ใบรับรองวิทยานิพนธ์

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (เทคโนโลยีและการจัดการสิ่งแวดล้อม)

ปริญญา

เทคโนโลยีและการจัดการสิ่งแวดล้อม	วิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม
สาขา	**ภาควิชา**

เรื่อง การฟื้นฟูดินก้นบ่อเลี้ยงกุ้งทะเลระบบปิดด้วยวิธีทางชีวภาพร่วมกับการคราดพรวน

Bottom Soil Remediation in Shrimp Cultivation Pond Using Biological Treatment with Plowing Method

นามผู้วิจัย นางสาวปณิดา โกฎเพชร

ได้พิจารณาเห็นชอบโดย

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก .....

(อาจารย์ปิยาภรณ์ สมสมัคร, Ph.D.)

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม .....

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์จักรกฤษณ์ มหัจฉริยวงศ์, Ph.D.)

หัวหน้าภาควิชา .....

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์จักรกฤษณ์ มหัจฉริยวงศ์, Ph.D.)

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์รับรองแล้ว

.....

(รองศาสตราจารย์กัญจนา ธีระกุล, D.Agr.)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

วันที่ ..... **เดือน** ..... **พ.ศ.** .....

วิทยานิพนธ์

เรื่อง

การฟื้นฟูดินก้นบ่อเลี้ยงกุ้งทะเลระบบปิดด้วยวิธีทางชีวภาพร่วมกับการคราดพรวน

Bottom Soil Remediation in Shrimp Cultivation Pond Using Biological Treatment with Plowing Method

โดย

นางสาวปณิดา โกฏเพชร

เสนอ

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
เพื่อความสมบูรณ์แห่งปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (เทคโนโลยีและการจัดการสิ่งแวดล้อม)
พ.ศ. 2552

ปณิดา โกฏเพชร 2552: การฟื้นฟูดินก้นบ่อเลี้ยงกุ้งทะเลระบบปิดด้วยวิธีทางชีวภาพร่วมกับการคราดพรวน ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (เทคโนโลยีและการจัดการสิ่งแวดล้อม) สาขาวิชาเทคโนโลยีและการจัดการสิ่งแวดล้อม ภาควิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก: อาจารย์ปิยาภรณ์ สมสมัคร, Ph.D. 133 หน้า

ดินเลนก้นบ่อเลี้ยงกุ้งทะเลเป็นแหล่งสะสมของเสียและเศษอาหารจากการเลี้ยงกุ้ง การเตรียมบ่อที่มีประสิทธิภาพจะช่วยลดปัญหาโรคกุ้งในการเลี้ยงรุ่นต่อไป และสามารถใช้บ่อได้นานขึ้น งานวิจัยนี้ได้ศึกษาประสิทธิภาพการฟื้นฟูดินก้นบ่อเลี้ยงกุ้งทะเลระบบปิดด้วยวิธีทางชีวภาพร่วมกับการคราดพรวนในบ่อเลี้ยงกุ้งซึ่งไม่เคยทำการศึกษามาก่อนเปรียบเทียบกับวิธีที่เกษตรกรผู้เลี้ยงกุ้งใช้ทั่วไป 3 วิธี คือ การตากแดด การรดจุลินทรีย์ EM และการคราดพรวน ทำการศึกษาเป็นระยะเวลาทั้งหมด 56 วัน โดยทำการบำบัดจำนวน 5 ครั้ง คือในวันที่ 0, 7, 14, 28 และ 42 ของการทดลอง ผลการศึกษาพบว่าวิธีการคราดพรวนร่วมกับการใช้จุลินทรีย์ทางการค้ามีประสิทธิภาพในการฟื้นฟูดินเลนได้ดีที่สุดโดยสามารถกำจัดอินทรียวัตถุ ไนโตรเจนรวม และฟอสฟอรัสที่พืชใช้ได้ 27.25%, 45.89% และ 57.89% ตามลำดับ และไม่พบการสะสมของแอมโมเนีย ไนไตรท์ และไนเตรทในดิน ส่วนวิธีการตากดินให้แห้งมีประสิทธิภาพในการฟื้นฟูโดยรวมต่ำที่สุด คือ สามารถกำจัดอินทรียวัตถุ และไนโตรเจนรวม 5.59% และ 35.39% ตามลำดับ และไม่สามารถกำจัดฟอสฟอรัสที่พืชใช้ได้ นอกจากนี้การฟื้นฟูดินเลนทุกวิธีสามารถลดปริมาณจุลินทรีย์วิบริโอที่ก่อให้เกิดโรคในกุ้งได้มากกว่า 98% แสดงให้เห็นว่าการตากดินให้แห้งเป็นปัจจัยหลักในการกำจัดแบคทีเรียกลุ่มวิบริโอ การกำจัดวิบริโอให้ได้ 90% จะต้องตากดินไม่น้อยกว่า 30 วัน ในขณะที่ปริมาณบาซิลลัสรวมมีการเปลี่ยนแปลงเพียงเล็กน้อยเมื่อสิ้นสุดการทดลอง โดยทุกวิธีไม่มีความแตกต่างทางสถิติ ($p>0.05$) ดังนั้นวิธีการคราดพรวนร่วมกับจุลินทรีย์ทางการค้าจึงเป็นอีกวิธีการหนึ่งที่เหมาะสมในการฟื้นฟูดินเลน ซึ่งจะเป็นประโยชน์ต่อเกษตรกรเพื่อใช้เตรียมบ่อเลี้ยงกุ้งต่อไป

_____ _____ ___ / ___ / ___

ลายมือชื่อนิสิต ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

Panida Godpetch 2009: Bottom Soil Remediation in Shrimp Cultivation Pond Using Biological Treatment with Plowing Method. Master of Science (Environmental Technology and Management), Major Field: Environmental Technology and Management, Department of Environmental Science. Thesis Advisor: Mrs. Piyapawn Somsamak, Ph.D. 133 pages.

During shrimp growing period, organic wastes and sediment accumulate at bottom of cultivation ponds. The appropriate bottom soil management reduces the growing problems in next crop cycle and prolongs aging of the pond. This experiment aimed to compare the efficiency of 4 different sediment remediation methods namely dried soil (DS), effective microorganisms (EM), dried and crushed soil (CS), and crushed soil with microorganism (CM). Among methods investigated, CM exhibited the highest sediment remediation efficiency. The CM method reduced organic matter, total nitrogen, and available phosphorus in the sediment by 27.25%, 45.89% and 57.89% respectively, after 56 days of treatment. There was no significant accumulation of ammonia, nitrite, and nitrate in sediment at the end of experiment. The DS method demonstrated the least overall efficiency with organic matter and total nitrogen reduction of 5.59% and 35.39% respectively. The total *Vibrio* concentrations in sediment in all treatments also decreased by more than 98% after being treated for 56 days which clearly demonstrated the affected of exposure to sunlight. However, the sediments needed to be exposed to sunlight for at least 30 days to reach the efficiency of 90% reduction. Therefore, this study has demonstrated that CM method is an effective remediation method for preparation of shrimp cultivation pond.

_____ _____ ___ / ___ / ___

Student's signature Thesis Advisor's signature

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์เล่มนี้เสร็จสมบูรณ์ได้โดยการอุปการะและช่วยเหลือจากผู้มีพระคุณหลายท่าน ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณ อ.ดร. ปิยาภรณ์ สมสมัคร ประธานกรรมการที่ปรึกษา ที่ให้คำปรึกษาในการเรียน การค้นคว้าวิจัย และคำแนะนำด้านต่าง ๆ เกี่ยวกับงานวิจัย ตลอดจนการตรวจแก้ไขวิทยานิพนธ์จนกระทั่งเสร็จสมบูรณ์ และกราบขอบพระคุณ ผศ.ดร. จักรกฤษณ์ มหัจฉริยวงศ์ กรรมการที่ปรึกษา ผศ.ดร. ตุลวิทย์ สถาปนจารุ ประธานการสอบ และผศ.ดร. ชลอ จารุสุทธิรักษ์ กรรมการผู้แทนบัณฑิต ที่กรุณาสละเวลาให้คำปรึกษา ชี้แนะข้อบกพร่อง และให้ข้อแนะนำต่าง ๆ ที่เกิดขึ้น ตลอดจนถึงการแก้ไขจนทำให้วิทยานิพนธ์เล่มนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

ขอขอบคุณ คุณธีระชัย พิริยะคุณธร เจ้าของแหลมยางฟาร์ม คุณสมพงษ์ เม่งวิสัยและคุณอนันต์ เตียเสานากุล เจ้าของบริษัททรัพย์อนันต์ฟาร์ม จำกัด ที่ได้กรุณาให้สถานที่ทำการวิจัย ขอขอบคุณ คุณรุ่งเรือง พูลศิริ หัวหน้าห้องปฏิบัติการปฐพีวิทยาป่าไม้ ที่ให้ความช่วยเหลือในการวิเคราะห์ตะกอนเลนมาโดยตลอด

ขอขอบคุณพี่น้องประมง เกษตรเจ้าคุณ เพื่อนรุ่น 1 และน้อง ๆ สาขาเทคโนโลยีและการจัดการสิ่งแวดล้อมทุกคน ที่ให้กำลังใจและความช่วยเหลืออย่างจริงใจมาโดยตลอด

ขอขอบคุณโครงการวิจัยร่วมภาครัฐและเอกชนในเชิงพาณิชย์ สำนักงานการอุดมศึกษา (สกอ.) ประจำปี 2549 ที่ให้การสนับสนุนเงินทุนสำหรับการวิจัยในครั้งนี้

ด้วยความดีหรือประโยชน์อันใดเนื่องจากวิทยานิพนธ์เล่มนี้ ขอมอบแด่คุณพ่อ คุณแม่ ที่ได้อบรมสั่งสอน และให้กำลังใจผู้วิจัยมาโดยตลอดในทุก ๆ เรื่อง และขอขอบคุณเพื่อน ๆ ซึ่งไม่อาจกล่าวนามได้หมดในที่นี้ ซึ่งให้ความช่วยเหลือและเป็นกำลังใจในการทำวิทยานิพนธ์เป็นอย่างดีตลอดมา

ปณิดา โกฏเพชร

กุมภาพันธ์ 2552

สารบัญ

หน้า

สารบัญ	(1)
สารบัญตาราง	(2)
สารบัญภาพ	(8)
คำนำ	1
วัตถุประสงค์	3
การตรวจเอกสาร	4
อุปกรณ์และวิธีการ	18
อุปกรณ์	18
วิธีการ	20
ผลและวิจารณ์	26
สรุปและข้อเสนอแนะ	40
สรุป	40
ข้อเสนอแนะ	41
เอกสารและสิ่งอ้างอิง	42
ภาคผนวก	51
ภาคผนวก ก ผลการทดลองในบ่อจำลอง	52
ภาคผนวก ข ตารางข้อมูลผลการทดลอง	98
ภาคผนวก ค ข้อมูลจากการทดลอง	122
ประวัติการศึกษาและการทำงาน	133

สารบัญตาราง

ตารางที่ **หน้า**

1 คุณลักษณะของตะกอนเลนในบ่อเลี้ยงกุ้งทะเลระบบปิด 27

ตารางผนวกที่

ก1 คุณลักษณะของตะกอนเลนในบ่อจำลอง 54

ก2 ค่าอินทรียวัตถุก่อนและหลังการบำบัดดินด้วยวิธีทางชีวภาพร่วมกับการคราดพรวนในบ่อจำลอง 66

ก3 อิทธิพลของปัจจัยทดลอง อิทธิพลของเวลา และอิทธิพลร่วมของปัจจัยทั้งสองต่อค่าเฉลี่ยอินทรียวัตถุของดินที่ผ่านการบำบัดด้วยวิธีชีวภาพร่วมกับการคราดพรวนในบ่อจำลอง 67

ก4 ค่าอินทรีย์คาร์บอนก่อนและหลังการบำบัดดินด้วยวิธีทางชีวภาพร่วมกับการคราดพรวนในบ่อจำลอง 68

ก5 อิทธิพลของปัจจัยทดลอง อิทธิพลของเวลา และอิทธิพลร่วมของปัจจัยทั้งสองต่อค่าเฉลี่ยอินทรีย์คาร์บอนของดินที่ผ่านการบำบัดด้วยวิธีชีวภาพร่วมกับการคราดพรวนในบ่อจำลอง 69

ก6 ค่าไนโตรเจนรวมก่อนและหลังการบำบัดดินด้วยวิธีทางชีวภาพร่วมกับการคราดพรวนในบ่อจำลอง 70

ก7 อิทธิพลของปัจจัยทดลอง อิทธิพลของเวลา และอิทธิพลร่วมของปัจจัยทั้งสองต่อค่าเฉลี่ยไนโตรเจนรวมของดินที่ผ่านการบำบัดด้วยวิธีชีวภาพร่วมกับการคราดพรวนในบ่อจำลอง 71

ก8 ค่าแอมโมเนียไนโตรเจนก่อนและหลังการบำบัดดินด้วยวิธีทางชีวภาพร่วมกับการคราดพรวนในบ่อจำลอง 72

ก9 อิทธิพลของปัจจัยทดลอง อิทธิพลของเวลา และอิทธิพลร่วมของปัจจัยทั้งสองต่อค่าเฉลี่ยแอมโมเนียไนโตรเจนของดินที่ผ่านการบำบัดด้วยวิธีชีวภาพร่วมกับการคราดพรวนในบ่อจำลอง 73

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางผนวกที่		หน้า
ก10	ค่าไนไตรท์ไนโตรเจนก่อนและหลังการบำบัดดินด้วยวิธีทางชีวภาพร่วมกับการคราดพรวนในบ่อจำลอง	74
ก11	อิทธิพลของปัจจัยทดลอง อิทธิพลของเวลา และอิทธิพลร่วมของปัจจัยทั้งสองต่อค่าเฉลี่ยไนไตรท์ไนโตรเจนของดินที่ผ่านการบำบัดด้วยวิธีชีวภาพร่วมกับการคราดพรวนในบ่อจำลอง	75
ก12	ค่าไนเตรทไนโตรเจนก่อนและหลังการบำบัดดินด้วยวิธีทางชีวภาพร่วมกับการคราดพรวนในบ่อจำลอง	76
ก13	อิทธิพลของปัจจัยทดลอง อิทธิพลของเวลา และอิทธิพลร่วมของปัจจัยทั้งสองต่อค่าเฉลี่ยไนเตรทไนโตรเจนของดินที่ผ่านการบำบัดด้วยวิธีชีวภาพร่วมกับการคราดพรวนในบ่อจำลอง	77
ก14	ค่าฟอสฟอรัสที่พืชใช้ได้ก่อนและหลังการบำบัดดินด้วยวิธีทางชีวภาพร่วมกับการคราดพรวนในบ่อจำลอง	78
ก15	อิทธิพลของปัจจัยทดลอง อิทธิพลของเวลา และอิทธิพลร่วมของปัจจัยทั้งสองต่อค่าเฉลี่ยฟอสฟอรัสที่พืชใช้ได้ของดินที่ผ่านการบำบัดด้วยวิธีชีวภาพร่วมกับการคราดพรวนในบ่อจำลอง	79
ก16	ค่าพีเอชของก่อนและหลังการบำบัดดินด้วยวิธีทางชีวภาพร่วมกับการคราดพรวน ในบ่อจำลอง	80
ก17	อิทธิพลของปัจจัยทดลอง อิทธิพลของเวลา และอิทธิพลร่วมของปัจจัยทั้งสองต่อค่าเฉลี่ยพีเอชของดินที่ผ่านการบำบัดด้วยวิธีชีวภาพร่วมกับการคราดพรวนในบ่อจำลอง	81
ก18	ปริมาณวิบริโอรวมก่อนและหลังการบำบัดดินด้วยวิธีทางชีวภาพร่วมกับการคราดพรวนในบ่อจำลอง	82
ก19	อิทธิพลของปัจจัยทดลอง อิทธิพลของเวลา และอิทธิพลร่วมของปัจจัยทั้งสองต่อค่าเฉลี่ยวิบริโอรวมของดินที่ผ่านการบำบัดด้วยวิธีชีวภาพร่วมกับการคราดพรวนในบ่อจำลอง	83

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางผนวกที่		หน้า
ก20	ปริมาณบาซิลลัสรวมก่อนและหลังการบำบัดดินด้วยวิธีทางชีวภาพร่วมกับการคราดพรวนในบ่อจำลอง	85
ก21	อิทธิพลของปัจจัยทดลอง อิทธิพลของเวลา และอิทธิพลร่วมของปัจจัยทั้งสองต่อค่าเฉลี่ยบาซิลลัสรวมของดินที่ผ่านการบำบัดด้วยวิธีชีวภาพร่วมกับการคราดพรวนในบ่อจำลอง	86
ก22	อิทธิพลของปัจจัยทดลองและเวลาที่มีต่อค่าอินทรียวัตถุก่อนและหลังการบำบัดด้วยวิธีทางชีวภาพร่วมกับการคราดพรวนในบ่อจำลอง	88
ก23	อิทธิพลของปัจจัยทดลองและเวลาที่มีต่อค่าอินทรีย์คาร์บอนก่อนและหลังการบำบัดด้วยวิธีทางชีวภาพร่วมกับการคราดพรวนในบ่อจำลอง	89
ก24	อิทธิพลของปัจจัยทดลองและเวลาที่มีต่อค่าไนโตรเจนรวมก่อนและหลังการบำบัดด้วยวิธีทางชีวภาพร่วมกับการคราดพรวนในบ่อจำลอง	90
ก25	อิทธิพลของปัจจัยทดลองและเวลาที่มีต่อค่าแอมโมเนียไนโตรเจนก่อนและหลังการบำบัดด้วยวิธีทางชีวภาพร่วมกับการคราดพรวนในบ่อจำลอง	91
ก26	อิทธิพลของปัจจัยทดลองและเวลาที่มีต่อค่าไนไตรท์ไนโตรเจนก่อนและหลังการบำบัดด้วยวิธีทางชีวภาพร่วมกับการคราดพรวนในบ่อจำลอง	92
ก27	อิทธิพลของปัจจัยทดลองและเวลาที่มีต่อค่าไนเตรทไนโตรเจนก่อนและหลังการบำบัดด้วยวิธีทางชีวภาพร่วมกับการคราดพรวนในบ่อจำลอง	93
ก28	อิทธิพลของปัจจัยทดลองและเวลาที่มีต่อค่าฟอสฟอรัสที่พืชใช้ได้ก่อนและหลังการบำบัดด้วยวิธีทางชีวภาพร่วมกับการคราดพรวน ในบ่อจำลอง	94
ก29	อิทธิพลของปัจจัยทดลองและเวลาที่มีต่อค่าพีเอชก่อนและหลังการบำบัดด้วยวิธีทางชีวภาพร่วมกับการคราดพรวนในบ่อจำลอง	95
ก30	อิทธิพลของปัจจัยทดลองและเวลาที่มีต่อปริมาณวิบริโอรวมก่อนและหลังการบำบัดด้วยวิธีทางชีวภาพร่วมกับการคราดพรวนในบ่อจำลอง	96
ก31	อิทธิพลของปัจจัยทดลองและเวลาที่มีต่อปริมาณบาซิลลัสรวมก่อนและหลังการบำบัดด้วยวิธีทางชีวภาพร่วมกับการคราดพรวนในบ่อจำลอง	97

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางผนวกที่		หน้า
ข1	ค่าอินทรียวัตถุก่อนและหลังการบำบัดดินด้วยวิธีทางชีวภาพร่วมกับการคราดพรวนในบ่อเลี้ยงกุ้ง	99
ข2	อิทธิพลของปัจจัยทดลอง อิทธิพลของเวลา และอิทธิพลร่วมของปัจจัยทั้งสองต่อค่าเฉลี่ยอินทรียวัตถุของดินที่ผ่านการบำบัดด้วยวิธีชีวภาพร่วมกับการคราดพรวนในบ่อเลี้ยงกุ้ง	100
ข3	ค่าอินทรีย์คาร์บอนก่อนและหลังการบำบัดดินด้วยวิธีทางชีวภาพร่วมกับการคราดพรวนในบ่อเลี้ยงกุ้ง	101
ข4	อิทธิพลของปัจจัยทดลอง อิทธิพลของเวลา และอิทธิพลร่วมของปัจจัยทั้งสองต่อค่าเฉลี่ยอินทรีย์คาร์บอนของดินที่ผ่านการบำบัดด้วยวิธีชีวภาพร่วมกับการคราดพรวนในบ่อเลี้ยงกุ้ง	102
ข5	ค่าไนโตรเจนรวมก่อนและหลังการบำบัดดินด้วยวิธีทางชีวภาพร่วมกับการคราดพรวนในบ่อเลี้ยงกุ้ง	103
ข6	อิทธิพลของปัจจัยทดลอง อิทธิพลของเวลา และอิทธิพลร่วมของปัจจัยทั้งสองต่อค่าเฉลี่ยไนโตรเจนรวมของดินที่ผ่านการบำบัดด้วยวิธีชีวภาพร่วมกับการคราดพรวนในบ่อเลี้ยงกุ้ง	104
ข7	ค่าแอมโมเนียไนโตรเจนก่อนและหลังการบำบัดดินด้วยวิธีทางชีวภาพร่วมกับการคราดพรวนในบ่อเลี้ยงกุ้ง	105
ข8	อิทธิพลของปัจจัยทดลอง อิทธิพลของเวลา และอิทธิพลร่วมของปัจจัยทั้งสองต่อค่าเฉลี่ยแอมโมเนียไนโตรเจนของดินที่ผ่านการบำบัดด้วยวิธีชีวภาพร่วมกับการคราดพรวนในบ่อเลี้ยงกุ้ง	106
ข9	ค่าไนไตรท์ไนโตรเจนก่อนและหลังการบำบัดดินด้วยวิธีทางชีวภาพร่วมกับการคราดพรวนในบ่อเลี้ยงกุ้ง	107
ข10	อิทธิพลของปัจจัยทดลอง อิทธิพลของเวลา และอิทธิพลร่วมของปัจจัยทั้งสองต่อค่าเฉลี่ยไนไตรท์ไนโตรเจนของดินที่ผ่านการบำบัดด้วยวิธีชีวภาพร่วมกับการคราดพรวนในบ่อเลี้ยงกุ้ง	108

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางผนวกที่		หน้า
ข11	ค่าไนเตรทไนโตรเจนก่อนและหลังการบำบัดดินด้วยวิธีทางชีวภาพร่วมกับการคราดพรวนในบ่อเลี้ยงกุ้ง	110
ข12	อิทธิพลของปัจจัยทดลอง อิทธิพลของเวลา และอิทธิพลร่วมของปัจจัยทั้งสองต่อค่าเฉลี่ยไนเตรทไนโตรเจนของดินที่ผ่านการบำบัดด้วยวิธีชีวภาพร่วมกับการคราดพรวนในบ่อเลี้ยงกุ้ง	111
ข13	ค่าฟอสฟอรัสที่พืชใช้ได้ก่อนและหลังการบำบัดดินด้วยวิธีทางชีวภาพร่วมกับการคราดพรวนในบ่อเลี้ยงกุ้ง	112
ข14	อิทธิพลของปัจจัยทดลอง อิทธิพลของเวลา และอิทธิพลร่วมของปัจจัยทั้งสองต่อค่าเฉลี่ยฟอสฟอรัสที่พืชใช้ได้ของดินที่ผ่านการบำบัดด้วยวิธีชีวภาพร่วมกับการคราดพรวนในบ่อเลี้ยงกุ้ง	113
ข15	ค่าพีเอชและหลังการบำบัดดินด้วยวิธีทางชีวภาพร่วมกับการคราดพรวนในบ่อเลี้ยงกุ้ง	114
ข16	อิทธิพลของปัจจัยทดลอง อิทธิพลของเวลา และอิทธิพลร่วมของปัจจัยทั้งสองต่อค่าเฉลี่ยพีเอชของดินที่ผ่านการบำบัดด้วยวิธีชีวภาพร่วมกับการคราดพรวนในบ่อเลี้ยงกุ้ง	115
ข17	ปริมาณวิบริโอรวมก่อนและหลังการบำบัดดินด้วยวิธีทางชีวภาพร่วมกับการคราดพรวนในบ่อเลี้ยงกุ้ง	116
ข18	อิทธิพลของปัจจัยทดลอง อิทธิพลของเวลา และอิทธิพลร่วมของปัจจัยทั้งสองต่อค่าเฉลี่ยวิบริโอรวมของดินที่ผ่านการบำบัดด้วยวิธีชีวภาพร่วมกับการคราดพรวนในบ่อเลี้ยงกุ้ง	117
ข19	ปริมาณบาซิลลัสรวมก่อนและหลังการบำบัดดินด้วยวิธีทางชีวภาพร่วมกับการคราดพรวนในบ่อเลี้ยงกุ้ง	119
ข20	อิทธิพลของปัจจัยทดลอง อิทธิพลของเวลา และอิทธิพลร่วมของปัจจัยทั้งสองต่อค่าเฉลี่ยบาซิลลัสรวมของดินที่ผ่านการบำบัดด้วยวิธีชีวภาพร่วมกับการคราดพรวนในบ่อเลี้ยงกุ้ง	120

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางผนวกที่ **หน้า**

ค1 อิทธิพลของปัจจัยทดลองและเวลาที่มีต่อค่าอินทรียวัตถุก่อนและหลังการบำบัดด้วยวิธีทางชีวภาพร่วมกับการคราดพรวนในบ่อเลี้ยงกุ้งทะเล 123

ค2 อิทธิพลของปัจจัยทดลองและเวลาที่มีต่อค่าอินทรีย์คาร์บอนก่อนและหลังการบำบัดด้วยวิธีทางชีวภาพร่วมกับการคราดพรวนในบ่อเลี้ยงกุ้งทะเล 124

ค3 อิทธิพลของปัจจัยทดลองและเวลาที่มีต่อค่าไนโตรเจนรวมก่อนและหลังการบำบัดด้วยวิธีทางชีวภาพร่วมกับการคราดพรวนในบ่อเลี้ยงกุ้งทะเล 125

ค4 อิทธิพลของปัจจัยทดลองและเวลาที่มีต่อค่าแอมโมเนียไนโตรเจนก่อนและหลังการบำบัดด้วยวิธีทางชีวภาพร่วมกับการคราดพรวนในบ่อเลี้ยงกุ้งทะเล 126

ค5 อิทธิพลของปัจจัยทดลองและเวลาที่มีต่อค่าไนไตรท์ไนโตรเจนก่อนและหลังการบำบัดด้วยวิธีทางชีวภาพร่วมกับการคราดพรวนในบ่อเลี้ยงกุ้งทะเล 127

ค6 อิทธิพลของปัจจัยทดลองและเวลาที่มีต่อค่าไนเตรทไนโตรเจนก่อนและหลังการบำบัดด้วยวิธีทางชีวภาพร่วมกับการคราดพรวนในบ่อเลี้ยงกุ้งทะเล 128

ค7 อิทธิพลของปัจจัยทดลองและเวลาที่มีต่อค่าฟอสฟอรัสที่พืชใช้ได้ก่อนและหลังการบำบัดด้วยวิธีทางชีวภาพร่วมกับการคราดพรวนในบ่อเลี้ยงกุ้งทะเล 129

ค8 อิทธิพลของปัจจัยทดลองและเวลาที่มีต่อค่าพีเอชก่อนและหลังการบำบัดด้วยวิธีทางชีวภาพร่วมกับการคราดพรวนในบ่อเลี้ยงกุ้งทะเล 130

ค9 อิทธิพลของปัจจัยทดลองและเวลาที่มีต่อปริมาณวิบริโอรวมก่อนและหลังการบำบัดด้วยวิธีทางชีวภาพร่วมกับการคราดพรวนในบ่อเลี้ยงกุ้งทะเล 131

ค10 อิทธิพลของปัจจัยทดลองและเวลาที่มีต่อปริมาณบาซิลลัสรวมก่อนและหลังการบำบัดด้วยวิธีทางชีวภาพร่วมกับการคราดพรวนในบ่อเลี้ยงกุ้งทะเล 132

สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
1	ระบบนิเวศที่เกิดขึ้นภายในบ่อเพาะเลี้ยงกุ้ง	5
2	ลักษณะพื้นที่บ่อเลี้ยงกุ้งทะเลในระหว่างการเลี้ยงกุ้งและหลังจากการจับกุ้ง	21
3	ลักษณะดินเลนวันที่ 0 (ก่อนการบำบัด) และวันที่ 7, 14, 28, 42 และ 56	30
4	ปริมาณอินทรียวัตถุ (มก./กก.) ในดินก้นบ่อเลี้ยงกุ้งทะเลที่ผ่านการบำบัดโดยวิธีการทางชีวภาพร่วมกับการคราดพรวนที่ระยะเวลาต่าง ๆ กันในบ่อเลี้ยงกุ้ง	35
5	ปริมาณอินทรีย์คาร์บอน (มก./กก.) ในดินก้นบ่อเลี้ยงกุ้งทะเลที่ผ่านการบำบัดโดยวิธีการทางชีวภาพร่วมกับการคราดพรวนที่ระยะเวลาต่าง ๆ กันในบ่อเลี้ยงกุ้ง	35
6	ปริมาณไนโตรเจนรวม (มก./กก.) ในดินก้นบ่อเลี้ยงกุ้งทะเลที่ผ่านการบำบัดโดยวิธีการทางชีวภาพร่วมกับการคราดพรวนที่ระยะเวลาต่าง ๆ กันในบ่อเลี้ยงกุ้ง	36
7	ปริมาณแอมโมเนียไนโตรเจน (มก./กก.) ในดินก้นบ่อเลี้ยงกุ้งทะเลที่ผ่านการบำบัดโดยวิธีการทางชีวภาพร่วมกับการคราดพรวนที่ระยะเวลาต่าง ๆ กันในบ่อเลี้ยงกุ้ง	36
8	ปริมาณไนไตรท์ไนโตรเจน (มก./กก.) ในดินก้นบ่อเลี้ยงกุ้งทะเลที่ผ่านการบำบัดโดยวิธีการทางชีวภาพร่วมกับการคราดพรวนที่ระยะเวลาต่าง ๆ กันในบ่อเลี้ยงกุ้ง	37
9	ปริมาณไนเตรทไนโตรเจน (มก./กก.) ในดินก้นบ่อเลี้ยงกุ้งทะเลที่ผ่านการบำบัดโดยวิธีการทางชีวภาพร่วมกับการคราดพรวนที่ระยะเวลาต่าง ๆ กันในบ่อเลี้ยงกุ้ง	37
10	ปริมาณฟอสฟอรัสที่พืชใช้ได้ (มก./กก.) ในดินก้นบ่อเลี้ยงกุ้งทะเลที่ผ่านการบำบัดโดยวิธีการทางชีวภาพร่วมกับการคราดพรวนที่ระยะเวลาต่าง ๆ กันในบ่อเลี้ยงกุ้ง	38
11	ค่าพีเอชในดินก้นบ่อเลี้ยงกุ้งทะเลที่ผ่านการบำบัดโดยวิธีการทางชีวภาพร่วมกับการคราดพรวนที่ระยะเวลาต่าง ๆ กันในบ่อเลี้ยงกุ้ง	38
12	ปริมาณวิบริโอรวม (CFU/g) ในดินก้นบ่อเลี้ยงกุ้งทะเลที่ผ่านการบำบัดโดยวิธีการทางชีวภาพร่วมกับการคราดพรวนที่ระยะเวลาต่าง ๆ กันในบ่อเลี้ยงกุ้ง	39
13	ปริมาณบาซิลลัสรวม (CFU/g) ในดินก้นบ่อเลี้ยงกุ้งทะเลที่ผ่านการบำบัดโดยวิธีการทางชีวภาพร่วมกับการคราดพรวนที่ระยะเวลาต่าง ๆ กันในบ่อเลี้ยงกุ้ง	39

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพผนวกที่ **หน้า**

ก1 ปริมาณอินทรียวัตถุ (มก./กก.) ในดินก้นบ่อเลี้ยงกุ้งทะเลที่ผ่านการบำบัดโดยวิธีการทางชีวภาพร่วมกับการคราดพรวนที่ระยะเวลาต่าง ๆ กันในบ่อจำลอง 61

ก2 ปริมาณอินทรีย์คาร์บอน (มก./กก.) ในดินก้นบ่อเลี้ยงกุ้งทะเลที่ผ่านการบำบัดโดยวิธีการทางชีวภาพร่วมกับการคราดพรวนที่ระยะเวลาต่าง ๆ กันในบ่อจำลอง 61

ก3 ปริมาณไนโตรเจนรวม (มก./กก.) ในดินก้นบ่อเลี้ยงกุ้งทะเลที่ผ่านการบำบัดโดยวิธีการทางชีวภาพร่วมกับการคราดพรวนที่ระยะเวลาต่าง ๆ กันในบ่อจำลอง 62

ก4 ปริมาณแอมโมเนียไนโตรเจน (มก./กก.) ในดินก้นบ่อเลี้ยงกุ้งทะเลที่ผ่านการบำบัดโดยวิธีการทางชีวภาพร่วมกับการคราดพรวนที่ระยะเวลาต่าง ๆ กันในบ่อจำลอง 62

ก5 ปริมาณไนไตรท์ไนโตรเจน (มก./กก.) ในดินก้นบ่อเลี้ยงกุ้งทะเลที่ผ่านการบำบัดโดยวิธีการทางชีวภาพร่วมกับการคราดพรวนที่ระยะเวลาต่าง ๆ กันในบ่อจำลอง 63

ก6 ปริมาณไนเตรทไนโตรเจน (มก./กก.) ในดินก้นบ่อเลี้ยงกุ้งทะเลที่ผ่านการบำบัดโดยวิธีการทางชีวภาพร่วมกับการคราดพรวนที่ระยะเวลาต่าง ๆ กันในบ่อจำลอง 63

ก7 ปริมาณฟอสฟอรัสที่พืชใช้ได้ (มก./กก.) ในดินก้นบ่อเลี้ยงกุ้งทะเลที่ผ่านการบำบัดโดยวิธีการทางชีวภาพร่วมกับการคราดพรวนที่ระยะเวลาต่าง ๆ กันในบ่อจำลอง 64

ก8 ค่าพีเอชในดินก้นบ่อเลี้ยงกุ้งทะเลที่ผ่านการบำบัดโดยวิธีการทางชีวภาพร่วมกับการคราดพรวนที่ระยะเวลาต่าง ๆ กันในบ่อจำลอง 64

ก9 ปริมาณวิบริโอรวม (CFU/g) ในดินก้นบ่อเลี้ยงกุ้งทะเลที่ผ่านการบำบัดโดยวิธีการทางชีวภาพร่วมกับการคราดพรวนที่ระยะเวลาต่าง ๆ กันในบ่อจำลอง 65

ก10 ปริมาณบาซิลลัสรวม (CFU/g) ในดินก้นบ่อเลี้ยงกุ้งทะเลที่ผ่านการบำบัดโดยวิธีการทางชีวภาพร่วมกับการคราดพรวนที่ระยะเวลาต่าง ๆ กันในบ่อจำลอง 65

การฟื้นฟูดินก้นบ่อเลี้ยงกุ้งทะเลระบบปิดด้วยวิธีทางชีวภาพร่วมกับการคราดพรวน

Bottom Soil Remediation in Shrimp Cultivation Pond Using Biological Treatment with Plowing Method

คำนำ

ในระยะเวลาสิบปีที่ผ่านมาประเทศไทยเป็นผู้นำการผลิตและส่งออกผลิตภัณฑ์กุ้งที่มีคุณภาพติดตลาดโลก โดยปี พ.ศ. 2549 ผลิตภัณฑ์กุ้งของไทยส่งออกไปขายในตลาดโลกรวมทั้งสิ้น 346,416 ตัน คิดเป็นมูลค่าการส่งออก 86,573 ล้านบาท (กลุ่มวิเคราะห์การค้าสินค้าประมง ระหว่างประเทศ, 2550) จากผลกำไรที่คุ้มค่าต่อการลงทุนส่งผลให้พื้นที่ในการเพาะเลี้ยงกุ้งเพิ่มมากขึ้นอย่างรวดเร็ว แต่เนื่องจากขาดการจัดการที่ดี พื้นที่การเพาะเลี้ยงเหล่านี้จึงเกิดปัญหาน้ำในบ่อเลี้ยงและพื้นบ่อเลี้ยงกุ้งเน่าเสียกลายเป็นแหล่งสะสมของเชื้อโรคและมลพิษ ซึ่งผลจากสภาพแวดล้อมที่เสื่อมโทรมลงทำให้กุ้งเกิดการติดเชื้อได้ง่ายและตายลงเป็นจำนวนมาก

แนวทางการแก้ไขปัญหาการเน่าเสียของน้ำและดินในบ่อเพาะเลี้ยงกุ้งที่เกษตรกรผู้เลี้ยงกุ้งใช้โดยทั่วไปมี 2 วิธี คือ ตากบ่อให้แห้งจากนั้นใช้รถแทรกเตอร์ปาดบริเวณผิวหน้าดินที่อยู่ก้นบ่อออก วิธีนี้สามารถลดตะกอนเลนที่แห้งแล้วได้แต่จะต้องเสียค่าใช้จ่ายสูง และมีข้อจำกัดคือไม่สามารถทำได้ในฤดูฝน อีกทั้งเมื่อปาดดินก้นบ่อไปแล้วหลายครั้ง จะทำให้พื้นก้นบ่อต่ำกว่าประตูระบายน้ำทำให้มีปัญหาในการระบายน้ำ วิธีที่สองใช้วิธีการฉีดเลน ซึ่งเสียค่าใช้จ่ายน้อยกว่า แต่การฉีดเลนแล้วปล่อยลงสู่แหล่งน้ำสาธารณะจะก่อให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม นอกจากนี้การเตรียมบ่ออีกแบบหนึ่งซึ่งไม่มีการนำเลนออกจากบ่อแต่จะมีการไถพรวนให้ดินที่อยู่ชั้นล่างขึ้นมาสัมผัสอากาศและแดดเป็นเวลานานพอเพียง นับเป็นทางเลือกหนึ่งในการจัดการตะกอนเลน นอกจากจะเสียค่าใช้จ่ายน้อยกว่า 2 วิธีที่กล่าวมา ยังไม่มีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม กระบวนการบำบัดของจุลินทรีย์ในดินจะช่วยเปลี่ยนของเสียต่าง ๆ ให้กลับไปอยู่ในรูปที่ไม่เป็นโทษและมีความเหมาะสมในการเลี้ยงกุ้งครั้งต่อไปได้

ปัจจุบันมีการใช้จุลินทรีย์ที่มีประสิทธิภาพโดยเฉพาะจุลินทรีย์กลุ่มบาซิลลัสบำบัดพื้นบ่อและช่วยควบคุมคุณภาพน้ำในอุตสาหกรรมเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำกันมาก เนื่องจากจุลินทรีย์ดังกล่าวมี

ประสิทธิภาพสูงในการย่อยสลายสารอินทรีย์ อีกทั้งยังง่ายต่อการเก็บรักษาและขนส่ง (van Rijn *et al*., 1995; van Rijn and Nussinovitch, 1997; Queiroz and Boyd, 1998) อย่างไรก็ตาม การที่จุลินทรีย์ที่เติมลงไปจะย่อยสลายของเสียอย่างมีประสิทธิภาพนั้น จุลินทรีย์จะต้องอยู่ในสภาพแวดล้อมที่ส่งเสริมกิจกรรมของจุลินทรีย์ด้วย

การวิจัยในครั้งนี้จึงนำกระบวนการบำบัดตะกอนเลนทางกายภาพและชีวภาพมาประยุกต์ใช้ร่วมกันเพื่อการบำบัดดินเลนจากการเลี้ยงกุ้งในบ่อจำลองและในบ่อเลี้ยงกุ้งจริง โดยศึกษาประสิทธิภาพในการบำบัดด้วยการคราดพรวนร่วมกับจุลินทรีย์ทางการค้าซึ่งไม่เคยมีการศึกษาร่วมกันมาก่อนที่ระยะเวลาบำบัดต่าง ๆ เปรียบเทียบกับวิธีต่าง ๆ ที่เกษตรกรผู้เลี้ยงกุ้งใช้ทั่วไป 3 วิธี คือ การตากดินรดด้วยจุลินทรีย์ EM และการคราดพรวน ทั้งนี้เพื่อเป็นแนวทางในการเตรียมบ่อเลี้ยงกุ้งของเกษตรกรทั้งในด้านวิธีการและระยะเวลาที่เหมาะสม เพื่อการจัดการสิ่งแวดล้อมที่ดีและนำพาให้เกิดอุตสาหกรรมการเลี้ยงกุ้งที่ยั่งยืนสามารถแข่งขันในตลาดโลกที่ให้ความสำคัญด้านสิ่งแวดล้อมเพิ่มมากขึ้น

วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาประสิทธิภาพของการฟื้นฟูดินก้นบ่อเลี้ยงกุ้งทะเลระบบปิดด้วยวิธีทางชีวภาพร่วมกับการคราดพรวนในบ่อจำลอง และบ่อเลี้ยงกุ้งทะเลระบบปิด

2. เปรียบเทียบประสิทธิภาพการฟื้นฟูดินก้นบ่อเลี้ยงกุ้งทะเลวิธีการต่าง ๆ

การตรวจเอกสาร

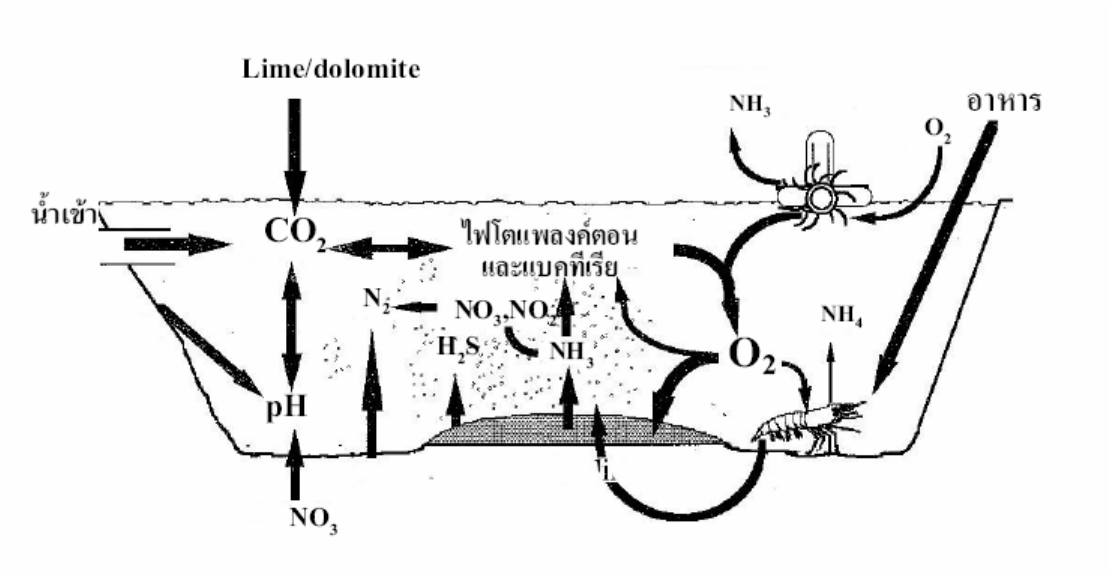
1. ระบบการเพาะเลี้ยงกุ้งทะเล

ประเทศไทยเป็นผู้นำการผลิตและการส่งออกกุ้งติดต่อกันมาเป็นระยะเวลานาน โดยเริ่มมีการเลี้ยงกุ้งแบบธรรมชาติ (extensive system) ที่ใช้พันธุ์กุ้งและอาหารจากทะเล ประมาณปี พ.ศ. 2490 (อารีย์, 2530) การเลี้ยงกุ้งแบบธรรมชาติให้ผลผลิตค่อนข้างต่ำและไม่แน่นอนขึ้นอยู่กับสภาพพื้นที่ตั้งของนากุ้งและฤดูกาลเป็นสำคัญ ต่อมาพันธุ์กุ้งจากธรรมชาติมีจำนวนไม่เพียงพอกับความต้องการ ภาครัฐโดยกรมประมงได้คิดหาวิธีการเพาะพันธุ์กุ้งทะเล และประสบความสำเร็จในการเพาะพันธุ์กุ้งกุลาดำและกุ้งแชบ๊วยระหว่างปี พ.ศ. 2514 – 2516 หลังจากนั้นจึงเริ่มมีการนำลูกพันธุ์จากโรงเพาะฟักมาปล่อยลงเลี้ยงเสริมลูกพันธุ์จากธรรมชาติเรียกว่าเป็นการเลี้ยงแบบกึ่งพัฒนา (semi-intensive system) (ประจวบ, 2527) และในปี พ.ศ. 2529 ได้เริ่มมีการเลี้ยงกุ้งกุลาดำแบบพัฒนาหรือแบบหนาแน่น (intensive system) โดยใช้ลูกพันธุ์จากการเพาะเพียงอย่างเดียว ปัจจุบันมีการเลี้ยงกุ้งระบบพัฒนาแบบปิด (Intensive culture by closed system) คือการเลี้ยงกุ้งโดยไม่ปล่อยหรือถ่ายเทน้ำจากบ่อออกไปสู่แหล่งน้ำธรรมชาติได้โดยตรงทำให้ไม่ทำลายสิ่งแวดล้อม ในการเลี้ยงกุ้งทะเลแบบพัฒนาหรือแบบหนาแน่นไม่ว่าจะเป็นกุ้งกุลาดำหรือกุ้งขาวจำเป็นต้องให้อาหารสำเร็จรูปที่มีโปรตีนสูงตลอดจนมีการใช้ปุ๋ยอินทรีย์ อนินทรีย์ ยาปฏิชีวนะและเคมีภัณฑ์ต่าง ๆ ในระหว่างการเลี้ยง จึงมีของเสียจากการขับถ่ายของกุ้งและเศษอาหารตกค้างอยู่บริเวณก้นบ่อจำนวนมาก (คณิต และยงยุทธ, 2537) ซึ่งมีผลต่อคุณภาพน้ำและคุณภาพดินภายในบ่อเลี้ยงและแหล่งน้ำธรรมชาติ

2. ระบบนิเวศภายในบ่อเพาะเลี้ยงกุ้ง

ระบบนิเวศของบ่อเพาะเลี้ยงกุ้งจะมีความคล้ายคลึงกับระบบนิเวศของแหล่งน้ำตามธรรมชาติโดยมีแสงอาทิตย์เป็นพลังงานต้นกำเนิดซึ่งพืชสีเขียว แพลงก์ตอน และแบคทีเรียกลุ่มไซยาโนแบคทีเรีย (Cyanobacteria) สามารถนำมาใช้ในปฏิกิริยาการสังเคราะห์ด้วยแสงเพื่อการเจริญเติบโต ได้ออกซิเจนและกลูโคสเป็นผลผลิต โดยมีคาร์บอนไดออกไซด์และน้ำเป็นสารตั้งต้นที่สำคัญ ดังสมการ

$$6CO_2 + 6H_2O \xrightarrow{\text{แสง}} C_6H_{12}O_6 + 6O_2$$



ภาพที่ 1 ระบบนิเวศที่เกิดขึ้นภายในบ่อเพาะเลี้ยงกุ้ง
ที่มา: Simon (1988)

ภาพที่ 1 แสดงให้เห็นถึงความสัมพันธ์ระหว่างปฏิกิริยาการสังเคราะห์ด้วยแสง ซึ่งมีการผลิตออกซิเจนและปฏิกิริยาที่มีการใช้ออกซิเจนโดยสิ่งมีชีวิตที่อยู่ภายในบ่อ ในสภาวะตามธรรมชาติปฏิกิริยาทั้งสองนี้จะเกิดขึ้นอย่างสมดุลซึ่งกันและกันทำให้มีระดับออกซิเจนเหนือระดับผิวน้ำประมาณ 21% เมื่อเปรียบเทียบกับที่ระดับผิวหน้าน้ำทะเลขณะที่ออกซิเจนสามารถละลายในน้ำได้สูงสุด 8 มก./ล. (มั่นสิน และไพพรรณ, 2539) ออกซิเจนที่ละลายอยู่ในน้ำจะถูกสิ่งมีชีวิตที่อาศัยอยู่ในน้ำนำไปใช้ในกิจกรรมต่าง ๆ เช่น กุ้งและพืชน้ำจะนำไปใช้ในการหายใจ ในขณะที่แบคทีเรียและจุลินทรีย์อื่น ๆ จะนำไปใช้ในการย่อยสลายสารอินทรีย์ (organic matter) ที่อยู่ภายในบ่อเช่นเดียวกัน ทำให้ออกซิเจนที่ละลายอยู่ในน้ำมีปริมาณลดลงจึงต้องมีการดึงเอาออกซิเจนจากชั้นบรรยากาศลงมาในส่วนของชั้นน้ำเพิ่มมากขึ้น ในกรณีของการเพาะเลี้ยงกุ้งแบบหนาแน่นกุ้งจะมีการแย่งใช้ออกซิเจนมากกว่าแหล่งน้ำธรรมชาติ ขณะที่แบคทีเรียและจุลินทรีย์อื่น ๆ ก็ต้องการใช้ออกซิเจนในการย่อยสลายสารอินทรีย์เพิ่มมากขึ้นเช่นกัน ทำให้ออกซิเจนในน้ำลดลงอย่างรวดเร็วและออกซิเจนจากชั้นบรรยากาศไม่สามารถละลายลงในส่วนชั้นน้ำได้ทันกับความต้องการของกุ้ง ดังนั้นในการเพาะเลี้ยงกุ้งแบบหนาแน่นจึงต้องมีการใช้เครื่องให้อากาศเพื่อเพิ่มปริมาณออกซิเจนให้เพียงพอต่อกิจกรรมต่าง ๆ ที่เกิดขึ้นภายในบ่อ

เมื่อพวกพืชน้ำและแพลงก์ตอนที่อยู่ในน้ำสังเคราะห์แสงจะมีการปลดปล่อยสารอินทรีย์ที่สามารถละลายน้ำได้ออกมา ขณะเดียวกันซากของสิ่งมีชีวิตที่ตาย เช่น ซากพืช ซากแพลงก์ตอน

ซากของกุ้งที่ตายไปบางส่วน อาหารที่เหลือตกค้าง สิ่งขับถ่ายของกุ้งและสิ่งมีชีวิตภายในบ่อ ส่วนใหญ่จะตกตะกอนรวมกันอยู่ที่ก้นบ่อกลายเป็นแหล่งของสารอินทรีย์ที่สำคัญ ซึ่งจะถูกย่อยสลายโดยจุลินทรีย์ที่อยู่ภายในบ่อให้กลายเป็นสารคาร์บอนอินทรีย์ที่อยู่ในรูปของสารละลายและอนุภาคของแข็งเพื่อใช้ในการเจริญเติบโตและการดำรงชีวิตของจุลินทรีย์และสิ่งมีชีวิตต่าง ๆ ที่อยู่ในบ่อ

3. ความสัมพันธ์ระหว่างดินและน้ำในการเลี้ยงกุ้ง

ในการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ ดินและน้ำเป็นสิ่งแวดล้อมที่สำคัญของสัตว์น้ำ ดินมีหน้าที่เก็บกักน้ำ เป็นที่อยู่อาศัยของพืชและสัตว์น้ำ เป็นที่สะสมสารต่าง ๆ และเป็นศูนย์กลางการหมุนเวียนของธาตุอาหารต่าง ๆ ภายในบ่อ (Boyd, 1990) รวมทั้งเป็นตัวบัฟเฟอร์ (Buffer) และเป็นตัวกรองทางชีวภาพ โดยดูดซับสารอินทรีย์ที่ตกค้างจากอาหาร สิ่งขับถ่าย และสารเมแทบอไลต์ต่าง ๆ (Ray and Chien, 1990) ในบ่อเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำจะมีการแลกเปลี่ยนของสารอินทรีย์และธาตุประกอบระหว่างดินกับน้ำ พื้นบ่อจะได้รับอินทรียวัตถุ ฟอสฟอรัส และคาร์บอเนตอย่างคงที่ กระบวนการหลัก ๆ ที่เกิดขึ้นในดินก้นบ่อมีด้วยกัน 2 กระบวนการ คือ การสะสม และการย่อยสลายอินทรียวัตถุ ทำให้เกิดการปลดปล่อยธาตุอาหาร รวมถึงการปลดปล่อยฟอสฟอรัส และคาร์บอเนตให้อยู่ในรูปที่เป็นประโยชน์ (Wrobel, 1965) การแลกเปลี่ยนธาตุอาหารระหว่างดินพื้นบ่อกับน้ำ และพีเอช (pH) ของดินพื้นบ่อจะมีอิทธิพลต่อแพลงก์ตอนพืช และสาหร่ายที่ก้นบ่อ ความเป็นกรดสูงจะยับยั้งการย่อยสลายสารอินทรีย์ทำให้ไม่เกิดการหมุนเวียนของธาตุอาหาร ลดปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ สารอินทรีย์ที่มีมากเกินไปจะทำให้พื้นบ่อขาดออกซิเจน เกิดผลเสียต่อกุ้ง และสิ่งมีชีวิตที่อาศัยบริเวณพื้นบ่อ นอกจากนี้จุลินทรีย์จะสร้างสารรีดิวซ์พวกไนไตรท์ เฟอรัส ไฮโดรเจนซัลไฟด์ แก๊สมีเทน และสารรีดิวซ์อื่น ๆ ที่เป็นอันตรายต่อกุ้งโดยตรง (สุวณิช, 2540 อ้างถึง Masuda and Boyd, 1993)

4. สมบัติของดินที่มีผลต่อการเลี้ยงกุ้ง

4.1 อินทรียวัตถุในดิน

อินทรียวัตถุในดิน หมายถึง อินทรียสารทุกชนิดที่มีอยู่ในดิน มีต้นกำเนิดมาจากซากพืชซากสัตว์และสิ่งมีชีวิตชนิดอื่น ๆ ที่สลายตัวทับถมอยู่ในดิน รวมทั้งอินทรียสารจากที่รากพืชปล่อยออกมา และจากที่จุลินทรีย์ดินสังเคราะห์ขึ้น (คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา, 2536) สาร

อินทรีย์จากซากพืชซากสัตว์ที่ถูกจุลินทรีย์ย่อยสลายไม่สมบูรณ์จะกลายเป็นฮิวมัสสีดำ ซึ่งมีความสำคัญต่อดินเพราะช่วยปรับปรุงเนื้อดินและโครงสร้างดิน ทำหน้าที่เป็นบัฟเฟอร์ช่วยไม่ให้พีเอชเปลี่ยนแปลงมากนัก ช่วยเพิ่มความสามารถในการอุ้มน้ำของดิน และเป็นแหล่งอาหารของจุลินทรีย์ สิ่งมีชีวิตในดินรวมทั้งพืชด้วย (นงลักษณ์ และ ปรีชา, 2539)

อัตราการสลายตัวของอินทรียสารจะแตกต่างไปตามชนิดของดินและสภาพแวดล้อมอื่น ๆ โดยอัตราการสลายตัวจะเกิดขึ้นอย่างสมบูรณ์เมื่อมีปริมาณออกซิเจนเพียงพอ คาร์บอนส่วนใหญ่จะเปลี่ยนเป็นแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ และองค์ประกอบของเซลล์ของจุลินทรีย์ ถ้ามีออกซิเจนจำกัด เช่น ดินที่มีน้ำขัง อัตราการสลายตัวจะช้าลงและเกิดไม่สมบูรณ์ สิ่งที่เกิดเพิ่มขึ้น คือ แก๊สมีเทน แก๊สไฮโดรเจน แอลกอฮอล์ และกรดอินทรีย์ (สมศักดิ์, 2528) การย่อยสลายถูกควบคุมด้วยปัจจัยหลายอย่าง เช่น อุณหภูมิ พีเอช ออกซิเจน และส่วนประกอบของสารอินทรีย์ (อัตราส่วนของปริมาณคาร์บอนและปริมาณไนโตรเจน) (มั่นสิน และไพพรรณ, 2539)

แหล่งที่มาของสารอินทรีย์ในบ่อเลี้ยงสัตว์น้ำมาจากเศษอาหารที่เหลือ การใส่ปุ๋ยอินทรีย์ การตายของแพลงก์ตอน และสิ่งขับถ่ายที่สัตว์น้ำปล่อยออกมา รวมทั้งตะกอนที่มากับน้ำ ซึ่งพบว่าปริมาณสารอินทรีย์มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามความลึกของบ่อ (Boyd, 1990) จากการศึกษาของสุวณิช (2540) เกี่ยวกับปริมาณอินทรียวัตถุในดินพื้นบ่อเลี้ยงกุ้งที่ดำเนินการเลี้ยงอยู่ เป็นเวลา 5 6 และ 7 ปี และดินพื้นบ่อเลี้ยงกุ้งที่ปล่อยร้างเป็นเวลา 3 5 และ 6 ปี โดยเปรียบเทียบกับดินเดิมที่ไม่ถูกผลกระทบจากการเลี้ยงกุ้ง พบว่าปริมาณสารอินทรีย์ในบ่อที่เลี้ยงกุ้งมีการสะสมเมื่อบ่อมีอายุมากขึ้น โดยพบในดินพื้นบ่อที่ระดับความลึก 5-15 เซนติเมตรในกลุ่มบ่อเลี้ยงอายุ 7 ปี และพบการตกค้างของสารอินทรีย์ในบ่อร้างอายุ 5 และ 6 ปี ส่วนบ่อร้างอายุ 3 ปี พบปริมาณสารอินทรีย์ไม่แตกต่างจากดินเดิม

4.2 ไนโตรเจนในดิน

ธาตุไนโตรเจนในดินที่พืชสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้จะอยู่ในรูปไนเตรทและแอมโมเนียมอิออนเป็นส่วนใหญ่ ปริมาณและรูปของไนโตรเจนที่มีอยู่ในดินขณะใดขณะหนึ่งไม่แน่นอนเพราะมีการเปลี่ยนแปลงอยู่เสมอ มีปริมาณเพิ่มขึ้นและสูญหายไปจากดินได้ง่าย (คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา, 2536) ไนโตรเจนเป็นส่วนประกอบอินทรียสารที่มีความสำคัญต่อความเป็นอยู่ของพืชและสัตว์ เป็นส่วนประกอบของโปรตีนและไขมัน (เปี่ยมศักดิ์, 2536) เมื่อพืชและสัตว์ตายลงสารประกอบโปรตีนในร่างกายจะถูกย่อยสลายเปลี่ยนไปเป็นสารประกอบอื่น ๆ ของเสียที่ถูก

