การเพาะเลี้ยงสาหร่าย *Spirulina platensis* ในน้ำทิ้งจากโรงงานสกัดน้ำมันปาล์ม

Culture of *Spirulina platensis* in Palm Oil Mill Effluent

เจนต์ แก้วเกื้อ[1] และ ดร.ชลินดา อริยเดช[2]

Jane Kaewkui[1] and Dr.Chalinda Ariyadet[2]

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยราชภัฏสุราษฎร์ธานี[1] และโปรแกรมชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏสุราษฎร์ธานี[2]

Graduate School, Suratthani Rajabhat University[1] and Biology Program, Faculty of Science and Technology, Suratthani Rajabhat University[2]

E-mail: Jane_Kaewkui@hotmail.com[1] and chalindaa@hotmail.com[2]

(รับบทความเมื่อ 15 กรกฎาคม 2551; ได้รับการพิจารณาตีพิมพ์ 21 กรกฎาคม 2551)

บทคัดย่อ

การทดลองเพาะเลี้ยงสาหร่าย *Spirulina platensis* ในน้ำทิ้งบ่อสุดท้ายจากโรงงานสกัดน้ำมันปาล์ม โดยคัดเลือกความเข้มข้นของน้ำทิ้งที่เหมาะสมในห้องปฏิบัติการจากระดับความเข้มข้นร้อยละ 20, 40, 60, 80 และร้อยละ 100 พบว่าระดับความเข้มข้นร้อยละ 100 สามารถลดค่าบีโอดี (BOD_5) และซีโอดี (COD) ได้สูงสุดร้อยละ 37.78 และร้อยละ 68.79 ตามลำดับ โดยสาหร่ายมีความหนาแน่น 163.20×10^2 เซลล์/มิลลิลิตร ค่าความเป็นกรดด่าง จะเพิ่มขึ้นตามการเจริญเติบโตของสาหร่ายโดยที่ความเข้นข้นของน้ำทิ้งร้อยละ 100 จะมีช่วงของการเปลี่ยนแปลงมากที่สุดระหว่าง 9.40 - 9.71

จากผลการทดลองยืนยันผลในสภาพกลางแจ้งจำนวน 21 วันพบว่าสาหร่าย *Spirulina platensis* สามารถทำให้คุณภาพน้ำดีขึ้นโดยสามารถลดค่าบีโอดี (BOD_5) ออร์โธฟอสเฟต (PO_4-P) ซีโอดี (COD) ไนเตรต-ไนโตรเจน (NO_3-N) ได้ร้อยละ 49.79, 93.28, 65.48 และร้อยละ 88.84 ตามลำดับ โดยค่าไนไตรท์-ไนโตรเจน (NO_2-N) มีค่าเพิ่มขึ้นร้อยละ 140.53 เพราะสาหร่ายไม่ได้นำไปใช้ประโยชน์ และสาหร่ายสไปรูไลนามีความหนาแน่นสูงสุด 372.75×10^2 เซลล์/มิลลิลิตรโดยค่าซีโอดี (COD) ออร์โธฟอสเฟต (PO_4-P) ไนเตรต-ไนโตรเจน (NO_3-N) มีแนวโน้มแปรผันตามกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 โดยปัจจัยที่มีผลต่อการเจริญเติบโตของสาหร่ายคือค่าความเป็นกรด ด่าง

สรุปได้ว่าน้ำทิ้งบ่อสุดท้ายจากโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มสามารถใช้เพาะเลี้ยงสาหร่าย *Spirulina platensis* ได้ทุกระดับความเข้มข้นโดยที่ระดับความเข้มข้นร้อยละ 100 สามารถปรับปรุงคุณภาพน้ำทิ้งได้ดีกว่าความเข้มข้นอื่นๆ

คำสำคัญ: น้ำทิ้งบ่อสุดท้ายของโรงงานสกัดน้ำมันปาล์ม สาหร่าย *Spirulina platensis*

Abstract

The culture of *Spirulina platensis* in final waste water palm oil mill effluent was selected in appropriate concentration the waste water dilute into 20, 40, 60, 80 and 100 percent in laboratory condition. The waste water 100 percent highest reduced the biological oxygen demand (BOD_5) and the chemical oxygen demand (COD) were 37.78 and 68.75 percent, respectively. The *Spirulina platensis* maximum growth and cell productivity were 163.20 $\times 10^2$ cell/ml. The acid-base value direct variation with growth of algae. The acid-base value of waste water 100 percent interval changed 9.40 – 9.71

The resulted experiment confirmed cultivation *Spirulina platensis* in palm oil mill effuent in field condition on 21 days showed that the waste water quality was better than before experiment. The chemical oxygen demand (COD), the biological oxygen demand (BOD_5), ortho-phosphate (PO_4-P), nitrate-nitrogen (NO_3-N) of waste water were reduced by 65.48, 49.79, 93.28 and 88.84 percent. But the nitrite-nitrogen was increased 140.53 percent. The maximum growth of algae and cell productivity were 372.75 $\times 10^2$ cell/ml. The chemical oxygen demand (COD), the biological oxygen demand (BOD_5), ortho-phosphate (PO_4-P) and nitrate-nitrogen (NO_3-N) were directed the variation in statistic on significance 95 percent. The acid-base value was a factor for growth of algae.

The *Spirulina platensis* can be growth in every concentration of final waste water of palm oil mill effluent. The experiment showed that the water quality of 100 percent waste water was better than the others.

