ประสิทธิภาพในการลดไนเทรต ไนไทรต์ แอมโมเนียและฟอสเฟต ในบ่อเลี้ยงกุ้งกุลาดำระบบปิด โดยแบคทีเรียผสม

เจนจิรา ศุกรพันธ์

มหาวิทยาลัยบูรพา
Burapha University

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม
บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยบูรพา
กันยายน 2548

ISBN 974-502-590-9

ลิขสิทธิ์เป็นของมหาวิทยาลัยบูรพา

ประสิทธิภาพในการลดไนเทรต ไนไทรต์ แอมโมเนียและฟอสเฟต ในบ่อเลี้ยงกุ้งกุลาดำระบบปิด โดยแบคทีเรียผสม

เจนจิรา ศุกรพันธ์

มหาวิทยาลัยบูรพา
Burapha University

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม
บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยบูรพา
กันยายน 2548
ISBN 974-502-590-9
ลิขสิทธิ์เป็นของมหาวิทยาลัยบูรพา

อาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์และคณะกรรมการสอบปากเปล่าวิทยานิพนธ์ ได้พิจารณาวิทยานิพนธ์ของ เจนจิรา ศุกรพันธ์ ฉบับนี้แล้ว เห็นสมควรรับเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม ของมหาวิทยาลัยบูรพาได้

อาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์

.....ประธาน

(รองศาสตราจารย์ ดร.สุบัณฑิต นิ่มรัตน์)

.....กรรมการ

(รองศาสตราจารย์ ดร.วีรพงศ์ วุฒิพันธุ์ชัย)

.....กรรมการ

(ดร.ชุติวรรณ เดชสกุลวัฒนา)

คณะกรรมการสอบปากเปล่า

.....ประธาน

(รองศาสตราจารย์ ดร.สุบัณฑิต นิ่มรัตน์)

.....กรรมการ

(รองศาสตราจารย์ ดร.วีรพงศ์ วุฒิพันธุ์ชัย)

.....กรรมการ

(ดร.ชุติวรรณ เดชสกุลวัฒนา)

.....กรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุดารัตน์ สวนจิตร)

.....กรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุวรรณา ภาณุตระกูล)

บัณฑิตวิทยาลัยอนุมัติให้รับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม ของมหาวิทยาลัยบูรพา

.....คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

(รองศาสตราจารย์ ดร.ประทุม ม่วงมี)

วันที่ 16 เดือน กันยายน พ.ศ. 2548

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

ประกาศคุณูปการ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลงได้ด้วยความกรุณาจากรองศาสตราจารย์ ดร.สุบัณฑิต นิ่มรัตน์ ประธานกรรมการที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ และ รองศาสตราจารย์ ดร.วีรพงศ์ วุฒิพันธุ์ชัย ดร.ชุติวรรณ เดชสกุลวัฒนา คณะกรรมการควบคุมวิทยานิพนธ์ รวมถึงคณะกรรมการสอบปากเปล่าวิทยานิพนธ์ผู้ช่วยศาสตรจารย์ ดร.สุดารัตน์ สวนจิตร และผู้ช่วยศาสตรจารย์ ดร.สุวรรณา ภาณุตระกูล ที่กรุณาให้คำแนะนำและเป็นที่ปรึกษาตลอดจนแก้ไขข้อบกพร่องต่าง ๆ ด้วยความละเอียดถี่ถ้วนและเอาใจใส่ด้วยดีเสมอมา ผู้วิจัยจึงขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูงไว้ ณ โอกาสนี้

ขอกราบขอบพระคุณ บัณฑิตวิทยาลัย บัณฑิตศึกษาคณะวิทยาศาสตร์ ภาควิชาจุลชีววิทยา และภาควิชาวาริชศาสตร์ที่ให้ความช่วยเหลือด้านเครื่องมือ อุปกรณ์ สารเคมี และสถานที่ในการทดลอง ตลอดจนประสานงานด้านต่าง ๆ ในช่วงระยะเวลาการทำวิทยานิพนธ์นี้

ขอกราบขอบพระคุณบิดา มารดา และบุคคลในครอบครัวทุกท่านที่กรุณาอบรมสั่งสอน ให้การสนับสนุนตลอดระยะเวลาการศึกษา ขอขอบคุณ คุณลลิต ขำวงษ์รัตนโยธิน คุณเสกสรร พรหมนิช คุณขนิษฐา สมตระกูล คุณภุมรี กัณฑ์ราย คุณคุณากร เชื้อสุวรรณ์ คุณรุจิรา เหนือเกาะหวาย และคุณตะวัน อภิชิตพงศ์ชัยในความช่วยเหลือ เป็นที่ปรึกษาและให้กำลังใจเสมอมา

วิทยานิพนธ์นี้ได้รับทุนสนับสนุนบางส่วนจากโครงการบัณฑิตศึกษา ฝึกอบรมและวิจัยด้านวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยี และการบริหารจัดการสิ่งแวดล้อม ภายใต้การกำกับของบัณฑิตศึกษา และการวิจัยด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี สำนักงานคณะกรรมการอุดมศึกษา กระทรวงศึกษาธิการ จึงขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูง

เจนจิรา ศุกรพันธ์

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

45911930 : สาขาวิชา: วิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม; วท.ม. (วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต)
คำสำคัญ : การลด/ ไนเทรต/ ไนไทรต์/ แอมโมเนีย/ ฟอสเฟต/ แบคทีเรียผสม/ บ่อกุ้งกุลาดำ

เจนจิรา ศุกรพันธ์: ประสิทธิภาพในการลดไนเทรต ไนไทรต์ แอมโมเนีย และฟอสเฟตในบ่อเลี้ยงกุ้งกุลาดำจำลองระบบปิดโดยแบคทีเรียผสม (REMOVAL EFFICIENCY OF NITRATE, NITRITE, AMMONIA AND PHOSPHATE IN THE RECIRCULATING SHRIMP(*PENAEUS MONODON*) CULTURE SYSTEM BY MIXED BACTERIA) อาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์: สุบัณฑิต นิ่มรัตน์, Ph. D., วีรพงศ์ วุฒิพันธุ์ชัย, Ph. D., ชุติวรรณ เดชสกุลวัฒนา, Ph.D. 193 หน้า. ปี พ.ศ. 2548. ISBN 974-502-590-9

จากการศึกษาถึงแบคทีเรียที่มีประสิทธิภาพในการลดไนเทรต ไนไทรต์ แอมโมเนีย และฟอสเฟตจำนวน 6 ชนิดคือ *Oceanisphaera* sp., *Bacillus polymyxa*, *B. licheniformis*, *B. subtilis*, *B. megaterium* และ *B. thuringiensis* หรือ *B. cereus* ที่แยกได้จากสิ่งแวดล้อมและทำการศึกษาเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการลดสารทั้ง 4 ชนิด โดยการใช้แบคทีเรียทั้ง 6 ชนิดในสัดส่วนที่แตกต่างกัน คือ การใช้แบคทีเรียผสม 6 ชนิด และการจับคู่แบคทีเรียผสม 2 ชนิด ภายในขวดซีรั่มและภายในบ่อเลี้ยงกุ้งกุลาดำจำลอง รวมถึงการตรวจติดตามการเติมแบคทีเรียผสมทั้ง 6 ชนิดว่ามีผลกระทบต่อปริมาณของจุลินทรีย์กลุ่มต่าง ๆ ในบ่อเลี้ยงกุ้งกุลาดำจำลองประการใด

ผลการวิจัย พบว่าความสามารถในการลดไนเทรต ไนไทรต์ แอมโมเนีย และฟอสเฟตภายในขวดซีรั่มโดยการใช้แบคทีเรียผสม 6 ชนิดได้ผลการทดลองในการลดความเข้มข้นสารทั้ง 4 ชนิดโดยรวมที่ดีกว่าและไม่เกิดการสะสมของไนไทรต์และแอมโมเนีย ดังนั้นจึงเลือกใช้แบคทีเรียผสม 6 ชนิดมาศึกษาถึงประสิทธิภาพในการลดสารทั้ง 4 ชนิดภายในบ่อกุ้งกุลาดำจำลอง พบว่าชุดทดลองที่มีการเติมแบคทีเรียผสมสามารถลดความเข้มข้นของไนเทรต ไนไทรต์ แอมโมเนียและย่อยสลายสารอินทรีย์ได้แตกต่างจากชุดควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) มีเพียงความเข้มข้นของฟอสเฟตที่ลดลงแต่ไม่มีความแตกต่างจากชุดควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ และจากการตรวจติดตามจุลินทรีย์กลุ่มต่าง ๆ พบว่าจำนวนจุลินทรีย์กลุ่มเฮเทอโรโทรปบริเวณดินตะกอนของชุดทดลองจะมากกว่าชุดควบคุมแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติและเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาการทดลอง ส่วนจำนวนแบคทีเรียกลุ่ม *Pseudomonas* spp. ทั้งตัวอย่างน้ำและดินตะกอนของชุดทดลองไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับชุดควบคุม สำหรับแอคติโนมายซีสบริเวณดินตะกอนชุดทดลองจะมีปริมาณมากกว่าและแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติจากชุดควบคุม นอกจากปริมาณ *Vibrio* spp. ในดินตะกอนของชุดทดลองต่ำกว่าชุดควบคุมแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ สำหรับแบคทีเรียกลุ่ม Ammonia Oxidizers และ Nitrite Oxidizers ตลอดระยะเวลาการทดลอง พบว่าปริมาณแบคทีเรียทั้ง 2 กลุ่มจะขึ้นอยู่กับการเติมแอมโมเนีย ไนไทรต์และไนเทรต ส่วนแบคทีเรียกลุ่ม Sulfide Oxidizers บริเวณดินตะกอนจะมีจำนวนลดลงตามระยะเวลาการทดลองแต่ในน้ำของชุดทดลองจะมีการเปลี่ยนแปลงจำนวนตลอดระยะเวลาการทดลอง ดังนั้นจากผลการทดลองสรุปได้ว่าแบคทีเรียผสมทั้ง 6 ชนิดน่าจะเป็นผลิตภัณฑ์โพรไบโอติกที่สามารถปรับปรุงคุณภาพน้ำโดยไม่มีผลกระทบต่อจุลินทรีย์ในระบบนิเวศบ่อเลี้ยงกุ้งกุลาดำแต่อย่างใด

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

45911930: MAJOR: ENVIRONMENTAL SCIENCE; M.Sc. (MASTER OF SCIENCE)

