

การหาสภาวะที่เหมาะสมในการบำบัดไนเตรทของแบคทีเรียดีไนตริไฟอิงด้วยเทคนิคพื้นผิวตอบสนอง Optimization for Nitrate Removal of Denitrifying Bacteria by Response Surface Methodology

สิรินันท์ ศรีดำ^{1,5} สมพงษ์ โอทอง² และ สุภฎา คีร์รัตนนิคม^{3,5} นกุล อินทรสังข์^{4,5*}
Sirinan Sridam^{1,5}, Sompong O-thong², Suphada Kiratnikom³ and Nugul Intrasingha^{4,5*}

บทคัดย่อ

ทำการติดตามประสิทธิภาพการบำบัดไนเตรทจากกล้ำเชื้อแบคทีเรียดีไนตริไฟอิงที่มาจากงานวิจัยการบำบัดไนโตรเจนจากน้ำทิ้งการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำชายฝั่งโดยเพาะเลี้ยงด้วยระบบการเพาะเลี้ยงแบบกึ่งกะ (semi-batch) ใช้น้ำทิ้งสังเคราะห์ที่มีความเค็ม 3 ระดับ คือ 15 พีพีที 7 พีพีที และ 1 พีพีที โดยใช้กรดอะซิติกเป็นแหล่งคาร์บอน กล้ำเชื้อดังกล่าวได้ใช้เป็นตัวแทนในการศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการบำบัดไนเตรท โดยใช้เทคนิค Response Surface Methodology (RSM) วางแผนการทดลองแบบ Central Composite Design (CCD) เพื่อหาผลของตัวแปรอิสระ 4 ปัจจัย ได้แก่ ค่าพีเอชเริ่มต้น (X_1) 6-8 ความเข้มข้นของแหล่งคาร์บอน คือ กรดอะซิติก (X_2) 1-20 มิลลิตรต่อลิตร ความเข้มข้นของ Yeast Extract (X_3) 1-5 กรัมต่อลิตร และค่าความเร็วรอบของการกวน (X_4) 0-200 rpm พบว่าสภาวะที่เหมาะสมในการบำบัดไนเตรท ของกล้ำเชื้อที่ระดับความเค็มทั้ง 3 ระดับ มีค่าพีเอชเริ่มต้นเท่ากับ 7 ความเข้มข้นของกรดอะซิติก 10.5 มิลลิตรต่อลิตร ค่าความเร็วรอบของการกวนเท่ากับ 100 rpm และความเข้มข้นของ Yeast extract 3 กรัมต่อลิตร ยกเว้นที่ระดับความเค็ม 7 พีพีที มีค่าความเข้มข้นของ Yeast extract เท่ากับ 2 กรัมต่อลิตร

คำสำคัญ : แบคทีเรียดีไนตริไฟอิง ระบบการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำแบบน้ำหมุนเวียน RSM

¹ นิสิตปริญญาโท หน่วยวิจัยเทคโนโลยีชีวภาพการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยทักษิณ วิทยาเขตพัทลุง 93110

² อาจารย์ สาขาชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยทักษิณ วิทยาเขตพัทลุง 93110

³ อาจารย์ คณะวิทยาศาสตร์ หน่วยวิจัยเทคโนโลยีชีวภาพการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยทักษิณ วิทยาเขตพัทลุง 93110

⁴ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยทักษิณ วิทยาเขตพัทลุง 93110

⁵ หน่วยวิจัยเทคโนโลยีชีวภาพการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยทักษิณ วิทยาเขตพัทลุง 93110

* Corresponding author : Email: nugul@tsu.ac.th., Tel +66(0)5981816

จากงานประชุมวิชาการระดับชาติ มหาวิทยาลัยทักษิณ ครั้งที่ 22 ปี 2555

Abstracts

This research was to monitor nitrate removal efficiency of denitrifying bacteria cultured in a lab-scale batch culture system by controlling sludge age. There were 3 reactors which were fed with artificial coastal wastewater containing acetic acid as a carbon source at 3 salinity levels, namely 15, 7 and 1 ppt. Denitrifying bacteria were studied under optimal conditions for nitrate removal by using Response Surface Methodology (RSM) technique with the Central Composite Design (CCD) was selected to determine 4 independent variables, namely, initial pH (X_1) values range from 6-8, carbon source using acetic acid (X_2) concentrations ranging from 1-20 ml/L., yeast extract (X_3) concentrations ranging from 1-5 g/l and agitation speed (X_4) ranging from 0-200 rpm. It was found that optimal conditions of nitrate removal for denitrifying bacteria at 3 salinity levels were initial pH at 7, concentration of acetic acid of 10.5 ml/L, agitation speed of 100 rpm and yeast extract concentration of 3 g/l except at salinity 7 ppt the yeast extract concentration was at 2 g/l.

