ในชุดทดลองที่มีสาหร่ายมีค่าใกล้เคียงกันในทุกระดับ แต่มีค่าแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับชุดควบคุม (ตารางที่ 9)

ระดับพีเอชในทุกชุดการทดลองลดลงจากวันแรกจนถึงสิ้นสุดการทดลอง และพบว่ามี การตายของสาหร่ายเกิดขึ้น โดยในชุดทดลองที่มีสาหร่ายอยู่นั้นค่าพีเอชสูงกว่าชุดควบคุม ซึ่งพบว่าชุดทดลองที่มีจำนวนสาหร่าย 1.5 และ 2 กรัมต่อลิตร มีค่าพีเอชแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับชุดควบคุม (ตารางที่ 10)

ปริมาณออกซิเจนละลายน้ำมีค่าลดลงในช่วง 3 วันแรกของการทดลองจากนั้นจึงเพิ่มขึ้นจนถึงสิ้นสุดการทดลอง และในชุดควบคุมมีปริมาณออกซิเจนละลายน้ำสูงกว่าชุดทดลองที่มีสาหร่ายตั้งแต่วันที่ 1 ถึงวันที่ 8 ของการทดลอง โดยมีค่าแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญกับชุดทดลองที่มีสาหร่าย (ตารางที่ 11)

1.2 น้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรม

การเปลี่ยนแปลงค่าคุณภาพน้ำต่าง ๆ ในน้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรมที่ได้รับการบำบัดโดย *Oscillatoria* และ *Microcystis* (ภาพที่ 3) คือ *Oscillatoria* และ *Microcystis* มีความสามารถใกล้เคียงกันในการลดแอมโมเนียจากน้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรม โดยสาหร่ายทั้งสองชนิดมีประสิทธิภาพในเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การลดปริมาณแอมโมเนียได้สูงมากถึงประมาณ 97 เปอร์เซ็นต์ ส่วนในชุดควบคุมมีการลดลงของแอมโมเนียเล็กน้อย ปริมาณแอมโมเนียที่เหลือในชุดควบคุมมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับชุดทดลองที่มีสาหร่าย (ตารางที่ 12)

สำหรับปริมาณไนเตรทนั้นถูกลดลงได้รวดเร็วในวันที่ 2 ของการทดลอง โดยสาหร่ายทั้งสองชนิดสามารถลดปริมาณไนเตรทได้ใกล้เคียงกัน โดยไนเตรทที่เหลือในน้ำเสียในชุดทดลองที่มีสาหร่ายต่ำกว่าชุดควบคุมและมีค่าแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (ตารางที่ 13)

ปริมาณ soluble reactive phosphorus มีการผันแปรค่อนข้างสูง และเมื่อสิ้นสุดการทดลองสาหร่ายทั้งสองชนิดสามารถลดปริมาณ soluble reactive phosphorus ได้อย่างมีประสิทธิภาพ และมีปริมาณที่เหลือแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับชุดควบคุม (ตารางที่ 14)

ปริมาณบีโอดีมีการผันแปรค่อนข้างสูง โดยมีค่าลดลงในวันที่ 3 ของการทดลอง และในชุดทดลองที่ใส่ *Microcystis* ค่าบีโอดีลดลงต่อเนื่องจนสิ้นสุดการทดลอง ส่วนในชุดควบคุมปริมาณบีโอดีเพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ และลดลงในวันสิ้นสุดการทดลอง (ตารางที่ 15)

ปริมาณพีเอชในทุกชุดการทดลองเพิ่มขึ้นตลอดการทดลอง ในทุกชุดการทดลองมีค่าพีเอชไม่แตกต่างกันทางสถิติ (ตารางที่ 16) ส่วนปริมาณออกซิเจนละลายน้ำมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตลอดการทดลองเช่นเดียวกัน และส่วนใหญ่แล้วในทุกชุดการทดลองมีค่าไม่แตกต่างกันทางสถิติ (ตารางที่ 17)

สำหรับค่าไนโตรเจนและความกระด้างมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อสิ้นสุดการทดลอง ส่วนค่า total phosphorus total nitrogen ค่าความเป็นด่างในวันสิ้นสุดการทดลองค่าในทุกชุดการทดลองมีค่าลดลง (ตารางที่ 18)

1.3 น้ำเสียจากฟาร์มสัตว์น้ำ

การเปลี่ยนแปลงค่าคุณภาพน้ำต่าง ๆ ในน้ำเสียจากฟาร์มสัตว์น้ำที่บำบัดโดย *Oscillatoria* และ *Microcystis* (ภาพที่ 4) คือ *Oscillatoria* และ *Microcystis* สามารถลดปริมาณแอมโมเนีย ไนเตรท และ soluble reactive phosphorus ในน้ำเสียจากฟาร์มได้มีประสิทธิภาพ โดยให้ค่าแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับชุดควบคุม (ตารางที่ 19-21) โดย *Oscillatoria* สามารถลดปริมาณแอมโมเนียและไนเตรทได้ดีกว่า *Microcystis* แต่ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ โดยปริมาณแอมโมเนียในชุดทดลองที่มีสาหร่ายลดลงเรื่อย ๆ หลังใส่สาหร่ายและลดลงต่ำสุดในวันที่ 11-14 ของการทดลอง ปริมาณไนเตรทมีแนวโน้มการลดลงเช่นเดียวกันแอมโมเนีย โดยชุดทดลองที่ใส่ *Oscillatoria* ปริมาณไนเตรทลดลงต่ำสุดในวันที่ 14 ส่วนชุดทดลองที่ใส่ *Microcystis* ลดลงต่ำสุดในวันที่ 2 ของการทดลอง ส่วนปริมาณ soluble reactive phosphorus ลดลงทันทีหลังใส่สาหร่ายและลดลงเรื่อย ๆ จนสิ้นสุดการทดลอง

ปริมาณบีโอดีลดลงหลังจากวันที่ 5 ของการทดลอง โดย *Microcystis* สามารถลดปริมาณบีโอดีได้ดีกว่า *Oscillatoria* และในชุดที่ใส่สาหร่ายสามารถลดบีโอดีได้ดีกว่าชุดไม่ใส่สาหร่าย การเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เปลี่ยนแปลงค่าพีเอชและออกซิเจนละลายน้ำมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตลอดการทดลอง โดยในชุดที่ใส่ *Oscillatoria* มีค่าพีเอชสูงที่สุด ค่าพีเอชและบีโอดีในชุดควบคุมมีค่าแตกต่างกันน้อยสำคัญทางสถิติกับชุดทดลองที่ใส่สาหร่าย (ตารางที่ 23-24)

ปริมาณไนโตรเจน total phosphorus ในวันสุดท้ายมีค่าลดลงจากวันแรกที่ทำกรทดลอง ส่วนปริมาณความเป็นด่างและความกระด้างมีค่าเพิ่มขึ้น (ตารางที่ 25)

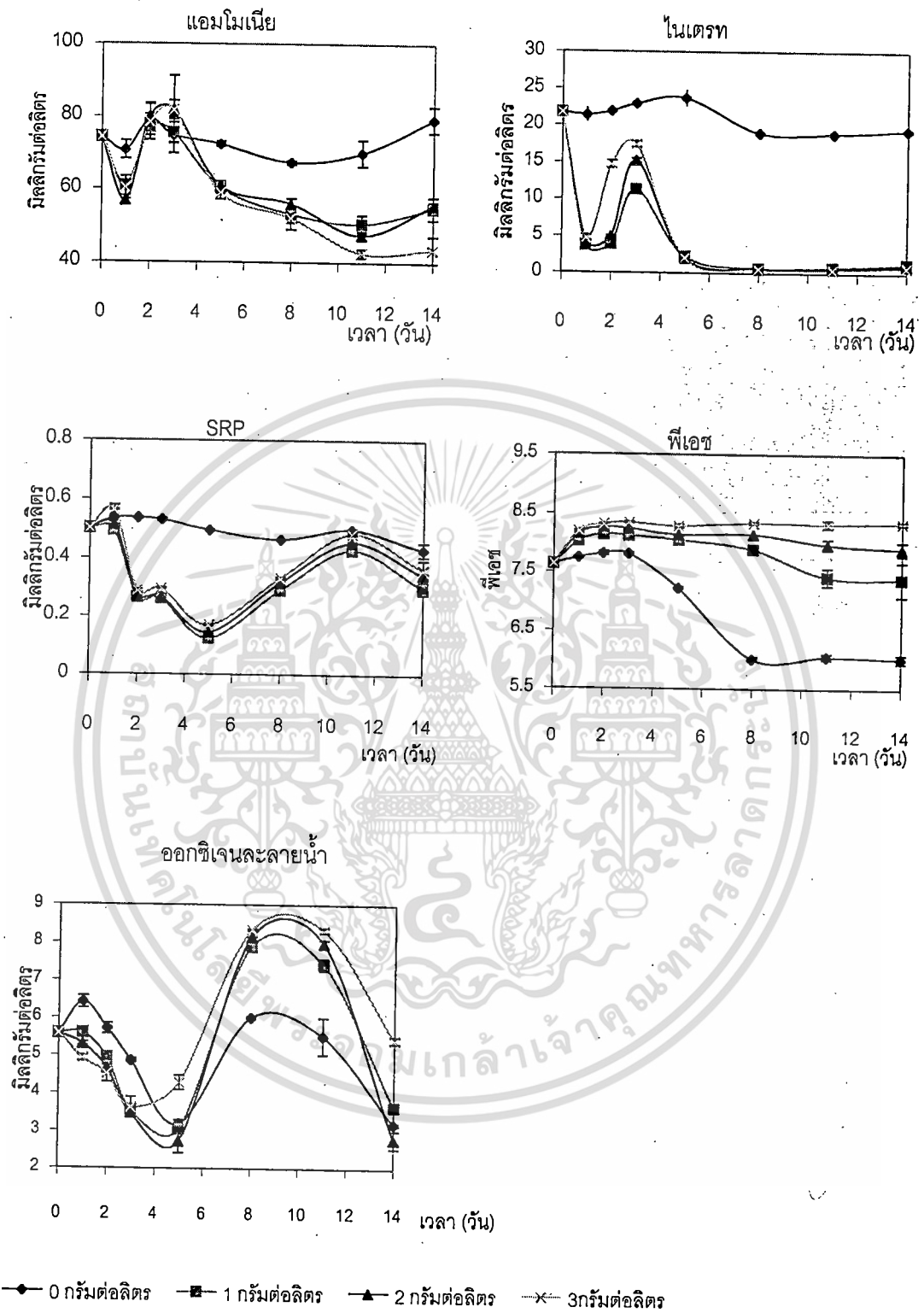
2. การใช้ *Oscillatoria* sp. และ *Microcystis* sp. กำจัดโลหะหนักจากน้ำเสียสังเคราะห์