Keywords: Palm Oil Mill Effluent (POME), *Spirulina platensis*

บทนำ

ปาล์มน้ำมันเป็นพืชเกษตรที่มีความสำคัญต่อเศรษฐกิจภาคใต้ ข้อมูลจากสำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร เมื่อเดือนธันวาคม 2547 ระบุว่า พื้นที่เพาะปลูกปาล์มน้ำมันในประเทศไทย มีประมาณ 2.2 ล้านไร่ ในจำนวนนี้เป็นพื้นที่ในจังหวัดกระบี่ มากที่สุด คือ 6.56 แสนไร่รองลงมาคือ สุราษฎร์ธานี 5.96 แสนไร่ ชุมพร 4.45 แสนไร่ สตูล 1.01 แสนไร่ และในจังหวัดอื่นๆ รวม 3.85 แสนไร่ จะเห็นได้ว่ารวมพื้นที่ปลูกปาล์มน้ำมัน 3 จังหวัด คือ กระบี่ สุราษฎร์ธานี และชุมพรมีพื้นที่รวมประมาณร้อยละ 83 ของพื้นที่เพาะปลูกทั้งประเทศ (พรรณนีย์ วิชชาชู. 2547)

อุตสาหกรรมการสกัดน้ำมันปาล์มดิบของไทยจะมีพื้นที่ตั้งของโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มโดยส่วนมากอยู่ในพื้นที่ภาคใต้เนื่องจากใกล้กับแหล่งวัตถุดิบ จากการสำรวจข้อมูลพื้นฐานในปี 2547 มีโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มทั้งสิ้นประมาณ 48 โรงงาน (ธีระ เอกสมทราเมษฐ์ และคณะ. 2547 : 15) กระบวนการผลิตที่จะเปลี่ยนผลปาล์มสดให้เป็นน้ำมันปาล์มดิบซึ่งดำเนินการโดยโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มนั้นสามารถแบ่งออกได้เป็น

2 ประเภท คือ กระบวนการสกัดแบบแห้งและกระบวนการสกัดแบบเปียก ซึ่งเป็นกระบวนการผลิตที่ใช้น้ำในกระบวนการผลิตเป็นจำนวนมากและส่งผลให้เกิดน้ำเสียจากกระบวนการผลิตจำนวนมากเช่นกัน

ดังนั้นการศึกษาวิจัยในครั้งนี้จึงมีแนวคิดที่จะใช้น้ำเสียจากระบบบำบัดน้ำเสียบ่อสุดท้ายของโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มมาเพาะเลี้ยงสาหร่าย *Spirulina platensis* เพื่อนำน้ำเสียที่ไม่สามารถระบายลงสู่แหล่งน้ำได้มาใช้ประโยชน์และเป็นการบำบัดน้ำเสียโดยวิธีชีวภาพ ซึ่งเป็นวิธีที่นิยมใช้กันมากในปัจจุบันเพราะไม่มีสารเคมีตกค้างและต้นทุนในการบำบัดน้ำต่ำพร้อมทั้งนำสาหร่ายที่ได้ไปผลิตอาหารสัตว์ เนื่องจากสาหร่าย *Spirulina platensis* หรือสาหร่ายเกลียวทองเป็นสาหร่ายที่พบในเขตร้อนเจริญเติบโตได้ดีในน้ำที่ค่อนข้างเป็นด่าง จะพบสาหร่ายชนิดนี้ในน้ำที่ค่อนข้างเสีย หรือในบ่อบำบัดน้ำเสีย (ธิดา เพชรมณี. 2546 : 5) โดยสาหร่ายชนิดนี้จะสังเคราะห์ด้วยแสงแล้วให้ออกซิเจนแก่น้ำและดึงเอาสารอาหารในน้ำเสียไปใช้เพื่อการดำรงชีวิต ซึ่งน้ำเสียจากระบบบำบัด น้ำเสียบ่อสุดท้ายของโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มมีคุณลักษณะของน้ำเสีย บีโอดี (BOD) ในช่วง 13 - 358 มิลลิกรัม/ลิตร ซีโอดี (COD) ในช่วง 142 - 2,970 มิลลิกรัม/ลิตร พีเอช (pH) ในช่วง 7.2 - 9.02 สารแขวนลอย (TSS) ในช่วง 23 - 800 มิลลิกรัม/ลิตร น้ำมันและขี้ผึ้ง (oil & grease) ในช่วง 2 - 268 มิลลิกรัม/ลิตร ฟอสฟอรัสทั้งหมด (TP) ในช่วง 1 - 43 มิลลิกรัม/ลิตร ไนโตรเจนทั้งหมด (TKN) ในช่วง 6 - 2,738 มิลลิกรัม/ลิตร (สมทิพย์ ด่านธีรวนิชณ์ และคณะ. 2542 : 6) คุณลักษณะของ น้ำเสียดังกล่าวมีช่วง pH ที่เหมาะสมและปริมาณสารอาหาร หลงเหลืออยู่ให้สาหร่ายเจริญเติบโต ซึ่งคาดหวังว่าข้อมูลที่ศึกษาในครั้งนี้สามารถนำน้ำเสียมาใช้ ให้เกิดประโยชน์และเพื่อเป็นอีกแนวทางหนึ่งในการแก้ไขปัญหาในด้านการจัดการน้ำเสียของอุตสาหกรรมการสกัดน้ำมันปาล์มที่กำลังเจริญเติบโตอย่างต่อเนื่อง

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. เพื่อศึกษาการเพาะเลี้ยงสาหร่าย *Spirulina platensis* ในน้ำทิ้งบ่อสุดท้ายของโรงงานสกัดน้ำมันปาล์ม
2. เพื่อศึกษาประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสียของสาหร่าย *Spirulina platensis*

ระเบียบวิธีวิจัย

การทดลองที่ 1 การเพาะเลี้ยงสาหร่าย *Spirulina platensis* ในน้ำทิ้ง บ่อที่ 11 จากบริษัทภักษิณปาล์ม (2521) จำกัดในห้องปฏิบัติการ

1. เตรียมหัวเชื้อตั้งต้น โดยเตรียมอาหารสำหรับเพาะเลี้ยงสาหร่ายสไปรูไลนา สูตร Zarrouk ในขวดโหลแก้วขนาด 5 ลิตร นำสาหร่ายสไปรูไลนาที่เป็นหัวเชื้อ (stock culture) จากสถานีประมงเก้าเส้ง จังหวัดสงขลา เติมลงในขวดโหลแก้วโดยปรับค่าพีเอช (pH) ของอาหารด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) หรือไฮโดรคลอริค (HCl) ให้มีค่าเท่ากับ 10 ± 1 และให้แสงไฟและออกซิเจนตลอด 24 ชั่วโมง ทำการตรวจวัดค่าความหนาแน่นของเซลล์ (optical density : OD) ที่ความยาวคลื่นแสง 560 นาโนเมตร ทุกวัน จนค่าการดูดกลืนแสงได้ประมาณ 2.0 แล้วหลังจากนั้นนำไปใช้เป็นสาหร่ายตั้งต้น ดังภาพที่ 1