Keyword : Denitrifying bacteria , Recirculation Aquaculture System, Response Surface Methodology

บทนำ

น้ำทิ้งที่ปนเปื้อนด้วยสารประกอบไนโตรเจน เป็นต้นเหตุสำคัญที่ทำให้แหล่งรองรับน้ำทิ้งนั้นๆ เกิดปรากฏการณ์ยูโทรฟิเคชัน (Eutrophication) หรือการเกิดพิษน้ำและสาหร่ายเจริญเติบโตอย่างมากมาสาเหตุส่วนใหญ่มาจากกิจกรรมต่างๆ ของมนุษย์เช่น ที่อยู่อาศัยในแหล่งชุมชน อุตสาหกรรมเกษตรกรรม โดยเฉพาะการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำชายฝั่ง ซึ่งเป็นกิจกรรมที่สร้างมลพิษแก่แหล่งน้ำธรรมชาติ เนื่องจากการปล่อยน้ำทิ้งที่มีการปนเปื้อนด้วยสารประกอบไนโตรเจน ส่งผลกระทบต่อคุณภาพแหล่งน้ำธรรมชาติ จึงมีความจำเป็นที่ต้องอาศัยวิธีการบำบัดสารประกอบไนโตรเจนที่เหมาะสม โดยทั่วไปการบำบัดสารประกอบไนโตรเจนที่ใช้ในระบบการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำใช้วิธีการบำบัดทางชีวภาพ เป็นวิธีที่ได้รับความนิยม เนื่องจากมีต้นทุนต่ำ และมีประสิทธิภาพสูง ซึ่งปัจจุบันได้มีการพัฒนารูปแบบของระบบบำบัดน้ำทิ้งที่มีประสิทธิภาพคือ ระบบการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำแบบน้ำหมุนเวียน (Recirculation aquaculture system; RAS)

งานวิจัยที่ผ่านมา นุญถ อินทระสังขา [1] ได้รายงานปัญหาที่พบได้บ่อยจากการศึกษาระบบการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำแบบหมุนเวียน พบว่า การสะสมปริมาณไนโตรเจนเพิ่มขึ้นในระบบเนื่องจาก มีปัจจัยบางประการทางสภาพแวดล้อมที่ส่งผลต่อการเจริญเติบโตและคงสภาพของแบคทีเรียตรึงฟอสฟอรัส ดังนั้นจึงมีความจำเป็นต้องศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการบำบัดไนโตรเจนในระบบการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำแบบน้ำหมุนเวียน Akhbari *et al.* [2] ศึกษาการบำบัดของคาร์บอน ไนโตรเจน และฟอสฟอรัส ในน้ำเสียสังเคราะห์ ของระบบบำบัดน้ำเสียแบบแผ่นจานหมุนชีวภาพ (Rotating Biological Contactor, RBC) ด้วยวิธี RSM และ วางแผนการทดลองแบบ CCD โดยกำหนดให้ตัวแปรอิสระ คือ ค่าระยะเวลาพักเก็บ ปริมาณออกซิเจนทั้งหมด (COD) ค่าอัตราการหมุนเวียนภายใน (R) และความเร็วยรอบในการกวน พบว่า สภาวะที่เหมาะสม คือ ระยะเวลาพักเก็บ (HRT) เท่ากับ 18-18.7 ชั่วโมง

ความเร็วรอบของการกวน 5-15 รอบต่อนาที อัตราส่วนของ COD : N : P เท่ากับ 1000: 80:30 และค่า R เท่ากับ 2.5 สุรรัตน์ และคณะ [3] ศึกษาผลของอัตราส่วนอาหารต่อจุลินทรีย์ (F/M ratio) ระยะเวลาพักเก็บ (HRT) และอัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ (OLR) ต่อประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียจากกระบวนการผลิตน้ำยางข้น ด้วยระบบตะกอนเร่ง ด้วยวิธี RSM พบว่า ระบบสามารถกำจัด COD BOD₅ ปริมาณไนโตรเจน และปริมาณของแข็งแขวนลอย ได้ดีที่สุดในสภาวะ F/M ratio 0.4 วัน HRT 3 วัน และ OLR 0.5 กก. BOD₅/(ลบ.ม. .วัน)