2.1 การกำจัดตะกั่วจากน้ำเสียสังเคราะห์

ระดับพีเอชที่เหมาะสมในการกำจัดตะกั่วของ *Oscillatoria* คือ 3.5 ของ *Microcystis* คือ 4.5 โดยที่ระดับพีเอชสูงหรือต่ำกว่านี้ความสามารถในการกำจัดตะกั่วจะลดลง โดยระดับพีเอชที่เหมาะสม *Oscillatoria* สามารถกำจัดตะกั่วได้ 94.13 เปอร์เซ็นต์ *Microcystis* กำจัดได้ 79.43 เปอร์เซ็นต์ และระยะเวลาที่การกำจัดหรือการดูดซับตะกั่วถึงจุดอิ่มตัวสำหรับ *Oscillatoria* คือ 60 นาที ส่วน *Microcystis* คือ 120 นาที (ภาพที่ 5)

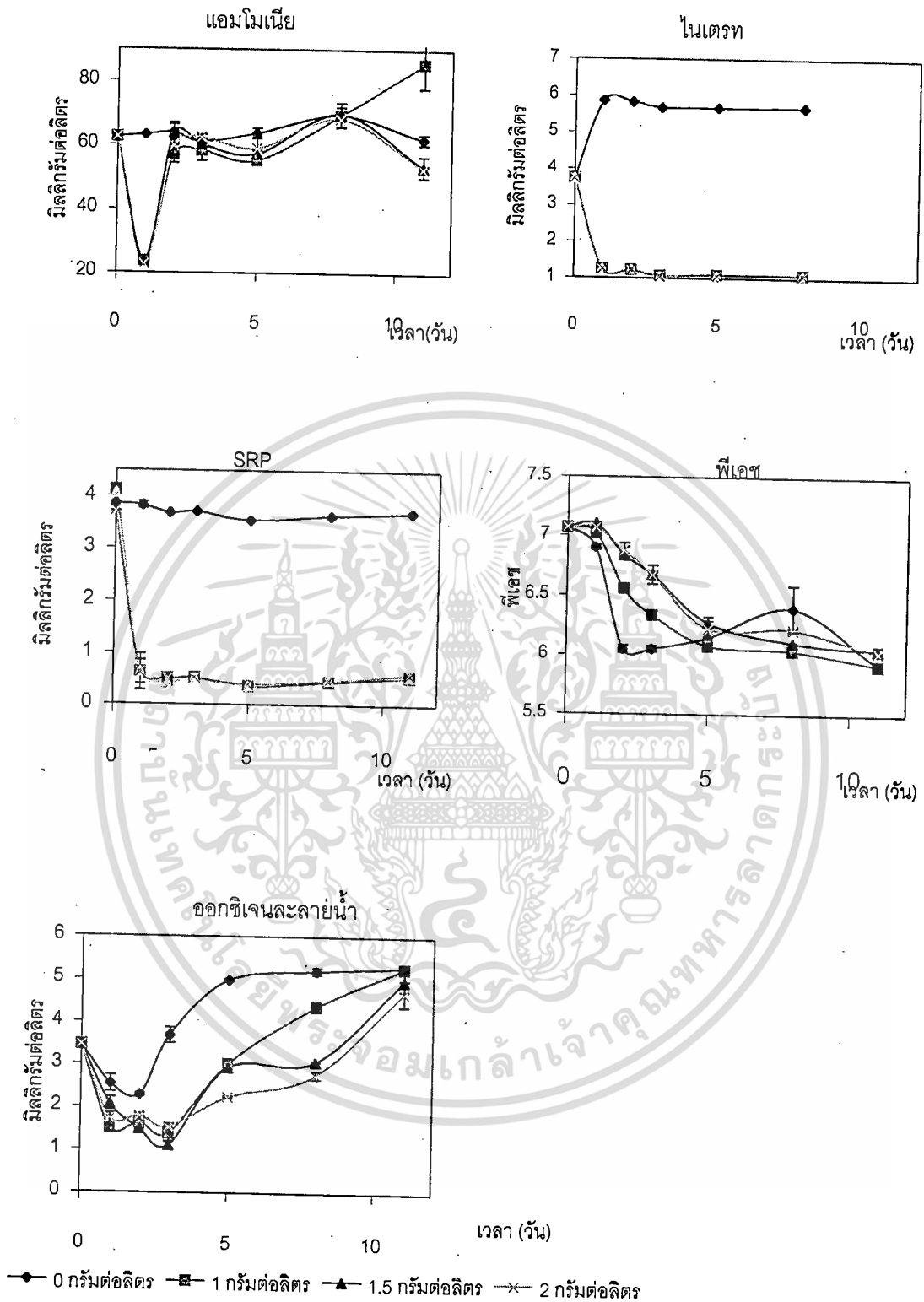
2.2 การกำจัดแคดเมียมจากน้ำเสียสังเคราะห์

ระดับพีเอชที่เหมาะสมในการกำจัดแคดเมียมสำหรับ *Oscillatoria* คือ 4.5 ของ *Microcystis* คือ 6 ซึ่งที่ระดับพีเอชเหล่านี้สาหร่ายทั้งสองชนิดสามารถกำจัดแคดเมียมได้ 81.64 และ 77.68 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ สำหรับระยะเวลาที่สาหร่ายดูดซับแคดเมียมจนถึงจุดสมมูลคือ 60 นาที สำหรับ *Oscillatoria* และ 120 นาที สำหรับ *Microcystis* (ภาพที่ 6)



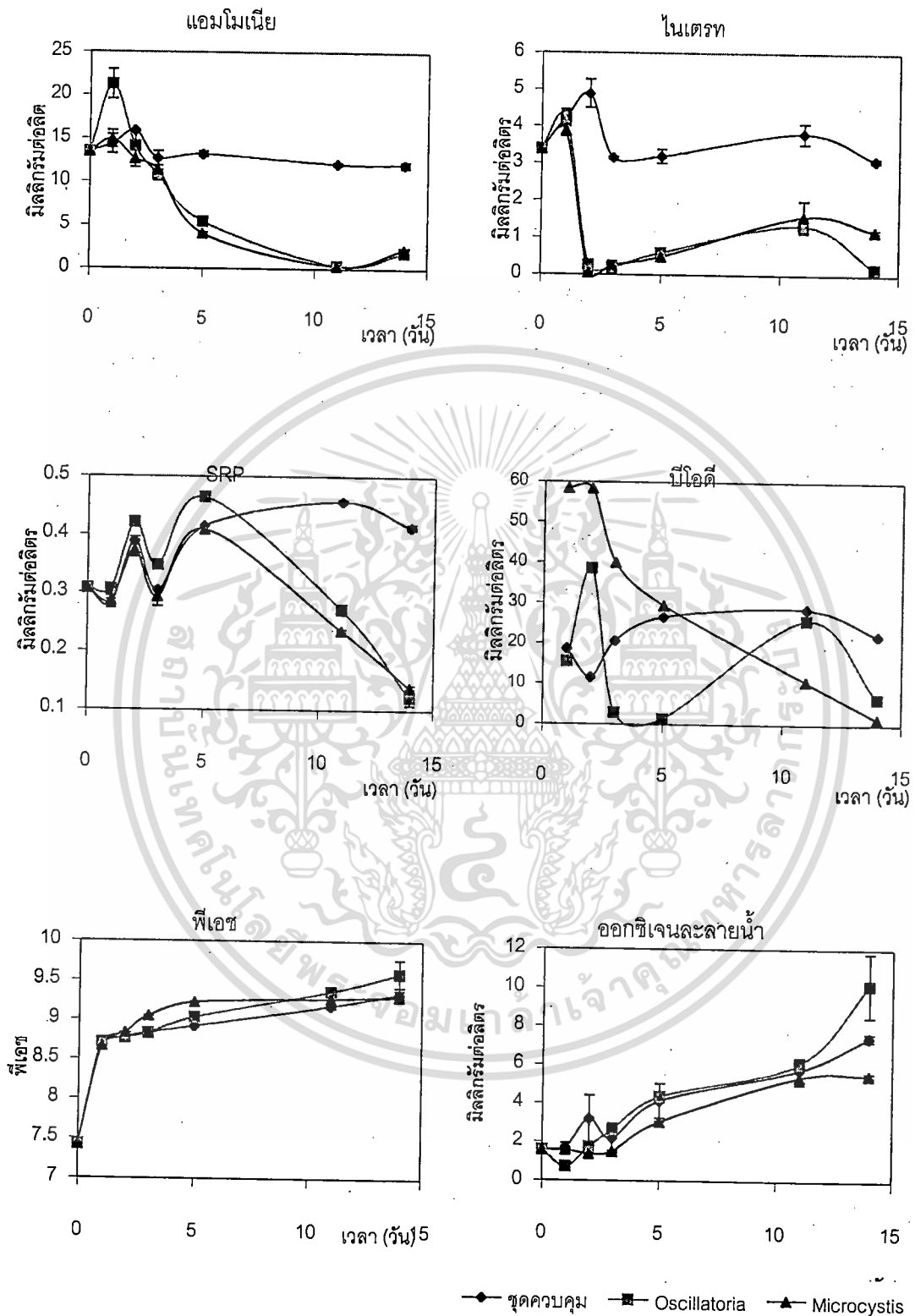
ภาพที่ 1 การเปลี่ยนแปลงคุณภาพน้ำค่าต่างๆ ในน้ำเสียสังเคราะห์ที่ใส่ *Oscillatoria* ในปริมาณที่แตกต่างกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