ขับถ่ายออกมาโดยเฉพาะจากสัตว์จะมีสารประกอบพวกโปรตีนที่ยังย่อยไม่หมด สารเหล่านี้จะถูกแบคทีเรียย่อยสลายให้เป็นแอมโมเนีย ไนไตรท์และไนเตรท ตามลำดับ (ไมตรี และ จารุวรรณ, 2528) ไนโตรเจนเป็นธาตุหลักที่สำคัญในแง่ของปุ๋ย สำหรับการเจริญเติบโตของพืชและแพลงก์ตอนพืช การใส่ปุ๋ยจะช่วยเพิ่มอาหารธรรมชาติในบ่อเลี้ยงสัตว์น้ำ ส่วนไนไตรท์จะเป็นพิษต่อสัตว์น้ำ (ยนต์, 2530) แอมโมเนียในน้ำเกิดจากปุ๋ยมูลสัตว์และการย่อยสลายของซากอินทรีย์ พีเอชจะเป็นตัวกำหนดรูปของแอมโมเนียว่าจะเป็นแก๊สแอมโมเนียหรือแอมโมเนียมอิออน กระบวนการไนตริฟิเคชั่นจะเกิดขึ้นในดินก้นบ่อได้ดี เมื่อมีค่าพีเอช 7-8 และอุณหภูมิ 25-35 องศาเซลเซียส และกระบวนการดีไนตริฟิเคชันจะเกิดขึ้นในน้ำที่ไม่มีออกซิเจนและในดินก้นบ่อ (มั่นสิน และ ไพพรรณ, 2539) และที่พีเอชดินในช่วง 5-8 พบว่า 90% ของไนโตรเจนจะอยู่ในรูปแอมโมเนียมอิออน (Boyd, 1995) เมื่อพีเอชของน้ำสูงขึ้นอัตราส่วนของแอมโมเนีย (NH_3) จะสูงขึ้น ทำให้ความเป็นพิษต่อสัตว์น้ำมีมากขึ้น ในการเลี้ยงกุ้งในบ่อที่มีแอมโมเนียสูงจะมีผลทำให้การเจริญเติบโตต่ำและการเลี้ยงกุ้งในระยะยาวจะมีค่าแอมโมเนียสูง (ดุสิต และคณะ, 2537) และจากการศึกษา Schindler *et al.* (1987) พบว่าการเพิ่มจำนวนของสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินที่สามารถตรึงไนโตรเจนได้จะทำให้เพิ่มไนโตรเจนในตะกอนในทะเลสาบ

แอมโมเนียและไนไตรท์ เป็นสารประกอบไนโตรเจนที่เป็นพิษต่อกุ้งและสัตว์น้ำ เมื่อเกิดการเน่าสลายของเศษอาหารที่เหลือ แพลงก์ตอนที่ตาย รวมทั้งเศษซากพืชซากสัตว์และสารอินทรีย์อื่น ๆ โดยจุลินทรีย์ แล้วปล่อยแอมโมเนียออกมาสู่แหล่งน้ำ ในสภาวะที่มีออกซิเจนแบคทีเรียจำพวกไนตริไฟอิ้งแบคทีเรีย (nitrifying bacteria) จะเปลี่ยนแอมโมเนียเป็นไนไตรท์และไนเตรทตามลำดับ ผลจากการเกิดปฏิกิริยาไนตริฟิเคชั่นจะทำให้ปริมาณแอมโมเนียลดลง มีการใช้ออกซิเจนมากขึ้นทำให้น้ำมีออกซิเจนลดลง และเนื่องจากมีการใช้ไบคาร์บอเนตและปล่อยคาร์บอนไดออกไซด์ออกมาจะทำให้น้ำมีพีเอชต่ำลง ในกรณีที่ขาดออกซิเจนหรือมีปริมาณออกซิเจนไม่พอเป็นสาเหตุหนึ่งที่ทำให้การเปลี่ยนแปลงแอมโมเนียเปลี่ยนเป็นไนเตรทไม่สมบูรณ์จะทำให้เกิดการสะสมของไนไตรท์ในน้ำได้

ความเป็นพิษของไนไตรท์ต่อสัตว์น้ำ เกิดจากการที่ไนไตรท์ไปออกซิไดซ์เหล็ก ซึ่งเป็นองค์ประกอบของฮีโมโกลบิน ทำให้กลายเป็นเมทฮีโมโกลบิน (methemoglobin) ซึ่งไม่สามารถขนถ่ายออกซิเจนได้ ทำให้สัตว์น้ำตายเนื่องจากการขาดออกซิเจน (ชลอ, 2543) ไนไตรท์จะเป็นสารประกอบไนโตรเจนที่พบปริมาณน้อยในแหล่งน้ำธรรมชาติ พุทธ (2549) รายงานว่าไนไตรท์ในระดับ 0.5-1.0 ส่วนในล้านส่วน ทำให้กุ้งกินอาหารน้อยลง

ไนเตรทเป็นธาตุอาหารไนโตรเจนในรูปแบบหนึ่งที่พืชและแพลงก์ตอนพืชสามารถนำไปใช้ได้ ไนเตรทจึงมีความสำคัญต่อสัตว์และระบบนิเวศในน้ำในแง่ของการเป็นธาตุอาหารให้แก่พืชน้ำ ทำให้เพิ่มผลผลิตขั้นต้นของในบ่อหรือแหล่งน้ำ แหล่งที่มาของไนเตรทในน้ำส่วนใหญ่มาจากการออกซิไดซ์แอมโมเนียในกระบวนการไนตริฟิเคชั่น ในสภาพขาดออกซิเจนจุลินทรีย์หลายชนิดสามารถใช้ไนเตรท ไนไตรท์ หรือสารประกอบไนโตรเจนในรูปออกซิไดซ์อื่น ๆ เป็นตัวรับอิเล็คตรอนแทนออกซิเจนในการหายใจ โดยผ่านกระบวนการดีไนตริฟิเคชั่น (denitrification) ซึ่งจะให้ผลผลิตเป็นสารไนโตรเจนในรูปก๊าซไนโตรเจน (N_2) ไนตรัสออกไซด์ (N_2O) และบางครั้งอาจเกิดไนตริกออกไซด์ (NO) แบคทีเรียกลุ่มที่ทำให้เกิดกระบวนการนี้ เรียกว่า ดีไนตริไฟอิ้งแบคทีเรีย (denitrifying bacteria) ซึ่งเป็นพวก aerobic bacteria คือต้องใช้ออกซิเจนในการหายใจ แต่สภาพที่ขาดออกซิเจนสามารถใช้ไนเตรทและสารประกอบออกซิไดซ์ของไนโตรเจนอื่น ๆ เป็นตัวรับอิเล็กตรอนแทนออกซิเจนอิสระได้ และจากการศึกษาของ Nishio and Hattori (1982) พบว่าสารประกอบไนโตรเจนในดินบริเวณปากแม่น้ำจะสูญเสียไปในกระบวนการดีไนตริฟิเคชั่น 27-57 %

4.3 ฟอสฟอรัสในดิน

ฟอสฟอรัสเป็นธาตุอาหารหลักที่สำคัญในการเจริญเติบโตของพืชในแหล่งน้ำและในบ่อเลี้ยงสัตว์น้ำ เนื่องจากมีความสำคัญและจำเป็นต่อการดำรงชีวิตของพืชและสัตว์โดยจะถูกนำไปใช้ในการเจริญเติบโตและสร้างโปรโตพลาสซึมและเป็นส่วนประกอบสำคัญของ DNA และ RNA (เปี่ยมศักดิ์, 2536) สำหรับบ่อเลี้ยงกุ้งแหล่งที่มาของฟอสฟอรัสมาจากการใส่ปุ๋ย และอาหารเลี้ยงกุ้งที่เหลือตลอดจนสิ่งขับถ่ายจากตัวกุ้ง (ดุสิต และคณะ, 2537) ซึ่งปริมาณฟอสฟอรัสเหล่านี้บางส่วนถูกพืชนำไปใช้ บางส่วนตกตะกอนลงสู่ก้นบ่อและถูกดูดซับโดยดินเลนนากุ้ง (ประเทือง, 2534) ทำให้มีการสะสมฟอสฟอรัสในตะกอนดิน

ฟอสฟอรัสที่อยู่ในตะกอนดินและน้ำในบริเวณแหล่งน้ำตื้นสามารถแลกเปลี่ยนกันได้ จากการศึกษาของดุสิต และคณะ (2536) พบว่าปริมาณการแลกเปลี่ยนฟอสฟอรัสในตะกอนดินและน้ำขึ้นอยู่กับสภาพชีวเคมีของดินตะกอน ซึ่งมีขั้นตอนการแลกเปลี่ยนที่ซับซ้อนและพบว่าตะกอนดินมีความสามารถในการรองรับฟอสฟอรัสจากกิจกรรมการเลี้ยงสูง ถ้ามีการเลี้ยงกุ้งที่หนาแน่นและมีการให้อาหารกุ้งในปริมาณสูงจะทำให้ฟอสฟอรัสในตะกอนดินมีปริมาณสูง ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ สุกัญญา และ เสาวลักษณ์ (2533) ที่กล่าวว่าปริมาณฟอสเฟตในดินเลนนากุ้งในช่วง 15 วันแรกของการเลี้ยงกุ้งจะลดลง หลังจากนั้นเมื่อมีการให้อาหารปริมาณฟอสเฟตในดินจะเพิ่มสูงขึ้น เกิดจากการทับถมของอินทรียวัตถุ ซึ่งพบว่าในอาหารกุ้งมีฟอสฟอรัสเป็น

องค์ประกอบถึง 1-2 % (Deshimaru, 1981) และจากการศึกษาของ สุวณิช (2540) พบว่าบ่อที่กำลังเลี้ยงกุ้งอยู่ในช่วงอายุบ่อ 5, 6 และ 7 ปี ทุกช่วงอายุมีการสะสมของแคลเซียมและฟอสฟอรัสในดินพื้นบ่อสูงกว่าดินเดิม

4.4 พีเอชดิน

พีเอชดิน หมายถึง ความเป็นกรดหรือความเป็นด่างของดิน โดยความเป็นกรดหรือด่างของดินเกี่ยวข้องกับไฮโดรเจนอิออน (H^+) และไฮดรอกซิลอิออน (OH^-) แหล่งที่มาที่สำคัญของไฮโดรเจนอิออนซึ่งก่อให้เกิดกรดในดิน ได้แก่ H_2CO_3, HNO_3, H_2SO_4 และกรดอินทรีย์ต่าง ๆ และไฮโดรเจนอิออนที่เกิดจาก Al_3^+, Fe_3^+ แหล่งที่มาที่สำคัญของไฮดรอกซิลอิออนซึ่งก่อให้เกิดความเป็นด่าง ได้แก่ ไฮดรอกซิลที่เกิดจากอิออนต่าง ๆ เช่น Ca^{2+}, Mg^{2+}, K^+ และ Na^+ นอกจากนี้อาจเกิดมาจากปฏิกิริยาทางเคมีอื่นๆ ที่เกิดขึ้นในดิน เช่น การสลายตัวของหินและแร่ (คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา, 2536)

สุกัญญา และ เสาวลักษณ์ (2533) รายงานว่าพีเอชของดินมีแนวโน้มลดลงตามระยะเวลาการเลี้ยง ซึ่งมีสาเหตุมาจากการสะสมของสารอินทรีย์ และมีการปลดปล่อยไนโตรเจนในรูปแอมโมเนีย สอดคล้องกับการศึกษาของ นิวุฒิ (2534) พบว่าการเปลี่ยนแปลงค่าพีเอชของดินพื้นบ่อในขณะเลี้ยงมีแนวโน้มสูงขึ้น และสภาพความเป็นกรดในดินพื้นบ่อจะลดลงตามอายุการเลี้ยง นอกจากนี้ชฎา (2535) กล่าวว่าค่าพีเอชในช่วงตากบ่อจะมีค่าต่ำกว่าในช่วงระหว่างการเลี้ยง เนื่องจากการสลายตัวของอินทรียวัตถุในสภาพที่มีอากาศ (aerobic) ทำให้เกิดกรดอินทรีย์ เช่น กรดฮิวมิก (humic-acid) และกรดฟูลวิค (fulvic acid) หรืออาจเกิดจากการออกซิไดซ์ของแร่ไพไรท์ ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของชูสิน (2541) ที่เปรียบเทียบบ่อเลี้ยงกุ้งกุลาดำที่เลี้ยงกุ้งอยู่ในปี 2536 กับบ่อกุ้งกุลาดำร้างในปี 2540 ในบริเวณเดียวกันแล้วพบว่าบ่อเลี้ยงกุ้งร้าง มีค่าพีเอชดินต่ำลงเมื่อเปรียบเทียบกับในบ่อที่กำลังเลี้ยงกุ้งอยู่ ซึ่งเกิดจากการเพิ่มขึ้นของปริมาณกรดอินทรีย์ที่เกิดการย่อยสลายตัวของอินทรียวัตถุในดินบ่อเลี้ยงกุ้ง

5. จุลินทรีย์กับการเพาะเลี้ยงกุ้ง

ในปัจจุบันมีการต่อต้านที่เพิ่มมากขึ้นของการใช้สารเคมีหรือยาปฏิชีวนะเพื่อฆ่าเชื้อโรคทั้งในส่วนที่ใส่ลงในน้ำและผสมอาหารให้กุ้งกิน อันเนื่องมาจากความกลัวการตกค้างในเนื้อกุ้งที่นำมาบริโภค และผลการตกค้างในธรรมชาติซึ่งจะส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมระยะยาว อีกทั้ง

ปัญหาการกีดกันทางการค้าระหว่างประเทศ โดยเฉพาะอย่างยิ่งการไม่ยอมรับกุ้งที่มีการเพาะเลี้ยงโดยใช้สารเคมีของประเทศผู้นำเข้ากุ้งจากประเทศไทย ทำให้ในปัจจุบันได้มีการใช้วิธีธรรมชาติบำบัดมาใช้ในการเพาะเลี้ยงกุ้ง จนกลายเป็นที่ยอมรับของเกษตรกรผู้เพาะเลี้ยงกุ้ง โดยวิธีการหนึ่งคือ การใช้จุลินทรีย์ที่ไม่ก่อให้เกิดโรคนำมาบำบัดสภาพน้ำเสียในบ่อเพาะเลี้ยงกุ้ง

มั่นสิน และ ไพพรรณ (2539) ได้อธิบายว่า ลักษณะทางจุลชีววิทยาทั้งในชั้นตะกอนดินก้นบ่อกุ้ง และสัตว์ชั้นน้ำล้วนมีพื้นฐานที่คล้ายคลึงกัน แต่แบคทีเรียที่พบในชั้นดินมีจำนวนและชนิดหลากหลายกว่าที่พบในชั้นน้ำ เนื่องจากมีสารอาหารต่าง ๆ สะสมอยู่ในชั้นดินมากกว่าที่พบในชั้นน้ำหลายเท่า ความหนาแน่นของจุลินทรีย์ในชั้นดินขึ้นอยู่กับอนุภาคของดิน และปริมาณสารอินทรีย์ที่ตกค้างโดยปริมาณออกซิเจนที่ละลายอยู่ในชั้นบนสุดของชั้นดินเลนก้นบ่อมากหรือน้อย ขึ้นอยู่กับสภาพแวดล้อมของชั้นน้ำที่อยู่ตอนบน ถ้าชั้นน้ำมีออกซิเจนละลายอยู่ตลอดทั้งชั้นดินเลนก็จะมีออกซิเจนละลายอยู่ในบริเวณตอนบนด้วยเช่นกัน ถ้าชั้นบนของดินเลนได้รับออกซิเจนจากน้ำ การย่อยสลายสารอินทรีย์โดยใช้ออกซิเจนจะเกิดอย่างรวดเร็ว แต่ถ้าปริมาณสารอินทรีย์ที่มีอยู่มากจะทำให้ออกซิเจนหมดจากชั้นดินที่ระดับตื้น ๆ

การดำรงชีวิตของแบคทีเรียในบ่อเพาะเลี้ยงกุ้งจะมีทั้งแบบที่เป็นออโตโทรปและเฮเทอโร-โทรป แต่แบคทีเรียเฮเทอโรโทรปจะมีบทบาทสำคัญต่อการย่อยสลายสารอินทรีย์มาก เนื่องจากต้องการสารอินทรีย์เป็นแหล่งพลังงานคาร์บอน จึงทำให้แบคทีเรียพวกนี้ซึ่งเกือบทั้งหมดเป็น saprophyte เป็นตัวการสำคัญในการย่อยสลายสารอินทรีย์ โดยพบว่าปริมาณของแบคทีเรียในบ่อเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำมีมากกว่าที่พบในแหล่งน้ำธรรมชาติ เนื่องจากมีการสะสมของสารอินทรีย์คาร์บอน และไนโตรเจนจากของเสียที่ขับถ่ายออกมาจากอาหารที่เหลือ ส่วนน้ำจากแหล่งน้ำธรรมชาติจะมีปริมาณสารอินทรีย์จำกัด เนื่องจากการไหลของน้ำเป็นกลไกควบคุมปริมาณและชนิดของแบคทีเรีย (Dale, 1974)

สว่าง (2532) ได้ทำการศึกษาแบคทีเรียที่เป็นสาเหตุของโรคที่พบในกุ้งกุลาดำ ส่วนใหญ่จะเป็นแบคทีเรียแกรมลบ รูปร่างเป็นท่อน เคลื่อนไหวได้ และที่พบมากได้แก่สกุล *Vibrio* spp. ส่วนสกุลอื่นที่พบบ้างได้แก่ *Pseudomonas* และ *Aeromonas* ซึ่งแบคทีเรียเหล่านี้สามารถพบได้ทั่วไปในน้ำและในกุ้งที่เป็นโรค โดยปริมาณ *Vibrio* spp. มากกว่า 10^3 CFU/ml ทำให้กุ้งแสดงอาการของโรคได้

6. การทำงานของจุลินทรีย์ในการย่อยสลายสารอินทรีย์

จุลินทรีย์ที่เติมลงไปในบ่อเพาะเลี้ยงกุ้งนั้น จะคัดเลือกสายพันธุ์ที่มีประสิทธิภาพในการย่อยสลายสารอินทรีย์ และจะทำการเพิ่มปริมาณเซลล์ของจุลินทรีย์ก่อนที่จะเติมลงในบ่อเพาะเลี้ยง การย่อยสลายสารอินทรีย์ที่ตกค้างให้มีประสิทธิภาพต้องอาศัยออกซิเจนที่ละลายอยู่ในน้ำ แต่ปริมาณออกซิเจนที่ละลายอยู่ในน้ำมีน้อย เนื่องจากถูกนำไปใช้ในกระบวนการหายใจของกุ้งและสิ่งมีชีวิตอื่น ๆ ที่มีอย่างหนาแน่น ดังนั้นจึงต้องมีการติดตั้งเครื่องให้อากาศ และการเลือกระยะเวลาที่เหมาะสมในการเติมจุลินทรีย์ที่คัดเลือกไว้ จะทำให้การย่อยสลายสารอินทรีย์มีประสิทธิภาพสูง

การย่อยสลายสารอินทรีย์ให้สารอื่นที่เป็นประโยชน์ต่อวงจรธรรมชาติโดยไม่ก่อให้เกิดโทษนั้นจำเป็นต้องใช้จุลินทรีย์หลายประเภทเพื่อทำงานในหลายขั้นตอน โดยมีออกซิเจนในกระบวนการย่อยสลาย สารอินทรีย์ที่อยู่ภายในบ่อเพาะเลี้ยงกุ้งจะเกิดจากซากของสิ่งมีชีวิตที่อยู่ภายในบ่อ เศษอาหารที่เหลือจากการกินของกุ้ง ของเสียที่สิ่งมีชีวิตขับออกมา ซึ่งส่วนใหญ่จะอยู่ในรูปของอนุภาคของแข็ง โดยมีองค์ประกอบเป็นพวกโปรตีน พอลิแซ็กคาไรด์ และไทรกลีเซอไรด์ ซึ่งเมื่อถูกจุลินทรีย์ย่อยสลายแล้วจะได้เป็นหน่วยย่อยกรดอะมิโน โมโนแซ็กคาไรด์ และกรดไขมันตามลำดับ สารอินทรีย์ที่ควรให้ความสนใจเป็นพิเศษในบ่อเพาะเลี้ยงกุ้งแบบหนาแน่น คือ โปรตีน เนื่องจากอาหารที่ใช้ในการเพาะเลี้ยงจะมีองค์ประกอบของโปรตีนสูงคิดเป็น 40-46% ของสารอินทรีย์ที่อยู่ในอาหารทั้งหมด โปรตีนนอกจากจะถูกเปลี่ยนโดยเอนไซม์โปรทีเอสที่หลั่งออกมานอกเซลล์ เพื่อให้ได้กรดอะมิโนและนำไปใช้ในการเจริญเติบโต บางส่วนของกรดอะมิโนจะถูกเปลี่ยนไปเป็นแอมโมเนียซึ่งเป็นพิษต่อสัตว์น้ำ นอกจากนั้นแอมโมเนียยังอาจเกิดขึ้นจากสารประเภทยูเรียที่สัตว์น้ำขับออกมาแล้วถูกย่อยสลายโดยเอนไซม์ยูรีเอสของแบคทีเรีย

ชลิต (2531) ศึกษาการเติมแบคทีเรีย *Bacillus subtilis* ในอัตราส่วน 1 กิโลกรัมต่อไร่ ทุก ๆ 2 สัปดาห์ ลงในบ่อเพาะเลี้ยงกุ้งซีเมนต์ที่รองพื้นด้วยดินเหนียว ที่มีการเพาะเลี้ยงแบบหนาแน่น พบว่าการปล่อยกุ้งที่หนาแน่น การเติมแบคทีเรียและไม่เติมแบคทีเรีย ขนาดและน้ำหนักเฉลี่ยของกุ้งไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ แต่อัตรารอดชีวิตจะมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ และผลการวิเคราะห์คุณภาพน้ำพบว่า บีโอดี ปริมาณแอมโมเนีย และไนไตรท์ มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

สมพร (2535) ศึกษาการเติมแบคทีเรียสายพันธุ์ที่คัดเลือกได้จากธรรมชาติ มาทำการย่อยสลายอาหารกุ้งในอิมฮอพฟ์โคน (Imhoff cone) พบว่าสามารถลดปริมาณแอมโมเนียในบ่อเพาะ

เลี้ยงกุ้งได้ จากปริมาณแอมโมเนีย 0.81 มิลลิกรัมต่อลิตร เหลือ 0.11 มิลลิกรัมต่อลิตร ภายในระยะเวลา 3 สัปดาห์ รวมทั้งสามารถลดค่าบีโอดีและป้องกันการเกิดแก๊สไฮโดรเจนซัลไฟด์ (H_2S) ได้

7. แบคทีเรียในน้ำและบ่อเลี้ยงกุ้ง

รัตนาภรณ์ และ พัฒนา (2539) ได้ทำการศึกษาปริมาณแบคทีเรียของน้ำทะเลบริเวณชายฝั่งทะเลภาคตะวันออก และรายงานว่าพบแบคทีเรีย Coliform, Fecal coliform, *Vibrio parahaemolyticus*, *Staphylococcus* และ *Streptococcus* โดยเฉพาะปริมาณของ *Vibrio parahaemolyticus* พบที่บริเวณอ่างศิลา บางแสน หาดวอนนภา และหาดจอมเทียน มากกว่าบริเวณอื่น ๆ ส่วนแบคทีเรียที่ทำให้เกิดโรคแก่สัตว์น้ำในสถานเลี้ยงสัตว์น้ำเค็ม สถาบันวิทยาศาสตร์ทางทะเล มหาวิทยาลัยบูรพา พบว่าเป็นแบคทีเรีย ในสกุล *Vibrio* รวมทั้งหมด 5 ชนิดคือ *Vibrio alginolyticus, Vibrio anguillarum* I และ II, *Vibrio* harveyi, *Vibrio parahaemolyticus*, *Vibrio vulnificus* และ *Pseudomonas, Aeromonas* (รัตนาภรณ์, 2536)

ลิลา (2540) ได้ทำการศึกษา และรายงานว่าการเลี้ยงกุ้งกุลาดำประสบปัญหาเกี่ยวกับการเกิดโรค และสาเหตุหนึ่งมาจากการติดเชื้อแบคทีเรียที่พบมากที่สุด คือ สกุล *Vibrio* spp. เมื่อคิดเป็นเปอร์เซ็นต์มีประมาณ 80% ของแบคทีเรียรวมที่พบ

ศุภชัย (2538) ได้ทำการศึกษาปริมาณแบคทีเรียในดินก้นบ่อเลี้ยงกุ้งกุลาดำในเขตจังหวัดจันทบุรี โดยทำการศึกษาก่อนปล่อยกุ้งลงเลี้ยงระหว่างการเลี้ยง 1, 2, 3, 4 เดือน และหลังจากเก็บเกี่ยวผลผลิตพบว่ามีปริมาณวิบริโอเท่ากับ $3.3x10^2$, $4.1 x10^3$, $2.9 x10^4$, $3.6 x10^4$, $6.0 x10^4$, และ $2.3 x10^6$ CFU/g ตามลำดับ ส่วนชนิดของวิบริโอพบในน้ำทะเล ได้แก่ *Vibrio harveyi, Vibrio parahaemolyticus, Vibrio alginolyticus, Vibrio cholerae, Vibrio damsela, Vibrio fluvialis* และ *Vibrio vulnificus*

กุลวรา (2534) รายงานว่าน้ำในบ่อเลี้ยงกุ้งกุลาดำแบบพัฒนาปนเปื้อนด้วยปริมาณแบคทีเรียรวมอยู่ในช่วงระหว่าง 10^4-10^6 CFU/ml และเชื้อวิบริโอรวมมีค่าตั้งแต่ 10^3 CFU/ml ขึ้นไป ซึ่งสอดคล้องกับ (สถาพร และคณะ, 2539) ที่พบว่าปริมาณเชื้อวิบริโอรวมในบ่อเลี้ยงกุ้งมีค่าอยู่ในระหว่าง 10^3-10^4 CFU/ml

7.1 ลักษณะของเชื้อแบคทีเรียสกุลวิบริโอ

แบคทีเรียในสกุลวิบริโอเป็นแบคทีเรียแกรมลบ ในธรรมชาติพบได้ทั่วไปในน้ำทะเลและน้ำกร่อย รวมทั้งในลำไส้ของสัตว์ทะเล ซึ่งพบว่ามีวิบริโอหลายชนิดที่ทำให้เกิดโรคในคนและสัตว์ทั้งที่มีกระดูกสันหลังและไม่มีกระดูกสันหลัง รูปร่างของเซลล์มีลักษณะเป็นแท่งตรงหรือโค้ง ขนาดกว้าง 0.5 -0.8 ไมครอน ยาว 1.4-2.6 ไมครอน เซลล์มีลักษณะม้วนงอเมื่อมีอายุมากหรืออยู่ในภาวะที่ไม่เหมาะสม เคลื่อนที่ด้วยแฟลกเจลลา ที่มีเส้นเดียวหรือหลายเส้น ไม่สร้างเอ็นโดสปอร์หรือ microcysts เป็นแบคทีเรียที่สามารถดำรงชีวิตอยู่ได้ทั้งในสภาวะที่มีออกซิเจนและไม่มีออกซิเจนหลายชนิดเจริญได้ดีในอาหารที่มีน้ำทะเลอยู่ด้วย และยังสามารถสร้างเอ็นไซม์ออกซิเดสได้ โดยมีอุณหภูมิที่เหมาะสมสำหรับการเจริญเติบโตอยู่ที่ 20-30 องศาเซลเซียส แต่ส่วนใหญ่เจริญได้ดีที่ 30 องศาเซลเซียส (Bauman *et al*., 1984)

พรเลิศ และคณะ (2537) รายงานว่าโรควิบริโอเป็นโรคที่พบได้ตลอดเวลาในระหว่างการเลี้ยงกุ้ง เนื่องจากแบคทีเรียที่พบมีอยู่ทั่วไปในน้ำกร่อย และจะเข้าทำอันตรายกุ้งเมื่อกุ้งมีสุขภาพไม่แข็งแรง อาจทำให้กุ้งป่วยและตายในที่สุด ในกรณีที่กุ้งไม่ตายและมีความแข็งแรงพอก็จะสามารถกำจัดเชื้อแบคทีเรียออกไปได้