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์ เพื่อศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยของค่าพีเอชเริ่มต้น ความเข้มข้นของกรดอะซิติก ความเข้มข้นของ Yeast Extract และค่าความเร็วรอบของการกวน ต่อค่าตอบสนองของเชื้อแบคทีเรียที่เกี่ยวข้องกับการบำบัดในเตรทหรือประสิทธิภาพของการบำบัดในเตรท โดยใช้วิธี Response Surface Methodology (RSM) หรือการออกแบบพื้นผิวตอบสนอง เป็นเทคนิคทางสถิติในการตรวจสอบความสัมพันธ์ของตัวแปรที่สนใจ สามารถหาจุดที่เหมาะสม จากความสัมพันธ์เหล่านั้นได้ ซึ่งตัวแปรประกอบด้วย ตัวแปรต้นหรือปัจจัยเชิงปริมาณ เช่น อุณหภูมิ ความดัน ส่วนตัวแปรตามหรือค่าผลตอบสนอง คือ ค่าคุณภาพของผลิตภัณฑ์ที่ต้องการ ความสำคัญของเทคนิค RSM สามารถอธิบายความสัมพันธ์ระหว่าง ตัวแปรต้น กับค่าตอบสนอง สามารถแสดงให้เห็นแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงของผลตอบสนอง เมื่อระดับของปัจจัยเชิงปริมาณเปลี่ยนแปลง [4] ผลการศึกษาที่ได้ จะนำไปใช้ในการพัฒนาสูตรอาหารเลี้ยงเชื้อของการเพาะเลี้ยงแบคทีเรียในตรีฟอง เพื่อนำกล้ำเชื้อไปใช้ในการเติมกับระบบ RAS ที่มีการเพาะเลี้ยงปลาไนแดง ซึ่งจะดำเนินการวิจัยในอนาคต เพื่อเป็นการแก้ปัญหาในเรื่องของปริมาณในเตรทสะสมต่อไป

อุปกรณ์และวิธีการ

แบ่งการศึกษาออกเป็น 2 การทดลอง คือ การทดลองที่ 1 เพาะขยายกล้ำเชื้อแบคทีเรียในตรีฟอง ด้วยระบบการเพาะเลี้ยงแบบกึ่งกะ (Semi-batch) และ การทดลองที่ 2 ศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการบำบัดในเตรทโดย RSM ดังมีรายละเอียดต่อไปนี้

การเพาะขยายกล้ำเชื้อแบคทีเรียในตรีฟองด้วยระบบการเพาะเลี้ยงแบบกึ่งกะ

เก็บรวบรวมกล้ำเชื้อแบคทีเรียในตรีฟอง มาจากระบบบำบัดน้ำเสียแบบตะกอนเร่งของโรงงานแปรรูปอาหารทะเลในจังหวัดสงขลา จากระบบกรองชีวภาพของการเพาะเลี้ยงปลากะพงขาวในน้ำจืดของ ดร.สุภฎา ศิริรัฐนิคมและคณะ และระบบควบคุมคุณภาพน้ำของสถานแสดงพันธุ์สัตว์น้ำสงขลา ทดลองขยายกล้ำเชื้อแบคทีเรียในตรีฟอง นำมาเพาะเลี้ยงแบบกึ่งกะ ในแต่ละถัง แบ่งออกเป็น 3 ถัง ปริมาตรถังละ 5 ลิตร ถังแรกเป็นกล้ำเชื้อแบคทีเรียในตรีฟองที่ระดับความเต็ม 15 พีพีที ถังที่สองเป็นกล้ำเชื้อแบคทีเรียในตรีฟองที่ระดับความเต็ม 7 พีพีที และถังที่สามเป็นกล้ำเชื้อแบคทีเรียในตรีฟองที่ระดับความเต็ม 1 พีพีที โดยแต่ละถังจะเกิดปฏิกิริยาแยกจากกันและเสร็จสิ้นภายในแต่ละถัง เติมน้ำทิ้งสังเคราะห์ที่มีความเข้มข้นของ NO₃⁻-N ประมาณ 100 มิลลิกรัมต่อลิตร และเติมกรดอะซิติกเพื่อเป็นแหล่งคาร์บอนสำหรับแบคทีเรียน้ำทิ้งสังเคราะห์เรียกว่า Artificial saline wastewater (ASW) ซึ่งมีการดัดแปลงจาก คอกรัก ชัยสาร และคณะ [5] โดยใช้กรดอะซิติกเป็นแหล่งคาร์บอนสำหรับแบคทีเรียในปริมาตร 1.3 มิลลิกรัมต่อลิตร