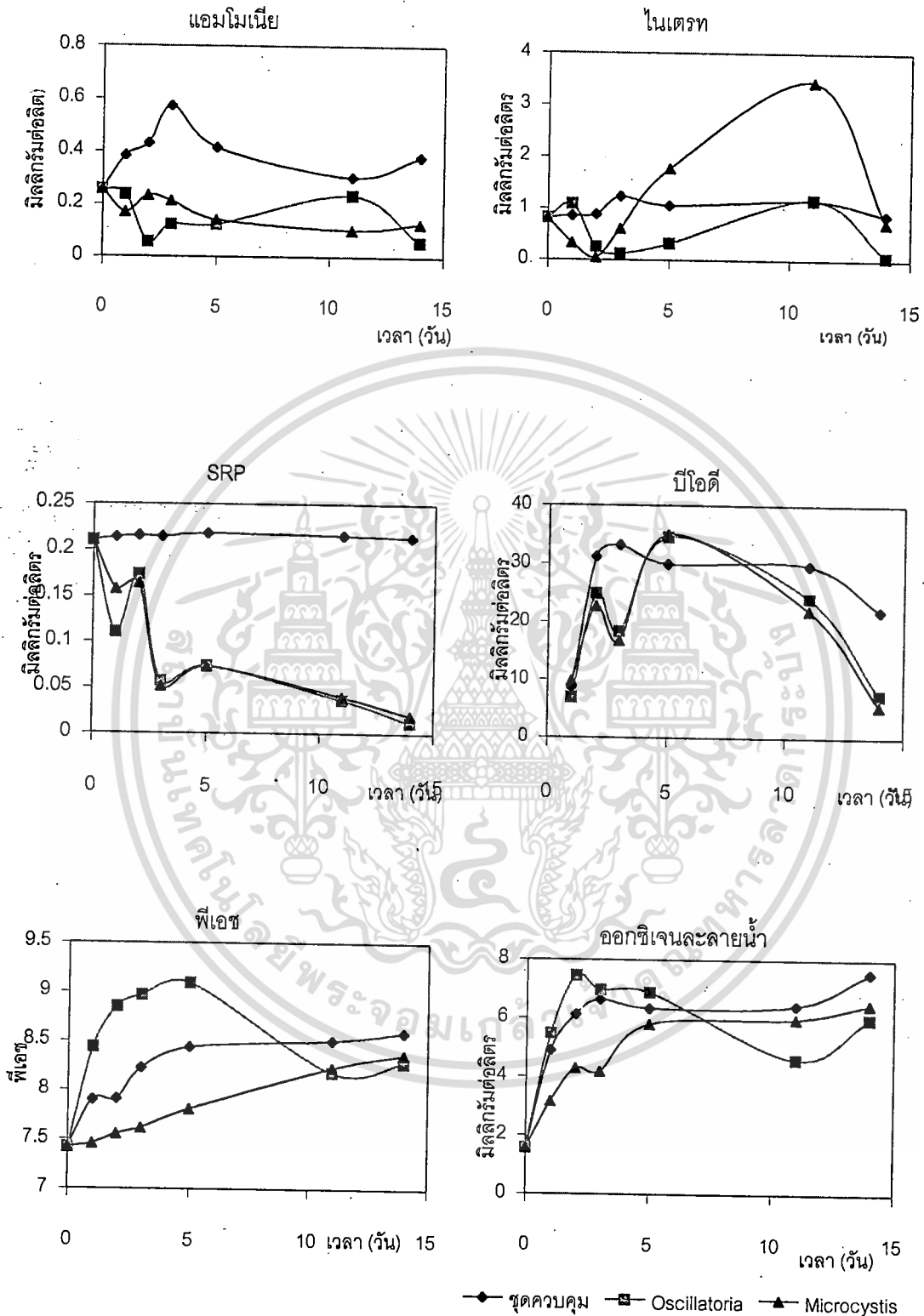


ภาพที่ 2 การเปลี่ยนแปลงคุณภาพน้ำค่าต่าง ๆ ในน้ำเสียสังเคราะห์ที่ใส่ *Microcystis* ในปริมาณที่แตกต่างกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

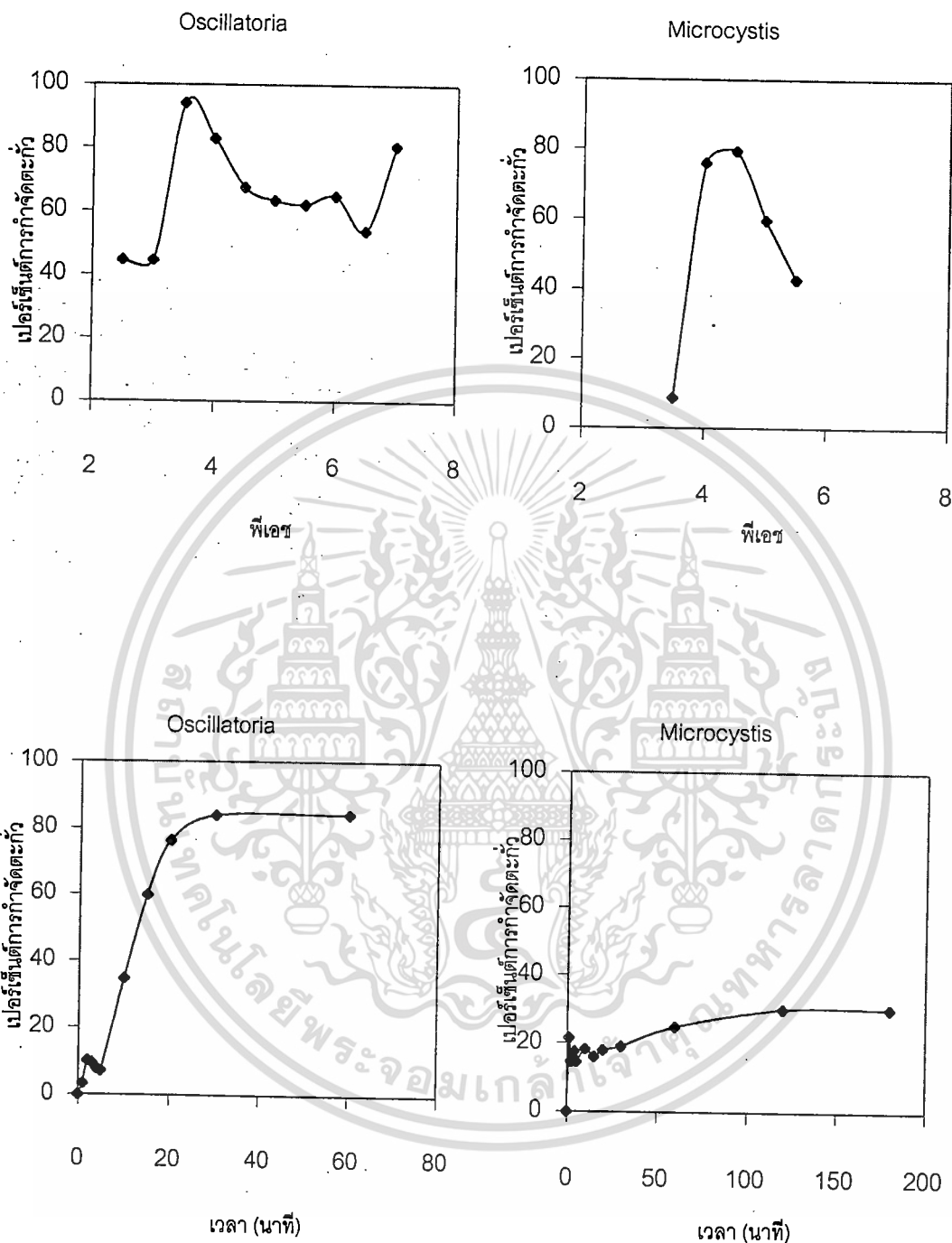


ภาพที่ 3 การเปลี่ยนแปลงคุณภาพน้ำค่าต่างๆ ในน้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรมที่ใส่ *Oscillatoria* และ *Microcystis*
 เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



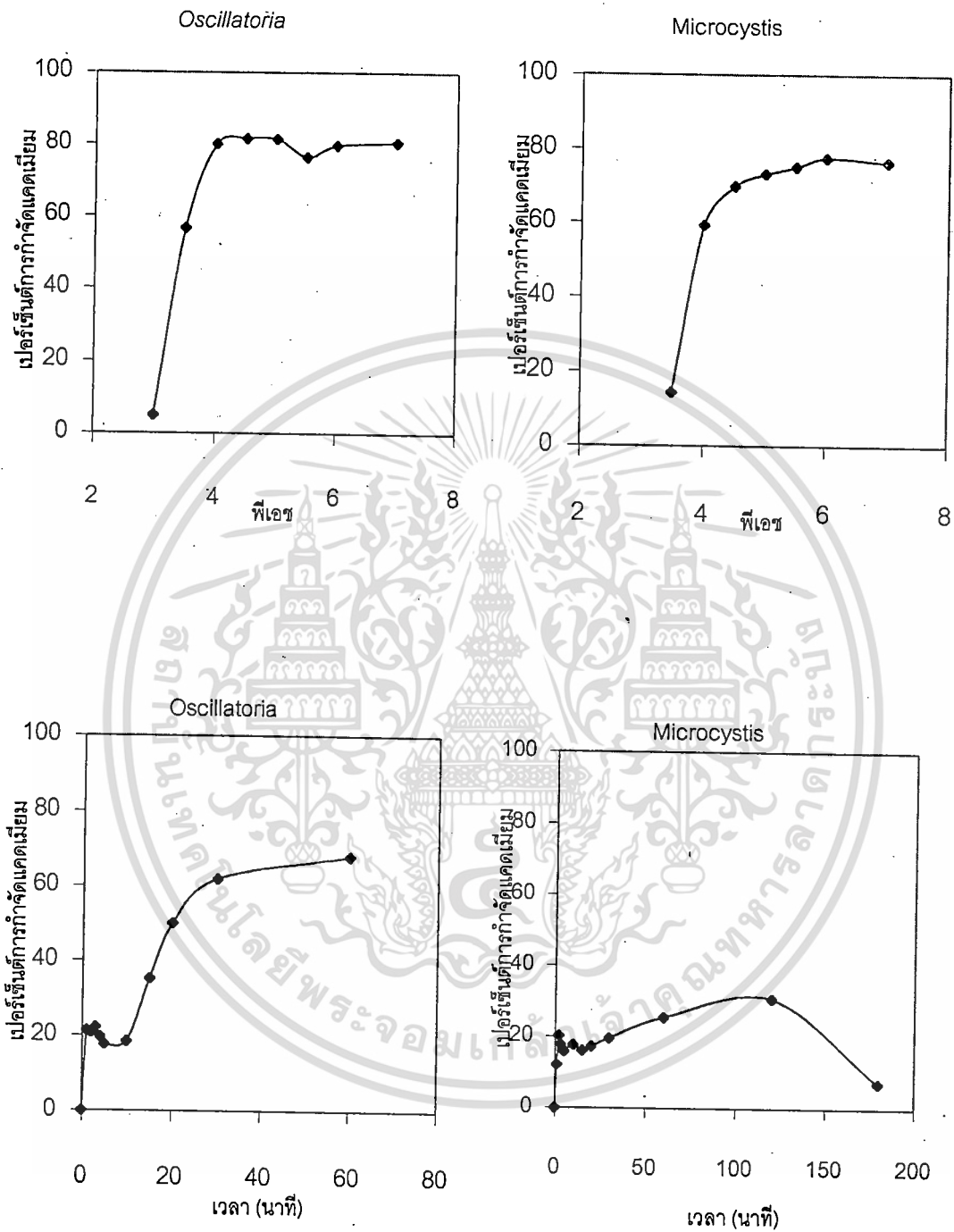
ภาพที่ 4 การเปลี่ยนแปลงคุณภาพน้ำค่าต่าง ๆ ในน้ำเสียจากฟาร์มสัตว์น้ำที่ใส่ *Oscillatoria* และ *Microcystis*