KEYWORDS: REMOVAL/ NITRATE/ NITRITE/ AMMONIA/ PHOSPHATE/ MIXED BACTERIA/ SHRIMP POND

MISS JANJIRA SUKARAPUN : REMOVAL EFFICIENCY OF NITRATE, NITRITE, AMMONIA AND PHOSPHATE IN RECIRCULATING SHRIMP (*PENAEUS MONODON*) CULTURE BY MIXED BACTERIA. THESIS ADVISORS : SUBUNTITH NIMRAT, Ph. D., VERAPONG VUTHIPHANDCHAI , Ph. D., CHUTIWAN DETSAKUNWATTANA, Ph.D. 193 P. 2005. ISBN 974-502-590-9

In this study, bacteria capable of removing nitrate, nitrite, ammonia and phosphate were isolated from the environments and identified as *Oceanisphaera* sp., *Bacillus polymyxa*, *B. licheniformis*, *B. subtilis*, *B. megaterium* and *B. thuringiensis* (or *B. cereus*). Comparison on efficiency in removing four compounds using a mixture of 6 isolates and randomized mixture of isolates was studied in serum bottles and in the recirculating black tiger shrimp ponds. In this study, the effect of the added 6 isolates into the simulated shrimp ponds to bacterial groups was carried out.

Results showed that the mixture of 6 types of isolates were able to remove nitrate, nitrite and ammonia better than the mixture of random 2 types of isolates in serum bottles. In addition, there was no accumulation of nitrite and ammonia. As a consequence, the mixture of 6 types of isolates was used to studied further for removal of nitrate, nitrite, ammonia, phosphate and organic matter in the recirculating shrimp ponds. It was found that could significantly decrease (P<0.05) nitrate, nitrite, ammonia and degrade organic matter, compared to the control although there was no significant difference (P<0.05) in the decrease of phosphate between the treatments. To the effect of the mixture of 6 isolates added in the shrimp ponds to the benefit groups of bacteria, the results demonstrated that heterotrophic bacteria and Actinomycetes in the sediments in the experimental ponds significantly increased (P < 0.05) with time, compared to the controls. Concentration of *Pseudomonas* sp. in water column and sediments was not significantly, compared to the controls. In contrast, the level of *Vibrio* spp. in water column and sediments reduced significantly (P < 0.05), compared to the controls. Concentration of ammonia oxidizers and nitrite oxidizers in water column was depend on the addition of ammonia, nitrite and nitrate. Sulfide oxidizers in sediments decreased with time while the concentration of sulfide oxidizers in the water column was flucuated with time. Results concluded that the mixture of 6 isolates could be a potential probiotic products which were able to control the water quality and had no negative effect on the microbial ecosystems in the recirculating shrimp ponds.

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย..... ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ..... จ
สารบัญ..... ฌ
สารบัญตาราง..... ญ
สารบัญภาพ..... ณ

บทที่

1 บทนำ..... 1
ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา..... 1
วัตถุประสงค์ของการวิจัย..... 3
สมมติฐานของการวิจัย..... 4
ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากการวิจัย..... 4
ขอบเขตของการวิจัย..... 4

2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง..... 6
ชีววิทยาของกุ้งกุลาดำ..... 6
รูปแบบการเลี้ยงกุ้งกุลาดำ..... 9
คุณภาพน้ำที่เหมาะสมต่อการเลี้ยงกุ้งกุลาดำ..... 10
ของเสียที่เกิดจากการเลี้ยงกุ้ง..... 16
สาเหตุการเกิดของเสียจากบ่อเพาะเลี้ยงกุ้ง..... 16
ความเป็นไป (Fate) ของสารประกอบไนโตรเจนและฟอสฟอรัส
ในสิ่งแวดล้อม..... 19
ความเป็นพิษของสารประกอบไนโตรเจนและฟอสฟอรัส
ต่อสิ่งมีชีวิต..... 27
งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง..... 29

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

สารบัญ (ต่อ)

บทที่		หน้า
3	วิธีดำเนินการวิจัย	36
	อุปกรณ์	36
	เครื่องมือ	36
	อาหารเลี้ยงเชื้อ	37
	สารเคมี	37
	วิธีดำเนินการทดลอง	39
	การวิเคราะห์ข้อมูล	50
4	ผลการวิจัย	51
	การจัดจำแนกชนิดของแบคทีเรียที่คัดเลือกมาจากดิน บ่อกุ้งกุลาดำ	52
	ประสิทธิภาพในการลดไนเทรต ไนไทรต์ แอมโมเนียและฟอสเฟต โดย แบคทีเรียผสม 6 ชนิด ภายในขวดซีรั่ม	53
	ประสิทธิภาพในการลดไนเทรต ไนไทรต์ แอมโมเนียและฟอสเฟต โดย แบคทีเรียผสม 2 ชนิด ภายในขวดซีรั่ม	61
	ประสิทธิภาพในการลดไนเทรต ไนไทรต์ แอมโมเนียและฟอสเฟต โดย แบคทีเรียผสม T1 กับ A4.2 ภายในขวดซีรั่ม	62
	ประสิทธิภาพในการลดไนเทรต ไนไทรต์ แอมโมเนียและฟอสเฟต โดย แบคทีเรียผสม T1 กับ A7.1 ภายในขวดซีรั่ม	68
	ประสิทธิภาพในการลดไนเทรต ไนไทรต์ แอมโมเนียและฟอสเฟต โดย แบคทีเรียผสม T1 กับ A2 ภายในขวดซีรั่ม	74
	การเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการลดไนเทรต ไนไทรต์ แอมโมเนียและ ฟอสเฟต โดยแบคทีเรียผสม T1 กับ A4.2, T1 กับ A7.1 และ T1 กับ A2 ภายในขวดซีรั่ม	80