จากงานประชุมวิชาการระดับชาติ มหาวิทยาลัยทักษิณ ครั้งที่ 22 ปี 2555

การตรวจวิเคราะห์คุณภาพน้ำ

วิเคราะห์ปริมาณไนโตรเจน โดยใช้ชุดทดสอบสำเร็จรูป ที่ใช้ร่วมกับเครื่อง Spectroquant NOVA 60 (Merck Germany) วิเคราะห์ปริมาณไนเตรตด้วยวิธีการของนิเอ และคณะ [6] และตรวจวัด ค่าอุณหภูมิความเค็ม และค่าพีเอช ด้วย Multiprobe (YSI model 600 QS, Germany)

การศึกษาจำนวนแบคทีเรียดีในตรีฟองด้วยเทคนิค MPN แบบไมโครเทคนิค

นับจำนวนแบคทีเรียดีในตรีฟอง โดยใช้วิธีการที่ดัดแปลงจาก Soto *et al.* [7]

การศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการบำบัดในตรโดย Response Surface Methodology (RSM)

การศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการบำบัดในตร โดยใช้กล้ำเชื้อแบคทีเรียดีในตรีฟองที่เป็นตัวแทน มาจากการเพาะเลี้ยงแบบกึ่งกะ ประกอบด้วย 3 ระดับความเค็ม คือ ระดับความเค็มที่ 15 พีพีที ระดับความเค็มที่ 7 พีพีที และระดับความเค็มที่ 1 พีพีที กำหนดปัจจัยในการทดลอง ที่เกี่ยวข้องกับสภาวะที่เหมาะสมในการบำบัดในตร คือ ตัวแปรอิสระ และตัวแปรตาม ตัวแปรอิสระ คือ ค่าพีเอชเริ่มต้น (X_1) ความเข้มข้นของแหล่งคาร์บอน (X_2) คือ กรดอะซิติก (มิลลิกรัมต่อลิตร) ความเข้มข้นของ Yeast Extract (X_3) (กรัมต่อลิตร) และค่าความเร็วรอบของการกวน (X_4) (rpm) การทดลองนี้มีวัตถุประสงค์ เพื่อ เลือกสภาวะที่เหมาะสมในการบำบัดในตรของแบคทีเรียดีในตรีฟอง ดังนั้นตัวแปรตาม คือ ประสิทธิภาพของการบำบัดในตร หลังจากนั้นทำการทดลองตามสภาวะของแต่ละชุดการทดลองทั้ง 21 ชุดการทดลองดังที่ออกแบบไว้แล้วจากโปรแกรม RSM และวางแผนการทดลองแบบ CCD ดังแสดงในตารางที่ 1 ซึ่งจะดัดแปลงวิเคราะห์ผลของข้อมูล โดยใช้สมการพหุนามอันดับสอง ซึ่งสามารถเสนอสมการจำลองทางคณิตศาสตร์ได้แก่

$$Y_n = b_0 + b_1 X_1 + b_2 X_2 + b_3 X_3 + b_{12} X_1 X_2 + b_{23} X_2 X_3 + b_{11} X_1^2 + b_{22} X_2^2 + b_{33} X_3^2$$

เมื่อ Y_n = ประสิทธิภาพของการบำบัดในตร b_0 = ค่าคงที่ b_n = ค่าสัมประสิทธิ์การถดถอย
 X_n = ตัวแปรอิสระ n = จำนวนของตัวแปรอิสระ

ผลการวิจัยและอภิปรายผลการวิจัย

การเตรียมกล้ำเชื้อแบคทีเรียดีในตรีฟอง ในระดับห้องปฏิบัติการด้วยการเพาะเลี้ยงแบบกึ่งกะ

การเพาะขยายกล้ำเชื้อแบคทีเรียดีในตรีฟอง แบ่งออกเป็น 2 ช่วงการทดลอง ตามลักษณะการบำบัดในตร และลักษณะของการเพาะเลี้ยงที่มีการควบคุมอายุของตะกอนจุลินทรีย์ตามระยะเวลาของการเพาะเลี้ยง ดังนี้ ช่วงที่ 1 การเพาะขยายกล้ำเชื้อแบคทีเรียดีในตรีฟองในถังปฏิกรณ์แบบกึ่งกะ ช่วงที่ 2 การเพาะขยายกล้ำเชื้อแบคทีเรียดีในตรีฟองในระยะเวลาที่มีการเพาะเลี้ยงแบบกึ่งกะ โดยมีการควบคุมอายุตะกอนจุลินทรีย์ควบคุมไปด้วย ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