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 5 เปอร์เซนต์การกำจัดตะกั่วของสาหร่ายทั้งสองชนิดที่ระดับพีเอช และระยะเวลาต่าง ๆ กัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 6 เปอร์เซนต์การกำจัดแคดเมียมของสาหร่ายทั้งสองชนิดที่ระดับพีเอช และระยะเวลาต่าง ๆ กัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 1 ปริมาณแอมโมเนีย (มิลลิกรัมต่อลิตร) ในน้ำเสียสังเคราะห์ที่ใช้ *Oscillatoria* บำบัดในระหว่างการทดลอง

สำหรับ (กรัมต่อลิตร)	ระยะเวลา (วัน)							
	0	1	2	3	5	8	11	14
0	74.3459 ^a	70.7598 ^a	79.1128 ^a	74.7926 ^a	72.4182 ^a	67.3961 ^a	70.0117 ^a	79.2731 ^a
1	74.3459 ^a	60.9609 ^b	77.0198 ^a	75.4888 ^a	60.4876 ^b	53.2783 ^b	50.6287 ^b	54.9627 ^b
2	74.3459 ^a	56.9069 ^b	79.9538 ^a	81.7417 ^a	60.9529 ^b	56.1210 ^b	47.5402 ^b	55.7659 ^b
3	74.3459 ^a	60.3603 ^b	78.3820 ^a	81.7417 ^a	58.9987 ^b	52.2696 ^b	42.5766 ^c	43.6029 ^c

หมายเหตุ ตัวอักษรในแถวแนวนอนที่แตกต่างกันหมายถึงมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซนต์

ตารางที่ 2 ปริมาณไนเตรท (มิลลิกรัมต่อลิตร) ในน้ำเสียสังเคราะห์ที่ใช้ *Oscillatoria* บำบัดในระหว่างการทดลอง

สำหรับ (กรัมต่อลิตร)	ระยะเวลา (วัน)							
	0	1	2	3	5	8	11	14
0	21.7434 ^a	21.3768 ^a	21.9207 ^a	22.9260 ^a	23.7265 ^a	18.9898 ^a	18.8951 ^a	19.3596 ^a
1	21.7434 ^a	3.7062 ^b	3.9206 ^b	11.3269 ^b	2.2396 ^b	0.6454 ^b	0.8224 ^b	1.2722 ^b
2	21.7434 ^a	4.2827 ^{bc}	4.9268 ^b	15.1861 ^c	1.9915 ^b	0.5784 ^c	0.6124 ^c	1.0802 ^c
3	21.7434 ^a	4.6946 ^c	14.7111 ^{ab}	17.3913 ^d	2.0317 ^b	0.5477 ^c	0.4944 ^c	0.8402 ^d

ตารางที่ 3 ปริมาณ soluble reactive phosphorus (มิลลิกรัมต่อลิตร) ในน้ำเสียสังเคราะห์ที่ใช้ *Oscillatoria* บำบัดในระหว่างการทดลอง

สำหรับ (กรัมต่อลิตร)	ระยะเวลา (วัน)							
	0	1	2	3	5	8	11	14
0	0.5016 ^a	0.5360 ^{ab}	0.5369 ^a	0.5317 ^a	0.4963 ^a	0.4654 ^a	0.4988 ^a	0.4322 ^a
1	0.5015 ^a	0.4946 ^c	0.2649 ^c	0.2613 ^b	0.1240 ^b	0.2911 ^b	0.4291 ^b	0.3002 ^b
2	0.5015 ^a	0.5126 ^{bc}	0.2759 ^{bc}	0.2673 ^b	0.1453 ^c	0.3164 ^c	0.4555 ^c	0.3455 ^b
3	0.5015 ^a	0.5632 ^a	0.2875 ^b	0.2966 ^c	0.1710 ^d	0.3334 ^d	0.4851 ^d	0.3635 ^b

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่ควรนำข้อมูลนี้ไปใช้ในเชิงพาณิชย์

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4 ปริมาณพีเอชในน้ำเสี้ยวสังเคราะห์ที่ใช้ *Oscillatoria* บำบัดในระหว่างการทดลอง

สาหร่าย (กรัมต่อลิตร)	ระยะเวลา (วัน)							
	0	1	2	3	5	8	11	14
0	7.64 ^a	7.74 ^a	7.82 ^a	7.81 ^a	7.23 ^a	6.01 ^a	6.05 ^a	6.02 ^a
1	7.64 ^a	8.03 ^b	8.14 ^b	8.12 ^b	8.05 ^b	7.89 ^b	7.42 ^b	7.38 ^b
2	7.64 ^a	8.15 ^c	8.26 ^c	8.24 ^c	8.14 ^c	8.15 ^c	7.98 ^c	7.91 ^{bc}
3	7.64 ^a	8.19 ^d	8.32 ^c	8.35 ^d	8.29 ^d	8.34 ^d	8.33 ^d	8.35 ^c

ตารางที่ 5 ปริมาณออกซิเจนละลายน้ำ (มิลลิกรัมต่อลิตร) ในน้ำเสี้ยวสังเคราะห์ที่ใช้ *Oscillatoria* บำบัด
ในระหว่างการทดลอง

สาหร่าย (กรัมต่อลิตร)	ระยะเวลา (วัน)							
	0	1	2	3	5	8	11	14
0	5.58 ^a	6.41 ^a	5.71 ^a	4.86 ^a	3.19 ^a	6.01 ^a	5.52 ^a	3.20 ^a
1	5.58 ^a	5.60 ^b	4.94 ^b	3.56 ^b	3.04 ^a	7.89 ^b	7.42 ^b	3.66 ^b
2	5.58 ^a	5.30 ^b	4.66 ^b	3.47 ^b	2.72 ^a	8.15 ^c	7.98 ^{bc}	2.78 ^a
3	5.58 ^a	4.92 ^c	4.51 ^b	3.62 ^b	4.28 ^b	8.34 ^d	8.33 ^c	5.43 ^c

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 6 ปริมาณ ไนโตรเจน total phosphorus total nitrogen ความเป็นด่าง ความกระด้าง ในน้ำเสีย
 สังกะหรณ์ที่ใช้ *Oscillatoria* บำบัดในระหว่างการทดลอง

	สาหร่าย (กรัมต่อลิตร)	ระยะเวลา (วัน)	
		0	14
ไนโตรเจน	0	0.1804 ^a	0.5435 ^a
	1	0.1804 ^a	0.3152 ^a
	2	0.1804 ^a	0.8479 ^a
	3	0.1804 ^a	0.3299 ^a
ฟอสฟอรัสรวม	0	3.7857 ^a	8.0855 ^a
	1	3.7857 ^a	9.1776 ^b
	2	3.7857 ^a	10.0403 ^b
	3	3.7857 ^a	9.7191 ^b
ไนโตรเจนรวม	0	15.1766 ^a	60.1177 ^a
	1	15.1766 ^a	55.2612 ^a
	2	15.1766 ^a	47.9028 ^a
	3	15.1766 ^a	32.0824 ^b
ความกระด้าง	0	96 ^a	109 ^{ac}
	1	96 ^a	104 ^a
	2	96 ^a	121 ^b
	3	96 ^a	116 ^{bc}
ความเป็นด่าง	0	84 ^a	74 ^a
	1	84 ^a	76 ^a
	2	84 ^a	71 ^b
	3	84 ^a	79 ^b

หมายเหตุ ตัวอักษรในแถวแนวตั้งเดียวกันที่แตกต่างกันคือมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ (เปรียบเทียบเฉพาะในค่าคุณภาพน้ำเดียวกันเท่านั้น)
 เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอญูญาติให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 7 ปริมาณแอมโมเนีย (มิลลิกรัมต่อลิตร) ในน้ำเสียสังเคราะห์ที่ใช้ *Microcystis* บำบัดในระหว่างการทดลอง

สำหรับ (กรัมต่อลิตร)	ระยะเวลา (วัน)						
	0	1	2	3	5	8	11
0	62.4819 ^a	63.2099 ^a	63.9763 ^a	61.1697 ^a	63.7205 ^a	69.6071 ^a	62.1630 ^a
1	62.4819 ^a	23.6650 ^b	57.1959 ^a	58.3436 ^a	55.2826 ^b	69.4923 ^a	85.7142 ^a
1.5	62.4819 ^a	23.7156 ^b	63.7576 ^a	60.2024 ^a	57.3052 ^{ab}	70.0666 ^a	53.5353 ^a
2	62.4819 ^a	22.6537 ^b	59.7112 ^a	62.4741 ^a	59.1351 ^{ab}	68.4585 ^a	52.9581 ^a