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

สารบัญ (ต่อ)

บทที่		หน้า
4	คุณภาพน้ำทางกายภาพ ภายในบ่อกุ้งกุลาดำจำลอง	84
	ประสิทธิภาพในการลดไนเทรต โดยแบคทีเรียผสม 6 ชนิด ภายในบ่อกุ้งกุลาดำจำลอง	87
	ประสิทธิภาพในการลดไนไทรต์ โดยแบคทีเรียผสม 6 ชนิด ภายในบ่อกุ้งกุลาดำจำลอง	88
	ประสิทธิภาพในการลดแอมโมเนีย โดยแบคทีเรียผสม 6 ชนิด ภายในบ่อกุ้งกุลาดำจำลอง	89
	ประสิทธิภาพในการลดฟอสเฟต โดยแบคทีเรียผสม 6 ชนิด ภายในบ่อกุ้งกุลาดำจำลอง	91
	ปริมาณอินทรียวัตถุจากตัวอย่างดินตะกอน ภายในบ่อกุ้งกุลาดำจำลอง	97
	การเปลี่ยนแปลงจำนวนแบคทีเรียทั้งหมด (Total Plate Count)	98
	การเปลี่ยนแปลงจำนวนแบคทีเรียกลุ่ม *Pseudomonas* spp.	100
	การเปลี่ยนแปลงจำนวนแบคทีเรียก่อโรคกลุ่ม *Vibrio* spp.	102
	การเปลี่ยนแปลงจำนวนของแอคติโนมายซีส	104
	การเปลี่ยนแปลงจำนวนแบคทีเรียในกลุ่ม Ammonia oxidizers	106
	การเปลี่ยนแปลงจำนวนแบคทีเรียในกลุ่ม Nitrite oxidizers	108
	การเปลี่ยนแปลงจำนวนแบคทีเรียในกลุ่ม Sulfide oxidizers	110
5	สรุปและอภิปรายผลการทดลอง	112
	สรุปผลการทดลอง	112
	อภิปรายผลการทดลอง	115
	ข้อเสนอแนะ	126
บรรณานุกรม		127
ภาคผนวก		135
	ภาคผนวก ก สารเคมีและกราฟมาตรฐาน	136

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

สารบัญ (ต่อ)

บทที่ หน้า

ภาคผนวก ข อาหารเลี้ยงเชื้อ 145
ภาคผนวก ค การวิเคราะห์ทางสถิติ 151
ภาคผนวก ง ตารางเอ็ม พี เอ็น 170
ประวัติย่อของผู้วิจัย..... 174

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
1	ค่ากำหนดมาตรฐานน้ำทิ้งจากบ่อเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ	11
2	พีเอชที่เหมาะสมต่อการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ	14
3	การจัดแบ่งเกณฑ์มาตรฐานของบีโอดี	15
4	อัตราการเกิดปฏิกิริยาไนไตริฟิเคชัน (มิลลิกรัมไนโตรเจนต่อตารางเมตรต่อวัน) ในดินตะกอนของแหล่งน้ำจืดและน้ำทะเล	21
5	อัตราการเกิดปฏิกิริยาดีไนไตริฟิเคชัน(มิลลิกรัมไนโตรเจนต่อตารางเมตรต่อวัน) ในดินตะกอนของแหล่งน้ำจืดและน้ำทะเล	23
6	องค์ประกอบของปฏิกิริยา PCR	46
7	ขั้นตอนของปฏิกิริยา PCR	46
8	ลักษณะโคโลนีและการจัดเรียงตัวของเซลล์ภายใต้กล้องจุลทรรศน์ของแบคทีเรียที่คัดแยกจากดินบ่อกุ้งกุลาดำ	51
9	คุณภาพน้ำทางกายภาพและทางเคมีของบ่อกุ้งกุลาดำ จังหวัดฉะเชิงเทรา	54
10	เปอร์เซ็นต์การลดลงของไนเทรต ไนไทรต์ แอมโมเนียและฟอสเฟต โดยแบคทีเรียผสม 6 ชนิด ภายในขวดซีรั่ม	60
11	ประสิทธิภาพในการลดไนเทรต ไนไทรต์ แอมโมเนียและฟอสเฟต โดยแบคทีเรียผสม 2 ชนิด ภายในขวดซีรั่ม	61
12	เปอร์เซ็นต์การลดลงของไนเทรต ไนไทรต์ แอมโมเนียและฟอสเฟต โดยแบคทีเรียผสม T1 กับ A4.2 ภายในขวดซีรั่ม	67
13	เปอร์เซ็นต์การลดลงของไนเทรต ไนไทรต์ แอมโมเนียและฟอสเฟต โดยแบคทีเรียผสม T1 กับ A7.1 ภายในขวดซีรั่ม	73
14	เปอร์เซ็นต์การลดลงของไนเทรต ไนไทรต์ แอมโมเนียและฟอสเฟต โดยแบคทีเรียผสม T1 กับ A2 ภายในขวดซีรั่ม	79
15	คุณภาพน้ำทางกายภาพและทางเคมีของบ่อกุ้งกุลาดำ อำเภอราชสาส์น จังหวัดฉะเชิงเทรา	83