ระบบการเพาะเลี้ยงกล้ำเชื้อแบบกึ่งกะ เพื่อการเพาะขยายกล้ำเชื้อแบคทีเรียดีในตรีฟองอย่างต่อเนื่องโดยในช่วงที่ 1 ซึ่งมีระยะเวลาของการเพาะเลี้ยงกล้ำเชื้อนานกว่า 140 วัน โดยมีการเติมน้ำทิ้งสังเคราะห์ให้กับกล้ำเชื้อทั้ง 3 ระดับความเค็ม ทุก 7 วัน พบว่าระบบมีระยะเวลากักน้ำเท่ากับ 8.7 วัน โดยหลังจากนั้น ได้มีการปรับให้มีการเพาะเลี้ยง ในช่วงที่ 2 ให้มีการควบคุมอายุตะกอนจุลินทรีย์ให้มีอายุตะกอนประมาณ 40 ถึง 50 วัน ซึ่งพบว่าระบบมีระยะเวลากักน้ำเท่ากับ 7.5 วัน และพบว่า ระบบมีการปรับตัวอย่างรวดเร็วหลังจากที่มีการปรับเปลี่ยนระยะเวลา

กักน้ำ และมีประสิทธิภาพในการบำบัดในเตาที่ หลังจากที่ได้มีการเพาะเลี้ยงเป็นระยะเวลานานกว่า 180 วัน การศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการบำบัดในเตาโดย Response Surface Methodology (RSM) การวิเคราะห์โดยใช้ RSM เพื่อหาสภาวะในการลดปริมาณให้ได้ประสิทธิภาพของการบำบัดในเตาสูงสุด สามารถทำนายสภาวะที่เหมาะสมต่อประสิทธิภาพของการบำบัดในเตา คือ กล้าเชื้อที่ระดับความเค็ม 15 พีพีที 7 พีพีที และ 1 พีพีที มีประสิทธิภาพของการบำบัดในเตาร้อยละ 97, 96 และ 90 ตามลำดับ จากการทดลองซ้ำพิสูจน์ให้เห็นว่าประสิทธิภาพการบำบัดในเตามีค่าใกล้เคียงกับค่าจากการทำนาย คือ กล้าเชื้อที่ระดับความเค็ม 15 พีพีที 7 พีพีที และ 1 พีพีที มีประสิทธิภาพของการบำบัดในเตาร้อยละ 90, 97 และ 91 ตามลำดับดังนั้นจึงสรุปได้ว่า ผลการศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการบำบัดในเตา โดยใช้กล้าเชื้อแบคทีเรียดีในไตรฟอง ทั้ง 3 ระดับความเค็ม ดังแสดงผลในตารางที่ 1 พบว่า สภาวะที่เหมาะสมในการบำบัดในเตา ของกล้าเชื้อแบคทีเรียดีในไตรฟอง ที่ระดับความเค็ม 15 พีพีที ค่าพีเอชเริ่มต้นเท่ากับ 7 ความเข้มข้นของกรดอะซิติก 10.5 มิลลิตรต่อลิตร ความเข้มข้นของ Yeast extract 3 กรัมต่อลิตร และค่าความเร็วรอบของการกวนเท่ากับ 100 rpm ส่วนสภาวะที่เหมาะสมในการบำบัดในเตา ของกล้าเชื้อแบคทีเรียดีในไตรฟองที่ระดับความเค็ม 7 พีพีที คือ ค่าพีเอชเริ่มต้นเท่ากับ 7 ความเข้มข้นของกรดอะซิติก 10.5 มิลลิตรต่อลิตร ความเข้มข้นของ Yeast extract 2 กรัมต่อลิตร และค่าความเร็วรอบของการกวนเท่ากับ 100 rpm และสภาวะที่เหมาะสมในการบำบัดในเตา ของกล้าเชื้อแบคทีเรียดีในไตรฟองที่ระดับความเค็ม 1 พีพีที คือ ค่าพีเอชเริ่มต้นเท่ากับ 7 ความเข้มข้นของกรดอะซิติก 10.5 มิลลิตรต่อลิตร ความเข้มข้นของ Yeast extract 3 กรัมต่อลิตร และค่าความเร็วรอบของการกวนเท่ากับ 100 rpm จากผลการศึกษา ถึงระดับของพีเอชเริ่มต้นที่มีความเหมาะสมในการบำบัดในเตา พบว่า ค่าพีเอชเริ่มต้นเท่ากับ 7 มีความใกล้เคียงกับงานวิจัยของ Ghafari *et al.* [8] ที่ศึกษาสภาวะที่เหมาะสมต่อการเกิดกระบวนการดีไนตริฟิเคชัน โดยกำหนดค่าพีเอช ในระดับ 6.5 – 8.5 พบว่า ค่าพีเอช 8 คือสภาวะที่เหมาะสมต่อการเกิดกระบวนการดีไนตริฟิเคชันได้ดีที่สุด

ผลการศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการบำบัดในเตา จะนำไปใช้ในการพัฒนาสูตรอาหารเลี้ยงเชื้อของการเพาะเลี้ยงแบคทีเรียดีในไตรฟอง เพื่อนำกล้าเชื้อไปใช้ในการเดิมกับระบบ RAS ที่มีการเพาะเลี้ยงปลาไนแดง ซึ่งจะดำเนินการวิจัยในอนาคตเพื่อเป็นการแก้ปัญหาในเรื่องของปริมาณในเตาที่เหมาะสมต่อไป

ผลการวิเคราะห์ทางสถิติ

เมื่อนำผลการทดลองที่ได้ มาวิเคราะห์ RSM เพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างอิทธิพลของปัจจัยต่อค่าตอบสนอง คือ ประสิทธิภาพของการบำบัดในเตาของกล้าเชื้อแบคทีเรียดีในไตรฟองที่ระดับความเค็ม 15 พีพีที 7 พีพีที และ 1 พีพีที ให้ค่า Regression coefficient (R2) ก่อนข้างสูง คือ 0.99, 0.97 และ 0.80 ตามลำดับ

หลังจากนำผลการทดลองที่สภาวะต่าง ๆ ที่ได้จากการทดลองมาวิเคราะห์ RSM สามารถแสดงภาพ Response surface plot ดังแสดงในภาพที่ 1 ซึ่งเป็นภาพ 3 มิติแสดงประสิทธิภาพของการบำบัดในเตา (%) จากอิทธิพลระหว่าง ความเข้มข้นของแหล่งคาร์บอน และ ค่าพีเอชเริ่มต้น ของกล้าเชื้อแบคทีเรียดีในไตรฟอง จากภาพ A ภาพ B และภาพ C พบว่าภาพจำลอง 3 มิติ ประสิทธิภาพของการบำบัดในเตา ภายใต้สภาวะระหว่างความเข้มข้นของแหล่งคาร์บอน และ ค่าพีเอชเริ่มต้น แสดงถึงประสิทธิภาพในการบำบัดในเตา ของกล้าเชื้อแบคทีเรียดีในไตรฟองที่ระดับความเค็ม 15 พีพีที 7 พีพีที และ 1 พีพีที คือ ในช่วงร้อยละ 46 – 98 , 62-98 และ 10-91 ตามลำดับ

จากงานประชุมวิชาการระดับชาติ มหาวิทยาลัยทักษิณ ครั้งที่ 22 ปี 2555

ตารางที่ 1 Central composite design matrix ประกอบด้วย ค่าพีเอชเริ่มต้น (X_1) 6-8 ความเข้มข้นของแหล่งคาร์บอน (กรดอะซีติก, X_2) 1-20 มิลลิกรัมต่อลิตร ความเข้มข้นของ Yeast Extract (X_3) 1-5 กรัมต่อลิตร และค่าความเร็วรอบของการกวน (X_4) 0-200 rpm

RUN	X_1	X_2	X_3	X_4	Y_i = Nitrate remove (%)		
					15 ppt	7 ppt	1 ppt
1	7	10.5	3	100	95	91	91
2	7	10.5	3	100	95	97	91
3	7.5	10.5	3	100	89	74	61
4	7	10.5	3	150	95	84	10
5	6	20.0	5	200	68	76	28
6	7	10.5	4	100	95	96	63
7	7	10.5	3	50	95	96	52
8	6	20	1	200	46	62	64
9	7	10.5	2	100	97	97	34
10	7	5.75	3	100	96	97	57
11	7	10.5	3	100	95	98	91
12	6.5	10.5	3	100	95	98	42
13	8	20	1	0	74	93	45
14	6	1	1	0	93	98	32
15	8	20	5	0	98	97	51
16	8	1	1	200	82	98	61
17	7	10.5	3	100	95	97	91
18	7	15.25	3	100	96	97	52
19	7	10.5	3	100	95	76	91
20	8	1	5	200	93	76	68
21	6	1	5	0	56	96	74