ตารางที่ 8 ปริมาณไนเตรท (มิลลิกรัมต่อลิตร) ในน้ำเสียสังเคราะห์ที่ใช้ *Microcystis* บำบัดในระหว่างการทดลอง

สำหรับ (กรัมต่อลิตร)	ระยะเวลา (วัน)					
	0	1	2	3	5	8
0	3.7340 ^a	5.8640 ^a	5.8296 ^a	5.6761 ^a	5.6798 ^a	5.6818 ^a
1	3.7340 ^a	1.2530 ^{bc}	1.2273 ^b	1.0741 ^b	1.09883 ^b	1.0971 ^b
1.5	3.7340 ^a	1.2576 ^b	1.2429 ^b	1.0715 ^b	1.0791 ^b	1.0998 ^b
2	3.7340 ^a	1.2396 ^c	1.2286 ^b	1.0648 ^b	1.0861 ^b	1.0865 ^b

ตารางที่ 9 ปริมาณ soluble reactive phosphorus (มิลลิกรัมต่อลิตร) ในน้ำเสียสังเคราะห์ที่ใช้ *Microcystis* บำบัดในระหว่างการทดลอง

สำหรับ (กรัมต่อลิตร)	ระยะเวลา (วัน)						
	0	1	2	3	5	8	11
0	3.8602 ^a	3.8602 ^a	3.6785 ^a	3.7064 ^a	3.5395 ^a	3.6271 ^a	3.6965 ^a
1	4.1249 ^a	0.6249 ^b	0.5045 ^b	0.5151 ^b	0.3575 ^b	0.43511 ^b	0.5452 ^b
1.5	4.0643 ^a	0.6249 ^b	0.4138 ^b	0.5171 ^b	0.3622 ^b	0.4871 ^c	0.5579 ^b
2	3.7058 ^a	0.6249 ^b	0.4985 ^b	0.5131 ^b	0.3915 ^c	0.4704 ^c	0.5965 ^c

ตารางที่ 10 ปริมาณพีเอชในน้ำเสียสังเคราะห์ที่ใช้ *Microcystis* บำบัดในระหว่างการทดลอง

สาหร่าย (กรัมต่อลิตร)	ระยะเวลา (วัน)						
	0	1	2	3	5	8	11
0	7.07 ^a	6.90 ^a	6.05 ^a	6.05 ^a	6.15 ^{ab}	6.39 ^a	5.92 ^a
1	7.07 ^a	7.02 ^b	6.55 ^b	6.33 ^b	6.08 ^a	6.04 ^b	5.92 ^a
1.5	7.07 ^a	7.10 ^c	6.83 ^c	6.67 ^c	6.27 ^b	6.11 ^{ab}	6.04 ^b
2	7.07 ^a	7.06 ^c	6.87 ^c	6.67 ^c	6.22 ^{ab}	6.22 ^{ab}	6.03 ^b

ตารางที่ 11 ปริมาณออกซิเจนละลายน้ำ (มิลลิกรัมต่อลิตร) ในน้ำเสียสังเคราะห์ที่ใช้ *Microcystis* บำบัด
ในระหว่างการทดลอง

สาหร่าย (กรัมต่อลิตร)	ระยะเวลา (วัน)						
	0	1	2	3	5	8	11
0	3.46 ^a	2.55 ^a	2.29 ^a	3.68 ^a	4.98 ^a	5.2 ^a	5.29 ^a
1	3.46 ^a	1.49 ^b	1.62 ^{bc}	1.37 ^b	3.01 ^b	4.36 ^b	5.27 ^a
1.5	3.46 ^a	2.07 ^c	1.48 ^c	1.11 ^b	2.93 ^b	3.08 ^c	4.97 ^a
2	3.46 ^a	1.72 ^b	1.79 ^b	1.53 ^b	2.23 ^c	2.76 ^d	4.69 ^a

ตารางที่ 12 ปริมาณแอมโมเนีย (มิลลิกรัมต่อลิตร) ในน้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรมที่ใช้ *Oscillatoria*
และ *Microcystis* บำบัดในระหว่างการทดลอง

ชุดทดลอง	ระยะเวลา (วัน)						
	0	1	2	3	5	11	14
ชุดควบคุม	13.4456 ^a	14.3546 ^a	15.9214 ^a	12.7114 ^a	13.2041 ^a	12.5832 ^a	12.0240 ^a
<i>Oscillatoria</i>	13.4456 ^a	21.2633 ^b	14.1147 ^a	10.8461 ^a	5.4619 ^b	0.3545 ^b	1.9211 ^b
<i>Microcystis</i>	13.4456 ^a	14.9051 ^a	12.6468 ^a	11.3851 ^a	4.0928 ^c	0.3202 ^b	2.2756 ^b

ตารางที่ 13 ปริมาณไนเตรท (มิลลิกรัมต่อลิตร) ในน้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรมที่ใช้ *Oscillatoria* และ *Microcystis* บำบัดในระหว่างการทดลอง

ชุดทดลอง	ระยะเวลา (วัน)						
	0	1	2	3	5	11	14
ชุดควบคุม	3.3835 ^a	4.2166 ^a	4.8849 ^a	3.1502 ^a	3.1937 ^a	3.8168 ^a	3.1024 ^a
<i>Oscillatoria</i>	3.3835 ^a	4.2263 ^a	0.2570 ^b	0.1865 ^b	0.5969 ^b	1.3347 ^b	0.1704 ^b
<i>Microcystis</i>	3.3835 ^a	3.8731 ^a	0.0497 ^b	0.2570 ^b	0.4891 ^b	5.5873 ^b	1.1958 ^c

ตารางที่ 14 ปริมาณ soluble reactive phosphorus (มิลลิกรัมต่อลิตร) ในน้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรมที่ใช้ *Oscillatoria* และ *Microcystis* บำบัดในระหว่างการทดลอง

ชุดทดลอง	ระยะเวลา (วัน)						
	0	1	2	3	5	11	14
ชุดควบคุม	0.3070 ^a	0.2803 ^a	0.3885 ^{ab}	0.3040 ^a	0.4154 ^a	0.4574 ^a	0.4139 ^a
<i>Oscillatoria</i>	0.3070 ^a	0.3056 ^a	0.4212 ^a	0.3476 ^b	0.4650 ^b	0.2722 ^b	0.1225 ^b
<i>Microcystis</i>	0.3070 ^a	0.2856 ^a	0.3735 ^b	0.2930 ^a	0.4094 ^a	0.2359 ^c	0.1391 ^b

ตารางที่ 15 ปริมาณบีโอดี (มิลลิกรัมต่อลิตร) ในน้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรมที่ใช้ *Oscillatoria* และ *Microcystis* บำบัดในระหว่างการทดลอง

ชุดทดลอง	ระยะเวลา (วัน)					
	1	2	3	5	11	14
ชุดควบคุม	18.63	11.53	20.60	26.60	28.60	22.07
<i>Oscillatoria</i>	15.45	38.55	2.85	1.35	25.80	6.50
<i>Microcystis</i>	58.45	58.40	40.00	29.45	10.65	1.50

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 16 ปริมาณพีเอชในน้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรมที่ใช้ *Oscillatoria* และ *Microcystis* บำบัด
ในระหว่างการทดลอง

ชุดทดลอง	ระยะเวลา (วัน)						
	0	1	2	3	5	11	14
ชุดควบคุม	7.42 ^a	8.66 ^a	8.77 ^a	8.83 ^a	8.92 ^a	9.18 ^a	9.34 ^a
<i>Oscillatoria</i>	7.42 ^a	8.71 ^b	8.76 ^a	8.82 ^a	9.03 ^b	9.36 ^a	9.59 ^a
<i>Microcystis</i>	7.42 ^a	8.66 ^a	8.83 ^b	9.05 ^b	9.22 ^c	9.27 ^a	9.30 ^a

ตารางที่ 17 ปริมาณออกซิเจนละลายน้ำ (มิลลิกรัมต่อลิตร) ในน้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรมที่ใช้
Oscillatoria และ *Microcystis* บำบัดในระหว่างการทดลอง

ชุดทดลอง	ระยะเวลา (วัน)						
	0	1	2	3	5	11	14
ชุดควบคุม	1.57 ^a	1.68 ^a	3.19 ^a	2.17 ^{ab}	4.12 ^a	5.74 ^a	7.43 ^{ab}
<i>Oscillatoria</i>	1.57 ^a	0.71 ^b	1.74 ^{ab}	2.62 ^a	4.35 ^a	6.08 ^a	10.14 ^a
<i>Microcystis</i>	1.57 ^a	1.57 ^a	1.37 ^b	1.49 ^b	3.04 ^a	5.37 ^a	5.48 ^b

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 18 ปริมาณ total phosphorus total nitrogen ความเป็นค่า ความกระด้าง ในน้ำเสียจากโรงงาน
อุตสาหกรรมที่ใช้ *Oscillatoria* และ *Microcystis* บำบัดในระหว่างการทดลอง

คุณภาพน้ำ	ชุดทดลอง	ระยะเวลา (วัน)	
		0	14
ไนโตรเจน	ชุดควบคุม	1.2142 ^a	3.9298 ^a
	<i>Oscillatoria</i>	1.2142 ^a	0.3159 ^b
	<i>Microcystis</i>	1.2142 ^a	3.8276 ^a
ฟอสฟอรัสรวม	ชุดควบคุม	1.5590 ^a	0.0926 ^a
	<i>Oscillatoria</i>	1.5590 ^a	0.0726 ^a
	<i>Microcystis</i>	1.5590 ^a	0.0906 ^a
ไนโตรเจนรวม	ชุดควบคุม	19.5833 ^a	16.4313 ^a
	<i>Oscillatoria</i>	19.5833 ^a	11.3163 ^b
	<i>Microcystis</i>	19.5833 ^a	13.8512 ^{ab}
ความกระด้าง	ชุดควบคุม	201 ^a	247 ^a
	<i>Oscillatoria</i>	201 ^a	190 ^a
	<i>Microcystis</i>	201 ^a	213 ^a
ความเป็นค่า	ชุดควบคุม	71.77 ^a	60.00 ^a
	<i>Oscillatoria</i>	71.77 ^a	55.00 ^b
	<i>Microcystis</i>	71.77 ^a	57.67 ^{ab}