7.2 ลักษณะของแบคทีเรียสกุลบาซิลลัส

บาซิลลัสเป็นแบคทีเรียแกรมบวก เป็นแบคทีเรียที่ต้องการออกซิเจนในการเจริญเติบโตแต่สามารถอยู่ได้ทั้งในสภาวะที่มีออกซิเจนและไม่มีออกซิเจน (facultative anaerobe) เซลล์มีลักษณะเป็นแท่งยาว สามารถสร้างสปอร์ได้ โดยที่สปอร์มีคุณสมบัติทนต่อความร้อนและสารเคมี นอกจากนี้ยังพบว่าแบคทีเรียสกุลบาซิลลัส สามารถสร้าง extracellular enzyme ออกมาย่อยสลายสารอินทรีย์โมเลกุลใหญ่ให้เป็นโมเลกุลเล็ก สำหรับบทบาทของบาซิลลัสในวงการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำจะใช้บาซิลลัสเป็นโพรไบโอติก คือ จะถูกใช้ในการจัดการบ่อเลี้ยง ปรับสภาพดินและน้ำ ลดแก๊สพิษในน้ำ ศิริรัตน์ (2540) กล่าวว่าการใช้โพรไบโอติกจัดว่าเป็นการใช้จุลินทรีย์เพื่อส่งเสริมการเจริญเติบโตและภูมิคุ้มกันให้กับกุ้ง ซึ่งลักษณะการใช้จะผสมในอาหารเพื่อให้เกิดความสมดุลในระบบทางเดินอาหาร

สมพร (2535) ได้ทำการศึกษาในการใช้แบคทีเรีย *Bacillus subtilis* ย่อยสลายสารอินทรีย์ในบ่อเลี้ยงกุ้ง พบว่าน้ำในบ่อที่ไม่ใส่เชื้อแบคทีเรียมีค่าบีโอดี ไนไตรท์ และไฮโดรเจนซัลไฟด์ เท่ากับ 18.53, 2.85 และ 0.033 ส่วนในล้านส่วน (ppm) ส่วนบ่อที่ใส่เชื้อแบคทีเรียจะมีค่าเท่ากับ 9.92, 2.15 และ 0.025 ส่วนในล้านส่วน ตามลำดับ

สมาน (2538) ทำการศึกษาใช้แบคทีเรียในการปรับปรุงคุณภาพน้ำที่ใช้เลี้ยงกุ้งกุลาดำ โดยใช้ผลิตภัณฑ์แบคทีเรีย 2 รูปแบบคือ ผลิตภัณฑ์รูปแบบผง และผลิตภัณฑ์รูปแบบน้ำ ทำการวิเคราะห์ส่วนประกอบของผลิตภัณฑ์พบว่าเป็นแบคทีเรีย *Bacillus* spp. ทำการทดลองเป็นเวลา 6 สัปดาห์ พบว่าปริมาณออกซิเจนที่ละลายน้ำ แอมโมเนีย พีเอช ไนไตรท์ และไฮโดรเจนซัลไฟด์ ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

8. การบำบัดตะกอนเลนจากการเลี้ยงกุ้ง

การเตรียมบ่อก่อนปล่อยลูกกุ้งสำหรับบ่อใหม่เพื่อการเลี้ยงครั้งแรกหรือการเตรียมบ่อหลังจากจับกุ้งในแต่ละครั้ง เพื่อให้พื้นก้นบ่อสะอาดเหมาะสำหรับการเลี้ยงในครั้งต่อไป แต่ละฟาร์มและแต่ละพื้นที่จะมีการเตรียมบ่อที่แตกต่างกันออกไปขึ้นกับลักษณะของดินพื้นบ่อ เช่น ดินเป็นกรด ดินทราย ดินลูกรัง หรือดินเหนียวแข็ง และความสะดวกด้านอื่น ๆ ด้วย หลังการจับกุ้งแต่ละรอบส่วนใหญ่จะทำการบำบัดดินเลนดังนี้คือ

8.1 การบำบัดเลนภายในบ่อ

การบำบัดเลนภายในบ่อโดยไม่นำเลนออกจากบ่อเหมาะสำหรับบ่อเลี้ยงที่มีเลนหรือสารอินทรีย์สะสมอยู่ไม่มาก เป็นบ่อเลี้ยงที่ประสบความสำเร็จในการเลี้ยงรอบที่ผ่านมา ซึ่งเลนที่ไม่ได้นำออกมานอกบ่อจะประกอบด้วยอาหารส่วนเกินที่เหลือตกค้างจากการเลี้ยงกุ้งในรอบที่ผ่านมา ซึ่งจะมีบทบาทในการช่วยเพิ่มปริมาณแพลงก์ตอนพืชและแบคทีเรียกลายเป็นสิ่งมีชีวิตเริ่มต้นในห่วงโซ่อาหารธรรมชาติของบ่อเลี้ยงกุ้ง โดยมีหลักการปฏิบัติดังนี้

8.1.1 เปลี่ยนสภาพของดินเลนที่ขาดออกซิเจนให้อยู่ในสภาพมีออกซิเจน โดยการตากให้เลนก้นบ่อสัมผัสกับออกซิเจนในอากาศจนเลนเกิดการแตกระแหงและเปลี่ยนสีจากสีดำที่มีกลิ่นเหม็นไปเป็นสีน้ำตาลหรือสีดินเดิม และไม่มีกลิ่น ระยะเวลาในการบำบัด ประมาณ 2–3 สัปดาห์ หรือดูว่ามีการเปลี่ยนแปลงของสีดินเกิดขึ้นประมาณ 80% ของดินเลนที่อยู่ในบ่อทั้งหมด

วิธีนี้เป็นการฟอกดินเลนที่ขาดออกซิเจน ทำให้สารประกอบที่เป็นพิษต่อกุ้งสลายตัวไป และเปลี่ยนสภาพของดินให้กลับมาอยู่ในสภาวะที่มีออกซิเจน

8.1.2 บำบัดให้สารอินทรีย์และสิ่งขับถ่ายสลายตัวเปลี่ยนเป็นสารที่เป็นประโยชน์ ต่อการเตรียมน้ำเพื่อปล่อยกุ้งและการรักษาสมดุลของดินและน้ำในบ่อเลี้ยงกุ้ง ใช้หลักการเร่งการย่อยสลายของจุลินทรีย์ธรรมชาติในบ่อ ด้วยวิธีการรดน้ำพรวนดิน ทั้งนี้เนื่องจากในสภาพที่มีความชื้นพอเหมาะและอากาศถ่ายเท จุลินทรีย์จะสามารถเติบโตและย่อยสลายสารอินทรีย์ได้ดี ค่าพีเอชของดินที่เหมาะสม ควรอยู่ในช่วง 7-7.5 ระยะเวลาที่ใช้ประมาณ 4 –6 สัปดาห์ ตามความจำเป็นหรือตามแผนการปล่อยกุ้ง

8.2 การนำเลนออกนอกบ่อ

8.2.1 วิธีการเตรียมบ่อโดยใช้รถตักเลนออก วิธีนี้สามารถลดตะกอนเลนที่แห้งแล้วได้ แต่มีข้อจำกัดคือไม่สามารถทำได้ในฤดูฝน เมื่อทำการปาดดินก้นบ่อไปหลายครั้งจะทำให้พื้นก้นบ่อต่ำกว่าประตูระบายน้ำ ทำให้มีปัญหาในการระบายน้ำ วิธีนี้ใช้เวลาน้อย แต่ต้องเสียค่าใช้จ่ายสูง และทำให้สูญเสียหน้าดินที่มีธาตุอาหาร เหมาะสำหรับบ่อที่มีของเสียมาก และไม่สามารถจัดการด้วยวิธีอื่น ๆ ได้ ข้อควรระวังก็คือถึงแม้จะมีการนำเอาเลนส่วนใหญ่ออกไปแล้วแต่ดินก้นบ่อ (หน้าดินที่เปิดใหม่) เป็นหน้าดินเก่าที่ยังคงมีสารอินทรีย์ที่ขาดออกซิเจนอยู่ ดังนั้น หลังจากตักหรือฉีดเลนไปเก็บไว้ในที่ที่เตรียมไว้แล้ว เกษตรกรจะต้องปล่อยให้ดินมีการตากและทิ้งเวลาให้ดินได้รับออกซิเจนและมีการย่อยสลายอย่างเพียงพอก่อนที่จะเริ่มเลี้ยงกุ้งต่อไป

8.2.2 การฉีดเลน วิธีนี้สามารถทำได้ตลอดเวลาถึงแม้ว่าตะกอนเลนยังเปียกอยู่หรือในพื้นที่ที่บ่อเป็นดินอ่อนนุ่มที่เครื่องจักรขนาดใหญ่ลงไปปฏิบัติงานไม่ได้ การดูดฉีดเลนเป็นการกำจัดของเสียบนพื้นก้นบ่อในรูปของเหลว และเป็นวิธีที่นิยมปฏิบัติกันทั่วไปของเกษตรกรผู้เลี้ยงกุ้ง เพราะเสียค่าใช้จ่ายน้อย แต่การฉีดเลนแล้วปล่อยลงสู่แหล่งน้ำธรรมชาติทำให้แหล่งน้ำตื้นเขิน และทำให้เกิดการเจริญเติบโตและขยายพันธุ์ของแพลงก์ตอนอย่างรวดเร็วเนื่องจากสารอินทรีย์ที่ระบายลงสู่แหล่งน้ำ ส่วนใหญ่เป็นสารประกอบพวกไนโตรเจนและฟอสฟอรัส เมื่อเกิดการตายของแพลงก์ตอนมาก ๆ ทำให้เกิดสารพิษและแหล่งน้ำขาดออกซิเจน สัตว์น้ำตายหรืออพยพจนเกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมอย่างกว้างขวาง

ยนต์ (2534) ได้กล่าวถึงประโยชน์ของการเพิ่มอากาศลงสู่ผิวหน้าดิน จะช่วยในการย่อยสลายสารอินทรีย์ต่าง ๆ โดยการทำงานของจุลินทรีย์ชนิดที่มีการใช้ออกซิเจนและยังเป็นการกำจัดแก๊สพิษชนิดต่าง ๆ เช่น ไฮโดรเจนซัลไฟด์ เป็นต้น

Boyd (1992) ได้ศึกษาถึงระบบการจัดการตะกอนเลนที่อยู่ในบ่อ โดยเฉพาะพวกเศษอาหาร สิ่งขับถ่ายจากสัตว์น้ำ และซากสิ่งมีชีวิตต่าง ๆ โดยอาศัยเครื่องให้อากาศ (aerator) ทำให้ตะกอนต่าง ๆ ไปรวมกันที่กลางบ่อ เพื่อทำการกำจัดออกไป

อนันต์ และคณะ (2539) ได้ทำการศึกษาบำบัดตะกอนเลนและน้ำทิ้งจากการเลี้ยงกุ้งรุ่นที่ 2 มาทำการเลี้ยงในรุ่นที่ 3 ที่อัตราปล่อย 2 ระดับ คือ 50,000 และ 100,000 ตัวต่อไร่ จำนวน 4 บ่อ พบว่ากุ้งทั้งสองบ่อมีอัตรารอดเฉลี่ย 83.6% และ 82.3% และได้ผลผลิตกุ้งเฉลี่ย 1,274.5 และ 1,659.5 กิโลกรัมต่อไร่ ตามลำดับ

ชาตรี (2543) ได้ทำการศึกษาการเปลี่ยนแปลงของปริมาณวิบริโอ บาซิลลัสและค่าบีโอดี ในดินพื้นก้นบ่อที่บำบัดด้วยวิธีการต่างกัน 3 วิธี คือ การตากแห้ง การคราดพรวน และการคราดพรวนแล้วเติมน้ำ พบว่าการบำบัดด้วยวิธีคราดพรวนแล้วเติมน้ำ ทำให้แบคทีเรียสกุลวิบริโอลดจำนวนลง แต่การเปลี่ยนแปลงปริมาณบาซิลลัสและค่าบีโอดีของทั้ง 3 วิธี ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

อุปกรณ์และวิธีการ

อุปกรณ์

1. อุปกรณ์ภาคสนาม

อุปกรณ์การศึกษาในภาคสนามประกอบด้วย พลั่ว เสียม ถุงพลาสติกสำหรับใส่ตัวอย่างดิน ปากกา และสมุดจดบันทึก

2. อุปกรณ์ในห้องปฏิบัติการ

2.1 อุปกรณ์ในการเตรียมตัวอย่างและเตรียมสารเคมี

2.1.1 เครื่องชั่ง

2.1.2 Hot air oven

2.1.3 ตู้เย็น

2.1.4 Desiccators

2.1.5 เครื่องแก้วชนิดต่าง ๆ

2.1.6 สารเคมี

2.2 อุปกรณ์วิเคราะห์เนื้อดิน

2.2.1 เครื่องปั่น

2.2.2 นาฬิกา

2.2.3 Hydrometer

2.2.4 Sedimentation cylinder

2.3 อุปกรณ์วิเคราะห์อินทรียวัตถุและอินทรีย์คาร์บอนในดิน

2.3.1 เครื่องชั่งชนิดละเอียด (electronic balance) รุ่น HR-200 บริษัท A&D

2.3.2 นาฬิกา

2.3.3 ตะแกรงขนาดตา 0.5 มม.

2.4 อุปกรณ์วิเคราะห์พีเอชดิน

2.4.1 pH Meter รุ่น Cyberscan 500

2.4.2 Centrifuge

2.5 อุปกรณ์วิเคราะห์ฟอสฟอรัส, แอมโมเนีย, ไนไตรท์และไนเตรทในดิน

2.5.1 กระดาษกรอง

2.5.2 Aluminium foil

2.5.3 Hot air oven

2.5.4 Desiccators

2.5.5 Magnetic stirrer

2.5.6 ตู้เย็น

2.5.7 Spectrophotometer

2.6 อุปกรณ์ในการวิเคราะห์ปริมาณวิบริโอและบาซิลลัสในดิน

2.6.1 หม้อนึ่งความดัน (Autoclave) รุ่น HVE-50 บริษัท Hirayama

2.6.2 ตู้ถ่ายเชื้อ (laminar air flow biohazard carbinet)

2.6.3 เครื่องชั่งชนิดละเอียด (electronic balance) รุ่น HR-200 บริษัท A&D

2.6.4 อาหารเลี้ยงเชื้อวิบริโอและบาซิลลัส

2.6.5 จานเลี้ยงเชื้อ

2.6.6 หลอดแก้วทดลอง (Test tube)

2.6.7 ปิเปต (Pipette) ขนาด 1 ml และ 10 ml

2.6.8 ตะเกียงแอลกฮอล์

2.6.9 แท่งแก้วสามเหลี่ยม

2.6.10 Hot plate

วิธีการ

1. วิธีการทดลองในภาคสนาม

การทดลองในครั้งนี้ เป็นการศึกษาเพื่อต้องการทราบประสิทธิภาพของการบำบัดดินเลนจากการเลี้ยงกุ้งในบ่อเลี้ยงกุ้งจริง ด้วยวิธีการคราดพรวนร่วมกับการใช้จุลินทรีย์ทางการค้าซึ่งไม่เคยมีการศึกษาร่วมกันมาก่อนที่ระยะเวลาบำบัดต่าง ๆ เปรียบเทียบกับวิธีที่เกษตรกรผู้เลี้ยงกุ้งใช้ทั่วไป 3 วิธี คือ การตากดิน รดด้วยจุลินทรีย์ EM และการคราดพรวน ทั้งนี้เพื่อเป็นแนวทางในการเตรียมบ่อเลี้ยงกุ้งของเกษตรกรสำหรับการเลี้ยงกุ้งต่อไป

1.1 การวางแผนการทดลอง

ทำการทดลองในบ่อเลี้ยงกุ้งทะเลระบบปิดจำนวน 1 บ่อ ที่บริษัททรัพย์อนันต์ฟาร์มชุมพร จำกัด ในอำเภอเมือง จังหวัดชุมพร (ภาพที่ 2) โดยหลังจากจับกุ้งแล้วจะเหลือตะกอนเลนบริเวณกลางบ่อ ทำการเกลี่ยดินให้เสมอทั่วบ่อ แล้วแบ่งพื้นที่ให้เป็นบล็อกขนาด 3x3 ม. จำนวน 12 บล็อก โดยแบ่งออกเป็น 4 ชุดการทดลอง ๆ ละ 3 ซ้ำ ดังนี้

ชุดการทดลองที่ 1-1 ชุดควบคุมคือ ปล่อยให้ดินตากแดดจนแห้งเพียงอย่างเดียว
ชุดการทดลองที่ 1-2 รดด้วยจุลินทรีย์ EM
ชุดการทดลองที่ 1-3 การคราดพรวน
ชุดการทดลองที่ 1-4 การคราดพรวนร่วมกับรดจุลินทรีย์ทางการค้า ENVI-BAC

1.2 การเตรียมดิน

ดินที่ใช้ในการทดลอง เป็นดินที่ผ่านการเลี้ยงกุ้งขาวแวนนาไมระบบปิด ของบริษัททรัพย์อนันต์ฟาร์มชุมพร จำกัด ในอำเภอเมือง จังหวัดชุมพร โดยบ่อที่ใช้ในการทดลองนี้เป็นบ่อเก่าอายุ 21 ปี ขนาด 4 ไร่ ลักษณะดินพื้นบ่อเป็นดินทรายปนดินเหนียว ปล่อยกุ้งลงเลี้ยงด้วยอัตราความหนาแน่น 400,000 ตัว เมื่อจับผลผลิตได้น้ำหนักกุ้งรวม 8,515 กิโลกรัม หลังจากการจับกุ้งเสร็จแล้วเหลือตะกอนเลนบริเวณกลางบ่อ เกลี่ยตะกอนเลนให้กระจายสม่ำเสมอ หลังจากนั้นปล่อยทิ้งไว้ 7 วัน แล้วนำบล็อกไม้ขนาด 3x3 เมตร สูง 50 เซนติเมตร จำนวน 12 บล็อก มา

ตั้งบนดินเลนโดยวางบล็อกแบบกระจายทั่วบ่อ ที่ความลึก 20 เซนติเมตร ใช้เสาไม้ยึดขอบทั้งสี่ด้านเพื่อเพิ่มความแข็งแรง จึงเริ่มทำการทดลอง

ภาพที่ 2 ลักษณะพื้นที่บ่อเลี้ยงกุ้งทะเลในระหว่างการเลี้ยงกุ้งและหลังจากการจับกุ้ง

1.3 การทดลองบำบัดดินเลน

ทำการบำบัดดินเลนจำนวน 5 ครั้ง คือ วันที่ 0, 7, 14, 28 และ 42 ในระหว่างการทดลองจะคลุมด้วยหลังคาพลาสติกใสเพื่อป้องกันน้ำฝนไม่ให้ไหลลงไปในบล็อกทดลอง

1.4 การเก็บตัวอย่างดิน

1.4.1 ทำการเก็บตัวอย่างตะกอนเลนจำนวน 6 ครั้ง คือ วันที่ 0 (ก่อนการบำบัด) วันที่ 7, 14, 28, 42 และ 56 โดยจะทำการเก็บตัวอย่างดินก่อนทำการบำบัดในวันนั้น ๆ โดยวันที่ 56 เป็นวันสิ้นสุดการศึกษา

1.4.2 จุดเก็บตัวอย่างดิน ทำการสุ่มเก็บตัวอย่างดินเลนบริเวณพื้นก้นบ่อเลี้ยงกุ้งทะเลแบบกระจายทั่วบ่อ ความลึกประมาณ 0-10 เซนติเมตร โดยใช้พลั่วหรือเสียม จำนวน 5 จุด นำดินแต่ละจุดที่เก็บมาผสมกันให้เข้าเป็นเนื้อเดียวกันเพื่อเป็นตัวแทนในการศึกษาต่อไป เก็บตัวอย่างดินประมาณ 1 กิโลกรัมต่อสถานี

1.5 การเตรียมจุลินทรีย์

จุลินทรีย์ที่ใช้ในชุดการทดลองที่ 2-2 คือ EM (Effective Microorganisms) ประกอบด้วยน้ำทะเลเทียม 1 ลิตร+จุลินทรีย์ EM 7 มล. หมักด้วยกากน้ำตาล 3 วัน ปริมาณจุลินทรีย์ที่ใช้ในแต่ละการทดลองจำนวน 20 ลิตร ตามวิธีของลักขณา และคณะ (2544)

จุลินทรีย์ที่ใช้ในชุดการทดลองที่ 2-4 คือ จุลินทรีย์ยี่ห้อเอ็นวิ-แบค (ENVI-BAC) ซึ่งเป็นจุลินทรีย์ทางการค้าที่เกษตรกรนิยมใช้ทั่วไป ประกอบด้วยจุลินทรีย์รวม 8 สายพันธุ์ เช่น *Bacillus* spp., *Lactobaciilus* spp., *Saccharomyces* spp., *Streptococcus* spp. โดยมีปริมาณไม่น้อยกว่า 10^{10} cfu/g มีอัตราการใช้คือ 150-200 กรัม/ไร่ ประกอบด้วย น้ำทะเลเทียม 1 ลิตร+ จุลินทรีย์ 0.02 กรัม หมัก 3 วัน ปริมาณจุลินทรีย์ที่ใช้ในแต่ละการทดลองจำนวน 20 ลิตร

1.6 การเตรียมตัวอย่างดินเพื่อการวิเคราะห์

แบ่งดินออกเป็น 3 ส่วน ส่วนแรกเก็บใส่ถุงพลาสติกไว้ในตู้เย็นอุณหภูมิ -5 ° C สำหรับวิเคราะห์ ฟอสฟอรัส แอมโมเนีย ไนไตรท์ ไนเตรท และพีเอชดิน ส่วนที่สองนำไปผึ่งให้แห้งสนิทแล้วบดละเอียด สำหรับใช้วิเคราะห์อินทรีย์คาร์บอน อินทรียวัตถุและไนโตรเจนรวม ส่วนที่สาม ใส่ถุงพลาสติกไว้ในตู้เย็นอุณหภูมิ 4 ° C สำหรับวิเคราะห์หาปริมาณจุลินทรีย์วิบริโอและบาซิลลัส

2. การวิเคราะห์สมบัติดิน

2.1 วิเคราะห์ปริมาณบาซิลลัสรวมด้วยวิธี Standard Plate Count (APHA – AWWA - NPCF, 1995) โดยนำดินตัวอย่างมาผสมกับน้ำทะเลที่ผ่านการฆ่าเชื้อทำให้เป็นเนื้อเดียวกัน จากนั้นทำ Serial ten – fold dilution นำส่วนผสมที่มีความเจือจางมากระจาย (Spread plate technique) ลงบนอาหารเลี้ยงเชื้อแต่ละชนิด ในการศึกษาหาปริมาณบาซิลลัสรวมใช้อาหารเลี้ยงเชื้อ Nutrient agar (NA) (นภา, 2538) ศึกษาหาปริมาณวิบริโอรวมใช้อาหารเลี้ยงเชื้อ Thisulphate citrate salts agar (TCBS) โดยทำตัวอย่างละ 3 ซ้ำ นำไปบ่มเชื้อที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 18-24 ชั่วโมง ทำการนับจำนวนโคโลนี (Colony) บนอาหารที่ได้ระหว่าง 30-300 โคโลนีต่อจานเลี้ยงเชื้อ แล้วคำนวณหาปริมาณแบคทีเรียรายงานผลเป็น CFU (Colony Forming Unit) ต่อดิน 1 กรัม

2.2 วิเคราะห์เนื้อดิน โดยวิธีเชิงกลโดยไฮโดรมิเตอร์ ตามวิธีของคณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา (2536)

2.3 วิเคราะห์พีเอชดิน โดยวิธีการของ Yokokawa (1984) แล้ววัดด้วย pH meter

2.4 วิเคราะห์ไนไตรท์ ไนเตรท แอมโมเนีย และออร์โธฟอสเฟต วิเคราะห์ตามวิธีของ Chuan and Sugahara (1984)

2.5 วิเคราะห์อินทรียวัตถุและอินทรีย์คาร์บอนในดิน ตามวิธีของคณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา (2536) การคำนวณอินทรียวัตถุ มาจากเปอร์เซ็นต์อินทรีย์คาร์บอนที่คำนวณได้คูณกับ 1.724

2.6 วิเคราะห์ไนโตรเจนรวมในดิน ตามวิธีของ Reveh and Yoram (1979)

2.7 การตรวจหาแบคทีเรียกลุ่มดีไนตริไฟอิ้ง ด้วยวิธี Durham nitrate broth วิเคราะห์ตามวิธีของ Mortimer *et al.* (1981)

3. การคำนวณประสิทธิภาพในการบำบัด

นำค่าที่วิเคราะห์ได้ต่อน้ำหนักดินแห้ง มาคำนวณประสิทธิภาพของการบำบัดโดยคำนวณได้จากความแตกต่างระหว่างความเข้มข้นของสารที่สนใจในดินเลนเริ่มต้นและความเข้มข้นของสารที่สนใจในวันที่ต่าง ๆ ในบ่อเลี้ยงกุ้งและบ่อจำลอง ตามสูตรข้างล่าง

$$\text{ประสิทธิภาพของการบำบัด (\%)} = \frac{[\text{ความเข้มข้นเริ่มต้น}] - [\text{ความเข้มข้นวันที่ t}]}{[\text{ความเข้มข้นเริ่มต้น}]} \times 100$$

หมายเหตุ ความเข้มข้นเริ่มต้น หมายถึง ความเข้มข้นของสารที่สนใจในดินก่อนการบำบัด
ความเข้มข้นวันที่ t หมายถึง ความเข้มข้นของสารที่สนใจในวันต่าง ๆ ที่ทำการศึกษา

4. การวิเคราะห์ข้อมูล

ใช้การวิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of Variance) ตามแผนการทดลองแบบสุ่มตลอด CRD (Completely Randomized Design) แล้วเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของข้อมูลระหว่างชุดทดลองโดยวิธี DMRT (Duncan's New Multiple Range Test) (จรัญ, 2534)

5. การนำเสนอข้อมูล

ในการนำเสนอข้อมูลดิบของการทดลอง คือ ดัชนีคุณภาพดินเลน ได้แก่ อินทรียวัตถุ อินทรีย์คาร์บอน ไนโตรเจนรวม แอมโมเนีย ไนไตรท์ ไนเตรท ฟอสฟอรัสที่พืชใช้ได้ พีเอช ปริมาณวิบริโอ และปริมาณบาซิลลัสรวม นำเสนอไว้ในตารางภาคผนวก ข ก่อนจะทำการวิเคราะห์ทางสถิติตามแผนการทดลองและนำเสนอค่าเฉลี่ย ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน สัมประสิทธิ์ความแปรปรวนของอิทธิพลของระยะเวลาและปัจจัยทดลอง ประสิทธิภาพการบำบัด (efficiency, eff.) โดยดูจากเปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนแปลงเชิงปริมาณคุณภาพดินก่อนบำบัดเปรียบเทียบกับดินหลังบำบัดที่ระยะเวลาต่าง ๆ

เมื่อวิเคราะห์ทางสถิติตามแผนการทดลองแล้วจะนำค่า F Value ของอิทธิพลอิสระของระยะเวลา ปัจจัยทดลองและอิทธิพลร่วมของปัจจัยทั้งสองนี้ รวมทั้งค่า MS Error และ degree of freedom ของปัจจัยที่เกี่ยวข้อง ซึ่งจะทำให้สามารถคำนวณหา standard error ซึ่งจำเป็นต่อการหา DMRT (Duncan's New Multiple Range Test) และบ่งชี้ความแปรปรวนภายในของแต่ละดัชนีแต่ละค่าที่ได้จากการวิเคราะห์ Analysis of Variance ตามแผนการทดลองแบบ CRD นอกจากนี้ในตารางรวมของแต่ละดัชนีจะนำเสนอตารางย่อยแสดงอิทธิพลอิสระของระยะเวลาที่ใช้ในการทดลองและปัจจัยทดลองเอาไว้ด้วยกันโดยจะใช้ตัวอักษร a, b, c, d แสดงความแตกต่างของค่าเฉลี่ยในแต่ละสัปดาห์ที่มีการเก็บข้อมูล ส่วนอิทธิพลร่วมแสดงเฉพาะเมื่อพบความแตกต่างระดับนัยสำคัญขึ้นไปเท่านั้น ซึ่งจะนำเสนอไว้ในตารางภาคผนวก ข

6. สถานที่ทำการทดลอง

บ่อเลี้ยงกุ้งทะเลระบบปิด บริษัททรัพย์อนันต์ฟาร์มชุมพร จำกัด อำเภอเมือง จังหวัดชุมพร

ตึกปฏิบัติการกลางคณะวิทยาศาสตร์และห้องปฏิบัติการของภาควิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ บางเขน กรุงเทพมหานคร