Factor	15 พีพีที		7 พีพีที		1 พีพีที	
	Coefficient	Prob > t	Coefficient	Prob > t	Coefficient	Prob > t
	Estimate		Estimate		Estimate	
Intercept	95.95		94.43		74.93	
A-pH	-6.00	0.0230	-24.00	0.0011	11.00	0.7184
B-C:N	0.000	1.0000	0.000	1.0000	-2.00	0.9474
C-yeast extract	2.24	0.0035	-0.76	0.4738	0.41	0.9554
D-Stirred	0.000	1.0000	-12.00	0.0270	9.00	0.7675
A ²	-15.97	0.0035	-27.00	0.0087	-15.94	0.7627
B ²	0.076	0.9831	16.62	0.0592	10.06	0.8486
C ²	0.076	0.9831	14.62	0.0871	-11.94	0.8207
D ²	-3.92	0.2964	-11.38	0.1628	-27.94	0.5997
AB	4.00	0.0976	-3.00	0.5070	6.38	0.8387
AC	6.25	<0.0001	-3.75	0.0109	2.38	0.7551
AD	4.75	0.0588	5.00	0.2843	-2.13	0.9458
BC	9.00	<0.0001	5.25	0.0022	-4.62	0.5483
BD	-16.50	0.0002	-28.00	0.0006	-11.87	0.7058
CD	5.75	<0.0001	-1.25	0.2711	-3.63	0.6359

หมายเหตุ : A คือ ค่าพีเอชเริ่มต้น

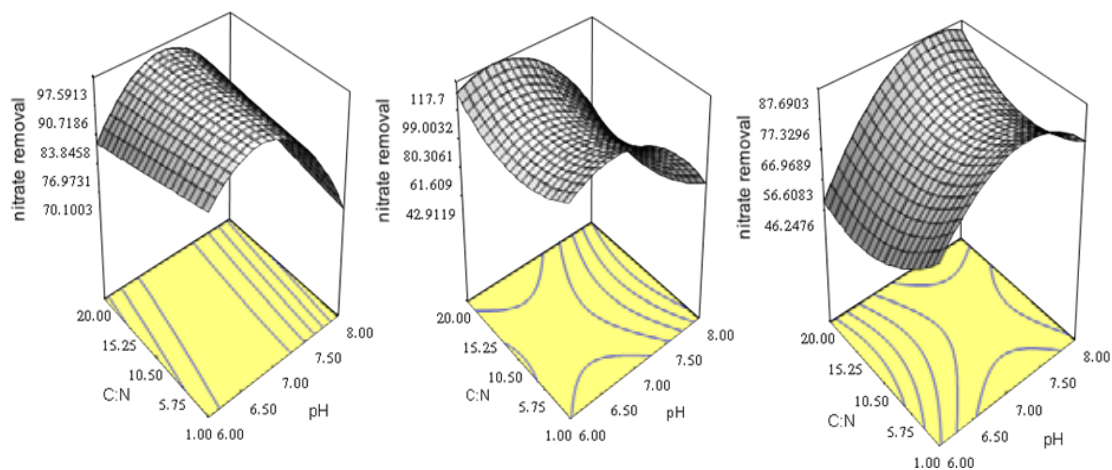
B คือ ความเข้มข้นของแหล่งคาร์บอน (มิลลิลิตรต่อลิตร)

C คือ ความเข้มข้นของ Yeast Extract (กรัมต่อลิตร)

D คือ ค่าความเร็วรอบของการกวน (rpm)

จากการวิเคราะห์ค่าทางสถิติ (ตารางที่ 2) พบว่า ปัจจัยที่มีผลร่วมกันโดยมีค่า $p < 0.05$ นั้นมีอยู่ 4 ปัจจัย คือ พีเอชเริ่มต้น กับ ความเข้มข้นของ Yeast extract ความเข้มข้นของแหล่งคาร์บอน กับความเร็วรอบของการกวน ความเข้มข้นของ Yeast extract กับ ความเร็วรอบของการกวน และ ความเข้มข้นของแหล่งคาร์บอน กับ ความเข้มข้นของ Yeast extract

จากงานประชุมวิชาการระดับชาติ มหาวิทยาลัยทักษิณ ครั้งที่ 22 ปี 2555



ภาพที่ 1 Response surface plot ต่อประสิทธิภาพการบำบัดในตรรกของกล้าเชื้อแบคทีเรียดีในไตรฟอง A กล้าเชื้อ 15 พีพีที B 7 พีพีที และ C 1 พีพีที ระหว่าง ความเข้มข้นของแหล่งคาร์บอน และ ค่าพีเอช