ตารางที่ 19 ปริมาณแอมโมเนีย (มิลลิกรัมต่อลิตร) ในน้ำเสียจากฟาร์มสัตว์น้ำที่ใช้ *Oscillatoria* และ
Microcystis บำบัดในระหว่างการทดลอง

ชุดทดลอง	ระยะเวลา (วัน)						
	0	1	2	3	5	11	14
ชุดควบคุม	0.2564 ^a	0.3846 ^a	0.4316 ^a	0.5722 ^a	0.4152 ^a	0.3035 ^a	0.3809 ^a
<i>Oscillatoria</i>	0.2564 ^a	0.2376 ^b	0.0565 ^b	0.1240 ^b	0.1239 ^b	0.2350 ^a	0.0581 ^b
<i>Microcystis</i>	0.2564 ^a	0.1709 ^b	0.2335 ^{ab}	0.2137 ^b	0.1424 ^b	0.1029 ^a	0.1283 ^b

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 20 ปริมาณไนเตรท (มิลลิกรัมต่อลิตร) ในน้ำเสียจากฟาร์มสัตว์น้ำที่ใช้ *Oscillatoria* และ *Microcystis* บำบัดในระหว่างการทดลอง

ชุดทดลอง	ระยะเวลา (วัน)						
	0	1	2	3	5	11	14
ชุดควบคุม	0.8118 ^a	0.8537 ^{ab}	0.8849 ^a	1.2336 ^a	1.0613 ^a	1.1579 ^a	0.8744 ^a
<i>Oscillatoria</i>	0.8118 ^a	1.0845 ^a	0.2570 ^b	0.1243 ^b	0.3274 ^b	1.1755 ^a	0.0698 ^b
<i>Microcystis</i>	0.8118 ^a	0.3346 ^b	0.0497 ^b	0.6134 ^{ab}	1.7740 ^c	3.4419 ^a	0.7258 ^a

ตารางที่ 21 ปริมาณ soluble reactive phosphorus (มิลลิกรัมต่อลิตร) ในน้ำเสียจากฟาร์มสัตว์น้ำที่ใช้ *Oscillatoria* และ *Microcystis* บำบัดในระหว่างการทดลอง

ชุดทดลอง	ระยะเวลา (วัน)						
	0	1	2	3	5	11	14
ชุดควบคุม	0.2106 ^a	0.2140 ^a	0.2159 ^a	0.2148 ^a	0.2182 ^a	0.2158 ^a	0.2139 ^a
<i>Oscillatoria</i>	0.2106 ^a	0.1106 ^b	0.1738 ^b	0.0570 ^b	0.0738 ^b	0.0364 ^b	0.0122 ^b
<i>Microcystis</i>	0.2106 ^a	0.1582 ^c	0.1643 ^c	0.0514 ^b	0.0732 ^b	0.0399 ^c	0.0197 ^c

ตารางที่ 22 ปริมาณบีโอดี (มิลลิกรัมต่อลิตร) ในน้ำเสียจากฟาร์มสัตว์น้ำที่ใช้ *Oscillatoria* และ *Microcystis* บำบัดในระหว่างการทดลอง

ชุดทดลอง	ระยะเวลา (วัน)					
	1	2	3	5	11	14
ชุดควบคุม	8.70	31.23	33.27	30.00	29.73	21.97
<i>Oscillatoria</i>	6.90	24.90	18.35	34.60	24.15	7.40
<i>Microcystis</i>	9.80	22.75	16.80	35.05	22.05	5.55

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 23 ปริมาณพีเอชในน้ำเสียจากฟาร์มสัตว์น้ำที่ใช้ *Oscillatoria* และ *Microcystis* บำบัดในระหว่างการทดลอง

ชุดทดลอง	ระยะเวลา (วัน)						
	0	1	2	3	5	11	14
ชุดควบคุม	7.42 ^a	7.91 ^a	7.92 ^a	8.23 ^a	8.44 ^a	8.51 ^a	8.59 ^a
<i>Oscillatoria</i>	7.42 ^a	8.44 ^b	8.85 ^b	8.97 ^b	9.09 ^b	8.19 ^b	8.29 ^b
<i>Microcystis</i>	7.42 ^a	7.46 ^c	7.56 ^c	7.62 ^c	7.81 ^c	8.23 ^b	8.37 ^b

ตารางที่ 24 ปริมาณออกซิเจนละลายน้ำ (มิลลิกรัมต่อลิตร) ในน้ำเสียจากฟาร์มสัตว์น้ำที่ใช้ *Oscillatoria* และ *Microcystis* บำบัดในระหว่างการทดลอง

ชุดทดลอง	ระยะเวลา (วัน)						
	0	1	2	3	5	11	14
ชุดควบคุม	1.57 ^a	4.90 ^a	6.14 ^{ab}	6.65 ^a	6.35 ^{ab}	6.44 ^a	7.54 ^a
<i>Oscillatoria</i>	1.57 ^a	5.48 ^b	7.46 ^a	6.97 ^a	6.88 ^a	4.61 ^b	5.98 ^b
<i>Microcystis</i>	1.57 ^a	3.16 ^c	4.30 ^b	4.19 ^b	5.81 ^b	5.98 ^a	6.48 ^{ab}

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 25 ปริมาณ total phosphorus total nitrogen ความเป็นต่าง ความกระด้าง ในน้ำเสียจากฟาร์ม
สัตว์น้ำที่ใช้ *Oscillatoria* และ *Microcystis* บำบัดในระหว่างการทดลอง

คุณภาพน้ำ	ชุดทดลอง	ระยะเวลา (วัน)	
		0	14
ไนโตรเจน	ชุดควบคุม	0.1579 ^a	0.0599 ^a
	<i>Oscillatoria</i>	0.1579 ^a	0.0557 ^a
	<i>Microcystis</i>	0.1579 ^a	0.0585 ^a
ฟอสฟอรัสรวม	ชุดควบคุม	0.4974 ^a	0.0399 ^a
	<i>Oscillatoria</i>	0.4974 ^a	0.4976 ^b
	<i>Microcystis</i>	0.4974 ^a	0.0097 ^a
ไนโตรเจนรวม	ชุดควบคุม	8.6778 ^a	12.7920 ^a
	<i>Oscillatoria</i>	8.6778 ^a	22.9947 ^b
	<i>Microcystis</i>	8.6778 ^a	14.5030 ^a
ความกระด้าง	ชุดควบคุม	100 ^a	107 ^a
	<i>Oscillatoria</i>	100 ^a	143 ^b
	<i>Microcystis</i>	100 ^a	96 ^a
ความเป็นต่าง	ชุดควบคุม	80.13 ^a	90.90 ^a
	<i>Oscillatoria</i>	80.13 ^a	86.30 ^b
	<i>Microcystis</i>	80.13 ^a	90.17 ^a

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 26 เปอร์เซ็นต์แอมโมเนีย ไนเตรท และฟอสเฟตที่ถูกกำจัดได้มากที่สุดโดยสาหร่ายทั้งสองชนิด
ในน้ำเสียประเภทที่แตกต่างกัน

	ชนิดสาหร่าย	ค่าตั้งต้น (mg/l)	ค่าต่ำสุด (mg/l)	ระยะเวลา (วัน)	เปอร์เซ็นต์ กำจัด
น้ำเสียสังเคราะห์					
แอมโมเนีย	<i>Oscillatoria</i>	74.3459	42.5766	11	42.73
	<i>Microcystis</i>	62.4819	22.6537	1	63.74
ไนเตรท	<i>Oscillatoria</i>	21.7434	0.5477	8	97.48
	<i>Microcystis</i>	3.7340	1.0648	3	71.48
ฟอสเฟต	<i>Oscillatoria</i>	0.5016	0.1240	5	75.28
	<i>Microcystis</i>	34.1249	0.3575	5	98.95
น้ำเสียโรงงานอุตสาหกรรม					
แอมโมเนีย	<i>Oscillatoria</i>	13.4456	0.3544	11	97.36
	<i>Microcystis</i>	13.4456	0.3201	11	97.62
ไนเตรท	<i>Oscillatoria</i>	3.3835	0.2569	2	92.41
	<i>Microcystis</i>	3.3835	0.0497	2	98.53
ฟอสเฟต	<i>Oscillatoria</i>	0.3069	0.1225	14	60.08
	<i>Microcystis</i>	0.3069	0.1391	14	54.68
น้ำเสียฟาร์มสัตว์น้ำ					
แอมโมเนีย	<i>Oscillatoria</i>	0.2564	0.0581	14	77.34
	<i>Microcystis</i>	0.2564	0.1029	11	59.87
ไนเตรท	<i>Oscillatoria</i>	0.8117	0.0697	14	91.41
	<i>Microcystis</i>	0.8117	0.0497	2	93.88
ฟอสเฟต	<i>Oscillatoria</i>	0.2106	0.0122	14	94.21
	<i>Microcystis</i>	0.2106	0.0196	14	90.69

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วิจารณ์

1. การใช้ *Oscillatoria* sp. และ *Microcystis* sp. บำบัดน้ำเสียที่มีสารอินทรีย์ปนเปื้อน

1.2 น้ำเสียสังเคราะห์

1.1.1 *Oscillatoria*

ในชุดการทดลองที่มีสาหร่ายมีปริมาณแอมโมเนียลดลงอย่างรวดเร็วและลดลงมากเนื่องมาจากแอมโมเนียเป็นสารอาหารชนิดหนึ่งซึ่งจำเป็นต่อการเจริญเติบโตและขบวนการในการดำรงชีวิตของสาหร่าย สาหร่ายจึงดูดซับเข้าไปใช้ในขบวนการต่าง ๆ จึงเป็นวิธีหนึ่งซึ่งช่วยในการลดปริมาณแอมโมเนียได้ดี เช่นเดียวกับปริมาณไนเตรทและ soluble reactive phosphorus ซึ่งในสาหร่ายสามารถดูดซับไปใช้ในการเจริญเติบโตได้ดี และปริมาณ soluble reactive phosphorus ในช่วงท้ายของการทดลองมีค่าเพิ่มขึ้นอาจจะเป็นเพราะมีสาหร่ายบางส่วนตายจึงมีการปล่อย soluble reactive phosphorus กลับสู่น้ำ