7. ระยะเวลาที่ทำงานวิจัย

เริ่มตั้งแต่เดือน ตุลาคม 2549 - มีนาคม 2551

ผลและวิจารณ์

1. คุณลักษณะของตะกอนเลน ในบ่อเลี้ยงกุ้งทะเลระบบปิด

ผลการวิเคราะห์คุณลักษณะของตะกอนเลนก้นบ่อเลี้ยงกุ้งทะเลระบบปิด ได้แสดงในตารางที่ 1 จะเห็นได้ว่าดินตะกอนเลนมีพีเอช (pH) เฉลี่ย 7.56 ซึ่งเป็นกลางและมีปริมาณอินทรียวัตถุเฉลี่ย 39075 มก./กก. ซึ่งนับว่าสูงมาก ซึ่งอินทรียวัตถุเหล่านี้ คือ ของเสียที่กุ้งผลิตออกมาและอาหารที่กุ้งกินไม่หมดแล้วตกตะกอนอยู่ก้นบ่อ (ยนต์ และ พรพรรณ, 2534; พรอุมา, 2543; Boyd, 1989) อนึ่งบ่อเลี้ยงกุ้งนี้ได้ผ่านการเลี้ยงมาเป็นระยะเวลานานกว่า 20 ปี อินทรียวัตถุที่สูงมากนี้เป็นผลมาจากการสะสมตลอดระยะเวลาที่ผ่านมาด้วย นอกจากนี้ยังตรวจพบค่าไนโตรเจนทั้งหมดเฉลี่ย 1958 มก./กก. สอดคล้องกับการศึกษาของพรอุมา (2543) ที่พบปริมาณไนโตรเจนรวมในตะกอนเลนพื้นก้นบ่อเลี้ยงกุ้งก่อนการบำบัดโดยวิธีการคราดพรวนมีค่าเท่ากับ 3500 มก./กก. และเมื่อพิจารณาร่วมกับปริมาณแอมโมเนียไนโตรเจน ไนไตรท์ไนโตรเจน และไนเตรทไนโตรเจน จะเห็นได้ว่าไนโตรเจนที่สะสมอยู่ในดินเลนก้นบ่อประมาณ 90% อยู่ในรูปสารอินทรีย์ไนโตรเจน สอดคล้องกับผลการศึกษาของ Tusneem and Patrick (1971) อ้างตาม Ray and Chien (1992) พบว่า 90% ของสารประกอบไนโตรเจนในตะกอนจะอยู่ในรูปสารอินทรีย์ ทั้งนี้เนื่องจากปริมาณไนโตรเจนอินทรีย์ส่วนใหญ่นั้น มาจากของเสียจากสิ่งขับถ่าย ซากสิ่งมีชีวิตที่ตาย และเศษอาหาร โดยอาหารที่ใช้เลี้ยงกุ้งกุลาดำจะมีปริมาณโปรตีนเป็นองค์ประกอบถึง 40-50% ซึ่งเป็นแหล่งของไนโตรเจนที่สำคัญ (มะลิ, 2531) ส่งผลให้ความเข้มข้นไนโตรเจนรวมที่พบในตะกอนเลนมีค่าสูง นอกจากนี้พบว่าปริมาณวิบริโอรวมมีค่าอยู่ในช่วง 1.26×10^6-3.55×10^6 CFU/g ซึ่งมีปริมาณใกล้เคียงกับผลการศึกษาของศุภชัย (2538) ที่รายงานว่า ในดินก้นบ่อเลี้ยงกุ้งทะเลหลังเก็บเกี่ยวผลผลิตมีปริมาณวิบริโอรวม 2.3×10^6 CFU/g ส่วนปริมาณบาซิลลัสรวม มีค่าอยู่ระหว่าง 1.22×10^5-2.29×10^5 CFU/g

ตารางที่ 1 แสดงคุณลักษณะของตะกอนเลนก้นบ่อเลี้ยงกุ้งทะเลระบบปิด

ดัชนี	หน่วย	คุณสมบัติดินเลนเริ่มต้น				Mid	Mean	SD	CV
		1	2	3	4	point			(%)
อินทรียวัตถุ	mg/kg	36933	38900	37400	43067	40000	39075	2790	7.14
อินทรีย์คาร์บอน	mg/kg	21433	22567	21700	24967	23200	22667	1608	7.09
ไนโตรเจนรวม	mg/kg	2167	1633	2000	2033	1900	1958	228	11.66
แอมโมเนียไนโตรเจน	mg/kg	28.55	38.48	49.85	45.93	37.24	40.71	9.37	23.03
ไนไตรท์ไนโตรเจน	mg/kg	0.02	0.02	0.06	0.02	0.04	0.03	0.02	76.91
ไนเตรทไนโตรเจน	mg/kg	0.18	0.19	0.21	0.27	0.23	0.21	0.04	18.68
ฟอสฟอรัสที่พืชใช้ได้	mg/kg	0.22	0.38	0.50	0.19	0.35	0.32	0.14	44.67
ค่าพีเอช		7.71	7.36	7.52	7.64	7.54	7.56	0.15	2.03
ปริมาณวิบริโอรวม	CFU/g	3550000	2540000	1770000	1260000	3035000	2280000	996828	43.72
ปริมาณบาซิลลัสรวม	CFU/g	229000	126000	122000	226000	236500	175750	59791	34.02

หมายเหตุ: ตัวเลขที่ขีดเส้นใต้ในแนวนอน หมายถึง ค่าต่ำสุดและสูงสุด

ตัวเลขที่แสดงในตาราง คือ ค่าเฉลี่ยที่ได้จากวิเคราะห์ดินเลนแต่ละชุดการทดลอง (n = 3)

ตัวเลข 1 2 3 และ 4 หมายถึง ชุดการทดลอง

2. สมบัติของดินเลนภายหลังการบำบัดด้วยวิธีทางชีวภาพร่วมกับการคราดพรวนในบ่อเลี้ยงกุ้งทะเลระบบปิด

จากการศึกษาการฟื้นฟูดินก้นบ่อเลี้ยงกุ้งทะเลระบบปิดที่ผ่านการบำบัดด้วยวิธีทางชีวภาพร่วมกับการคราดพรวน ได้แบ่งออกเป็น 4 วิธี ได้แก่ (1) การตากแดด (2) รดด้วยจุลินทรีย์ EM (3) การคราดพรวน และ (4) การคราดพรวนร่วมกับรดด้วยจุลินทรีย์ทางการค้า เป็นระยะเวลา 56 วัน สำหรับงานวิจัยนี้ได้ทำการบำบัดจำนวน 5 ครั้ง คือ หลังจากเตรียมดินหรือวันที่ 0 และวันที่ 7, 14, 28 และ 42 และทำการเก็บตัวอย่างดินหลังการบำบัด 7 วัน หรือ 14 วันแล้วแต่กรณี ข้อมูลที่ได้จะนำมาวิเคราะห์ค่าทางสถิติที่สำคัญ ซึ่งจะนำเสนอไว้ในตารางภาคผนวก ก สามารถอธิบายผลการทดลองได้ดังนี้

2.1 อินทรีย์คาร์บอน และอินทรียวัตถุ

ผลการทดลองพบว่า ปริมาณอินทรียวัตถุในตะกอนเลนที่ผ่านการบำบัดทั้ง 4 วิธี ได้แก่ การตากแดด รดด้วยจุลินทรีย์ EM การคราดพรวน และการคราดพรวนร่วมกับรดด้วยจุลินทรีย์ทางการค้ามีแนวโน้มลดลง โดยแต่ละชุดการทดลองมีปริมาณอินทรียวัตถุเริ่มต้น 36933, 36900, 37400 และ 43067 มก./กก. ตามลำดับ และเมื่อสิ้นสุดการทดลองมีปริมาณอินทรียวัตถุลดลงเหลือ 34867, 32000, 34450 และ 31333 มก./กก. ตามลำดับ ประสิทธิภาพในการบำบัดพบว่าที่ระยะเวลา 56 วัน วิธีการคราดพรวนร่วมกับจุลินทรีย์ทางการค้า สามารถบำบัดอินทรียวัตถุได้ 27.25% รองลงมาได้แก่ การรดด้วยจุลินทรีย์ EM และการคราดพรวนบำบัดได้ 17.74% และ 7.89% ตามลำดับ ส่วนการตากแดดมีประสิทธิภาพในการกำจัดต่ำสุดคือ 5.59% เมื่อนำมาวิเคราะห์ทางสถิติพบว่าไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) ในทุกชุดการทดลอง (ตารางผนวกที่ ข2)

จากภาพที่ 4 จะเห็นได้ว่าในช่วง 28 วันแรก การบำบัดอินทรียวัตถุในดินตะกอนเลนเป็นไปอย่างจำกัด อย่างไรก็ตามเมื่อทำการบำบัดผ่านไปแล้ว 42 วัน พบว่าวิธีการคราดพรวนร่วมกับการเติมจุลินทรีย์สามารถบำบัดอินทรียวัตถุในดินได้ดีกว่าวิธีอื่น ๆ ในขณะที่ปริมาณอินทรียวัตถุในชุดการบำบัดด้วยตากแดด มีค่าไม่แตกต่างจากปริมาณอินทรียวัตถุเริ่มต้น

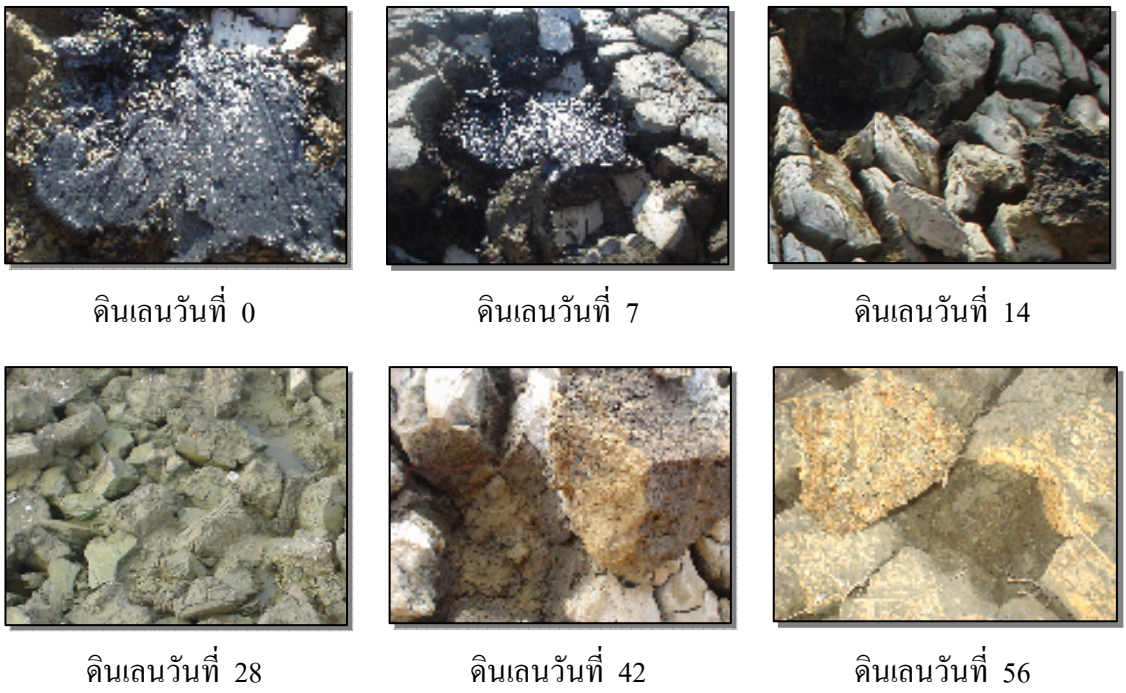
ในการย่อยสลายอินทรียวัตถุในดินนั้นอาศัยหลักการทำงานของจุลินทรีย์ที่เหมาะสมและโดยทั่วไป ในสภาวะที่มีออกซิเจนแบคทีเรียชนิด aerobic จะเป็นจุลินทรีย์หลักใน

การย่อยสลายสารอินทรีย์ซึ่งสามารถย่อยสลายได้ในอัตราที่สูงกว่าการทำงานของแบคทีเรียชนิด anaerobic ซึ่งย่อยสลายในสภาวะที่ไม่มีออกซิเจน ดังนั้นการให้ออกซิเจนแก่จุลินทรีย์อย่างเพียงพอจึงเป็นปัจจัยหลักในการบำบัดดินเลนก้นบ่อเลี้ยงกุ้ง จากภาพที่ 3 จะเห็นได้ว่าดินก้นบ่อเลี้ยงกุ้งหลังจากจับกุ้งและระบายน้ำออกแล้วจะมีลักษณะทางกายภาพข้นเหนียวจับเป็นก้อนคล้ายเลน ลักษณะดังกล่าวนี้ส่งผลให้การถ่ายเทออกซิเจนจากบรรยากาศเข้าสู่ส่วนเนื้อดินเป็นไปอย่างจำกัด เมื่อตากดินทิ้งไว้ดินจะเริ่มแห้งจากภายนอก มีการแตกระแหงซึ่งจะเพิ่มพื้นที่สัมผัสกับออกซิเจน ส่วนภายในก้อนดินหลังจากตากไว้ 56 วันยังคงมีความชื้นเหลืออยู่เล็กน้อย การบำบัดด้วยการตากดินให้แห้งเพียงอย่างเดียวทำให้ดินได้รับออกซิเจนเฉพาะส่วนผิวหน้าที่สัมผัสอากาศในขณะเดียวกัน ความชื้นในดินส่วนผิวหน้านั้นก็ระเหยไป สภาวะที่มีความชื้นต่ำและได้รับแสงแดดโดยตรงนี้ไม่เหมาะกับการเจริญของแบคทีเรีย จากการศึกษานี้พบว่าการตากดินให้แห้งเป็นเวลา 56 วันสามารถลดปริมาณอินทรียวัตถุได้เพียง 5.59% เท่านั้น

การคราดพรวนเป็นแนวทางหนึ่งในการเพิ่มการถ่ายเทออกซิเจนแก่ดินเลน โดยทำการพลิกดินด้านล่างให้ขึ้นมาสัมผัสอากาศ ผลการศึกษาพบว่าการคราดพรวนสามารถลดปริมาณอินทรียวัตถุได้ 7.89% แสดงให้เห็นว่าการคราดพรวนทุก 7 วัน สามารถเพิ่มประสิทธิภาพการบำบัดอินทรียวัตถุดินเลนได้เล็กน้อยเมื่อเปรียบเทียบกับการตากแดดเพียงอย่างเดียว นอกจากนี้การคราดพรวนจะเป็นการพลิกดินจากด้านล่างขึ้นมาทำให้อินทรียวัตถุที่สะสมตกค้างเป็นระยะเวลานานขึ้นมาสู่ด้านบนส่งผลให้ปริมาณอินทรียวัตถุในดินส่วนบนมีค่าสูงขึ้นในระหว่างวันที่ 7 -28 ซึ่งถ้าเป็นดังนี้ปริมาณอินทรียวัตถุที่ถูกย่อยสลายรวมในชุดการทดลองนี้ก็จะสูงกว่าชุดการทดลองควบคุมที่มีการตากดินเพียงอย่างเดียวซึ่งจะไม่มีการพลิกดินขึ้นมาเห็นได้จากปริมาณอินทรียวัตถุในชุดการทดลองตากดินที่มีค่าค่อนข้างคงที่ในช่วง 28 วันแรก

การเติมจุลินทรีย์ EM เป็นอีกแนวทางหนึ่งที่เกษตรกรผู้เลี้ยงกุ้งนิยมใช้ในการเตรียมบ่อ โดยมีสมมติฐานว่าการเติมจุลินทรีย์ที่มีประสิทธิภาพจะเร่งการย่อยสลายอินทรียสารหรืออีกนัยหนึ่งคือของเสียที่สะสมในดินก้นบ่อเลี้ยงกุ้งระหว่างการเลี้ยง เมื่อพิจารณาปริมาณอินทรียวัตถุในดินส่วนบนหลังจากสิ้นสุดการทดลองพบว่ามีค่าน้อยเป็นอันดับสองรองจากการคราดพรวนร่วมกับจุลินทรีย์ทางการค้า อนึ่งในระหว่างการศึกษาพบว่าปริมาณอินทรียวัตถุในชุดการทดลองนี้มีค่าเพิ่มขึ้นแม้ว่าจะไม่ได้มีการพลิกดิน ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากขั้นตอนการเตรียมจุลินทรีย์ EM ต้องหมักหัวเชื้อจุลินทรีย์ EM ในกากน้ำตาลก่อนนำในเติมในบ่อเลี้ยงกุ้ง คาดว่ากากน้ำตาลที่เหลืออยู่ใน EM เป็นสาเหตุให้อินทรียวัตถุที่ตรวจวัดได้มีค่าสูงขึ้น การคราดพรวนร่วมกับจุลินทรีย์ทางการค้าเป็นการเสริมการทำงานของจุลินทรีย์ในธรรมชาติโดยคราดพรวนเพื่อเพิ่มการสัมผัสกับออกซิเจนและ

เติมจุลินทรีย์เพิ่มลงไปในดิน ผลการศึกษาแสดงว่าวิธีการนี้มีประสิทธิภาพในการบำบัดอินทรียวัตถุสูงสุดคือ 27.25%



ดินเลนวันที่ 0 ดินเลนวันที่ 7 ดินเลนวันที่ 14

ดินเลนวันที่ 28 ดินเลนวันที่ 42 ดินเลนวันที่ 56

ภาพที่ 3 ลักษณะดินเลนวันที่ 0 (ก่อนการบำบัด) และวันที่ 7, 14, 28, 42 และ 56 ของชุดการทดลองการคราดพรวน

2.2 ไนโตรเจนรวม

สารประกอบไนโตรเจนในธรรมชาติสามารถเปลี่ยนจากรูปหนึ่งไปเป็นอีกรูปหนึ่งได้โดยมีจุลินทรีย์เป็นตัวการสำคัญภายใต้สภาวะที่เหมาะสม แต่การลดปริมาณไนโตรเจนในดินจำเป็นต้องใช้ปฏิกิริยาชีวเคมีหลายขั้นตอน เนื่องจากการเปลี่ยนรูปสารประกอบไนโตรเจนจะทำให้ไนโตรเจนในดินลดลงเฉพาะบางกรณีเท่านั้น เช่นการเปลี่ยนรูปเป็นแก๊สไนโตรเจนในปฏิกิริยาดีไนตริฟิเคชั่น ดังนั้นการศึกษานี้จึงพิจารณาประสิทธิภาพการกำจัดไนโตรเจนในดินก้นบ่อเลี้ยงกุ้งจากค่าไนโตรเจนรวมซึ่งเป็นผลรวมของไนโตรเจนในรูปสารอินทรีย์ แอมโมเนีย ไนไตรท์ และไนเตรท ผลการศึกษาพบว่าไนโตรเจนรวมเริ่มลดลงหลังจากการบำบัดในวันที่ 28 เมื่อเวลาผ่านไป 56 วัน วิธีคราดพรวนร่วมกับจุลินทรีย์ทางการค้าสามารถลดไนโตรเจนรวมได้สูงสุด 45.89% ส่วนวิธีการคราดพรวน ตากดินให้แห้ง และ การใช้จุลินทรีย์ EM มีประสิทธิภาพในการบำบัดใกล้เคียงกัน คือ 37.50%, 35.39%, และ 32.64% ตามลำดับ เมื่อนำมาวิเคราะห์ทางสถิติพบว่าไม่มีความ

แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) ในทุกชุดการทดลอง (ภาพที่ 5 ตารางผนวกที่ ข6) นอกจากนี้ในระหว่างการบำบัดดินตะกอนก้นบ่อเลี้ยงกุ้งพบว่าค่าไนโตรเจนรวมของชุดการทดลองคราดพรวน เติมจุลินทรีย์ EM และ คราดพรวนร่วมกับเติมจุลินทรีย์ทางการค้า ในช่วงวันที่ 7-28 มีค่าสูงขึ้นแสดงถึงการมีไนโตรเจนเพิ่มเข้ามาในระบบ อย่างไรก็ตามค่าไนโตรเจนที่สูงขึ้นนี้อาจอธิบายได้เช่นเดียวกับค่าอินทรียวัตถุในดินที่เพิ่มขึ้นคือเป็นผลมาจากการพลิกดินจากด้านล่างขึ้นมาสู่ด้านบนและการเติมจุลินทรีย์และน้ำหมักลงไปในระบบซึ่งทั้งหมดนี้เป็นส่วนหนึ่งของวิธีการบำบัดดิน

จากตารางที่ 1 ไนโตรเจนในตะกอนดินเลนก้นบ่อเลี้ยงกุ้งอยู่ในรูปอินทรีย์ไนโตรเจนกว่า 95% เนื่องจากผลรวมของแอมโมเนีย ไนไตรท์ และไนเตรทในดินมีค่าน้อยมาก การกำจัดไนโตรเจนในรูปสารอินทรีย์โดยทั่วไปจะเป็นการทำงานร่วมกันของจุลินทรีย์หลายกลุ่มในหลายสภาวะ เริ่มจากการย่อยสลายอินทรีย์ไนโตรเจนในกระบวนการนี้จะมีการปลดปล่อยแอมโมเนียออกมา เรียกว่า ปฏิกิริยาแอมโมนิฟิเคชั่น (ammonification) แอมโมเนียนี้จะถูกจุลินทรีย์ในดินใช้ไปเพื่อการเจริญและสร้างเซลล์ใหม่ แอมโมเนียบางส่วนอาจถูกออกซิไดซ์ในสภาวะที่มีออกซิเจนเรียกว่าปฏิกิริยาไนตริฟิเคชั่นเกิดเป็นไนไตรท์และไนเตรท ตามลำดับ ดังนั้นถ้าการที่แอมโมเนียถูกใช้ไปมีค่าน้อยกว่าการปลดปล่อยแอมโมเนียจากการสลายสารอินทรีย์ไนโตรเจนจะทำให้พบการสะสมของแอมโมเนียเกิดขึ้น ในการบำบัดดินตะกอนก้นบ่อเลี้ยงกุ้งก็พบการเพิ่มขึ้นของแอมโมเนียสูงสุดในวันที่ 7 จากนั้นก็จะค่อย ๆ ลดลง ซึ่งชี้ให้เห็นถึงปฏิกิริยาทางชีวเคมีที่เกิดขึ้นโดยจุลินทรีย์และปลดปล่อยแอมโมเนียออกมา อย่างไรก็ตามปฏิกิริยาแอมโมนิฟิเคชั่นและปฏิกิริยาไนตริฟิเคชั่นนี้เป็นเพียงการเปลี่ยนรูปสารประกอบไนโตรเจนแต่ไม่ได้เป็นการกำจัดไนโตรเจนออกจากดิน

การที่ไนโตรเจนในดินจะลดลงสามารถเกิดขึ้นได้ 2 กระบวนการหลัก คือ การที่ไนโตรเจนในรูปแอมโมเนียอิสระระเหยสู่บรรยากาศ และปฏิกิริยาดิไนตริฟิเคชั่น โดยทั่วไปค่าพีเอชเป็นตัวควบคุมสัดส่วนแอมโมเนียต่อแอมโมเนียมอิออนในธรรมชาติ โดยที่พีเอช 5-8 สัดส่วนของแอมโมเนียอิสระต่อแอมโมเนียมอิออนเป็น 1:9 (Boyd, 1995) จากการตรวจวัดค่าพีเอชของดินก้นบ่อเลี้ยงกุ้งในระหว่างการบำบัดพบว่ามีค่าเป็นกลางแสดงให้เห็นว่าแอมโมเนียเกือบทั้งหมดอยู่ในรูปแอมโมเนียมอิออนซึ่งไม่ระเหย ดังนั้นการระเหยของแอมโมเนียจึงมีความเป็นไปได้น้อยมากที่จะเป็นกลไกหลักของการสูญเสียไนโตรเจนในดินก้นบ่อเลี้ยงกุ้ง

ในปฏิกิริยาดีไนตริฟิเคชั่นไนเตรทถูกรีดิวซ์จนได้ผลผลิตสุดท้ายเป็นแก๊สไนโตรเจนคืนสู่บรรยากาศส่งผลให้ไนโตรเจนรวมในดินลดลง เมื่อเกิดปฏิกิริยานี้ขึ้นจะทำให้ค่าไนไตรท์และไนเตรทในดินลดลง แต่จากผลการทดลองพบว่าความเข้มข้นของไนไตรท์และไนเตรทในทุกชุดการทดลองมีการเปลี่ยนแปลงในช่วงแคบ ๆ แต่ไม่มีการสะสมจนมีปริมาณสูงอย่างมีนัยสำคัญ ทั้งนี้ เนื่องจากไนเตรทเป็นผลผลิตของปฏิกิริยาไนตริฟิเคชั่นจึงมีเติมเข้ามาในระบบตลอดเวลา แต่ในขณะเดียวกันปฏิกิริยาดีไนตริฟิเคชั่นเป็นปฏิกิริยาที่กำจัดไนเตรทออกไปจากระบบ อย่างไรก็ตาม การที่ไนโตรเจนรวมในดินลดลง แต่แอมโมเนีย ไนไตรท์ และไนเตรทมีความเข้มข้นต่ำตลอดระยะเวลาการบำบัด (ภาพที่ 7-9) แสดงให้เห็นโดยอ้อมว่า ปฏิกิริยาย่อยสลายอินทรีย์ไนโตรเจน ไนตริฟิเคชั่น และดีไนตริฟิเคชั่นเกิดขึ้นพร้อมกัน ซึ่งปฏิกิริยาเหล่านี้แม้ว่าเกิดในสภาวะต่างกัน เช่น ปฏิกิริยาไนตริฟิเคชั่นเกิดในสภาวะที่มีออกซิเจนแต่ปฏิกิริยาดีไนตริฟิเคชั่นเกิดในสภาวะไร้ออกซิเจนแต่สิ่งแวดล้อมระดับจุลภาคในดิน (microenvironment) สามารถมีความแตกต่างนี้ได้ เช่น บริเวณผิวดินจะได้รับออกซิเจน ส่วนบริเวณที่มีการย่อยสลายสูงหรือภายในก้อนดินจะเกิดสภาวะไร้ออกซิเจนได้

เพื่อศึกษาข้อมูลเพิ่มเติมได้นำตัวอย่างดินก้นบ่อเลี้ยงกุ้งใส่ในหลอดทดลองบรรจุอาหารไนเตรทเหลวที่มีหลอดดักแก๊ส (Durham nitrate broth) ที่เตรียมตามวิธีของ Mortimer et al. (1981) อาหารดังกล่าวนอกจากมีไนเตรทแล้วยังมีสารอินทรีย์อยู่ด้วย ผลการศึกษาพบว่า มีแก๊สเกิดขึ้นในหลอดดักแก๊สซึ่งแสดงถึงการที่ไนเตรทถูกรีดิวซ์จนได้แก๊สไนโตรเจนเกิดขึ้นในหลอดทดลองแสดงให้เห็นว่าในดินตะกอนก้นบ่อเลี้ยงกุ้งมีจุลินทรีย์กลุ่มดีไนตริไฟเออร์ (denitrifier) ที่มีชีวิตและสามารถทำงานได้ในหลอดทดลองที่การศึกษา จุลินทรีย์ดังกล่าวจึงมีศักยภาพในการรีดิวซ์ไนเตรทในบ่อเลี้ยงกุ้งในระหว่างการศึกษาในพื้นที่จริงเมื่อสภาวะแวดล้อมเหมาะสม ดังนั้นเมื่อพิจารณาปัจจัยต่าง ๆ ในบ่อเลี้ยงกุ้งดังที่ได้กล่าวมาแล้วข้างต้นจึงมีความเป็นไปได้อย่างมากที่ชุมชนจุลินทรีย์ในดินตะกอนก้นบ่อเลี้ยงกุ้งจะใช้ประโยชน์จากสารประกอบไนโตรเจนรูปต่าง ๆ ในการดำรงชีวิต ทำให้กลไกการบำบัดไนโตรเจนครบวงจรส่งผลให้ปริมาณไนโตรเจนรวมในดินตะกอนก้นบ่อเลี้ยงกุ้งลดลงเนื่องจากปฏิกิริยาดีไนตริฟิเคชั่น

2.3 ฟอสฟอรัสที่พืชใช้ได้

ผลการทดลองพบว่าปริมาณฟอสฟอรัสที่พืชใช้ประโยชน์ได้ในดินก้นบ่อเลี้ยงกุ้งทั้ง 4 วิธี มีค่าสูงในช่วง 14 วันแรก แต่เมื่อทำการทดลองผ่านไปแล้ว 28 วัน พบว่าปริมาณฟอสฟอรัสที่พืชสามารถใช้ประโยชน์มีค่าลดลง (ภาพที่ 10) โดยมีค่าอยู่ในช่วง 0.08-1.29 มก./กก. สอดคล้อง

กับการศึกษาของพรอุมา (2543) ที่พบว่าเมื่อสิ้นสุดการทดลองปริมาณฟอสฟอรัสหลังการทดลองด้วยวิธีการคราดพรวนมีค่าลดลง ซึ่งอาจมีสาเหตุมาจากในช่วงระหว่างการทดลองถูกแบคทีเรีย และพืชชั้นต่ำไปใช้ในการเจริญเติบโต จึงทำให้ปริมาณฟอสฟอรัสที่พืชใช้ประโยชน์ได้ไม่ถูกสะสมในตะกอนเลน

2.4 พีเอช

ผลการทดลองพบว่าพีเอชในตะกอนเลนที่ผ่านการบำบัดทั้ง 4 วิธี มีแนวโน้มลดลงตามระยะเวลาในการบำบัด โดยมีค่าเริ่มต้นอยู่ในช่วง 7.36-7.71 และเมื่อสิ้นสุดการบำบัดมีค่าอยู่ในช่วง 6.62-6.94 (ภาพที่ 11) เมื่อนำมาวิเคราะห์ทางสถิติพบว่าไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) ในทุกชุดการทดลอง (ตารางผนวกที่ ข16)