ภาพที่ 1 หัวเชื้อสาหร่าย *Spirulina platensis*

2. เตรียมน้ำทิ้งสำหรับเพาะเลี้ยง โดยวางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (completely randomized design : CRD) โดยแบ่งการทดลองออกเป็น 5 ทรีทเม้นท์ (treatment) ซึ่งมีน้ำเสียเข้มข้นร้อยละ 20, 40, 60, 80 และร้อยละ 100 แต่ละทรีทเม้นท์ (treatment) ทำ 3 ซ้ำ และทุกๆ ทรีทเม้นท์ (treatment) จะมีชุดควบคุมที่ไม่มีสาหร่ายอีกทรีทเม้นท์ละ 1 ซ้ำ รวมทั้งชุดควบคุมที่เพาะเลี้ยงในอาหารสูตร Zarrouk อีก 1 ชุด ทำการวิเคราะห์คุณภาพน้ำทางกายภาพ ทางเคมี (pH, BOD_5, COD)

3. นำน้ำทิ้งที่เตรียมไว้เติมลงในขวดน้ำเกลือขนาด 1,000 มิลลิลิตร ปริมาณขวดละ 900 มิลลิลิตร

4. นำสาหร่ายจากข้อ 1 ใส่ลงในขวดอาหารที่เตรียมไว้ทุกขวดๆ ละ 10 เปอร์เซ็นต์ ของอาหาร

5. นำไปวางบนชั้นวางที่ติดตั้งระบบเติมอากาศ โดยให้แสงไฟภายในห้องประมาณ 5,500 ลักซ์ ดังภาพที่ 2

ภาพที่ 2 การเพาะเลี้ยงสาหร่าย *Spirulina platensis* ในน้ำทิ้ง บ่อที่ 11 จากบริษัท ทักษิณปาล์ม (2521) จำกัด ในห้องปฏิบัติการ

6. เติมน้ำกลั่นให้ได้ระดับ 1000 มิลลิลิตรแล้วตรวจนับจำนวนเซลล์ ความเป็นกรด ด่าง (pH) ทุกๆ 2 วัน โดยใช้ไมโครปิเปต (micropipette) ดูดเอาส่วนที่แขวนลอย (suspension) ของสาหร่ายมาหยดลงบนสไลด์ 0.02 มิลลิลิตร ใช้โคปเวอร์สลิป (cover slip) ปิด แล้วนำไปตรวจนับจำนวนเซลล์ด้วยกล้องจุลทรรศน์ โดยใช้วิธีนับทั้งหมด (whole count) แล้วคำนวณออกมาเป็นจำนวนเซลล์ต่อมิลลิลิตร

7. เมื่อเสร็จสิ้นการทดลอง ทำการกรองสาหร่ายสไปรูไลนาด้วยผ้ากรองสาหร่ายขนาด 100 ไมครอน วิเคราะห์คุณภาพน้ำ ทางกายภาพ ทางเคมี (pH, BOD_5, COD)

การทดลองที่ 2 การเพาะเลี้ยงสาหร่าย *Spirulina platensis* ในน้ำทิ้ง ในสภาพกลางแจ้ง

จากการทดลองในห้องปฏิบัติการข้างต้น พบว่าสาหร่าย *Spirulina platensis* สามารถเจริญเติบโตได้ทุกความเข้มข้น โดยที่ความเข้มข้นร้อยละ 20 สามารถเจริญเติบโตได้ดีที่สุด แต่ที่ความเข้มข้นร้อยละ 100 สามารถเจริญเติบโตได้ต่ำที่สุดแต่สามารถลดค่าซีโอดี (COD) และค่าบีโอดี (BOD_5) ได้ดีที่สุด จึงเลือกที่ความเข้มข้นร้อยละ 100 มาเพาะเลี้ยงในสภาพกลางแจ้ง เพื่อนำน้ำทิ้งมาใช้ประโยชน์และปรับปรุงคุณภาพน้ำให้ดีขึ้น โดยมีวิธีการทดลอง ดังนี้

1. เตรียมหัวเชื้อสาหร่ายเชื้อตั้งต้น โดยเตรียมอาหารสำหรับเพาะเลี้ยงสาหร่าย สไปรูไลนาสูตร Zarrouk ในขวดโหลแก้ว ขนาด 5 ลิตร จำนวน 3 ขวด นำสาหร่ายสไปรูไลนา ที่เป็นหัวเชื้อ (stock culture) จากสถานีสถาบันวิจัยการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำชายฝั่ง จังหวัดสงขลา ในขวดโหล โดยปรับค่าพีเอช (pH) ของอาหารด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) หรือกรดไฮโดรคลอริค (HCl) ให้มีค่าเท่ากับ 10 ± 1 และให้แสงไฟและออกซิเจนตลอด 24 ชั่งโมง ทำการตรวจวัดค่าความหนาแน่นของเซลล์ (optical density : OD) ที่ความยาวคลื่นแสง 560 นาโนเมตร ทุกวัน จนค่าการดูดกลืนแสงได้ประมาณ 1.0 แล้วนำไปใช้เป็นสาหร่ายตั้งต้น ดังภาพที่ 3

ภาพที่ 3 หัวเชื้อสาหร่าย *Spirulina platensis* สำหรับการเพาะเลี้ยงในน้ำทิ้ง ในสภาพกลางแจ้ง

2. เตรียมน้ำสำหรับเพาะเลี้ยงโดยขนน้ำทิ้งบ่อ 11 จากบริษัท ทักษิณปาล์ม (2521) จำกัด มาพักไว้ในถังพักน้ำ ขนาด 100 ลิตร จำนวน 4 ใบ ประมาณ 1 สัปดาห์ แล้วกรองเอาสารแขวนลอย ที่ไม่ต้องการออกด้วยผ้ากรองไนล่อนขนาด 100 ไมโครเมตร

3. ปรับค่าพีเอช (pH) ของอาหารด้วย สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) หรือกรดไฮโดรคลอริค (HCl) ให้มีค่าเท่ากับ 10 ± 1 ดังภาพที่ 4

ภาพที่ 4 น้ำทิ้งบ่อสุดท้ายจากโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มสำหรับเพาะเลี้ยงสาหร่าย *Spirulina platensis* ในสภาพกลางแจ้ง