ปริมาณออกซิเจนละลายน้ำในช่วง 5 วันแรกของการทดลองมีค่าลดลงตลอดในชุดที่มีสาหร่าย อาจเนื่องมาจากช่วงแรกสาหร่ายได้รับผลกระทบจากปริมาณแอมโมเนียที่สูงมากเกินไป จึงทำให้มีเซลล์บางส่วนของสาหร่ายเป็นอันตรายหรือตาย สาหร่ายจึงต้องปรับตัวซึ่งหลังจากนั้นสาหร่ายสามารถปรับตัวได้ ปริมาณออกซิเจนละลายน้ำจึงเพิ่มขึ้นในช่วงวันที่ 6-11 ของการทดลอง โดยในชุดที่มีสาหร่ายมีปริมาณออกซิเจนสูงกว่าชุดควบคุมเนื่องจากการสังเคราะห์โดยแสงและผลิตออกซิเจนเกิดขึ้นนั่นเอง

การที่ในชุดทดลองที่ใส่สาหร่ายมีการผันแปรของพีเอชน้อยเนื่องจากการขบวนการสังเคราะห์โดยแสงและกระบวนการหายใจของสาหร่ายเป็นตัวปรับสมดุลของพีเอชไม่ให้เปลี่ยนแปลงมากเกินไป และในชุดที่มีสาหร่ายมากกว่ามีค่าพีเอชสูงกว่าเนื่องจากการสังเคราะห์โดยแสงและดีคาร์บอนไดออกไซด์ไปใช้ได้มากกว่า

1.1.2 *Microcystis*

การที่ระดับพีเอชของชุดการทดลองที่มีสาหร่ายมีค่าสูงกว่าชุดควบคุมเนื่องมาจากมีขบวนการสังเคราะห์โดยแสงและดีคาร์บอนไดออกไซด์ไปใช้ และสาเหตุที่ค่าพีเอชลดลงเมื่อระยะเวลาการทดลองเพิ่มขึ้นอาจเนื่องมาจากการที่เซลล์ของ *Microcystis* บางส่วนเริ่มตายเพราะค่าแอมโมเนียในน้ำสูงเกินไปจนเป็นอันตรายต่อสาหร่าย และการที่แอมโมเนียลดลงรวดเร็วในวันแรกและกลับเพิ่มสูงในวันที่ 2 อาจเนื่องมาจากในวันแรกสาหร่ายสามารถดูดซับแอมโมเนียได้มากที่สุด แต่ปริมาณแอมโมเนียที่สูงเกินไปจึงทำให้เซลล์สาหร่ายบางส่วนตาย จึงทำให้มีการปล่อยแอมโมเนียคืนกลับสู่น้ำในวันที่ 2 ของการทดลอง โดยในการทดลองนี้มีค่าแอมโมเนียเริ่มต้น 62.48 มิลลิกรัมต่อลิตร ซึ่งอาจเป็นระดับที่เป็นอันตรายต่อเซลล์ *Microcystis* ได้ ซึ่ง Azov and Goldman (1982) ได้มีรายงานไว้ว่าแอมโมเนียเข้มข้นเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

16.8 มิลลิกรัมต่อลิตร สามารถยับยั้งขบวนการสังเคราะห์แสงของ *Scenedesmus obliquus* ลงได้ถึง 50 เปอร์เซ็นต์

ปริมาณไนเตรทและ soluble reactive phosphorus ในชุดทดลองที่มีสาหร่ายมีค่าต่างจากชุดควบคุมสูงมาก เนื่องจากสาหร่ายสามารถดูดซับเข้าไปใช้ในการเจริญเติบโตหรืออาจทำให้เกิดการตกตะกอนทางเคมี (Doran and Boyle, 1979) จึงทำให้มีปริมาณลดลงอย่างรวดเร็ว

1.2 น้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรม

Oscillatoria และ *Microcystis* สามารถลดปริมาณแอมโมเนีย ไนเตรท และ soluble reactive phosphorus ได้ดีและมีประสิทธิภาพใกล้เคียงกัน โดย *Oscillatoria* และ *Microcystis* สามารถลดปริมาณไนเตรทจาก 3.3835 ลงเหลือ 0.2569 และ 0.0497 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ ภายในระยะเวลา 2 วัน ซึ่ง Sawayama (1998) ได้รายงานการกำจัดไนเตรทจากน้ำทิ้งของโรงงานอุตสาหกรรมโดยสาหร่ายในกลุ่มเดียวกับที่ใช้ในการทดลองนี้คือ *Phormidium laminosum* ซึ่งลดไนเตรท จาก 11.7 มิลลิกรัมต่อลิตร ลงเหลือ 2 มิลลิกรัมต่อลิตร ในเวลา 2 วัน ส่วน *Scenedesmus obliquus* สามารถลดแอมโมเนียได้ 100 เปอร์เซ็นต์ ที่ระยะเวลา 188.33 ชั่วโมง (Martine, 2000) ซึ่งการทดลองนี้ให้ค่าใกล้เคียงกันคือลดแอมโมเนียได้ประมาณ 97 เปอร์เซ็นต์ ที่ระยะเวลา 11 วัน ส่วน Blier (1995) รายงานว่า *Phormidium bohneri* และ *Micractinium pusillum* สามารถลดแอมโมเนียที่มีค่าเริ่มต้น 24 มิลลิกรัมต่อลิตร ลงได้ 100 เปอร์เซ็นต์ ภายใน 4 วัน และมีรายงานว่า *Oscillatoria* sp. สามารถกำจัดแอมโมเนียได้ 100 เปอร์เซ็นต์ที่ระยะเวลา 16 สัปดาห์ (Cragas, 1997)

จากการทดลองนี้ *Oscillatoria* และ *Microcystis* สามารถลดปริมาณไนเตรทได้ 92.41 และ 98.53 เปอร์เซ็นต์ (ตารางที่ 26) ที่ระยะเวลา 2 วัน ซึ่งให้ค่าใกล้เคียงกับ *Phormidium laminosum* ที่ลดไนเตรทได้ 82.9 เปอร์เซ็นต์ ภายใน 48 ชั่วโมง (Sawayama, 1998) สำหรับปริมาณฟอสเฟต *Oscillatoria* และ *Microcystis* สามารถลดได้ 60.08 และ 54.68 เปอร์เซ็นต์ ภายใน 14 วัน ซึ่งต่ำกว่าความสามารถของ *Scenedesmus obliquus* ที่ลดฟอสเฟตได้ถึง 99 เปอร์เซ็นต์ ภายใน 188.33 ชั่วโมง (Martinez, 200) และต่ำกว่า *Phormidium laminosum* ซึ่งลดฟอสเฟตได้ 96.9 เปอร์เซ็นต์ใน 2 วัน (Sawayama, 1998) แต่มีค่าสูงกว่าการกำจัดฟอสเฟตของ *Micractinium pusillum* และ *Phormidium bohneri* ซึ่งกำจัดได้ 33 และ 69 เปอร์เซ็นต์ ที่ 2 วัน (Blier, 1995)

1.3 น้ำเสียจากฟาร์มสัตว์น้ำ

Microcystis สามารถลดปริมาณแอมโมเนียและไนเตรทลงถึงค่าต่ำสุดได้เร็วกว่า *Oscillatoria* โดยลดลงได้ต่ำสุดในวันที่ 11 และ 2 ส่วน *Oscillatoria* ลดลงได้ต่ำสุดในวันที่ 14 ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากลักษณะพื้นที่ผิวของ *Microcystis* ซึ่งเป็นเซลล์กลม ๆ จึงทำให้มีพื้นที่ผิวมากกว่า *Oscillatoria* ซึ่งเป็นเอกลีแบนเป็นเอกลีแบนที่งอสำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เส้นสายยาว ซึ่งการทดลองนี้มีประสิทธิภาพการกำจัดต่ำกว่าของ Lincoln (1996) ซึ่งรายงานไว้ว่า blue-green algae สามารถลดแอมโมเนียจากน้ำทิ้งที่มีมูลสัตว์ปนได้จาก 100 มิลลิกรัมต่อลิตร เหลือน้อยกว่า 1 มิลลิกรัมต่อลิตร ภายใน 7 วัน

ปริมาณแอมโมเนีย ไนเตรท และ soluble reactive phosphorus ตั้งต้นในน้ำเสียสังเคราะห์มีค่าสูงที่สุด รองลงมาคือน้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรม และฟาร์มสัตว์น้ำ ตามลำดับ ซึ่งเปอร์เซ็นต์การกำจัดจะสูงในน้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรมและน้ำเสียจากฟาร์มสัตว์น้ำ ซึ่งอาจเป็นเพราะน้ำเสียสังเคราะห์มีค่าตั้งต้นของสารเหล่านี้สูงมากเปอร์เซ็นต์การกำจัดจึงต่ำ

2. การใช้ *Oscillatoria* sp. และ *Microcystis* sp. กำจัดโลหะหนักจากน้ำเสียสังเคราะห์

สาหร่ายแต่ละชนิดมีระดับพีเอชที่เหมาะสมในการกำจัดโลหะหนักที่แตกต่างกัน ขึ้นกับชนิดของโลหะหนักและชนิดของหมู่ functional group ซึ่งอยู่บนเซลล์สาหร่าย จากการทดลองนี้ระดับพีเอชที่เหมาะสมต่อการดูดซับตะกั่วต่ำกว่าแคดเมียมเพราะช่วงการแตกตัวของตะกั่วอยู่ในช่วงพีเอชที่ต่ำกว่าแคดเมียม และที่ระดับพีเอชที่ต่ำหรือสูงเกินไปมีผลทำให้การกำจัดตะกั่วและแคดเมียมของสาหร่ายมีประสิทธิภาพลดลงเนื่องจากที่พีเอชต่ำเกินไปในสารละลายจะมี H^+ อยู่มากซึ่งสามารถแข่งกับ Pb^{2+} หรือ Cd^{2+} ในการจับกับเซลล์สาหร่ายได้ ส่วนที่พีเอชสูงเกินไปทำให้โลหะหนักเริ่มมีการตกตะกอน อยู่ในรูปที่สาหร่ายไม่สามารถกำจัดได้ ดังนั้นที่ระดับพีเอชสูง ๆ จะทำให้ปริมาณตะกั่วลดลงได้มากแต่เนื่องมาจาก การตกตะกอนไม่ใช่การกำจัดโดยสาหร่าย