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่ หน้า

16 การวิเคราะห์คุณภาพน้ำทางกายภาพจากบ่อกุ้งกุลาดำจำลอง..... 84

17 เปอร์เซ็นต์การลดลงของไนเทรต ไนไทรต์ แอมโมเนียและฟอสเฟต โดยแบคทีเรียผสม 6 ชนิด ภายในบ่อกุ้งกุลาดำจำลอง..... 94

18 เปอร์เซ็นต์การลดลงของไนเทรต ไนไทรต์ แอมโมเนียและฟอสเฟต ที่เติมความเข้มข้น 10 มิลลิกรัมต่อลิตร โดยแบคทีเรียผสม 6 ชนิด ภายในบ่อกุ้งกุลาดำจำลอง..... 95

19 เปอร์เซ็นต์การลดลงของไนเทรต ไนไทรต์ แอมโมเนียและฟอสเฟต ที่เติมความเข้มข้น 20 มิลลิกรัมต่อลิตร โดยแบคทีเรียผสม 6 ชนิด ภายในบ่อกุ้งกุลาดำจำลอง 96

20 จำนวนแบคทีเรียทั้งหมด (Total Plate Count) จากตัวอย่างน้ำและดินตะกอน ภายในบ่อกุ้งกุลาดำจำลอง 98

21 จำนวนแบคทีเรียกลุ่ม *Pseudomonas* spp. จากตัวอย่างน้ำและดินตะกอน ภายในบ่อกุ้งกุลาดำจำลอง 100

22 จำนวนแบคทีเรียก่อโรคกลุ่ม *Vibrio* spp. จากตัวอย่างน้ำและดินตะกอน ภายในบ่อกุ้งกุลาดำจำลอง 102

23 จำนวนแบคทีเรียกลุ่มแอคติโนมายซีสจากตัวอย่างน้ำและดินตะกอน ภายในบ่อกุ้งกุลาดำจำลอง 104

24 จำนวนแบคทีเรียกลุ่ม Ammonia Oxidizers จากตัวอย่างน้ำและดินตะกอน ภายในบ่อกุ้งกุลาดำจำลอง 106

25 จำนวนแบคทีเรียกลุ่ม Nitrite Oxidizers จากตัวอย่างน้ำและดินตะกอน ภายในบ่อกุ้งกุลาดำจำลอง 108

26 จำนวนแบคทีเรียกลุ่ม Sulfide Oxidizers จากตัวอย่างน้ำและดินตะกอน ภายในบ่อกุ้งกุลาดำจำลอง 110

27 การเตรียมสารละลายมาตรฐานไนเทรตที่ความเข้มข้น 0 – 20 มิลลิกรัมต่อลิตร..... 138

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่ หน้า

28 การเตรียมสารละลายมาตรฐานไนไทรต์ที่ความเข้มข้น 0 – 5 มิลลิกรัมต่อลิตร 139

29 การเตรียมสารละลายมาตรฐานแอมโมเนียที่ความเข้มข้น 0 – 10 มิลลิกรัมต่อลิตร 141

30 การเตรียมสารละลายมาตรฐานฟอสเฟตที่ความเข้มข้น 0 – 2 มิลลิกรัมต่อลิตร 143

31 ผลการวิเคราะห์ทางสถิติของประสิทธิภาพในการลดไนเทรต โดยแบคทีเรียผสม 6 ชนิด ภายในขวดซีรั่ม..... 152

32 ผลการวิเคราะห์ทางสถิติของประสิทธิภาพในการลดไนไทรต์ โดยแบคทีเรียผสม 6 ชนิด ภายในขวดซีรั่ม..... 153

33 ผลการวิเคราะห์ทางสถิติของประสิทธิภาพในการลดแอมโมเนีย โดยแบคทีเรียผสม 6 ชนิด ภายในขวดซีรั่ม..... 153

34 ผลการวิเคราะห์ทางสถิติของประสิทธิภาพในการลดฟอสเฟต โดยแบคทีเรียผสม 6 ชนิด ภายในขวดซีรั่ม..... 154

35 ผลการวิเคราะห์ทางสถิติของประสิทธิภาพในการลดไนเทรต โดยแบคทีเรียผสม T1 กับ A4.2 ภายในขวดซีรั่ม..... 154

36 ผลการวิเคราะห์ทางสถิติของประสิทธิภาพในการลดไนไทรต์ โดยแบคทีเรียผสม T1 กับ A4.2 ภายในขวดซีรั่ม..... 155

37 ผลการวิเคราะห์ทางสถิติของประสิทธิภาพในการลดแอมโมเนีย โดยแบคทีเรียผสม T1 กับ A4.2 ภายในขวดซีรั่ม..... 155

38 ผลการวิเคราะห์ทางสถิติของประสิทธิภาพในการลดฟอสเฟต โดยแบคทีเรียผสม T1 กับ A4.2 ภายในขวดซีรั่ม..... 156

39 ผลการวิเคราะห์ทางสถิติของประสิทธิภาพในการลดไนเทรต โดยแบคทีเรียผสม T1 กับ A7.1 ภายในขวดซีรั่ม..... 156