การลดลงของพีเอช อาจมาจากการสะสมของสารอินทรีย์และจะมีการปลดปล่อยไนโตรเจนในรูปแอมโมเนีย ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของชฎา (2535) ที่รายงานว่า ค่าพีเอชในช่วงตากบ่อจะมีค่าต่ำกว่าในช่วงระหว่างการเลี้ยง เนื่องจากการสลายตัวของอินทรียวัตถุ ทำให้เกิดกรดอินทรีย์ เช่น กรดฮิวมิก และกรดฟูลวิค

2.5 ปริมาณวิบริโอรวม

แบคทีเรียกลุ่มวิบริโอ มักพบว่าเป็นจุลินทรีย์ก่อโรคในกุ้ง ดังนั้นการกำจัดแบคทีเรียกลุ่มนี้จึงเป็นหนึ่งในวัตถุประสงค์หลักของการบำบัดดินจากตะกอนก้นบ่อเลี้ยงกุ้ง จากการศึกษาปริมาณวิบริโอรวมในตะกอนเลนที่ผ่านการบำบัดทั้ง 4 วิธี พบว่าปริมาณวิบริโอรวมมีแนวโน้มลดลง (ภาพที่ 12) ก่อนการบำบัดมีปริมาณวิบริโอรวมอยู่ระหว่าง 1.26×10^{6}-3.56×10^{6} CFU/g โดยทุกวิธีมีประสิทธิภาพในการกำจัดวิบริโอสูงกว่า 98% เมื่อนำมาวิเคราะห์ทางสถิติพบว่าไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) ในทุกชุดการทดลอง (ตารางผนวกที่ ข18) และเมื่อสิ้นสุดการบำบัดมีค่าลดลงอยู่ระหว่าง 1.08×10^{4}-4.44×10^{4} CFU/g ซึ่งมีค่าใกล้เคียงผลการศึกษาของชาตรี (2543) ที่รายงานว่า ดินก้นบ่อเลี้ยงกุ้งที่ผ่านการบำบัดด้วยวิธีการต่าง ๆ 3 วิธี มีปริมาณวิบริโอรวมอยู่ระหว่าง $1.08 \times 10^{4} - 5.85 \times 10^{4}$ CFU/g

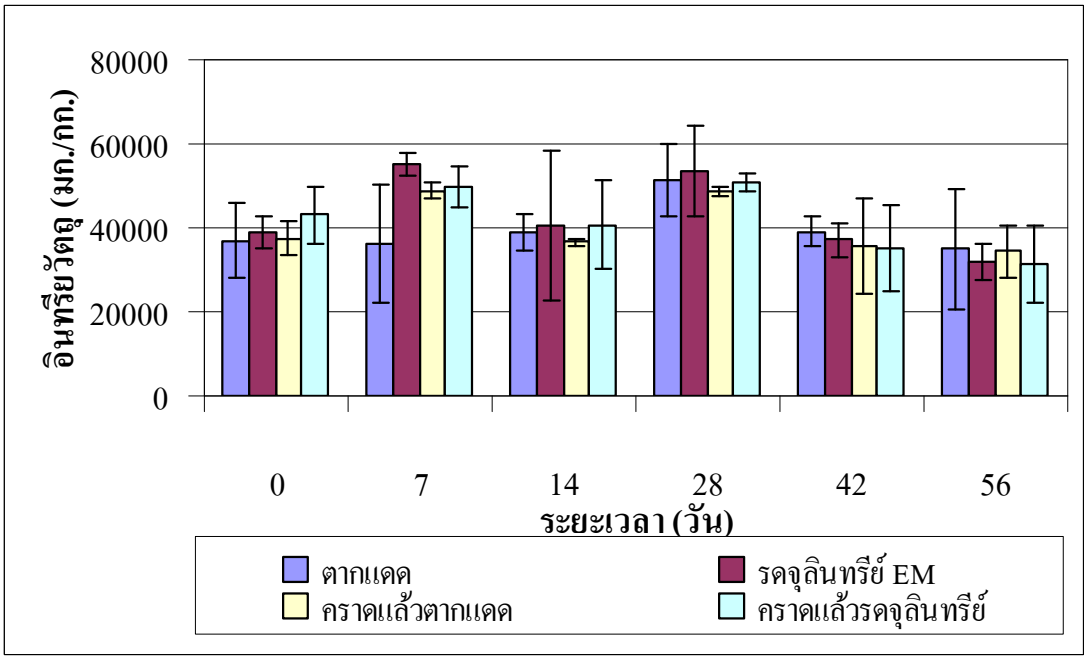
การลดลงของปริมาณวิบริโอรวมในตะกอนเลน ชี้ให้เห็นว่าการตากดินให้แห้งเป็นปัจจัยหลักในการลดลงของแบคทีเรียกลุ่มวิบริโอ กล่าวคือ ดินที่ได้รับแสงแดด จะทำให้น้ำที่มีอยู่

ในดินเลนระเหยออกไป ทำให้ดินไม่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของวิบริโอ ส่งผลให้ปริมาณของวิบริโอลดลงเรื่อย ๆ ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของวิทยา (2526) ที่รายงานว่าปริมาณความชื้นที่เพียงพอจำเป็นต่อการเจริญเติบโตของแบคทีเรีย เนื่องจากเป็นองค์ประกอบที่สำคัญของ protoplasm ทำให้แบคทีเรียไม่สามารถดำรงชีวิตอยู่ได้ นอกจากนี้ อุณหภูมิที่สูง และรังสียูวีในแสงแดดก็จะมีผลต่อแบคทีเรียวิบริโอด้วย จากผลการศึกษานี้พบว่า การตากดิน 28 วัน จะสามารถลดวิบริโอได้ 90% ในการบำบัดต่อไปจนถึงวันที่ 56 จะเพิ่มประสิทธิภาพการกำจัดวิบริโอ ได้อีกเล็กน้อย ดังนั้น ควรตากดินเป็นระยะเวลาไม่น้อยกว่า 30 วัน

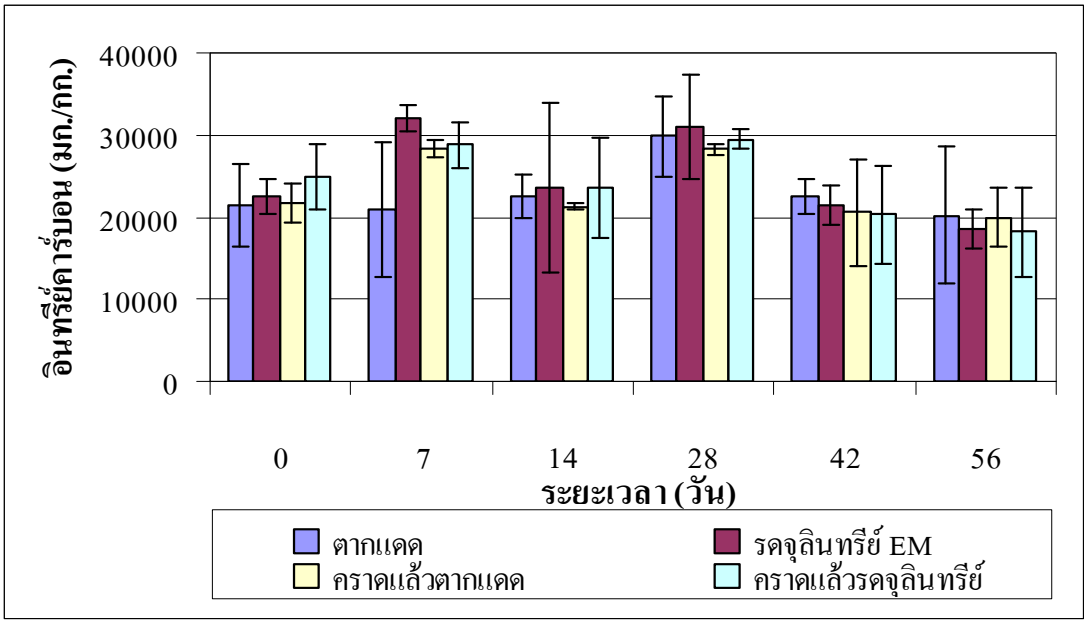
2.6 ปริมาณบาซิลลัสรวม

เนื่องจากจุลินทรีย์ที่ใช้ย่อยสลายสารอินทรีย์ในบ่อกุ้ง ส่วนใหญ่เป็นแบคทีเรียในกลุ่ม *Bacillus* spp. ซึ่งแบคทีเรียเหล่านี้มีอยู่แล้วในดินตามธรรมชาติ แต่มีปริมาณไม่คงที่อันเนื่องมาจากการถูกกินหรือการแย่งพื้นที่อาศัยจากแบคทีเรียกลุ่มอื่น ดังนั้นการเติมจุลินทรีย์ลงไปจะเป็นการเพิ่มแบคทีเรียที่ทำหน้าที่ย่อยสลายสารอินทรีย์ ซึ่งปริมาณของอินทรียวัตถุในดินจะอิทธิพลต่อปริมาณของแบคทีเรียในดิน โดยที่ปริมาณบาซิลลัสจะเป็นตัวบ่งบอกปริมาณสารอินทรีย์ที่จุลินทรีย์ในดินไปใช้ได้ โดยดินที่มีอินทรียวัตถุมากจะมีแบคทีเรียมากด้วย ดังนั้นการวิเคราะห์หาปริมาณบาซิลลัสในดินจะทำให้ทราบถึงความสามารถในการย่อยสลายของสารอินทรีย์ในระหว่างการทดลอง ผลการทดลองพบว่า ปริมาณบาซิลลัสรวมในดินก้นบ่อเลี้ยงกุ้งที่ผ่านการบำบัดทั้ง 4 วิธี มีการเปลี่ยนแปลงเพียงเล็กน้อย โดยก่อนการบำบัดมีปริมาณบาซิลลัสรวมอยู่ระหว่าง $1.22x10^5$-$2.29 x10^5$CFU/g และเมื่อสิ้นสุดการทดลองมีค่าอยู่ระหว่าง $1.22 x10^5$-$2.35x10^5$ CFU/g ตามลำดับ (ภาพที่ 13) ซึ่งมีปริมาณใกล้เคียงกับการศึกษาของชาตรี (2543) ที่พบว่ามีปริมาณบาซิลลัสรวมในดินพื้นก้นบ่อเลี้ยงกุ้งที่ผ่านการบำบัดโดยวิธีคราดพรวน $2.4 x10^5$ CFU/g และเมื่อสิ้นสุดการทดลองพบว่าวิธีรดจุลินทรีย์ EM มีปริมาณบาซิลลัสรวมสูงสุด รองลงมาได้แก่ การคราดพรวน และการคราดพรวนร่วมกับรดจุลินทรีย์ทางการค้า ส่วนการตากแดดมีปริมาณบาซิลลัสรวมต่ำสุด เมื่อนำมาวิเคราะห์ทางสถิติพบว่าไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) ในทุกชุดการทดลอง (ตารางผนวกที่ ข20)

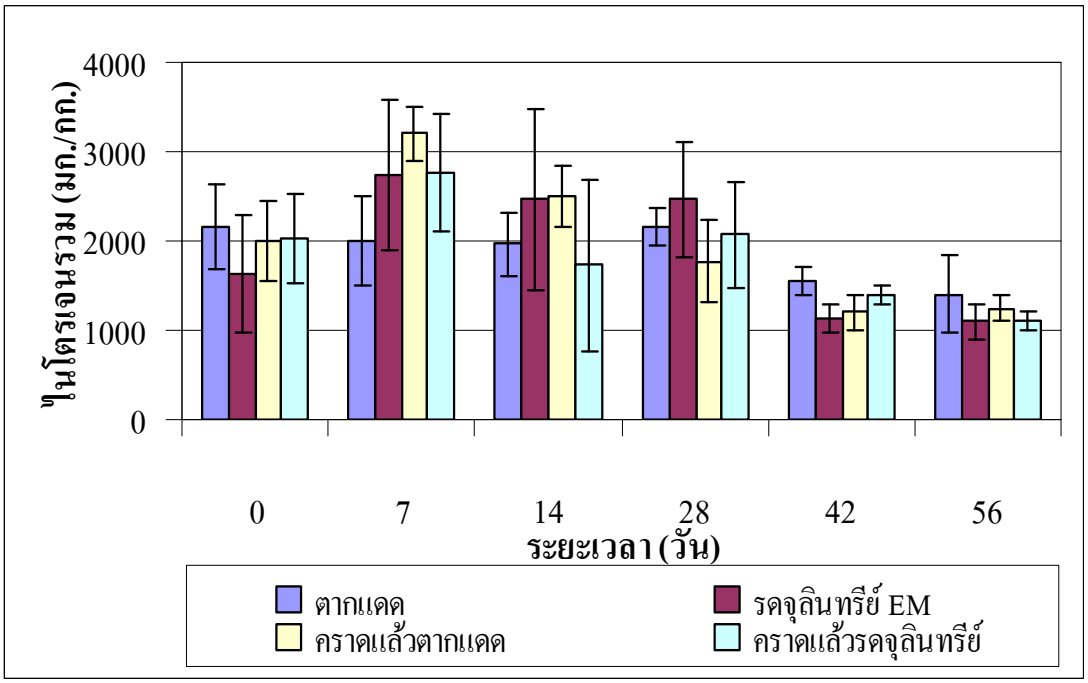
จากภาพที่ 13 เมื่อสิ้นสุดการทดลองปริมาณบาซิลลัสโดยรวมเปลี่ยนแปลงเพียงเล็กน้อย แสดงให้เห็นว่า อาจมีความเป็นไปได้ที่บาซิลลัสยังคงอยู่ในดินและยังมีประสิทธิภาพในการย่อยสลายสารอินทรีย์วัตถุในดินทำให้ปริมาณอินทรียวัตถุลดลง



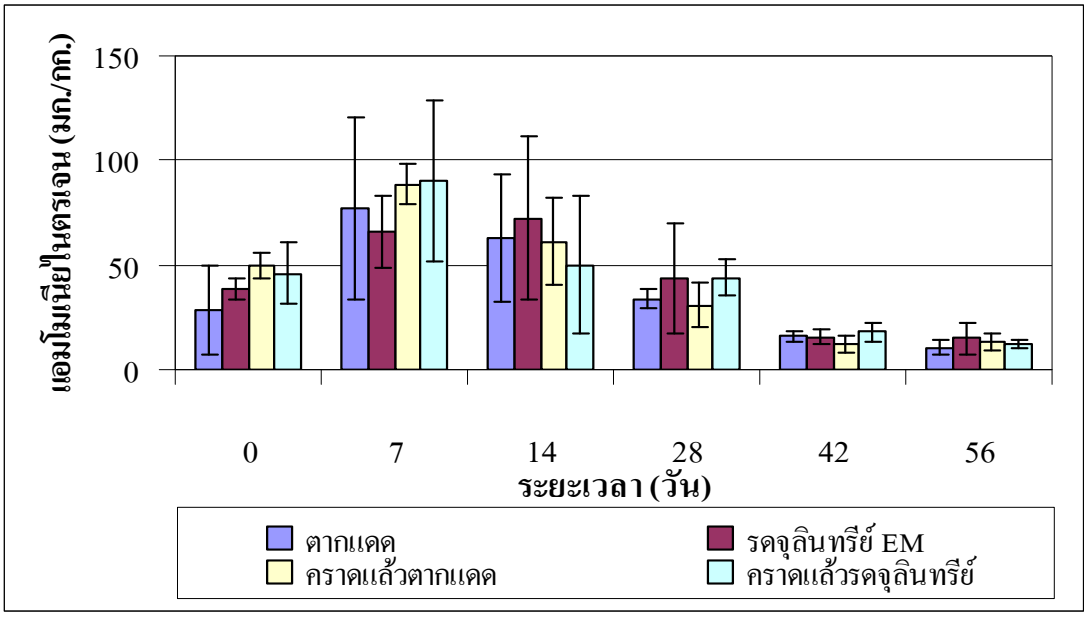
ภาพที่ 4 ปริมาณอินทรียวัตถุ (มก./กก.) ในดินก้นบ่อเลี้ยงกุ้งทะเลที่ผ่านการบำบัดโดยวิธีการทางชีวภาพร่วมกับการคราดพรวนที่ระยะเวลาต่างๆ กันในบ่อเลี้ยงกุ้ง



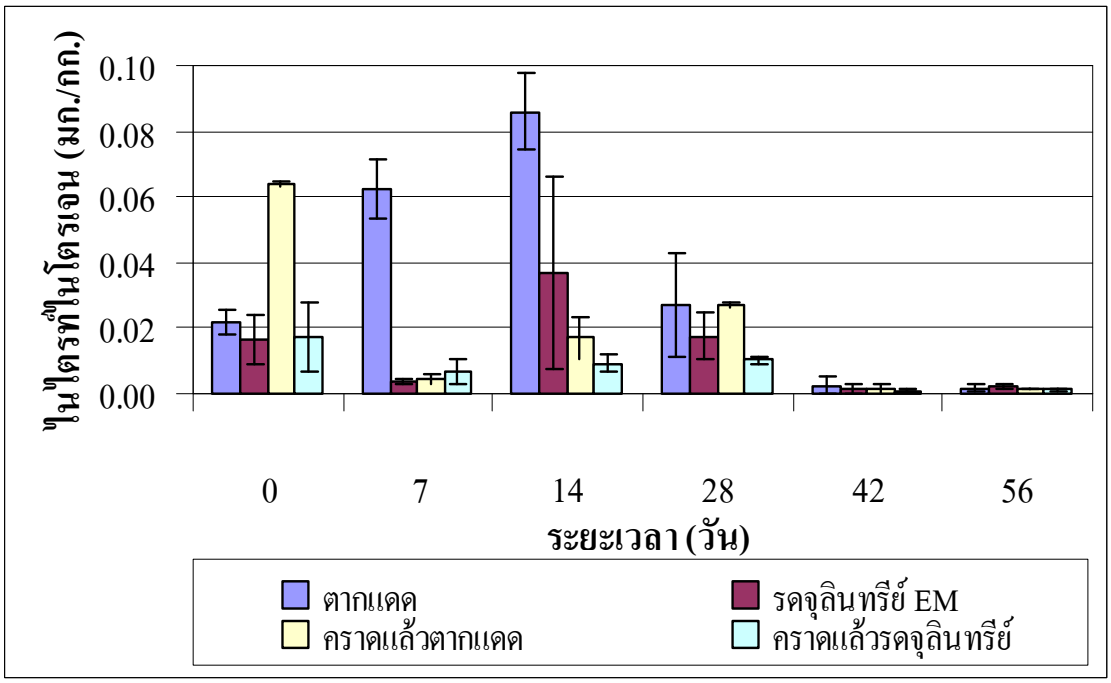
ภาพที่ 5 ปริมาณอินทรีย์คาร์บอน (มก./กก.) ในดินก้นบ่อเลี้ยงกุ้งทะเลที่ผ่านการบำบัดโดยวิธีการทางชีวภาพร่วมกับการคราดพรวนที่ระยะเวลาต่างๆ กันในบ่อเลี้ยงกุ้ง



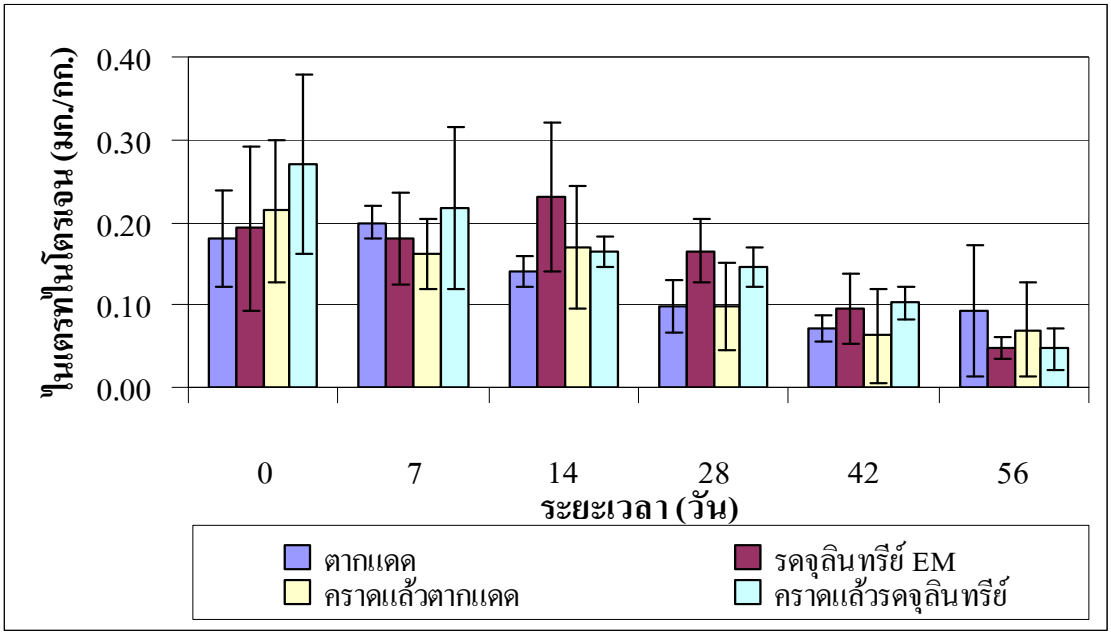
ภาพที่ 6 ปริมาณไนโตรเจนรวม (มก./กก.) ในดินก้นบ่อเลี้ยงกุ้งทะเลที่ผ่านการบำบัดโดยวิธีการทางชีวภาพร่วมกับการคราดพรวนที่ระยะเวลาต่างๆ กันในบ่อเลี้ยงกุ้ง



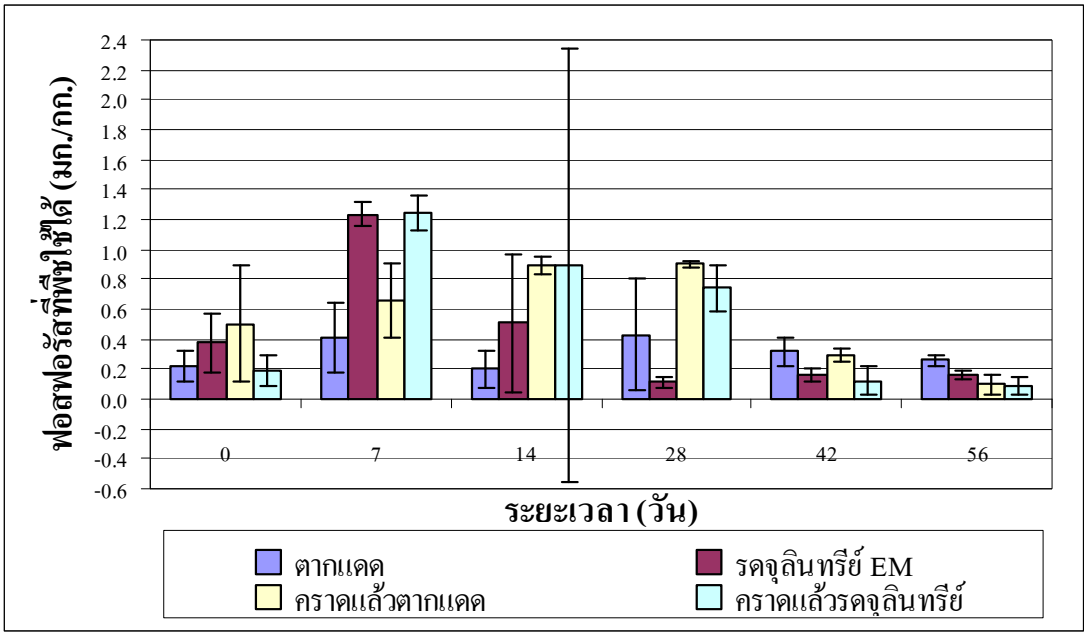
ภาพที่ 7 ปริมาณแอมโมเนียไนโตรเจน (มก./กก.) ในดินก้นบ่อเลี้ยงกุ้งทะเลที่ผ่านการบำบัดโดยวิธีการทางชีวภาพร่วมกับการคราดพรวนที่ระยะเวลาต่างๆ กันในบ่อเลี้ยงกุ้ง



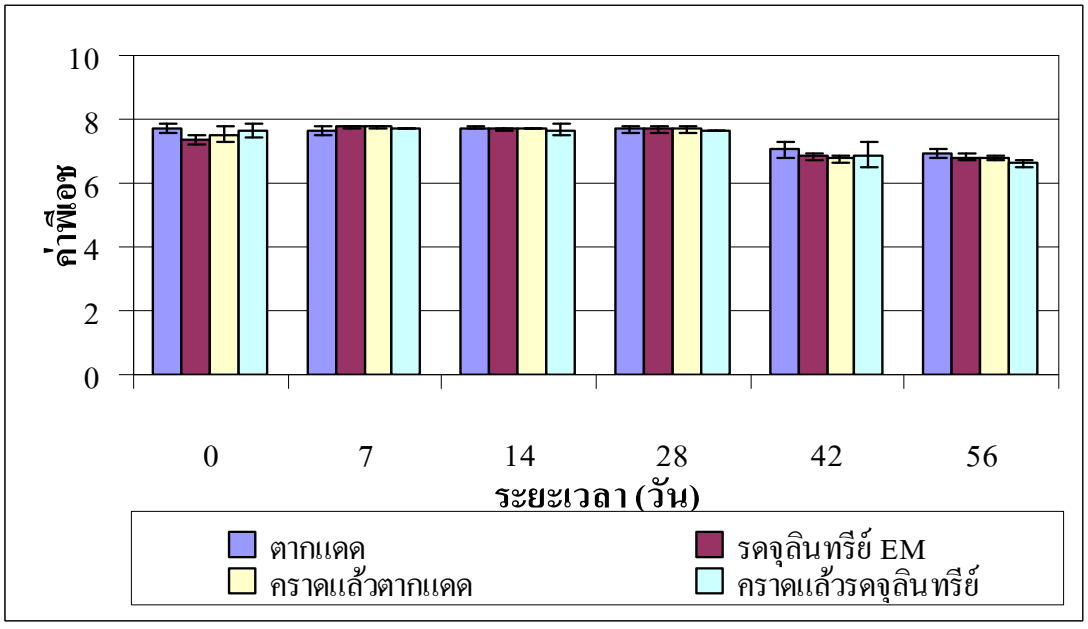
ภาพที่ 8 ปริมาณไนไตรท์ไนโตรเจน (มก./กก.) ในดินก้นบ่อเลี้ยงกุ้งทะเลที่ผ่านการบำบัดโดยวิธีการทางชีวภาพร่วมกับการคราดพรวนที่ระยะเวลาต่างๆ กันในบ่อเลี้ยงกุ้ง



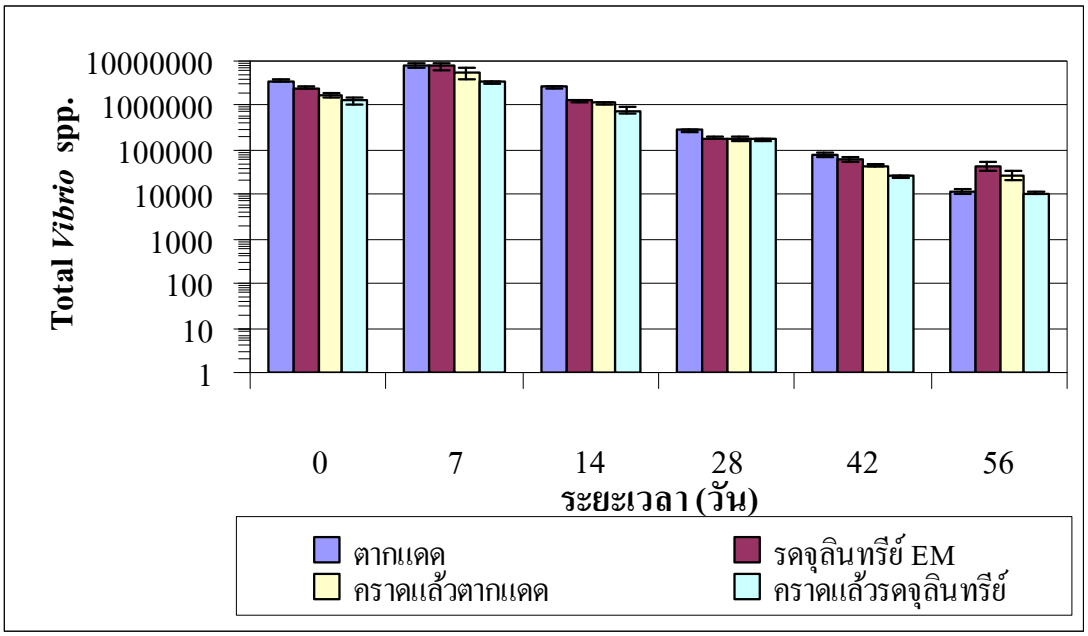
ภาพที่ 9 ปริมาณไนเตรทไนโตรเจน (มก./กก.) ในดินก้นบ่อเลี้ยงกุ้งทะเลที่ผ่านการบำบัดโดยวิธีการทางชีวภาพร่วมกับการคราดพรวนที่ระยะเวลาต่างๆ กันในบ่อเลี้ยงกุ้ง