4. นำน้ำที่กรองและปรับค่าพีเอช (pH) แล้วไปเติมในอ่างพลาสติก ขนาด 50 ลิตร จำนวน 27 ลิตร โดยทำการทดลอง 3 ซ้ำ และชุดควบคุม อีก 1 อ่าง ดังภาพที่ 5

ภาพที่ 5 อ่างพลาสติกและน้ำสำหรับสาหร่าย *Spirulina platensis* ในสภาพกลางแจ้ง

5. เติมหัวเชื้อสาหร่ายตั้งต้น จากข้อ 1 ที่มีค่าความหนาแน่นเซลล์เท่ากับ 1 ในอ่างเพาะเลี้ยงสาหร่าย อ่างละ 10 เปอร์เซ็นต์ โดยปริมาตร ยกเว้นชุดควบคุม

6. ติดตั้งระบบเติมอากาศโดยเติมอากาศตลอด 24 ชั่วโมง ดังภาพที่ 6

ภาพที่ 6 การเพาะเลี้ยงสาหร่าย *Spirulina platensis* ในสภาพกลางแจ้ง

7. เติมน้ำกลั่นให้ได้ระดับ 30 ลิตรแล้วตรวจวัดค่าความเป็นกรด ด่าง และตรวจนับจำนวนเซลล์ทุกๆ 2 วัน

8. เติมน้ำกลั่นให้ได้ระดับ 30 ลิตรตรวจวัดค่าความต้องการออกซิเจนทางเคมี (COD) ความต้องการออกซิเจนทางชีวเคมี (BOD_5) ออร์โธฟอสฟอรัส (PO_4^{2-}-P) ไนไตรท์ไนโตรเจน (NO_2^--N) ไนเตรตไนโตรเจน (NO_3^--N) ทุกๆ 5 วัน จนเสร็จสิ้นการทดลอง

สรุปผลการวิจัย

จากการทดลองเพาะเลี้ยงสาหร่าย *Spirulina platensis* ในน้ำทิ้งบ่อสุดท้ายของโรงงานสกัดน้ำมันปาล์ม ในสภาพห้องปฏิบัติการที่ระดับความเข้มข้นร้อยละ 20, 40, 60, 80 และร้อยละ 100 โดยเติมอากาศเพื่อให้น้ำหมุนวน และให้แสงตลอด 24 ชั่วโมง พบว่าสาหร่ายสามารถเจริญเติบโตได้ทุกความเข้มข้น แต่จะลดลงเมื่อความเข้มข้นของน้ำทิ้งเพิ่มขึ้นโดย ร้อยละของการลดลงของความต้องการออกซิเจนทางเคมี (COD) และความต้องการออกซิเจนทางชีวเคมี (BOD_5) มีค่าเพิ่มขึ้นตามความเข้มข้นของน้ำทิ้ง และมีร้อยละของการลดลงดีกว่าชุดควบคุม ในขณะที่ค่าความเป็น กรด ด่าง จะมีค่าเพิ่มขึ้นตามการเจริญของสาหร่ายในน้ำทิ้งที่มีความเข้มข้นร้อยละ 40, 60, 80 และร้อยละ 100 ส่วนในน้ำทิ้งที่มีความเข้มข้นร้อยละ 20 มีค่าค่อนข้างคงที่ ซึ่งทั้งค่าความต้องการออกซิเจนทางเคมี (COD) และความต้องการออกซิเจนทางชีวเคมี (BOD_5) และค่าความเป็น

กรด ด่างมีค่าสูงกว่ามาตรฐานน้ำทิ้งของกรมโรงงานอุตสาหกรรม

เมื่อนำน้ำทิ้งไปเพาะเลี้ยงในสภาพกลางแจ้ง โดยไม่มีการเจือจางพบว่าสาหร่ายสามารถเจริญได้ดีใกล้เคียงกับการเพาะเลี้ยงสาหร่าย *Spirulina platensis* ในน้ำทิ้งบ่อสุดท้ายของโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มในห้องปฏิบัติการที่ระดับความเข้มข้น 20 และ 40 เปอร์เซ็นต์ เพราะการเพาะเลี้ยงในสภาพกลางแจ้ง สาหร่ายได้รับแสงที่มีความเข้มและอุณหภูมิที่เหมาะสมมากกว่าห้องปฏิบัติการ ในการวิเคราะห์สารอาหาร พบว่า ร้อยละของการลดลงของออร์โธฟอสเฟต (PO_4-P) ต่ำกว่าชุดควบคุม เนื่องมาจากการย่อยสลายของสาหร่ายที่ตาย ส่วนไนไตรท์-ไนโตรเจน (NO_2-N) มีร้อยละของการเพิ่มขึ้นเพราะปฏิกิริยาไนตริฟิเคชั่น (nitrification) ในขณะที่ ไนเตรต-ไนโตรเจน (NO_3-N) มีร้อยละของการลดลงเพราะมีความคงตัวและสาหร่ายจะนำไปใช้ก่อนหลังจากใช้แอมโมเนียไนโตรเจนหมดไป ส่วนการวิเคราะห์คุณภาพของน้ำทิ้งค่าความเป็นกรด ด่าง จะเพิ่มขึ้นตามการเจริญของสาหร่าย ส่วนร้อยละของการลดลงของความต้องการออกซิเจนทางเคมี (COD) มีค่าร้อยละ 65.48 ซึ่งมากกว่าชุดควบคุมเล็กน้อยมีสาเหตุ มาจากเซลล์ของสาหร่ายที่ตาย และความต้องการออกซิเจนทางชีวเคมี (BOD_5) มีค่าร้อยละของการลดลงดีกว่าชุดควบคุม