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่ หน้า

40 ผลการวิเคราะห์ทางสถิติของประสิทธิภาพในการลดไนไทรต์
โดยแบคทีเรียผสม T1 กับ A7.1 ภายในขวดซีรั่ม..... 157

41 ผลการวิเคราะห์ทางสถิติของประสิทธิภาพในการลดแอมโมเนีย
โดยแบคทีเรียผสม T1 กับ A7.1 ภายในขวดซีรั่ม..... 157

42 ผลการวิเคราะห์ทางสถิติของประสิทธิภาพในการลดฟอสเฟต
โดยแบคทีเรียผสม T1 กับ A7.1 ภายในขวดซีรั่ม..... 158

43 ผลการวิเคราะห์ทางสถิติของประสิทธิภาพในการลดไนเทรต
โดยแบคทีเรียผสม T1 กับ A2 ภายในขวดซีรั่ม..... 158

44 ผลการวิเคราะห์ทางสถิติของประสิทธิภาพในการลดไนไทรต์
โดยแบคทีเรียผสม T1 กับ A2 ภายในขวดซีรั่ม..... 159

45 ผลการวิเคราะห์ทางสถิติของประสิทธิภาพในการลดแอมโมเนีย
โดยแบคทีเรียผสม T1 กับ A2 ภายในขวดซีรั่ม..... 159

46 ผลการวิเคราะห์ทางสถิติของประสิทธิภาพในการลดฟอสเฟต
โดยแบคทีเรียผสม T1 กับ A2 ภายในขวดซีรั่ม..... 160

47 ผลการวิเคราะห์ทางสถิติของประสิทธิภาพในการลดไนเทรตโดย
แบคทีเรียผสม T1 กับ A4.2, T1 กับ A7.1 และ T1 กับA2
ภายในขวดซีรั่ม..... 160

48 ผลการวิเคราะห์ทางสถิติของประสิทธิภาพในการลดไนไทรต์โดย
แบคทีเรียผสม T1 กับ A4.2, T1 กับ A7.1 และ T1 กับA2
ภายในขวดซีรั่ม..... 161

49 ผลการวิเคราะห์ทางสถิติของประสิทธิภาพในการลดแอมโมเนียโดย
แบคทีเรียผสม T1 กับ A4.2, T1 กับ A7.1 และ T1 กับA2
ภายในขวดซีรั่ม..... 161

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่ หน้า

50 ผลการวิเคราะห์ทางสถิติของประสิทธิภาพในการลดฟอสเฟตโดย
แบคทีเรียผสม T1 กับ A4.2, T1 กับ A7.1 และ T1 กับA2
ภายในขวดซีรั่ม..... 162

51 ผลการวิเคราะห์ทางสถิติของประสิทธิภาพในการลดไนเทรต
โดยแบคทีเรียผสม 6 ชนิด ภายในบ่อกุ้งกุลาดำจำลอง..... 162

52 ผลการวิเคราะห์ทางสถิติของประสิทธิภาพในการลดไนไทรต์
โดยแบคทีเรียผสม 6 ชนิด ภายในบ่อกุ้งกุลาดำจำลอง..... 163

53 ผลการวิเคราะห์ทางสถิติของประสิทธิภาพในการลดแอมโมเนีย
โดยแบคทีเรียผสม 6 ชนิด ภายในบ่อกุ้งกุลาดำจำลอง..... 163

54 ผลการวิเคราะห์ทางสถิติของประสิทธิภาพในการลดฟอสเฟต
โดยแบคทีเรียผสม 6 ชนิด ภายในบ่อกุ้งกุลาดำจำลอง..... 164

55 ผลการวิเคราะห์ทางสถิติของการเปลี่ยนแปลงจำนวนแบคทีเรียทั้งหมด
จากตัวอย่างน้ำ ภายในบ่อกุ้งกุลาดำจำลอง..... 164

56 ผลการวิเคราะห์ทางสถิติของการเปลี่ยนแปลงจำนวนแบคทีเรียทั้งหมด
จากตัวอย่างดินตะกอน ภายในบ่อกุ้งกุลาดำจำลอง..... 165

57 ผลการวิเคราะห์ทางสถิติของการเปลี่ยนแปลงจำนวน *Pseudomonas* spp.
จากตัวอย่างน้ำ ภายในบ่อกุ้งกุลาดำจำลอง..... 165

58 ผลการวิเคราะห์ทางสถิติของการเปลี่ยนแปลงจำนวน *Pseudomonas* spp.
จากตัวอย่างดินตะกอน ภายในบ่อกุ้งกุลาดำจำลอง..... 165

59 ผลการวิเคราะห์ทางสถิติของการเปลี่ยนแปลงจำนวน *Vibrio* spp.
จากตัวอย่างน้ำ ภายในบ่อกุ้งกุลาดำจำลอง..... 166

60 ผลการวิเคราะห์ทางสถิติของการเปลี่ยนแปลงจำนวน *Vibrio* spp.
จากตัวอย่างดินตะกอน ภายในบ่อกุ้งกุลาดำจำลอง..... 166

61 ผลการวิเคราะห์ทางสถิติของการเปลี่ยนแปลงจำนวนแอคติโนมายซีส
จากตัวอย่างน้ำ ภายในบ่อกุ้งกุลาดำจำลอง..... 166