สรุปผลการวิจัย

สภาวะที่เหมาะสมในการบำบัดในตรรก ของกล้าเชื้อแบคทีเรียดีในไตรฟองที่ระดับความเค็ม 15 พีพีที คือ ค่าพีเอชเริ่มต้นเท่ากับ 7 ความเข้มข้นของกรดอะซีติก 10.5 มิลลิตรต่อลิตร ความเข้มข้นของ Yeast extract 3 กรัมต่อลิตร และค่าความเร็วรอบของการกวนเท่ากับ 100 rpm ส่วนสภาวะที่เหมาะสมในการบำบัดในตรรก ของกล้าเชื้อแบคทีเรียดีในไตรฟองที่ระดับความเค็ม 7 พีพีที คือ ค่าพีเอชเริ่มต้นเท่ากับ 7 ความเข้มข้นของกรดอะซีติก 10.5 มิลลิตรต่อลิตร ความเข้มข้นของ Yeast extract 2 กรัมต่อลิตร และค่าความเร็วรอบของการกวนเท่ากับ 100 rpm และสภาวะที่เหมาะสมในการบำบัดในตรรก ของกล้าเชื้อแบคทีเรียดีในไตรฟองที่ระดับความเค็ม 1 พีพีที คือ ค่าพีเอชเริ่มต้นเท่ากับ 7 ความเข้มข้นของกรดอะซีติก 10.5 มิลลิตรต่อลิตร ความเข้มข้นของ Yeast extract 3 กรัมต่อลิตร และค่าความเร็วรอบของการกวนเท่ากับ 100 rpm

คำขอบคุณ

ผู้วิจัยขอขอบคุณบัณฑิตวิทยาลัยมหาวิทยาลัยทักษิณที่สนับสนุนทุนวิจัยจากงบประมาณแผ่นดินปี พ.ศ.2554 และสาขาวิชาชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยทักษิณ ที่สนับสนุนสถานที่และอุปกรณ์ในการดำเนินการศึกษา

เอกสารอ้างอิง

- [1] นุฎล อินทระสังขา.(2553). “ปัญหาและแนวทางการควบคุมระบบการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำแบบหมุนเวียน,”ในเอกสารประกอบสัมมนาเรื่องการพัฒนาการเลี้ยงปลากระพงขาวในน้ำจืดด้วยระบบการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำแบบหมุนเวียนและบ่อดิน (หน้า 12 – 14). พัทลุง: มหาวิทยาลัยทักษิณ.
- [2] Akhbari,A., Zinatizadeh, A.A.L. , Mohammadi,P., Irandoust, M. and Mansonri,Y. (2011). “Process modeling and analysis of biological nutrients removal in an integrated RBC-AS system using response surface methodology” **Chemical Engineering Journal**. 168 ,269–279.
- [3] สุริรัตน์ แก้วสามดวง ลือพงษ์ แก้วศรีจันทร์ วีระศักดิ์ ทองลิ้มปี และพภามาศ เจษฎ์พัฒนานนท์. (2551). การหาสภาวะที่เหมาะสมในการบำบัดน้ำเสียโรงงานน้ำยางขึ้นด้วยระบบตะกอนเร่งใน การประชุมวิชาการทางวิศวกรรมศาสตร์มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ ครั้งที่ 6. 8-9 พฤษภาคม 2551. ณ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ สงขลา.
- [4] อิศรพงษ์ พงษ์ศิริกุล. (2550). การวิเคราะห์ผลทางสถิติโดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูปสำหรับอุตสาหกรรมเกษตร. เชียงใหม่ :มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.
- [5] ดอกกรก ชัยสาร จรรย์รัตน์ พ่วงฟู และ นุฎล อินทระสังขา (2550). “การศึกษาโครงสร้างชุมชนแบคทีเรียในตรีฟองและแบคทีเรียในตรีฟองในระบบเอสปีอาร์ที่บำบัดน้ำทิ้งที่มีความเค็มด้วยเทคนิค 16เอส ไรโบโซมัลอาร์เอ็นเอ”. วารสารวิศวกรรมสิ่งแวดล้อมไทย, 21(3), 83-94.
- [6] นิแอ นิยะ พิระศักดิ์ ศรีวัฒน์ สมพงษ์ โอทอง นพดล สุกระกาญจน์ และ นุฎล อินทระสังขา (2548). “การประยุกต์การวิเคราะห์ในตรพในน้ำเสียที่มีความเค็มโดยวิธี Copper-Cadmium Reduction Column และการใช้ชุดวิเคราะห์ไนโตรที่สำเร็จรูปของ Merck Ltd”. วารสารวิศวกรรมสิ่งแวดล้อมไทย, 19(1), 113-121.
- [7] Soto, O., S´anchez, O., Asp´ e,E. and Roeckel, M. (2002). “Denitrification kinetics of simulated fish processing wastewater at different ratios of nitrate to biomass,” **Biotechnology Letters**. 24(3), 1173–1176.
- [8] Ghafari, S., Hasan, M.,and Aroua, M.K. (2010). “A kinetic study of autohydrogenotrophic denitrification at the optimum pH and sodium bicarbonate dose,” **Bioresource Technology**. 101, 2236-2242.