อภิปรายผลการวิจัย

การศึกษาการเจริญของสาหร่าย *Spirulina platensis* จากการทดลองเพาะเลี้ยงสาหร่าย *Spirulina platensis* ในน้ำทิ้งบ่อสุดท้ายของโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มในสภาพห้องปฏิบัติการที่ความเข้มข้นร้อยละ 20, 40, 60, 80 และร้อยละ 100 และในสภาพกลางแจ้งโดยไม่เจือจางน้ำทิ้ง ทำการทดลองในช่วงเดือน มีนาคม 2550 – เมษายน 2550 ซึ่งการทดลองในสภาพห้องปฏิบัติการ น้ำทิ้งความเข้มข้นร้อยละ 40 สาหร่ายเจริญได้ดีที่สุดและความข้มข้น ร้อยละ 100 สาหร่ายเจริญได้ต่ำที่สุด เนื่องจากสีของน้ำทิ้งเป็นสีน้ำตาลเข้ม ดังนั้นเมื่อการทดลองผ่านไประยะหนึ่งสาหร่ายทวีจำนวนมากขึ้น ทำให้สีของน้ำเข้มขึ้นทำให้ในน้ำทิ้งที่เข้มข้นร้อยละ 100 สาหร่ายได้รับแสงไม่เพียงพอรวมทั้งในสภาพห้องปฏิบัติการแสงที่ได้มีปริมาณจำกัด ทำให้สาหร่าย *Spirulina platensis* เจริญได้ช้ากว่าความเข้มข้นอื่นๆ ซึ่งหากพิจารณาปริมาณธาตุอาหารที่จำเป็นต่อการเจริญของสาหร่าย *Spirulina platensis* ในสภาวะที่สาหร่ายจะสามารถนำมาใช้ในการทวีจำนวนนั้นมีปริมาณเพียงพอที่สาหร่ายจะสามารถเจริญได้ เช่น ออร์โธ-ฟอสเฟต (PO_4-P) 21.60 มิลลิกรัม/ลิตร ไนไตรท์-ไนโตรเจน (NO_2-N) 0.681 มิลลิกรัม/ลิตร ไนเตรต-ไนโตรเจน (NO_3-N) 18.159 มิลลิกรัม/ลิตร (ตารางที่ 2, 3 และ 4) จึงได้เลือกทดลองเพาะเลี้ยงสาหร่าย *Spirulina platensis* ในสภาพกลางแจ้งโดยไม่เจือจางน้ำทิ้ง เพื่อประโยชน์สูงสุดของการทดลองซึ่งผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าสาหร่าย *Spirulina platensis* สามารถเจริญได้ดีกว่าในสภาพห้องปฏิบัติการมาก ซึ่งสอดคล้องกับรายงานของ สมเกียรติ สุวรรณคีรี (2542 : 34 - 35) ว่าสาหร่าย *Spirulina platensis* ที่เพาะเลี้ยงในสภาพกลางแจ้งจะเจริญได้ดีกว่าสาหร่ายที่เพาะเลี้ยงในห้องปฏิบัติการ ใช้ระยะเวลาการเพาะเลี้ยงเท่ากันคือ 9 วัน โดยตั้งชุดการทดลองพร้อมกัน ซึ่งในสภาพการทดลองที่ต่างกัน มีผลต่อการเจริญของสาหร่ายมาก เพราะในสภาพกลางแจ้งแม้ว่าจะได้รับเฉพาะในเวลากลางวัน แต่ปริมาณความเข้มของแสงจะมากกว่าในห้องปฏิบัติการและอีกปัจจัยหนึ่งคืออุณหภูมิในสภาพการทดลองกลางแจ้งสาหร่ายได้รับอุณหภูมิสูงกว่าการทดลองในห้องปฏิบัติการ เนื่องจากใช้เครื่องปรับอากาศตลอดเวลา และจากการศึกษาสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์อย่างง่าย (simple correlation) ของการเจริญเติบโตของสาหร่าย *Spirulina platensis* ที่เพาะเลี้ยงในน้ำทิ้งบ่อ

สุดท้ายจากโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มในสภาพห้องปฏิบัติการเปรียบเทียบกับการเพาะเลี้ยงในสูตรอาหาร Zarrouk มีความสัมพันธ์กันทางสถิติที่ระดับนัยสำคัญ 0.01 กับการเพาะเลี้ยงในน้ำทิ้งบ่อสุดท้ายจากโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มในสภาพห้องปฏิบัติการที่ความเข้มข้นร้อยละ 40 และร้อยละ 100 (ตารางที่ 1)

การศึกษาสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์อย่างง่าย (simple correlation) ของการเจริญเติบโต ของสาหร่าย *Spirulina platensis* ที่ทดลองเพาะเลี้ยงในน้ำทิ้งบ่อสุดท้ายจากโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มในสภาพห้องปฏิบัติการกับค่าความเป็นกรด ด่าง (pH) น้ำทิ้งความเข้มข้น ร้อยละ 100 มีความสัมพันธ์กันทางสถิติที่ระดับนัยสำคัญ 0.01 ซึ่งสอดคล้องกับผลการศึกษาสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์อย่างง่าย (simple correlation) ของการเจริญของสาหร่าย *Spirulina platensis* กับค่า ความเป็นกรด ด่าง ที่เพาะเลี้ยงในน้ำทิ้งบ่อสุดท้ายจากโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มในสภาพกลางแจ้ง มีความสัมพันธ์กันทางสถิติที่ระดับนัยสำคัญ 0.01 ในขณะที่สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์อย่างง่าย (simple correlation) ของค่าความเป็นกรด ด่าง (pH) ของน้ำทิ้งชุดทดลองที่เพาะเลี้ยงในน้ำทิ้งบ่อสุดท้ายจากโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มในสภาพห้องปฏิบัติการ มีความสัมพันธ์กันทางสถิติที่ระดับนัยสำคัญ 0.01 กับชุดควบคุม (ไม่เติมสาหร่าย) ที่ความเข้มข้นร้อยละ 40, 60, 80 และร้อยละ 100 แต่ไม่มีความสัมพันธ์กันทางสถิติกับการเพาะเลี้ยงในน้ำทิ้งที่ความเข้มข้นร้อยละ 20 (ตารางที่ 5) ซึ่งสอดคล้องกับผลการศึกษาสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์อย่างง่าย (simple correlation) ของค่าความเป็นกรด ด่าง (pH) ของน้ำทิ้งชุดทดลองกับชุดควบคุมที่เพาะเลี้ยงในน้ำทิ้งบ่อสุดท้ายจากโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มในสภาพกลางแจ้งที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 (ตารางที่ 6) ซึ่ง ศิริเพ็ญ ตรัยไชยาพร (2543 : 3 - 5) ได้อธิบายว่าในช่วงที่มีอัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงสูงปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ที่ละลายน้ำจะลดลง เนื่องจากพืชน้ำนำไปใช้แต่ปริมาณออกซิเจนในน้ำจะเพิ่มขึ้นทำให้พีเอชสูงขึ้น