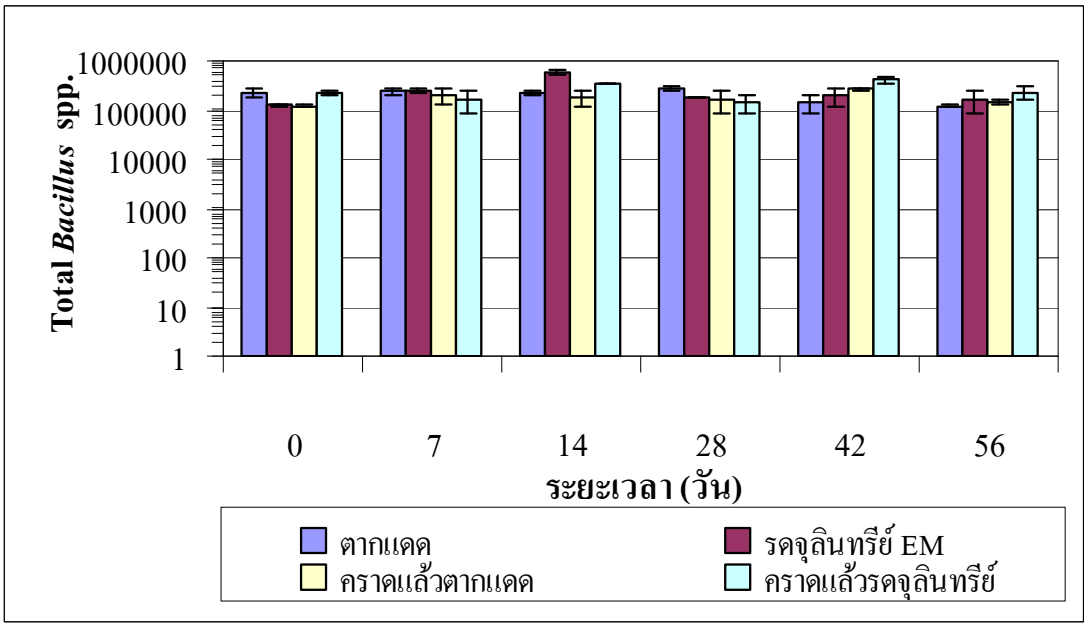
ภาพที่ 10 ปริมาณฟอสฟอรัสที่พืชใช้ได้ (มก./กก.) ในดินก้นบ่อเลี้ยงกุ้งทะเลที่ผ่านการบำบัดโดยวิธีการทางชีวภาพร่วมกับการคราดพรวนที่ระยะเวลาต่างๆ กันในบ่อเลี้ยงกุ้ง



ภาพที่ 11 ค่าพีเอชในดินก้นบ่อเลี้ยงกุ้งทะเลที่ผ่านการบำบัดโดยวิธีการทางชีวภาพร่วมกับการคราดพรวนที่ระยะเวลาต่างๆ กันในบ่อเลี้ยงกุ้ง



ภาพที่ 12 ปริมาณวิบริโอรวม (CFU/g) ในดินก้นบ่อเลี้ยงกุ้งทะเลที่ผ่านการบำบัดโดยวิธีการทางชีวภาพร่วมกับการคราดพรวนที่ระยะเวลาต่างๆ กันในบ่อเลี้ยงกุ้ง



ภาพที่ 13 ปริมาณบาซิลลัสรวม (CFU/g) ในดินก้นบ่อเลี้ยงกุ้งทะเลที่ผ่านการบำบัดโดยวิธีการทางชีวภาพร่วมกับการคราดพรวนที่ระยะเวลาต่างๆ กันในบ่อเลี้ยงกุ้ง

สรุปและข้อเสนอแนะ

สรุป

การเตรียมบ่อหลังจากจับกุ้ง เพื่อให้ก้นบ่อสะอาดเหมาะสมสำหรับการเลี้ยงกุ้งต่อไป แต่ละฟาร์มและแต่ละพื้นที่จะมีการเตรียมบ่อแตกต่างกันออกไป เช่น การตากเลน การดูดฉีดเลน การพรวนดิน ขึ้นกับลักษณะดินก้นบ่อ และความสะดวกด้านอื่น ๆ โดยเกษตรกรไม่ได้วัดคุณภาพดินเลนหลังการเลี้ยงและระยะเวลา แต่จะทำตามความเข้าใจและประสบการณ์ โดยขาดข้อมูลประกอบเพื่อนำไปสู่การตัดสินใจเกี่ยวกับการจัดการบ่อ ในการเตรียมบ่อเลี้ยงกุ้งของเกษตรกรจุดมุ่งหมายหลัก เพื่อลดปริมาณสารอินทรีย์ เนื่องจากสารอินทรีย์มากเกินจะไปเป็นแหล่งอาหารของจุลินทรีย์ทำให้จุลินทรีย์มีปริมาณมาก และอาจเกิดโรคกับกุ้งได้ นอกจากนี้ยังส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงคุณภาพน้ำในบ่อเพาะเลี้ยง เช่น ปริมาณแอมโมเนีย ไนไตรท์ ซึ่งเป็นพิษต่อสัตว์น้ำ ดังนั้นการฟื้นฟูดินก้นบ่อเลี้ยงกุ้งทะเลระบบปิดด้วยวิธีทางชีวภาพร่วมกับการคราดพรวนในพื้นที่บ่อเลี้ยง ภายในระยะเวลา 56 วัน สามารถสรุปได้ดังนี้

ผลการศึกษาภายหลังการบำบัดที่ระยะเวลา 56 วัน พบว่าวิธีคราดพรวนร่วมกับจุลินทรีย์ทางการค้า มีประสิทธิภาพในการฟื้นฟูดินเลนได้ดีที่สุด โดยสามารถบำบัดอินทรียวัตถุ ไนโตรเจนรวม และฟอสฟอรัสที่พืชใช้ได้ 27.25, 45.89 และ 57.89% ตามลำดับ แต่ไม่พบการสะสมของแอมโมเนียไนโตรเจน ไนไตรท์ไนโตรเจน และไนเตรทไนโตรเจนเมื่อสิ้นสุดการทดลอง อันเนื่องมาจากกระบวนการดีไนตริฟิเคชั่น นอกจากนี้ ยังสามารถลดปริมาณวิบริโอที่ก่อให้เกิดโรคในกุ้งได้มากกว่า 98% ส่วนการเปลี่ยนแปลงปริมาณบาซิลลัสรวม พบว่าไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) ดังนั้นวิธีการคราดพรวนร่วมกับจุลินทรีย์ทางการค้าจึงเป็นอีกวิธีการหนึ่งที่เหมาะสมในการฟื้นฟูดินเลน และยังสามารถลดระยะเวลาการเตรียมบ่อเหลือเพียง 42 วัน ซึ่งจะเป็นประโยชน์ต่อเกษตรกรที่จะลดเวลาการเตรียมบ่อเพื่อทำการเลี้ยงได้เร็วขึ้น

ข้อเสนอแนะ

1. การคราดพรวนควรทำให้ดินเลนกระจายออกให้ทั่ว ซึ่งสามารถทำได้โดยการคราดพรวนหลายๆ รอบ ทั้งนี้เพื่อให้เกิดความมั่นใจว่าตะกอนกระจายออกทั่วบริเวณพื้นก้นบ่ออย่างสม่ำเสมอ จะทำให้กระบวนการย่อยสลายในสภาพธรรมชาติเกิดขึ้นได้เร็วขึ้นและเป็นไปอย่างสมบูรณ์

2. การบำบัดตะกอนเลนโดยวิธีการต่างๆ ในบ่อเลี้ยงกุ้งนั้นสามารถทำได้ระยะหนึ่งของการเลี้ยงกุ้งในระบบปิด เนื่องจากสารอินทรีย์และสารประกอบต่างๆ ไม่ได้นำออกจากบ่อแต่จะสะสมอยู่ในดินพื้นบ่อ ดังนั้นการบำบัดในลักษณะนี้จึงควรมีการศึกษาอย่างต่อเนื่องเพื่อเป็นแนวทางในการแก้ปัญหาให้กับเกษตรกรต่อไป

3. การบำบัดตะกอนเลนโดยวิธีการคราดพรวนร่วมกับรดจุลินทรีย์สามารถลดปริมาณสารอินทรีย์ แอมโมเนีย ไนไตรท์ ซึ่งเป็นพิษต่อสัตว์น้ำได้ดีแต่อย่างไรก็ตาม ควรคำนึงถึงต้นทุนและความเหมาะสมในแต่ละพื้นที่

เอกสารและสิ่งอ้างอิง

กลุ่มวิเคราะห์การค้าสินค้าประมงระหว่างประเทศ กองประมงต่างประเทศ กรมประมง. 2550. **ปริมาณและมูลค่าการส่งออกกุ้งประเภทต่างๆ 2542-2549**. แหล่งที่มา: http://www.fisheries.go.th/foreign/average42-46/exportshrimp.xls, 26 กรกฎาคม 2550.

กุลวรา แสงรุ่งเรือง. 2534. **การศึกษาปริมาณแบคทีเรียที่เปลี่ยนแปลงในบ่อเลี้ยงกุ้งกุลาดำ**. รายงานการสัมมนาวิชาการประจำปี 2534, วันที่ 16-8 กันยายน 2534. ณ สถาบันวิจัยประมงน้ำจืดบางเขน กรมประมง กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, กรุงเทพฯ.

คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา. 2536. **ปฐพีวิทยาเบื้องต้น.** คณะเกษตร, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

คณิต ไชยาคำ และยงยุทธ ปรีดาลัมพะบุตร. 2537. **แนวทางการป้องกันเพื่อลดผลกระทบที่มีต่อสิ่งแวดล้อมจากการพัฒนาการเลี้ยงกุ้งกุลาดำแบบพัฒนา**. สถาบันวิจัยการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำชายฝั่ง กรมประมง กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, กรุงเทพฯ.

จรัญ จันทลักษณา. 2534. **สถิติวิเคราะห์และการวางแผนงานวิจัย**. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

ชฎา ฉรงค์ฤทธิ์. 2535. **ผลกระทบจากการทำนากุ้งในพื้นที่ป่าชายเลนต่อคุณสมบัติของดินบริเวณอำเภอกาญจนดิษฐ์ จังหวัดสุราษฎร์ธานี**. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

ชลิต โนระดี. 2531. **ผลของแบคทีเรียต่อการย่อยสลายสารอินทรีย์ในบ่อซีเมนต์ที่เลี้ยงกุ้งกุลาดำที่มีพื้นเป็นดินเหนียว**. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

ชาตรี วีระสิทธิ์. 2543. **การเปลี่ยนแปลงปริมาณแบคทีเรียบางชนิดในดินพื้นบ่อเลี้ยงกุ้งกุลาดำที่บำบัดโดยวิธีคราดพรวน.** วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

ชูสิน วรเดช. 2541. **การฟื้นฟูดินจากบ่อเลี้ยงกุ้งกุลาดำร้างสำหรับการปลูกหญ้ามอริชัส (หญ้าขน)**. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาการจัดการสิ่งแวดล้อม, มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.

ดุสิต ตันวิไลย, พุทธ ส่องแสงจินดา และ คณิต ไชยาคำ. 2536. **การเปลี่ยนแปลงปริมาณและคุณภาพตะกอนดินในบ่อเลี้ยงกุ้งกุลาดำแบบพัฒนา.** เอกสารวิชาการฉบับที่ 5/2536. สถาบันวิจัยการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำชายฝั่ง, กรมประมง, กรุงเทพฯ.

_____, คณิต ไชยาคำ, ยงยุทธ ปรีดาลัมพะบุตร และ เชาว์ ศรีวิชัย. 2537. **การตรวจและติดตามคุณภาพน้ำ และดินจากฟาร์มเลี้ยงกุ้งกุลาดำจังหวัดปัตตานี.** เอกสารวิชาการฉบับที่ 5/2537. สถาบันวิจัยการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำชายฝั่ง, กรมประมง, กรุงเทพฯ.

นงลักษณ์ สุวรรณพินิจ และปรีชา สุวรรณพินิจ. 2539. **จุลชีววิทยาทั่วไป**. ภาควิชาจุลชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, กรุงเทพฯ.

นภา โล่ทอง. 2538. **จุลชีววิทยาปฏิบัติการ**. ภาควิชาจุลชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

นิวุฒิ หวังชัย. 2534. **การสะสมและการสลายตัวของสารอินทรีย์ในดินพื้นบ่อกุ้งกุลาดำที่เลี้ยงแบบหนาแน่น.** วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

เปี่ยมศักดิ์ เมนะเศวต. 2536. **แหล่งน้ำกับปัญหามลพิษ.** สำนักพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, กรุงเทพฯ.

ประจวบ หลำอุบล. 2527. **กุ้ง.** ภาควิชาวิทยาศาสตร์ทางทะเล คณะประมง มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. กรุงเทพฯ.

ประเทือง เชาว์วันกลาง. 2534. **คุณภาพน้ำทางการประมง**. สำนักพิมพ์ฟิสิกส์เซ็นเตอร์, กรุงเทพฯ.

พรเลิศ จันทร์รัชชกูล, เจ เอฟ เทอร์น พอล และ ชลอ ลิ้มสุวรรณ. 2537. **คู่มือการเลี้ยงและป้องกันโรคกุ้งกุลาดำ.** สถาบันวิจัยสุขภาพสัตว์น้ำ กรมประมง เกษตรกลางบางเขน, กรุงเทพฯ.

พรอุมา ไกรนรา. 2543. **การเปลี่ยนแปลงปริมาณสารอินทรีย์และคุณสมบัติทางเคมีบางประการในดินพื้นก้นบ่อเลี้ยงกุ้งกุลาดำระบบปิดที่บำบัดโดยวิธีการคราดพรวน.** วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

เพ็ญศรี บุญตามช่วย และ โสภณ อ่อนคง. 2540. **ปริมาณแบคทีเรียรวมและวิบริโอรวมในบ่อเลี้ยงกุ้งกุลาดำแบบพัฒนาและในคลองธรรมชาติ จังหวัดสตูล.** เอกสารวิชาการฉบับที่ 36/2540. ศูนย์พัฒนาการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำชายฝั่งสตูล กรมประมง กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, กรุงเทพฯ.

พุทธ ส่องแสงจินดา. 2549. **การจัดการสารประกอบไนโตรเจนในฟาร์มเลี้ยงกุ้งระบบปิด**. แหล่งที่มา: http://www. Kungthai.com/drput1.html. 16 พฤษภาคม 2549.

_____, ชัชวาล อินทรมนตรี, ลักขณา ละอองศิริวงศ์, วิสุทธิ์ วีระกุลพิริยะ และธีญาภรณ์ แก้วทวี. 2545. **บทบาทของตะกอนดินต่อการเปลี่ยนแปลงสารประกอบไนโตรเจนและการกินอาหารของกุ้งในบ่อระบบปิดหมุนเวียน.** เอกสารประกอบการประชุมวิชาการกุ้งทะเลแห่งชาติ ครั้งที่ 4: เทคโนโลยีเพื่อกุ้งไทย กุ้งคุณภาพระดับโลก. ระหว่างวันที่ 18-19 พฤศจิกายน 2545. ศูนย์ประชุมริมทะเล ระยองรีสอร์ท, ระยอง.

มะลิ บุญยรัตผลิน. 2531. อาหารและการให้อาหาร. น. 59-89. *ใน* **เอกสารการสัมมนาการเลี้ยงกุ้งกุลาดำแบบพัฒนา**. 10-11 ธันวาคม 2531. ป. โภคพัฒน์ ร่วมกับหอการค้าจังหวัดตรังและภาวิชาวาริชศาสตร์. คณะทรัพยากรธรรมชาติ. มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์. ณ โรงแรมธรรมรินทร์. ตรัง.

มั่นสิน ตัณฑุลเวศม์. 2543. **คู่มือวิเคราะห์คุณภาพน้ำ**. พิมพ์ครั้งที่ 3. จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, กรุงเทพฯ.

มั่นสิน ตัณฑุลเวศม์ และ ไพพรรณ พรประภา. 2539. **การจัดการคุณภาพน้ำและบำบัดน้ำเสียในบ่อเลี้ยงปลาและสัตว์น้ำอื่นๆ**. เล่ม 1 การจัดการคุณภาพน้ำ. ภาควิศกรรมสิ่งทอ, คณะวิศวกรรมศาสตร์, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

ไมตรี ดวงสวัสดิ์ และ จารุวรรณ สมศิริ. 2528**. คุณสมบัติของน้ำและวิธีการวิเคราะห์สำหรับการวิจัยทางการประมง**. สถาบันประมงแห่งชาติ, กรมประมง, กรุงเทพฯ.

ยนต์ มุสิก สุริยันต์ ธัญกิจจานุกิจ และ พรพันธ์ ยุทธรักษานุกุล. 2532. การเปลี่ยนแปลงปริมาณออกซิเจน อัคตราการตกตะกอน คุณภาพน้ำและคุณภาพดินในระบบการเลี้ยงกุ้งกุลาดำแบบหนาแน่น. **รายงานเสนอ บริษัทกรุงเทพเพาะพันธุ์สัตว์น้ำ.** ภาควิชาเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ, คณะประมง, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

ยนต์ มุสิก และ พรพันธ์ ยุทธรักษานุกุล. 2534. อัตราการตกตะกอน คุณสมบัติของตะกอนดินพื้นบ่อในบ่อพักน้ำ และบ่อเลี้ยง ในระบบการเลี้ยงกุ้งกุลาดำแบบหนาแน่นบริเวณก้นอ่าวไทย. **วารสารวิทยาศาสตร์การประมง** 1(1) : 47-55.

รัตนาภรณ์ ศรีวิบูลย์. 2536. **แบคทีเรียที่ก่อให้เกิดโรคในสถานเลี้ยงสัตว์น้ำเค็ม**. สถาบันวิทยาศาสตร์ทางทะเล มหาวิทยาลัยบูรพา บางแสน, ชลบุรี.

_____, และ พัฒนา ภูลเปี่ยม. 2539. **ดรรชนีทางแบคทีเรียของน้ำทะเลบริเวณชายฝั่งทะเลภาคตะวันออก.** สถาบันวิทยาศาสตร์ทางทะเล มหาวิยาลัยบูรพาบางแสน, ชลบุรี.

ลักขณา ละอองศิริวงศ์ พุทธ ส่องแสงจินดา และ ชัชวาล อินทรมนตรี. 2544. **ประสิทธิภาพของการบำบัดดินจากบ่อเลี้ยงกุ้งทะเลด้วยวิธีการต่าง ๆ กันในกระบะทดลอง**. เอกสารวิชาการฉบับที่ 1/2544. ศูนย์วิจัยการและพัฒนาการเพาะเลี้ยงกุ้งทะเลฝั่งอ่าวไทย, กรมประมง, กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, กรุงเทพฯ.

ลิลา เรืองแป้น. 2540. **ความรู้เกี่ยวกับแบคทีเรียและโรคกุ้ง**, น. 91-96. *ใน* ศุภชัย นิลวานิช (ผู้รวบรวม). กุ้งกุลาดำทางเลือก-ทางรอด. สำนักพิมพ์มติชน, กรุงเทพฯ.

วารุณี แซ่เอี๊ย ชลอ ลิ้มสุวรรณ นิติ ชูเชิด และพรเลิศ จันทร์รัชกูล. 2549. ผลของการใช้จุลินทรีย์กลุ่ม Bacillus sp. ต่อคุณภาพน้ำและผลผลิตกุ้งกุลาดำในน้ำความเค็มต่ำ. *ใน* **การประชุมทางวิชาการของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 44 สาขาประมง.** มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. กรุงเทพฯ.

วิทยา มะเสนา. 2526. **จุลชีววิทยาทางดิน**. ภาควิชาปฐพีวิทยา คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น, ขอนแก่น.

เวียง เชื้อโพธิ์หัก. 2525. คุณภาพของน้ำกับกำลังผลิตของบ่อปลา. เอกสารประกอบการสอนวิชากำลังผลิตทางชีวภาพในบ่อปลา. ภาควิชาเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ, คณะประมง, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

ศุภชัย ประพัสศร. 2538. **แบคทีเรียในดินบ่อเลี้ยงกุ้งกุลาดำและการดื้อยาของเชื้อ *Vibrio* spp. ต่อยาต้านจุลชีพ.** วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

ศิริรัตน์ เร่งพิพัฒน์. 2540. โพรไบโอติกความหวังของการเลี้ยงกุ้งไทย. **วารสารสัตว์น้ำ** 8(92) : 74-78.

สถาพร ดิเรกบุษราคม, สมพร รุ่งกำนิดวงศ์, อังคณา หิรัญสาลี และ ลิลา เรืองแป้น. 2539. **ฤทธิ์ของสารสกัดจากสมุนไพรไทยบางชนิดในการยับยั้งเชื้อแบคทีเรียที่ทำให้เกิดโรคในกุ้งกุลาดำ.** เอกสารวิชาการฉบับที่ 7/2539. สถาบันวิจัยการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำชายฝั่ง กรมประมง, กรุงเทพฯ.

สมาน กูจิ. 2538. **การศึกษาประสิทธิภาพของสารเคมีและแบคทีเรียที่ใช้ในการปรับปรุงคุณภาพน้ำในบ่อเลี้ยงกุ้งกุลาดำ.** วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

สมพร วิริยกุล. 2535. **การคัดเลือกแบคทีเรียเฮตเทอโรโทปจากธรรมชาติและความสามารถในการย่อยสลายสารอินทรีย์ในบ่อเลี้ยงกุ้ง**. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

สว่าง ไหวพริบ. 2532. **โรคกุ้งกุลาดำ *Penaeus monodon* Fabricius ในบ่อเลี้ยง.** วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

สุกัญญา กันเมล์ และเสาวลักษณ์ ตันติพงค์อาภา. 2533. **การเปลี่ยนแปลงคุณภาพตะกอนดินในบ่อเลี้ยงกุ้งกุลาดำแบบพัฒนา**, ปัญหาพิเศษ. คณะทรัพยากรธรรมชาติ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.

สุนิสา สุขสวัสดิ์วีรพงศ์ วุฒเพันธุ์ชัย และสุบัณฑิต นิ่มรัตน์. 2551. การศึกษาผลของการบำบัดขี้เลน 4 วิธีต่อปริมาณแบคทีเรียในขี้เลนสะสมจากการลี้ยงกุ้งกุลาดำ, น. 490-497. *ใน* **รายงานการประชุมทางวิชาการของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 46 (สาขาทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม).** มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. กรุงเทพฯ.

สุวณิช ชัยนาค. 2540. **การเปลี่ยนแปลงสมบัติดินพื้นบ่อเลี้ยงกุ้งกุลาดำบริเวณอ่าวไทยตอนใน.** วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

อนันต์ ตันสุตะพานิช. 2539. หลักการปรับเปลี่ยนโครงสร้างการเลี้ยงกุ้งกุลาดำ **“ แนววิธีการฟื้นฟูการเลี้ยงกุ้งกุลาดำและสภาพแวดล้อมในระบบปิดและรีไซเคิ้ล”** สถานีเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำชายฝั่งจังหวัดเพชรบุรี, กองเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำชายฝั่ง, กรมประมง, กรุงเทพฯ.

อารีย์ สิทธิมัง. 2530. **เอกสารประกอบคำบรรยายเรื่องวิวัฒนาการการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำในประเทศไทย**. คณะกรรมการพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ, กรุงเทพฯ.

อำพล มั่นเสกวิทย์. 2546**. การศึกษาการแยกและคัดเลือกจุลินทรีย์จากบ่อเพาะเลี้ยงกุ้ง.** วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

APHA, AWWA and NPCF. 1995. **Standard Method for the Examination of Water and Wastewater**. 15 th ed., America Public Health Publishers Inc., New York.

Avnimelech, Y. and G. Zohar. 1986. The effect of local anaerobic conditions on growth retardation in aquaculture systems. **Aquaculture** 58: 167-174.

Bauman, P., A.L. Furniss and J.V. Lee. 1984. **Genus Vibrio**. Bergey’ s Manual of Systematic Bacteriology, Vol. 1. The Williums and Wilkins Co., Baltinore.

Boyd, C.E. 1990. **Water Quality in Ponds for Aquaculture**. Department of Fisheries and Allied Aquaculture at Auburn University, Alabama.

Boyd, C.E. 1992. **Shrimp Pond Bottom Soil and Sediment Management.** In Proceedings of the Special Session on Shrimp Farming. World Aquaculture Society, Baton Rouge, Louisiana, USA.

_____. 1995. **Bottom Soils Sediment and Pond Aquaculture**. Department of Fisheries and Allied Aquaculture at Auburn University, Alabama.

Boucher-Rodoni, R. and Boucher, G. 1990. *In situ* study of the effect of oyster biomass on benthic metabolic exchange rates. **Hydrobiologia**, 206: 115-123.

Chuan, L.L. and I. Sugahara. 1984. **A Manual on Chemical Analysis of Coastal Water and Bottom Sediment.** Primary Production Department and Marine Fisheries Research Department, SEAFDEC, Singapore.

Cowan, J.L.W. and Boynton, W.R. 1996. Sediment-water oxygen and nutrient exchanges along the longitudinal axis of Chesapeake Bay: Seasonal patterns, controlling factors and ecological significance. **Estuaries**, 19: 562-580.

Deshimuru, O. 1981. **Stidies on Nutrition and Diet for Prawn *Penaeus japonicus* Memories of Kagoshima Prefecture Fishery Experimental Station**. Kagoshima, Japan.

Hanlin, J. H., S. J. Lombardi, and R. A. Slepecky. 1985. Heat and UV light resistance of vegetative cells and spores of *Bacillus subtilis* Rec-mutants. **J. Bacteriol.** 163:774-777**.**

Mortimer, P.S., H. Stolp., H.G. Truper., A. Balows and H.G. Schlegel. 1981. **The Prokaryotes**. A handbook on habitats, isolations, and identification of bacteria. Volume II. Chapter 73. Springer-Verlag Heidelberg. USA. pp. 913-922.

Munakata, N. 1974. Ultraviolet sensitivity of *Bacillus subtilis* spores upon germination and outgrowth. **J. Bacteriol**. 120:59-65

Nishio, D.W. and A. Hattori. 1982. Denitrification, nitrate reduction and oxygen consumption in coastal and estuarine sediment. **Applied and Environmental Microbiology** 43(3): 648-653.

Patrick, Jr., W.H. and R.D. Delaune. 1972. Characterization of oxidized and reduced zones in flooded soil**. Soil Sci. Soc. Amer. Proc**. 36: 573-576.

Queiroz, J.F., C.E., Boyd, 1998. Effect of bacterial inoculum in channel catfish ponds. **J. World Aqua. Soc.** 29:67-73.

Ray W.M. and Y.H. Chien. 1992. Effect of stocking density and aged sediment on tiger prawn, *Penaeus* monodon, nursery system. **Aquaculture** 104: 231-248.

Reveh, A. and A. Yoram. 1979. Total nitrogen analysis in water, soil and plant material with persulphate oxidation**. Water Research** 13: 911-912.

Schindler, D.W., R.H. Hesslein and M.A. Tumer. 1987. Exchange of nutrients between sediments and water after 15 years of experimental eutrophication. **Can. J. Fish. Aquat. Sci.** 44: 26-33.

Stuy, J. H. 1956. Studies on the mechanism of radiation inactivation on micro-organisms. III. Inactivation of germinating spores of *Bacillus cereus*. **Biochim. Biophys. Acta.** 22:241-246.

Thompson, F. L., Abreu, P. C. and Wasielesky, W. 2002. Importance of biofilm for water quality and nourishment in intensive shrimp culture. **Aquaculture** 203: 263-278.

Vandenberghe, J., F.L.,Thompson, B.G., Gil, and J., Swings. 2003. Phenotypic diversity amongst *Vibrio* isolates from marine aquaculture systems. **Aquaculture** 219: 9-20.

Van Rijn, J., Fonarev, N. and B. Berkowitz. 1995. Anaerobic treatment of fish culture effluents: digestion of fish feed and release of volatile fatty acids. **Aquaculture** 33: 9-20.

Van Rijn, J. and A. Nussinovitch. 1997. An empirical model for predicting degradation of organic matter in fish culture systems based on short-term observations. **Aquaculture** 154: 173-179.

Wrobel, S. 1965. The role of soil in fish production in pond. **World symposium on warm water pond fish culture.** 44(1965): 1-10

Yokokawa, T. 1984. **Water and Soil Analysis for Tropical Aquaculture**. National Institute of Coastal Aquaculture (NICA), Songkhla Thailand.

Zur, O. 1981. Primary production in intensive fish pond and a complete organic carbon balance in the ponds. **Aquaculture** 61: 197-210.