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่ หน้า

62 ผลการวิเคราะห์ทางสถิติของการเปลี่ยนแปลงจำนวนแอคติโนมายซีส
จากตัวอย่างดิตะกอน ภายในบ่อกุ้งกุลาดำจำลอง..... 167

63 ผลการวิเคราะห์ทางสถิติของการเปลี่ยนแปลงจำนวนแบคทีเรียกลุ่ม
Ammonia Oxidizers จากตัวอย่างน้ำ ภายในบ่อกุ้งกุลาดำจำลอง..... 167

64 ผลการวิเคราะห์ทางสถิติของการเปลี่ยนแปลงจำนวนแบคทีเรียกลุ่ม
Ammonia Oxidizers จากตัวอย่างดินตะกอน
ภายในบ่อกุ้งกุลาดำจำลอง..... 167

65 ผลการวิเคราะห์ทางสถิติของการเปลี่ยนแปลงจำนวนแบคทีเรียกลุ่ม
Nitrite Oxidizers จากตัวอย่างน้ำ ภายในบ่อกุ้งกุลาดำจำลอง..... 168

66 ผลการวิเคราะห์ทางสถิติของการเปลี่ยนแปลงจำนวนแบคทีเรียกลุ่ม
Nitrite Oxidizers จากตัวอย่างดินตะกอน
ภายในบ่อกุ้งกุลาดำจำลอง..... 168

67 ผลการวิเคราะห์ทางสถิติของการเปลี่ยนแปลงจำนวนแบคทีเรียกลุ่ม
Sulfide Oxidizers จากตัวอย่างน้ำ ภายในบ่อกุ้งกุลาดำจำลอง..... 168

68 ผลการวิเคราะห์ทางสถิติของการเปลี่ยนแปลงจำนวนแบคทีเรียกลุ่ม
Sulfide Oxidizers จากตัวอย่างดินตะกอน
ภายในบ่อกุ้งกุลาดำจำลอง..... 169

69 ตารางเอ็ม พี เอ็น..... 171

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
1	ผลกระทบของน้ำที่ปล่อยออกจากบ่อเลี้ยงกุ้งโดยไม่มีระบบบำบัดน้ำเสีย	3
2	วงจรชีวิตของกุ้งกุลาดำ	8
3	การสะสมสารอาหารและผลกระทบของน้ำทิ้งจากการเพาะเลี้ยงกุ้ง	18
4	วัฏจักรไนโตรเจน	25
5	การเปลี่ยนแปลงของธาตุฟอสฟอรัสในแหล่งน้ำ	27
6	ลักษณะโคโลนีของ *Oceanisphaera* sp., *Bacillus polymyxa*, *B. licheniformis*, *B. subtilis*, *B. megaterium* และ *B. cereus* หรือ *B. thuringiensis*	25
7	ตำแหน่งเก็บตัวอย่างน้ำทั้ง 4 จุด ภายในบ่อกุ้งกุลาดำ	53
8	ประสิทธิภาพในการลดไนเทรตโดยแบคทีเรียผสม 6 ชนิด ภายในขวดซีรั่ม	55
9	ประสิทธิภาพในการลดไนไทรต์โดยแบคทีเรียผสม 6 ชนิด ภายในขวดซีรั่ม	56
10	ประสิทธิภาพในการลดแอมโมเนียโดยแบคทีเรียผสม 6 ชนิด ภายในขวดซีรั่ม	57
11	ประสิทธิภาพในการลดฟอสเฟตโดยแบคทีเรียผสม 6 ชนิด ภายในขวดซีรั่ม	58
12	ประสิทธิภาพในการลดไนเทรตโดยแบคทีเรียผสม T1 กับ A4.2 ภายในขวดซีรั่ม	63
13	ประสิทธิภาพในการลดไนไทรต์โดยแบคทีเรียผสม T1 กับ A4.2 ภายในขวดซีรั่ม	64
14	ประสิทธิภาพในการลดแอมโมเนียโดยแบคทีเรียผสม T1 กับ A4.2 ภายในขวดซีรั่ม	65
15	ประสิทธิภาพในการลดฟอสเฟตโดยแบคทีเรียผสม T1 กับ A4.2 ภายในขวดซีรั่ม	66

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่ หน้า

16 ประสิทธิภาพในการลดไนเทรตโดยแบคทีเรียผสม T1 กับ A7.1 ภายในขวดซีรั่ม 68

17 ประสิทธิภาพในการลดไนไทรต์โดยแบคทีเรียผสม T1 กับ A7.1 ภายในขวดซีรั่ม 69

18 ประสิทธิภาพในการลดแอมโมเนียโดยแบคทีเรียผสม T1 กับ A7.1 ภายในขวดซีรั่ม 70

19 ประสิทธิภาพในการลดไนเทรตโดยแบคทีเรียผสม T1 กับ A7.1 ภายในขวดซีรั่ม 71

20 ประสิทธิภาพในการลดไนเทรตโดยแบคทีเรียผสม T1 กับ A2 ภายในขวดซีรั่ม 74

21 ประสิทธิภาพในการลดไนไทรต์โดยแบคทีเรียผสม T1 กับ A2 ภายในขวดซีรั่ม 75

22 ประสิทธิภาพในการลดแอมโมเนียโดยแบคทีเรียผสม T1 กับ A2 ภายในขวดซีรั่ม 76

23 ประสิทธิภาพในการลดฟอสเฟตโดยแบคทีเรียผสม T1 กับ A2 ภายในขวดซีรั่ม 77

24 เปรียบเทียบประสิทธิภาพในการลดไนเทรตระหว่างแบคทีเรียผสม T1 กับ A4.2, T1 กับ A7.1 และ T1 กับ A2..... 80