จากการศึกษาการเปลี่ยนแปลงของคุณภาพน้ำและปริมาณสารอาหารของการทดลองในสภาพกลางแจ้งโดยค่าออร์โธฟอสเฟต (PO_4-P) ในน้ำทิ้งบ่อสุดท้ายจากโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มมีมากกว่าปริมาณที่เหมาะสมที่สาหร่ายต้องการ และในวันที่ 5 ของการเพาะเลี้ยงจะมีค่าเพิ่มขึ้น (26.58 มิลลิกรัม/ลิตร) จงกล พรมยะ (2543 : 40) ได้รายงานว่าปริมาณ ออร์โธฟอสเฟต (PO_4-P) ที่เพิ่มขึ้นอาจมาจากการตายของสิ่งมีชีวิตและทำให้มีการสลายตัวของเซลล์และการย่อยสลายของสารประกอบอินทรีย์และปลดปล่อยออร์โธฟอสเฟต (PO_4-P) ออกมา ซึ่งสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์อย่างง่าย (simple correlation) ของค่าออร์โธฟอสเฟต (PO_4-P) ของชุดทดลองกับชุดควบคุม มีความสัมพันธ์กันทางสถิติที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 ค่าไนไตรท์ -ไนโตรเจน (NO_2-N) จะเพิ่มสูงสุดในวันที่ 9 ของการทดลองแล้วจะลดลงเมื่อเสร็จสิ้นการทดลองมีร้อยละของการเพิ่มขึ้นเท่ากับ 140.36 เนื่องจากในการทดลองมีการเติมอากาศ สมทิพย์ ด่านธีรวนิชย์ และคณะ (2541: 8 - 9) ได้อธิบายปฏิกิริยาการย่อยสลายโดยใช้ออกซิเจนว่าการเติมออกซิเจนทำให้เกิดปฏิกิริยาไนตริฟิเคชั่นเปลี่ยนแอมโมเนีย (NH_3) เป็นไนไตรท์ (NO_2^-)โดยแบคทีเรียกลุ่มไนโตรโซโมแนส (nitrosomonas) แล้วหลังจากนั้นแบคทีเรียกลุ่มไนโตรแบคเตอร์ (nitrobactor) ก็จะเปลี่ยนไนไตรท์ (NO_2^-) เป็นไนเตรต (NO_3^-) ซึ่งมีความคงตัวมากกว่าไนไตรท์ (NO_2^-) ทำให้ไนไตรท์ (NO_2^-) ค่อยๆ ลดลง และจากการศึกษาสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์อย่างง่าย (simple correlation) ของค่าไนไตรท์ (NO_2^--N) ของชุดทดลองกับชุดควบคุมก็มีความสัมพันธ์กันทางสถิติที่ระดับนัยสำคัญ 0.01 ค่าไนเตรต (NO_3-N) ของชุดทดลองกับชุดควบคุมไม่มีความสัมพันธ์กันทางสถิติ (ตารางที่ 6) สอดคล้องกับผลการทดลอง ของ จงกล

พรมยะ (2543 : 41) ที่รายงานว่าสาหร่ายจะเลือกใช้ไนเตรต (NO_3^-) ก่อนโดยลดออกซิเจนให้เป็นไนโตรเจนแอมโมเนีย (NH_3-N) ก่อน จึงค่อยนำไปใช้โดยเอนไซม์ ไนเตรต-ไนไตรท์ รีดักเตส (nitrat-nitrite reductase) ค่าความต้องการออกซิเจนทางเคมี (COD) มีร้อยละของการลดลงเท่ากับ 65.48 ซึ่งใกล้เคียงกับ ชุดควบคุมทั้งนี้เนื่องมาจากการเก็บเกี่ยวสาหร่าย *Spirulina platensis* ที่ตายออกไม่หมด ทำให้มีอินทรีย์คาร์บอนเพิ่มขึ้นจึงมีส่วนทำให้ค่าซีโอดีเพิ่มขึ้นโดยสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์อย่างง่าย (simple correlation) ค่าความต้องการออกซิเจนทางเคมี (COD) ของชุดทดลองกับชุดควบคุม ก็มีความสัมพันธ์กันทางสถิติที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 (ตารางที่ 6)

ค่าความต้องการออกซิเจนทางชีวเคมี (BOD_5) มีร้อยละการลดลงเท่ากับ 49.79 ซึ่งดีกว่าชุดควบคุมมากสมเกียรติ สุวรรณคีรี (2542 : 36) อธิบายไว้ว่าในน้ำทิ้งก่อนการเพาะเลี้ยงสาหร่ายมีสารอนินทรีย์อยู่มากทำให้แบคทีเรียต่างๆ ต้องใช้ออกซิเจนจำนวนมากในการย่อยสลายสารอนินทรีย์แต่หลังการเพาะเลี้ยงสาหร่าย *Spirulina platensis* สารอนินทรีย์ในน้ำทิ้งผ่านการย่อยสลายโดยแบคทีเรียกลายเป็นสารอินทรีย์แบคทีเรีย จึงต้องการออกซิเจนในการย่อยสลายสารอนินทรีย์ลดลงค่าความต้องการออกซิเจนทางชีวเคมี (BOD_5) หลังการเพาะเลี้ยงสาหร่ายจึงมีค่าต่ำกว่าก่อนการเพาะเลี้ยง

ข้อเสนอแนะ

1. เนื่องจากน้ำทิ้งบ่อสุดท้ายของโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มมีค่าความต้องการออกซิเจน ทางเคมี (COD) และความต้องการออกซิเจนทางชีวเคมี (BOD_5) สูง และในการทดลองมีการเติมอากาศอาจทำให้เกิดการย่อยสลายโดยแบคทีเรียที่ใช้ออกซิเจน (aerobic bacteria) ดังนั้นการทดลองควรจะวิเคราะห์ค่าฟอสฟอรัสทั้งหมด (total-P) แอมโมเนีย (NH_3) ทีเคเอ็น (TKN) และ อัลคาไลนิตี้ (alkalinity) เพิ่มเติม

2. ในการทดลองควรตรวจสอบค่าความสมดุลของอัตราส่วนของคาร์บอน : ไนโตรเจน : ฟอสฟอรัส (C : N : P) หรือปัจจัยอื่นที่เหมาะสมกับการเจริญเติบโตของสาหร่าย