สรุป

Oscillatoria และ *Microcystis* สามารถกำจัดแอมโมเนีย ไนเตรท และฟอสเฟต จากน้ำเสียที่มาจากรองานอุตสาหกรรม และฟาร์มสัตว์น้ำได้ดีมีประสิทธิภาพ โดยกำจัดไนเตรทได้เร็วที่สุด รองลงมาคือแอมโมเนียและฟอสเฟต และ *Microcystis* สามารถกำจัดไนเตรทได้ดีกว่า *Oscillatoria* แต่กำจัดฟอสเฟตได้น้อยกว่า

Oscillatoria และ *Microcystis* มีความสามารถในการกำจัดตะกั่วและแคดเมียมได้มีประสิทธิภาพ โดย *Oscillatoria* จะมีประสิทธิภาพสูงกว่า *Microcystis* และยังใช้ระยะเวลาในการกำจัดสั้นกว่าจึงมีความเหมาะสมในการใช้กำจัดตะกั่วและแคดเมียมมากกว่า



เอกสารอ้างอิง

- กรมควบคุมมลพิษ. 2540. บันทึกถึน้ำตาล รายงานสถานการณ์มลพิษของประเทศไทย. กรมควบคุมมลพิษ, กระทรวงวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีสิ่งแวดล้อม, กรุงเทพฯ. หน้า 1-36.
- บุปผา แซ่มประเสริฐ. 2527. ผลกระทบของแคดเมียมในแอกติเวตเตดสตัคซ์ที่มีต่อพืชผักและธาตุอาหารพืชบางชนิด. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.
- พรสวัสดิ์ มหาโชคเลิศวัฒนา. 2529. การกำจัดตะกั่วในน้ำทิ้งโรงงานอุตสาหกรรมผลิตแบตเตอรี่โดยวิธีตกตะกอนทางเคมี. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. กรุงเทพฯ.
- สุทธิชัย เตมียวณิชย์. 2527ก. หอยสีเลือดอันเนื่องมาจากปรากฏการณ์ขี้ปลาฉลาม . รายงานการสัมมนาครั้งที่ 3 การวิจัยคุณภาพน้ำและคุณภาพทรัพยากรมีชีวิตในน่านน้ำไทย 26-28 มี.ค. 2527 สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ ณ ศูนย์วิทยาศาสตร์ทางทะเล มศว บางแสนหน้า 487-489.
- สุทธิชัย เตมียวณิชย์. 2527ข. การเปลี่ยนแปลงแหล่งกักตุนพิษแบละสาเหตุที่ชักนำให้เกิดพิษพืชมพาดในหอยที่ปราณบุรี. รายงานการสัมมนาครั้งที่ 3 การวิจัยคุณภาพน้ำและคุณภาพทรัพยากรมีชีวิตในน่านน้ำไทย 26-28 มี.ค. 2527 สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ ณ ศูนย์วิทยาศาสตร์ ทางทะเล มศว บางแสน, หน้า 30-38.
- Ahuja, P., Gupta, R. and Saxena, R.K. 1997. *Oscillatoria angustissima*: A promising Cu²⁺ biosorbent. *Current Microbiology*. 35(1997): 151-154.
- Ahuja, P., Gupta, R. and Saxena, R.K.L. 1999. Zn²⁺ biosorption by *Oscillatoria angustissima*. *Process Biochemistry* .34(1999):77-85.
- Bender, J., Washington, J.R., Graves, B., Phillip, P. and Abotsib. 1994. Deposit of Zinc and Manganese in an aqueous environment mediated by microbial mats. *Water Air and Soil Pollution*. 75(3-4):195-204.
- Blier, R., Laliberte, G. and Noue, J.de la. 1995. Tertiary treatment of cheese factory anaerobic effluent with *Phormidium bohnefi* and *Micractinium pusillum*. *Bioresource Technology*. 52 (1995):151-155.
- Chen, J.P., Chen, W.R., and Hsu, R.C. 1996. Biosorption of copper from aqueous solution by plant root tissue. *J. Ferment. Bioeng.*, 81,458.
- Chiras, D.D. 1994. Environmental Science, Action for a sustainable future. The Benjamin cummings Publishing Company, Inc., California. 611 pp.
- Cho, D.U., Lee, S.T., Park, S.W., Chung, A.A. 1994. Studies on the biosorption of heavy metals onto "*Chlorella vulgaris*. *J. Environ. Sci. Health*. 29, 389.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- Craggs, R.J., McAuley, P.J. and Smith V.J. 1996. Wastewater nutrient removal by marine microalgae grown on a corrugated raceway. *Water Research*. 31(1997):1701-1707.
- Daniel, S., M.Andreas, C. Zsuzsa, H.F. Fritz and P. Clemens. 2001. The adsorption Kinetics of metal ions onto different microalgae and siliceous earth. *Water Research*. 35(3)(2001):779-785.
- Desikachary, T.V. 1959. Cyanophyta. Indian Council of Agricultural Research, New Delhi. 686 pp.
- Fehrmann, C., Pohl, P. 1993. Cadmium adsorption by the non-living biomass of microalgae grown in axenic mass culture. *J.Appl. Phycol.* 5, 555.
- Hammouda, O., Gaber, A. and Abdel, R.N. 1995. Microalgae and wastewater treatment. *Ecotoxicology and Environmental Safety*. 31(1995):205-210.
- Inthorn, D. 2001. Removal of Heavy metal by using microalgae *In Photosynthetic Microorganisms in Environmental Biotechnology*. Springer-Verlag Hong Kong Ltd, Hong-Kong. p. 111-136.
- Jackson A.R.W. and Julie M. Jackson. 1996. Environmental Science : The natural environment and human impact. Longman Singapore Publishers Ltd, Singapore. 370 pp.
- Kumar, H. 1994. Studies in biofiltration efficiency of cyanobacteria *Oscillatoria annae* towards industrial and sewage water treatment. *Fresenius Environmental Bulletin*. 3(4):195-200.
- Les, A. and Walker, R.W. 1984. Toxicity and binding of Cu, Zn and Cd by blue-green algae, *Chroococcus parisi*. *Water Air Soil Pollut.* 23(1984):129-139.
- Lewin, R.A. 1962. Physiology and Biochemistry of Algae. Academic Press, London. 929 pp.
- Lincoln, E.P., Wklkie, A.C. and French B.T. 1996. Cyanobacterial process for renovating dairy wastewater. *Biomass and Bioenergy*. 10(1996):63-68.
- Mahakhand, A., Klungsupya, P., Arunpairojana, V., Sano, T., Watanave, M.M., Kaya, K. and Atthasampunna, P. 1998. Toxicity of cyanobacteria blooms in Thailand. Final report, Thailand Institute of Scientific and Technological Research, project no. 39-02, 48 p.
- Mallick, N. and Rai, L.C. 1994. Removal of inorganic ions from wastewater by immobilized microalgae. *W.J. Microbiol. Biotechnol.* 10(1994):439-443.
- Manoharan, C. and G. Subramanian. 1993. Feasibility studies on using cyanobacteria in ossein effluent treatment. *Indiana Journal of Environmental Health*. 35(2):88-96
- Martinez, M.E., Sanchez, S., Jimenez, J.M., Yousfi, F. El. And Munoz, L. 2000. Nitrogen and phosphorus removal from urban wastewater by the microalga *Scenedesmus obliquus*. *Bioresource Technology*. 73(2000):263-272.

- Nagase, H., Inthorn, D., Isaji, Y., Oda, A., Hirata, K., and Miyamoto, K. 1997. Selective cadmium removal from hard water using NaOH-treated cells of the cyanobacterium *Tolypothrix tenuis*. *J. Ferment. Bioeng.* 84(1997):151.
- Peterson, H.G. and N. Nyholm. 1993. Algal Bioassays for Metal Toxicity Identification. *Water Poll. Res. J. Canada.* 28(1):129-153.
- Proulx, D. and De la Noue, J. 1998. Biological tertiary treatment of urban wastewaters by chitosan immobilized *Phormidium* sp. *Microbial. Biotechnol.* 29(1998):292-297.
- Raven, R.H., Berg, L.R. and Johnson, G.B. 1993. *Environment*. Saunders College Publishing, New York. 569 pp.
- Sawayama, S., Rao, K.K. and Hall, D.O. 1998. Nitrate and phosphate ion removal from water by *Phormidium laminosum* immobilized on hollow fibres in a photobioreactor. *Appl. Microbiology Biotechnology.* 49(1998):463-468.
- Shuttleworth, K.L., Unz, R.F. 1993. Sorption of heavy metals to the filamentous bacterium *Thiothrix* strain A1. *Appl. Environ. Microbiol.* 59, 1274.
- Sindermann, C.J. 1996. *Ocean Pollution Effects on Living Resources and Humans*. CRC. Press, London. 275 pp.
- Singh, S., Pradhan, S. and Rai, L.D. 1998. Comparative assessment of Fe^{3+} and Cu^{2+} biosorption by field and laboratory-grown *Microcystis*. *Process Biochemistry.* 33(1998): 495-504.
- Stanier, R.Y., Kunisawa, R., Mandel, M. and Cohen, B.G. 1971. Purification and properties of unicellular blue green algae (Order Chroococcales). *Bacteriological Reviews.* 35(1971):171-205.
- Suvapepun, S. 1988. Occurrence of Red Tide in the Gulf of Thailand. In Okaichi, T., D.M. Anderson, T. Nemoto (eds) *Red Tide Biology, Environment Science and Toxicology*, Elsevier, New York, pp. 41-44.
- Terauchi N., Ohatani T., Yamanaka K., Tsufi T., Sudou T.I and Ito K. 1995. Studies on a biological filter for musty odor removal in drinking water treatment processes. *Water Science and Technology.* 31(1995): 229-235.
- Volesky, B., May-Phillips, H.A. 1995. Biosorption of heavy metals by *Saccharomyces cerevisiae*. *Appl. Microbiol. Biotechnol.* 42,797.
- Wang, W., Gorsuch, J.W. and Hughes, J.S.. 1997. *Plants for Environmental Studies : Laboratory bioassays with microalgae*. Lewis Publishers, New York. p. 226-276.