25 เปรียบเทียบประสิทธิภาพในการลดไนไทรต์ระหว่างแบคทีเรียผสม T1 กับ A4.2, T1 กับ A7.1 และ T1 กับ A2..... 81

26 เปรียบเทียบประสิทธิภาพในการลดแอมโมเนียระหว่างแบคทีเรียผสม T1 กับ A4.2, T1 กับ A7.1 และ T1 กับ A2..... 81

27 เปรียบเทียบประสิทธิภาพในการลดฟอสเฟตระหว่างแบคทีเรียผสม T1 กับ A4.2, T1 กับ A7.1 และ T1 กับ A2..... 82

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่ หน้า

28 ค่าความเค็มของน้ำภายในบ่อกุ้งกุลาดำจำลองที่ทดสอบประสิทธิภาพ
ในการลดไนเทรต ไนไทรต์ แอมโมเนียและฟอสเฟต
โดยแบคทีเรียผสม 6 ชนิด..... 82

29 ค่าออกซิเจนละลายน้ำภายในบ่อกุ้งกุลาดำจำลองที่ทดสอบประสิทธิภาพ
ในการลดไนเทรต ไนไทรต์ แอมโมเนียและฟอสเฟต
โดยแบคทีเรียผสม 6 ชนิด..... 85

30 ค่าพีเอชน้ำภายในบ่อกุ้งกุลาดำจำลองที่ทดสอบประสิทธิภาพในการลด
ไนเทรต ไนไทรต์ แอมโมเนียและฟอสเฟต
โดยแบคทีเรียผสม 6 ชนิด..... 86

31 ค่าความขุ่นของน้ำภายในบ่อกุ้งกุลาดำจำลองที่ทดสอบประสิทธิภาพ
ในการลดไนเทรต ไนไทรต์ แอมโมเนียและฟอสเฟต
โดยแบคทีเรียผสม 6 ชนิด..... 86

32 ประสิทธิภาพในการลดไนเทรตโดยแบคทีเรียผสม 6 ชนิด
ภายในบ่อกุ้งกุลาดำจำลอง 88

33 ประสิทธิภาพในการลดไนไทรต์โดยแบคทีเรียผสม 6 ชนิด
ภายในบ่อกุ้งกุลาดำจำลอง 89

34 ประสิทธิภาพในการลดแอมโมเนียโดยแบคทีเรียผสม 6 ชนิด
ภายในบ่อกุ้งกุลาดำจำลอง 91

35 ประสิทธิภาพในการลดฟอสเฟตโดยแบคทีเรียผสม 6 ชนิด
ภายในบ่อกุ้งกุลาดำจำลอง 92

36 การเปลี่ยนแปลงปริมาณอินทรียวัตถุจากตัวอย่างดินตะกอน
ภายในบ่อกุ้งกุลาดำจำลอง 97

37 การเปลี่ยนแปลงจำนวนแบคทีเรียทั้งหมดจากตัวอย่างน้ำและดินตะกอน
ภายในบ่อกุ้งกุลาดำจำลอง 99

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
38	การเปลี่ยนแปลงจำนวนแบคทีเรียกลุ่ม *Pseudomonas* spp. จากตัวอย่างน้ำและดินตะกอน ภายในบ่อกุ้งกุลาดำจำลอง	101
39	การเปลี่ยนแปลงจำนวนแบคทีเรียก่อโรคกลุ่ม *Vibrio* spp. จากตัวอย่างน้ำและดินตะกอน ภายในบ่อกุ้งกุลาดำจำลอง	103
40	การเปลี่ยนแปลงจำนวนแบคทีเรียกลุ่มแอคติโนมายซีสจากตัวอย่างน้ำและดินตะกอน ภายในบ่อกุ้งกุลาดำจำลอง	105
41	การเปลี่ยนแปลงจำนวนแบคทีเรียกลุ่ม Ammonia Oxidizers จากตัวอย่างน้ำและดินตะกอน ภายในบ่อกุ้งกุลาดำจำลอง	107
42	การเปลี่ยนแปลงจำนวนแบคทีเรียกลุ่ม Nitrite Oxidizers จากตัวอย่างน้ำและดินตะกอน ภายในบ่อกุ้งกุลาดำจำลอง	109
43	การเปลี่ยนแปลงจำนวนแบคทีเรียกลุ่ม Sulfide Oxidizers จากตัวอย่างน้ำและดินตะกอน ภายในบ่อกุ้งกุลาดำจำลอง	111
44	กราฟมาตรฐานไนเทรตที่ความเข้มข้น 0 – 20 มิลลิกรัมต่อลิตร	138
45	กราฟมาตรฐานไนไทรต์ที่ความเข้มข้น 0 – 5 มิลลิกรัมต่อลิตร	140
46	กราฟมาตรฐานแอมโมเนียที่ความเข้มข้น 0 – 10 มิลลิกรัมต่อลิตร	142
47	กราฟมาตรฐานฟอสเฟตที่ความเข้มข้น 0 – 2 มิลลิกรัมต่อลิตร	144

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University