3. ควรวางแผนการทดลองเป็น 3 ชุด คือ ชุดทดลอง ชุดควบคุมเติมอากาศ และชุดควบคุมไม่เติมอากาศ

4. จากการวิเคราะห์สารอาหารและคุณภาพของน้ำในระหว่างการทดลองจะมีค่าสูงบ้าง ต่ำบ้าง มีสาเหตุเนื่องจากเซลล์สาหร่ายที่ตาย จึงควรกรองสาหร่ายออกให้หมดก่อนวิเคราะห์ คุณภาพน้ำ

5. ควรจะทดลองเติมสูตรอาหารอย่างง่ายในน้ำทิ้งก่อนการเพาะเลี้ยง เพื่อศึกษาการเจริญเติบโตของสาหร่าย *Spirulina platensis* ในการวิจัยครั้งต่อไป

เอกสารอ้างอิง

1. จงกล พรมยะ. (2543). **การเพาะเลี้ยงสาหร่าย *Spirulina platensis* ในน้ำทิ้งจากบ่อหมักก๊าซชีวภาพมูลสุกร**. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาชีววิทยา บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัย เชียงใหม่.
2. ธิดา เพชรมณี. (2546). **เอกสารประกอบการบรรยายเรื่องการเพาะเลี้ยงสาหร่าย *Spirulina platensis* แบบเศรษฐกิจพอเพียง วันที่ 18 - 19 เมษายน 2546**. (หน้า 1 - 21). สงขลา : สถาบันวิจัยการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำชายฝั่ง.
3. ธีระ เอกสมทราเมษฐ์ และคณะ. (2547). **เส้นทางสู่ความสำเร็จการผลิตปาล์มน้ำมัน** (พิมพ์ครั้งที่ 2). สงขลา : ศูนย์วิจัยและพัฒนาการผลิตปาล์มน้ำมัน คณะทรัพยากรธรรมชาติ มหาวิทยาลัย สงขลานครินทร์.
4. พรรณนีย์ วิชชาชู. (2547). **ปาล์มน้ำมันจากน้ำมันพืชถึงไบโอดีเซล**. สืบค้นเมื่อ 10 มิถุนายน 2550. จาก : http:www.doa.go.th/th/ShowArticles.aspx?id=1698

5. ศิริเพ็ญ ตรัยไชยาพร. (2543). **การวิเคราะห์คุณภาพน้ำ**. เชียงใหม่ : ภาควิชาชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.
6. สมเกียรติ สุวรรณคีรี. (2542). **การเพาะเลี้ยงสไปรูไลนา (*Spirulina platensis*) ในระดับอุตสาหกรรมขนาดย่อม ด้วยน้ำทิ้งจากโรงงานผลิตจากโรงงานผลิตกระดาษสา**. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาชีววิทยา บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัย เชียงใหม่.
7. สมทิพย์ ด่านธีรวนิชณ์ และคณะ. (2542). **การติดตามตรวจสอบผลกระทบสิ่งแวดล้อมจากปาล์มน้ำมันในเขตภาคใต้ตอนบน**. กรุงเทพฯ : สำนักงานสิ่งแวดล้อมภาคที่ 11.

ภาคผนวก

ตารางที่ 1 การเจริญเติบโตของสาหร่าย *Spirulina platensis* ในน้ำทิ้งจากโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มในสภาพห้องปฏิบัติการโดยศึกษาจำนวนเซลล์และความเป็นกรด ด่าง

จำนวนวันที่ทดลอง	ความเข้มข้นน้ำทิ้ง	จำนวนเซลล์ ($\times 10^5$)	pH
1	100 %	53.00	9.40
	80 %	59.39	9.45
	60 %	42.46	9.48
	40 %	40.56	9.55
	20 %	28.10	9.60
	Zarrouk Medium	124.80	9.25
3	100 %	86.97	9.46
	80 %	89.27	9.49
	60 %	57.28	9.53
	40 %	53.94	9.56
	20 %	58.63	9.60
	Zarrouk Medium	147.20	9.54
5	100 %	103.36	9.52
	80 %	139.68	9.53
	60 %	78.06	9.55
	40 %	94.16	9.56
	20 %	131.40	9.60
	Zarrouk Medium	314.40	9.75
7	100 %	103.72	9.57
	80 %	84.75	9.56
	60 %	80.26	9.59
	40 %	133.97	9.58
	20 %	195.13	9.63
	Zarrouk Medium	373.07	9.90
9	100 %	100.29	9.60
	80 %	80.59	9.58
	60 %	70.00	9.60
	40 %	142.75	9.59
	20 %	223.20	9.63
	Zarrouk Medium	544.53	9.96
11	100 %	162.89	9.60
	80 %	139.50	9.57
	60 %	106.71	9.59
	40 %	171.60	9.59
	20 %	365.55	9.63
	Zarrouk Medium	539.20	10.02
13	100 %	132.46	9.60
	80 %	99.93	9.57
	60 %	92.50	9.55
	40 %	165.83	9.55
	20 %	258.40	9.57
	Zarrouk Medium	994.13	10.05
15	100 %	179.62	9.59
	80 %	236.36	9.57
	60 %	154.74	9.57
	40 %	459.11	9.55
	20 %	457.28	9.54
	Zarrouk Medium	1025.60	10.09
17	100 %	221.18	9.73
	80 %	298.88	9.65
	60 %	187.63	9.65
	40 %	204.80	9.62
	20 %	515.10	9.64
	Zarrouk Medium	1560.80	10.16
19	100 %	179.26	9.71
	80 %	219.38	9.68
	60 %	187.24	9.67
	40 %	317.74	9.64
	20 %	401.72	9.64
	Zarrouk Medium	1870.80	10.24
21	100 %	206.90	9.71
	80 %	170.10	9.68
	60 %	225.09	9.68
	40 %	541.98	9.65
	20 %	350.85	9.61
	Zarrouk Medium	2506.67	10.24

ตารางที่ 2 ออร์โธฟอสเฟต (PO_4-P) ชุดทดลองและชุดควบคุมของน้ำทิ้งบ่อสุดท้ายจากโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มที่ใช้เพาะเลี้ยงสาหร่าย ***Spirulina platensis*** ในสภาพกลางแจ้ง

จำนวนวันที่ทดลอง	ออร์โธฟอสเฟต (PO_4-P)	
	ชุดทดลอง	ชุดควบคุม
1	21.60	21.44
5	26.56	12.44
9	18.08	12.16
13	4.59	2.64
17	3.49	1.92
21	1.43	0.38

ตารางที่ 3 ไนไตรท์ - ไนโตรเจน (NO_2-N) ชุดทดลองและชุดควบคุมของน้ำทิ้งบ่อสุดท้ายจากโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มที่ใช้เพาะเลี้ยงสาหร่าย ***Spirulina platensis*** ในสภาพกลางแจ้ง

จำนวนวันที่ทดลอง	ไนไตรท์ - ไนโตรเจน (NO_2-N)	
	ชุดทดลอง	ชุดควบคุม
1	0.681	0.681
5	2.385	2.628
9	11.430	12.361
13	6.099	6.910
17	5.678	7.348
21	1.638	0.365

ตารางที่ 4 ไนเตรต - ไนโตรเจน (NO_3-N) ชุดทดลองและชุดควบคุมของน้ำทิ้งบ่อสุดท้ายจากโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มที่ใช้เพาะเลี้ยงสาหร่าย ***Spirulina platensis*** ในสภาพกลางแจ้ง

จำนวนวันที่ทดลอง	ไนไตรท์ - ไนโตรเจน (NO_3-N)	
	ชุดทดลอง	ชุดควบคุม
1	18.159	17.959
5	15.755	1.932
9	8.014	-
13	9.881	-
17	5.863	-
21	2.075	-

ตารางที่ 5 สหสัมพันธ์อย่างง่าย (Simple Correlation) ระหว่างค่าความเป็นกรด ด่างของน้ำที่ใช้เพาะเลี้ยงสาหร่าย ***Spirulina platensis*** กับชุดควบคุมที่ความเข้มข้นต่าง ๆ ในสภาพห้องปฏิบัติการ

		pH control 20%	pH control 40%	pH control 60%	pH control 80%	pH control 100%
pH 20%	Pearson Correlation	0.102	0.468	0.370	0.249	0.287
	Sig. (2-tailed)	0.766	0.147	0.263	0.461	0.393
pH 40%	Pearson Correlation	0.035	0.953**	0.758**	0.754**	0.753**
	Sig. (2-tailed)	0.919	0.000	0.007	0.007	0.007
pH 60%	Pearson Correlation	-0.248	0.976**	0.917**	0.928**	0.923**
	Sig. (2-tailed)	0.462	0.000	0.000	0.000	0.000
pH 80%	Pearson Correlation	-0.231	0.938**	0.881**	0.946**	0.942**
	Sig. (2-tailed)	0.494	0.000	0.000	0.000	0.000
pH 100%	Pearson Correlation	-0.306	0.878**	0.876**	0.946**	0.969**
	Sig. (2-tailed)	0.360	0.000	0.000	0.000	0.000

* Correlation is significant at the 0.05 level (2-tailed).

** Correlation is significant at the 0.01 level (2-tailed).

ตารางที่ 6 สหสัมพันธ์อย่างง่าย (Simple Correlation) ระหว่างค่าการเจริญเติบโตของสาหร่าย ***Spirulina platensis*** กับค่าความเป็นกรด ด่าง PO_4^{2-}-P, NO_2^--N, NO_3^--N, COD, BOD ของชุดทดลองและชุดควบคุมของน้ำที่ใช้เพาะเลี้ยงสาหร่าย ***Spirulina platensis*** ในสภาพกลางแจ้ง

		จำนวนเซลล์	PO_4 - P	NO_2^--N	NO_3^--N	COD	BOD	pH	Ph control	PO_4-P control	NO_2^--N control	NO_3^--N control	COD control	BOD control
จำนวนเซลล์	Pearson Correlation	1.000	-0.542	-0.296	-0.580	-0.733	-0.490	0.844*	0.705	-0.575	-0.422	-0.362	-0.647	-0.475
	Sig. (2-tailed)		0.267	0.569	0.228	0.097	0.324	0.035	0.118	0.233	0.405	0.481	0.165	0.341
ออร์โธฟอสเฟต	Pearson Correlation	-0.542	1.000	-0.082	0.832*	0.598	0.685	-0.758	-0.555	0.912*	-0.066	0.490	0.925**	0.016
	Sig. (2-tailed)	0.267		0.877	0.040	0.210	0.133	0.081	0.253	0.011	0.901	0.324	0.008	0.976
ไนไตรท์	Pearson Correlation	-0.296	-0.082	1.000	-0.377	-0.149	0.578	-0.056	0.239	-0.180	0.986**	-0.530	0.110	0.873*
	Sig. (2-tailed)	0.569	0.877		0.461	0.778	0.229	0.916	0.648	0.732	0.000	0.280	0.836	0.023
ไนเตรต	Pearson Correlation	-0.580	0.832*	-0.377	1.000	0.891*	0.337	-0.873*	-0.799	0.881*	-0.318	0.749	0.830*	-0.102
	Sig. (2-tailed)	0.228	0.040	0.461		0.017	0.514	0.023	0.057	0.020	0.539	0.087	0.041	0.848
COD	Pearson Correlation	-0.733	0.598	-0.149	0.891*	1.000	0.302	-0.941**	-0.881*	0.737	-0.061	0.717	0.745	0.215
	Sig. (2-tailed)	0.097	0.210	0.778	0.017		0.560	0.005	0.020	0.095	0.909	0.109	0.090	0.682
BOD	Pearson Correlation	-0.490	0.685	0.578	0.337	0.302	1.000	-0.583	-0.333	0.653	0.543	0.175	0.805	0.656
	Sig. (2-tailed)	0.324	0.133	0.229	0.514	0.560		0.224	0.520	0.160	0.265	0.740	0.054	0.157
pH ชุดทดลอง	Pearson Correlation	0.844*	-0.758	-0.056	-0.873*	-0.941**	-0.583	1.000	0.873*	-0.853*	-0.133	-0.664	-0.895*	-0.372
	Sig. (2-tailed)	0.035	0.081	0.916	0.023	0.005	0.224		0.023	0.031	0.801	0.150	0.016	0.468

* Correlation is significant at the 0.05 level (2-tailed).

** Correlation is significant at the 0.01 level (2-tailed).