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก

ผลการทดลองในบ่อจำลอง

1. สมบัติของดินเลนก่อนการบำบัด ในบ่อจำลอง

ผลการวิเคราะห์คุณลักษณะของตะกอนเลนในบ่อจำลองมีความคล้ายคลึงกับในบ่อเลี้ยงกุ้งทะเลระบบปิด โดยพบว่าตะกอนเลนมีพีเอช (pH) เป็นกลางค่อนข้างเป็นกรดอ่อน (อยู่ระหว่าง 6.7-6.79) และมีปริมาณอินทรียวัตถุสูงมาก ซึ่งอินทรียวัตถุเหล่านี้ คือ ของเสียที่กุ้งผลิตออกมาและอาหารที่กุ้งกินไม่หมดแล้วตกตะกอนอยู่ก้นบ่อ นอกจากนี้ยังตรวจพบไนโตรเจนทั้งหมดในปริมาณสูง เมื่อพิจารณาร่วมกับปริมาณแอมโมเนียไนโตรเจน ไนไตรท์ไนโตรเจน และไนเตรทไนโตรเจน จะเห็นได้ว่าไนโตรเจนส่วนใหญ่ที่สะสมอยู่ในดินเลนก้นบ่อจะอยู่ในรูปสารอินทรีย์ ทั้งนี้เนื่องจากอาหารกุ้งจะมีองค์ประกอบของโปรตีนสูงเพื่อเร่งการเจริญเติบโตของกุ้ง ดังนั้นของเสียและอาหารกุ้งที่กินไม่หมด จะมีสารอินทรีย์ไนโตรเจนด้วย นอกจากนี้ผลการศึกษาปริมาณวิบริโอที่ก่อให้เกิดโรคในกุ้งมีค่าอยู่ในช่วง $2.25x10^5$-$2.32x10^5$ CFU/g ซึ่งมีปริมาณน้อยกว่าผลการศึกษาของชาตรี (2543) ที่รายงานว่า ในตะกอนเลนก้นบ่อเลี้ยงกุ้งก่อนการบำบัดโดยวิธีคราดพรวนในแบบจำลองมีปริมาณวิบริโอรวม $1.37 x10^6$ CFU/g ส่วนปริมาณบาซิลลัสรวม มีค่าอยู่ในช่วง $2.04 x10^5$-$2.34x10^5$CFU/g ดังแสดงในตารางผนวกที่ ก1

2. สมบัติของดินเลนภายหลังการบำบัดด้วยวิธีทางชีวภาพร่วมกับการคราดพรวนในบ่อจำลอง

สำหรับการทดลองนี้ ต้องการเพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพการฟื้นฟูดินก้นบ่อเลี้ยงกุ้งทะเลด้วยวิธีการต่าง ๆ ในบ่อจำลอง ซึ่งเป็นการศึกษาเพิ่มเติมจากการทดลองในบ่อเลี้ยงกุ้งจริง และจากการศึกษาการบำบัดดินก้นบ่อเลี้ยงกุ้งระบบปิดด้วยวิธีทางชีวภาพร่วมกับการคราดพรวนในบ่อจำลอง ได้แบ่งออกเป็น 6 วิธี ได้แก่ (1) การตากแดด (2) รดจุ ลินทรีย์ EM (3) รดจุลินทรีย์ทางการค้า ENVI-BAC (4) การคราดพรวน (5) การคราดพรวนร่วมกับรดจุลินทรีย์ EM และ (6) การคราดพรวนร่วมกับรดจุลินทรีย์ทางการค้า เป็นเวลา 56 วัน โดยทำการบำบัดดินเลนทุกสัปดาห์ จำนวน 5 ครั้ง คือ ตั้งแต่เริ่มการทดลอง และที่ระยะเวลา 7, 14, 21 และ 28 วัน ตามลำดับ ข้อมูลที่ได้จะนำมาวิเคราะห์ค่าทางสถิติที่สำคัญ แล้วเสนอไว้ในตารางภาคผนวก ก สามารถอธิบายผลการทดลองได้ดังนี้

ตารางผนวกที่ ก1 คุณลักษณะของตะกอนเลนในบ่อจำลอง

ดัชนี	หน่วย	คุณสมบัติดินเลนเริ่มต้น			Mid point	Mean	SD	CV (%)
		1	2	3				
อินทรียวัตถุ	mg/kg	31225	31756	35742	33484	32908	2469	7.50
อินทรีย์คาร์บอน	mg/kg	18112	18420	20732	19422	19088	1432	7.50
ไนโตรเจนรวม	mg/kg	2305	1883	2027	2094	2071	215	10.36
แอมโมเนียไนโตรเจน	mg/kg	15.95	13.79	18.77	16.28	16.17	2.50	15.44
ไนไตรท์ไนโตรเจน	mg/kg	0.08	0.05	1.30	0.68	0.48	0.71	150.20
ไนเตรทไนโตรเจน	mg/kg	16.98	14.95	18.01	16.48	16.65	1.56	9.34
ฟอสฟอรัสที่พืชใช้ได้	mg/kg	2.13	1.25	1.93	1.69	1.77	0.46	26.03
ความเป็นกรด-ด่าง		6.77	6.70	6.79	6.75	6.75	0.05	0.70
ปริมาณวิบริโอรวม	CFU/g	225000	229000	232000	228500	228667	3512	1.54
ปริมาณบาซิลลัสรวม	CFU/g	204000	234000	224000	219000	220667	15275	6.92

หมายเหตุ: ตัวเลขที่ขีดเส้นใต้ในแนวนอน หมายถึง ค่าต่ำสุดและสูงสุด
ตัวเลขที่แสดงในตาราง คือ ค่าเฉลี่ยที่ได้จากวิเคราะห์ดินเลน
ตัวเลข 1 2 และ 3 หมายถึง จำนวนซ้ำ

2.1 อินทรียวัตถุภายหลังการบำบัด

ผลการทดลองพบว่าปริมาณอินทรียวัตถุในตะกอนเลนที่ผ่านการบำบัดทั้ง 6 วิธี ในบ่อจำลอง มีแนวโน้มลดลงเมื่อสิ้นสุดการทดลอง โดยจะมีการเปลี่ยนแปลงของปริมาณอินทรียวัตถุในทำนองเดียวกับในบ่อเลี้ยงกุ้งทะเลระบบปิด จากภาพผนวกที่ ก1 จะเห็นได้ว่าในช่วง 28 วันแรก การบำบัดอินทรียวัตถุในดินตะกอนเลนเป็นไปอย่างจำกัด ทั้งนี้เนื่องจากปริมาณอินทรียวัตถุเริ่มต้นมีปริมาณสูงมาก ทำให้ประสิทธิภาพในการบำบัดไม่ชัดเจน อย่างไรก็ตามเมื่อทำการบำบัดผ่านไปแล้ว 35 วัน พบว่าปริมาณอินทรียวัตถุมีค่าลดลง ส่วนประสิทธิภาพในการบำบัดพบว่าเมื่อสิ้นสุดการทดลอง วิธีคราดพรวนร่วมกับจุลินทรีย์ทางการค้า สามารถลดอินทรียวัตถุได้ถึง 9.03% ซึ่งสูงกว่าวิธีการอื่น ๆ ส่วนการตากแดด สามารถลดอินทรียวัตถุได้ต่ำสุดคือ 2.80% เมื่อนำมาวิเคราะห์ทางสถิติพบว่าไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) ในทุกชุดการทดลอง (ตารางผนวกที่ ก3)

จากการเปรียบเทียบปริมาณอินทรียวัตถุในตะกอนเลนที่ผ่านการบำบัดด้วยวิธีตากแดด และวิธีอื่น ๆ พบว่าหลังการทดลอง การตากแดดสามารถลดอินทรียวัตถุได้ต่ำสุด เนื่องจากการตากแดดจะทำให้ดินจับเป็นก้อนแข็ง ทำให้อากาศไม่สามารถเข้าไปภายในก้อนดินได้ การบำบัดจึงจำกัดเฉพาะผิวหน้าเท่านั้น ส่งผลให้ประสิทธิภาพในการบำบัดต่ำกว่าวิธีอื่น ๆ ส่วนการคราดพรวน คือการพลิกดินเลนและย่อยดินให้มีขนาดเล็กลง เป็นการเพิ่มการถ่ายเทออกซิเจนสู่จุลินทรีย์ในดิน ส่งผลให้มีประสิทธิภาพสูง ในขณะเดียวกันการเติมจุลินทรีย์ลงไปทั้งในรูปแบบจุลินทรีย์ EM หรือจุลินทรีย์ทางการค้า ENVI-BAC สามารถเพิ่มประสิทธิภาพของการย่อยสลายอินทรียวัตถุได้ โดยเฉพาะการใช้จุลินทรีย์ร่วมกับการคราดพรวนนั้น สามารถบำบัดดินก้นบ่อเลี้ยงกุ้งได้อย่างมีประสิทธิภาพมากที่สุด สำหรับค่าอินทรีย์คาร์บอนที่ได้สามารถอธิบายได้ในทำนองเดียวกับค่าอินทรียวัตถุที่ได้กล่าวไว้แล้ว (ภาพผนวกที่ ก2 ตารางผนวกที่ ก5)

2.2 ไนโตรเจนรวมภายหลังการบำบัด

จากภาพผนวกที่ ก3 ปริมาณไนโตรเจนรวมในตะกอนเลนที่ผ่านการบำบัดด้วยวิธีต่าง ๆ 6 วิธี มีแนวโน้มลดลง เนื่องจากไนโตรเจนส่วนใหญ่ในตะกอนดินเป็นอินทรีย์ไนโตรเจน จะถูกจุลินทรีย์ย่อยสลายได้แอมโมเนียเป็นผลผลิต (อำพล, 2546) เมื่อตะกอนเลนได้สัมผัสกับออกซิเจนจึงทำให้แอมโมเนียถูกออกซิไดซ์เป็นไนไตรท์และไนเตรท โดยกระบวนการ

ไนตริฟิเคชั่น โดยพบว่า วิธีการคราดพรวนร่วมกับจุลินทรีย์ทางการค้า สามารถลดไนโตรเจนรวมได้สูงสุด 40.61% รองลงมาได้แก่ การคราดพรวน บำบัดได้ 40.16% รดด้วยจุลินทรีย์ EM บำบัดได้ 39.82% ส่วนวิธีการตากแดด วิธีการคราดพรวนร่วมกับรดจุลินทรีย์EM และการรดจุลินทรีย์ ENVI-BAC สามารถลดไนโตรเจนรวมได้ 36.20% 36.14% และ 35.77% ตามลำดับ เมื่อนำมาวิเคราะห์ทางสถิติพบว่าไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) ในทุกชุดการทดลอง (ตารางผนวกที่ ก7)

ในภาพรวมแล้วพบว่า ปริมาณไนโตรเจนรวมเฉลี่ยที่วัดได้ในวิธีการตากแดดมีแนวโน้มมากกว่าวิธีการทดลองอื่น โดยที่ชุดการทดลองการคราดพรวนร่วมกับจุลินทรีย์ทางการค้าลดการสะสมของปริมาณไนโตรเจนรวมได้สูงสุด เนื่องจากการคราดพรวนเป็นการเพิ่มการถ่ายเทออกซิเจนสู่จุลินทรีย์ในดิน ขณะที่การเติมจุลินทรีย์ลงไปจะเป็นการเพิ่มจุลินทรีย์ที่อาศัยอยู่ในตะกอนดิน เนื่องจากจุลินทรีย์เหล่านี้จะเปลี่ยนสารอินทรีย์ให้กลายเป็นแร่ธาตุ ในสภาวะที่มีออกซิเจน (Boucher-Rodoni and Boucher, 1990) ส่งผลให้ปริมาณไนโตรเจนรวมลดลง

เนื่องจากการเกิดแอมโมเนียจะเกิดได้ทั้งบริเวณที่มีออกซิเจนและไม่มีออกซิเจน ในสภาวะที่มีออกซิเจน แอมโมเนียที่เกิดขึ้นอาจจะถูกพวกแอลจีและสาหร่ายดูดซึมเอาไปใช้ หรืออาจถูกแบคทีเรียประเภทออโตโทรปเปลี่ยนไปอยู่ในรูปของไนเตรท โดยกระบวนการไนตริฟิเคชั่น ผลการศึกษาปริมาณแอมโมเนียไนโตรเจนที่ผ่านการบำบัดทั้ง 6 วิธีในบ่อจำลอง พบว่าเมื่อสิ้นสุดการทดลอง วิธีคราดพรวนร่วมกับจุลินทรีย์ทางการค้า ลดการสะสมของปริมาณแอมโมเนียไนโตรเจนได้สูงสุด คือ 68.37% มก./กก. เมื่อเปรียบเทียบกับวิธีการอื่น ๆ และเมื่อนำมาวิเคราะห์ทางสถิติพบว่าไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) ในทุกชุดการทดลอง (ภาพผนวกที่ ก4 ตารางผนวกที่ ก9)

ในภาพรวมแล้วพบว่า แอมโมเนียไนโตรเจนในตะกอนเลนที่ผ่านการบำบัดมีแนวโน้มลดลง นอกจากนี้จะเห็นได้ว่า ในการย่อยสลายอนินทรีย์ไนโตรเจนในดินนั้นอาศัยหลักการทำงานของจุลินทรีย์ที่เหมาะสมและมีการให้ออกซิเจนที่พอเพียงแก่จุลินทรีย์ ดังนั้นส่งผลให้คราดพรวนร่วมกับจุลินทรีย์ทางการค้าลดการสะสมของปริมาณแอมโมเนียไนโตรเจนได้มากกว่าวิธีการอื่น ๆ

จากการศึกษาค่าไนไตรท์ไนโตรเจนที่ผ่านการบำบัดทั้ง 6 วิธี ในบ่อจำลอง มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นในช่วงแรกและลดลงเมื่อสิ้นสุดการทดลอง โดยเริ่มต้นมีปริมาณไนไตรท์

ไนโตรเจน 0.472 มก./กก. และลดลงเหลือ 0.936, 0.723, 1.197, 0.851, 0.949 และ 0.398 มก./กก. ตามลำดับ เมื่อสิ้นสุดการทดลอง พบว่า วิธีคราดพรวนร่วมกับจุลินทรีย์ ENVI-BAC ลดการสะสมของปริมาณไนไตรท์ไนโตรเจนได้มากที่สุด 15.69% เมื่อนำมาวิเคราะห์ทางสถิติพบว่าไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) ในทุกชุดการทดลอง (ภาพผนวกที่ ก5 ตารางผนวกที่ 11) เนื่องจากในสภาวะที่มีออกซิเจน ไนไตรท์จะถูกออกซิไดซ์ไปเป็นไนเตรทในกระบวนการไนตริฟิเคชั่น ซึ่งปฏิกิริยาดังกล่าวจะเกิดอย่างต่อเนื่องและตลอดเวลา ประกอบกับไนไตรท์ไนโตรเจนเป็นสารประกอบที่เกิดขึ้นระหว่างการเปลี่ยนแอมโมเนียไนโตรเจนไปเป็นไนเตรทไนโตรเจน จึงทำให้ปริมาณไนเตรทที่พบไม่คงที่

ผลการศึกษาปริมาณไนเตรทไนโตรเจนในตะกอนเลนที่ผ่านการบำบัดทั้ง 6 วิธี ในบ่อจำลอง พบว่ามีการสะสมของไนเตรทเมื่อสิ้นสุดการทดลอง (ภาพผนวกที่ ก6) ซึ่งวิธีการคราดพรวนร่วมกับรดจุลินทรีย์ ENVI-BAC มีปริมาณไนเตรทไนโตรเจนมากที่สุด 18.42 % ในขณะที่การตากแดดมีค่าน้อยสุดเพียง 3.25% เมื่อนำมาวิเคราะห์ทางสถิติพบว่าไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) ในทุกชุดการทดลอง (ตารางผนวกที่ ก13)

เนื่องจากการเปลี่ยนแปลงของสารประกอบไนโตรเจนในสภาวะที่มีออกซิเจนเพียงพอทำให้เกิดไนเตรทซึ่งเป็นผลผลิตสุดท้ายของกระบวนการไนตริฟิเคชั่นในตะกอนดิน (Thompson *et al*., 2002) ดังนั้นบริเวณชั้นดินเลนที่มีออกซิเจน จึงเกิดกระบวนการไนตริฟิเคชั่นได้ดี ทำให้บริเวณนี้เกิดการสะสมไนเตรทเพิ่มมากขึ้น ขณะที่แอมโมเนียลดน้อยลง นอกจากนี้การสะสมของไนเตรทอยู่ในดินพื้นบ่ออาจชี้ให้เห็นถึงการผลิตแอมโมเนียและการออกซิไดซ์แอมโมเนียในบ่อ (ยนต์, 2534) อย่างไรก็ตามวิธีการคราดพรวนร่วมกับรดจุลินทรีย์ ENVI-BAC สามารถบำบัดไนเตรทไนโตรเจนได้สูงสุดเมื่อเปรียบเทียบกับวิธีการอื่น ๆ

สรุปผลการวิเคราะห์ไนโตรเจนรวมและสารประกอบไนโตรเจนในบ่อจำลอง พบว่าไนโตรเจนรวมที่พบในดินเลนมีค่าลดลงเมื่อสิ้นสุดการทดลอง เมื่อพิจารณาร่วมกับปริมาณแอมโมเนีย ไนไตรท์ และไนเตรท จะเห็นได้ว่าไนโตรเจนส่วนใหญ่ในตะกอนดินเป็นอินทรีย์ไนโตรเจน ที่เหลืออีกเล็กน้อยเป็นสารประกอบไนโตรเจนในรูปสารอนินทรีย์ เนื่องจากสารอินทรีย์ที่สะสมในตะกอนดินส่วนหนึ่งจะถูกย่อยสลายโดยสัตว์หน้าดินและจุลินทรีย์ที่อาศัยอยู่ในตะกอนดินในสภาวะที่มีออกซิเจนแล้วเปลี่ยนสารอินทรีย์ให้กลายเป็นแร่ธาตุ (Boucher-Rodoni and Boucher, 1990) ซึ่งแร่ธาตุเหล่านี้จะมีการสะสมและแลกเปลี่ยนระหว่างตะกอนดินที่บริเวณผิวสัมผัสของดิน ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงปริมาณของแอมโมเนีย ไนไตรท์

และไนเตรท ในตะกอนดิน (Cowan and Boynton, 1996) และทำให้ไนโตรเจนรวมซึ่งส่วนใหญ่เป็นอินทรีย์ไนโตรเจนลดลง

2.3 ฟอสฟอรัสที่พืชใช้ได้ภายหลังการบำบัด

พบว่าปริมาณฟอสฟอรัสที่พืชใช้ได้ที่ผ่านการบำบัดในตะกอนเลนทั้ง 6 วิธี ในบ่อจำลอง จากภาพผนวกที่ ก7 จะเห็นได้ว่าการบำบัดฟอสฟอรัสที่พืชใช้ได้ในดินตะกอนเลนมีประสิทธิภาพในการบำบัดไม่ชัดเจน อย่างไรก็ตามเมื่อทำการบำบัดผ่านไปแล้ว 35 วัน พบว่าวิธีการคราดพรวนร่วมกับจุลินทรีย์ ENVI-BAC สามารถลดปริมาณฟอสฟอรัสในดินได้ดีกว่าวิธีอื่น ๆ ส่วนประสิทธิภาพในการบำบัดฟอสฟอรัสที่พืชใช้ได้ พบว่าเมื่อสิ้นสุดการทดลอง วิธีคราดพรวนร่วมกับจุลินทรีย์ ENVI-BAC สามารถลดปริมาณฟอสฟอรัสได้สูงสุดคือ 85.64% ส่วนการตากแดดลดได้ต่ำสุดเพียง 33.13% เมื่อนำมาวิเคราะห์ทางสถิติพบว่าไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) ในทุกชุดการทดลอง (ตารางผนวกที่ ก15)

ในภาพรวมแล้วพบว่าปริมาณฟอสฟอรัสที่พืชใช้ได้ได้มีแนวโน้มลดลงตามระยะเวลาในการบำบัด นอกจากนี้ฟอสฟอรัสที่วัดได้ในวิธีการคราดพรวนมีแนวโน้มปริมาณฟอสฟอรัสที่พืชใช้ได้ลดลงมากกว่าชุดการทดลองอื่น ซึ่งตรงข้ามกับวิธีการตากแดดซึ่งมีแนวโน้มมากสุด เนื่องจากการคราดพรวนเป็นการเพิ่มออกซิเจนลงสู่ดิน ทำให้จุลินทรีย์สัมผัสกับออกซิเจนที่บริเวณผิวหน้าตะกอนดิน ส่งผลให้สามารถเพิ่มประสิทธิภาพของการย่อยสลายฟอสฟอรัสที่พืชใช้ได้ของจุลินทรีย์ที่อาศัยอยู่ในตะกอนดิน

2.4 ค่าพีเอช ภายหลังการบำบัด

พบว่าค่าพีเอชในดินก้นบ่อที่ผ่านการบำบัดทั้ง 6 วิธี ในแบบจำลอง มีค่าเป็นกลางค่อนข้างเป็นกรด มีค่าผันแปรอยู่ในช่วง 6.47-7.49 (ภาพผนวกที่ ก8) เมื่อนำมาวิเคราะห์ทางสถิติพบว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) ในชุดการทดลองตากแดด กับชุดการทดลองที่เหลือ (ตารางผนวกที่ ก17) การลดลงของพีเอช อาจมาจากการสะสมของสารอินทรีย์และจะมีการปลดปล่อยไนโตรเจนในรูปแอมโมเนีย ซึ่งสามารถอธิบายในทำนองเดียวกันกับในบ่อเลี้ยงกุ้ง

2.5 ปริมาณวิบริโอรวมภายหลังการบำบัด

จากการศึกษาปริมาณการเปลี่ยนแปลงปริมาณวิบริโอรวมในดินก้นบ่อที่ผ่านการบำบัดทั้ง 6 วิธี ในบ่อจำลอง พบว่าปริมาณวิบริโอรวมมีแนวโน้มลดลงทุกบ่อที่ทำการบำบัด ซึ่งจากการตรวจตัวอย่างพบปริมาณวิบริโอรวมได้หลังการบำบัดสัปดาห์ที่ 1 ถึงสัปดาห์ที่ 6 ส่วนสัปดาห์ที่ 7 และ 8 ไม่สามารถตรวจพบโคโลนีของวิบริโอรวมบนอาหาร TCBS อีก โดยปริมาณวิบริโอรวมมีค่าอยู่ในช่วง 0-6.50 x10^4 CFU/g (ภาพผนวกที่ ก9) นอกจากนี้พบว่าเมื่อสิ้นสุดการทดลอง ทุกวิธีการบำบัดสามารถลดปริมาณวิบริโอรวมได้ 100% เมื่อนำมาวิเคราะห์ทางสถิติพบว่าไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) ในทุกชุดการทดลอง (ตารางผนวกที่ ก19)

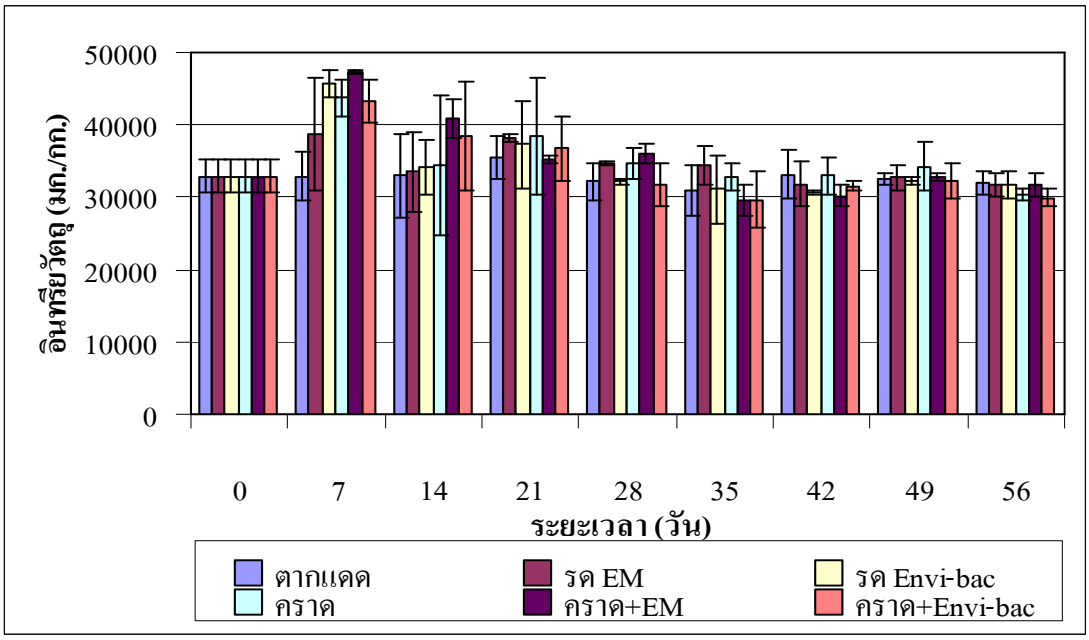
การที่ปริมาณวิบริโอรวมในงานวิจัยนี้มีแนวโน้มลดลงตามระยะเวลา เนื่องจากวิบริโอเป็นแบคทีเรียที่พบได้ในบริเวณแหล่งน้ำเค็ม น้ำกร่อยและดินตะกอน (Vandenberghe *et al*., 2003) ซึ่งจากการบำบัดดินด้วยวิธีต่าง ๆ ทั้ง 6 วิธี เป็นผลให้ดินเลนในบ่อจำลองแห้ง เนื่องจากน้ำที่มีอยู่ในดินระเหยออกไป ทำให้ดินก้นบ่อเลี้ยงกุ้งไม่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโต ส่งผลให้ปริมาณของวิบริโอรวมลดลงเรื่อย ๆ

2.6 ปริมาณบาซิลลัสภายหลังการบำบัด

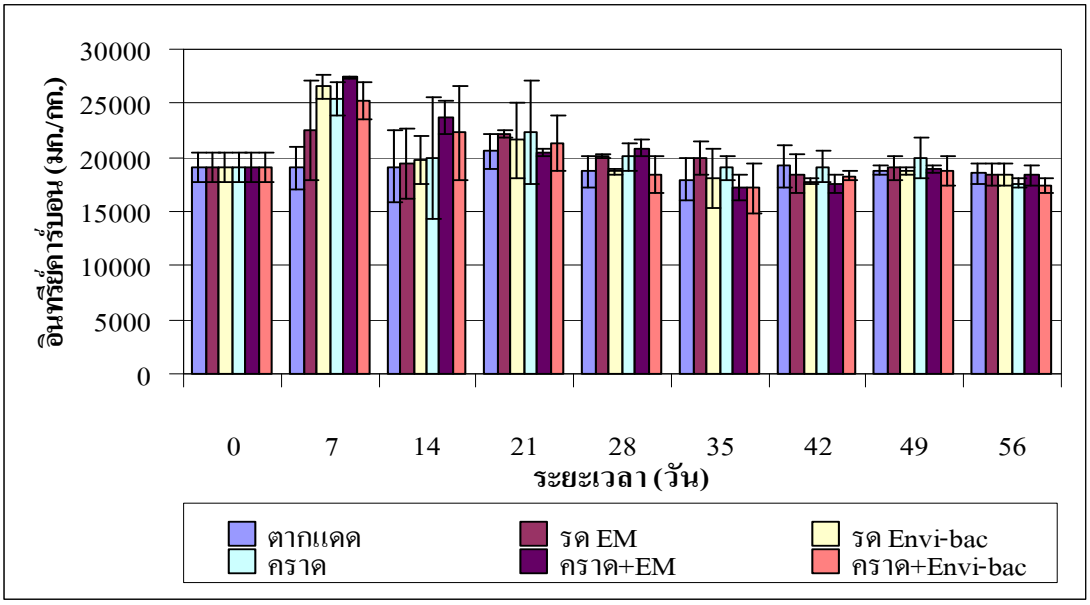
ผลการทดลองพบว่า ปริมาณบาซิลลัสในดินก้นบ่อที่ผ่านการบำบัดทั้ง 6 วิธี ในบ่อจำลอง มีการเปลี่ยนแปลงเพียงเล็กน้อย โดยมีค่าผันแปรอยู่ในช่วง 1.08 x10^5 – 2.19 x10^5 CFU/g และเมื่อสิ้นสุดการทดลองมีปริมาณบาซิลลัสอยู่ระหว่าง 1.53 x10^5-2.02 x10^5 CFU/g (ภาพผนวกที่ ก10) ซึ่งใกล้เคียงกับการศึกษาของชาตรี (2543) และวิวัฒน์ (2522) ที่พบว่ามีปริมาณบาซิลลัสในดินก้นบ่อเลี้ยงกุ้งอยู่ระหว่าง 5.47 x10^4–2.4x10^5 CFU/g และ 1.41x10^6-2.17x10^6 CFU/g ตามลำดับ เมื่อนำมาวิเคราะห์ทางสถิติพบว่าไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) ในทุกชุดการทดลอง (ตารางผนวกที่ ก21)

การที่ปริมาณบาซิลลัสในดิน มีการเปลี่ยนแปลงเพียงเล็กน้อย เนื่องจากบาซิลลัสสามารถสร้างสปอร์ได้ ทำให้มีความสามารถทนการเปลี่ยนแปลงของสภาพแวดล้อมได้ (สมศักดิ์, 2528) แต่เนื่องจากตัวเชื้อมี Vegetative cell ซึ่งไม่สามารถทนต่อสภาวะแวดล้อมต่าง ๆ ได้ ทำให้เมื่อโดนรังสียูวี จะทำให้ตาย โดยในส่วนของการทดลอง ผู้วิจัยได้ออกแบบการทดลองว่าจะเก็บ

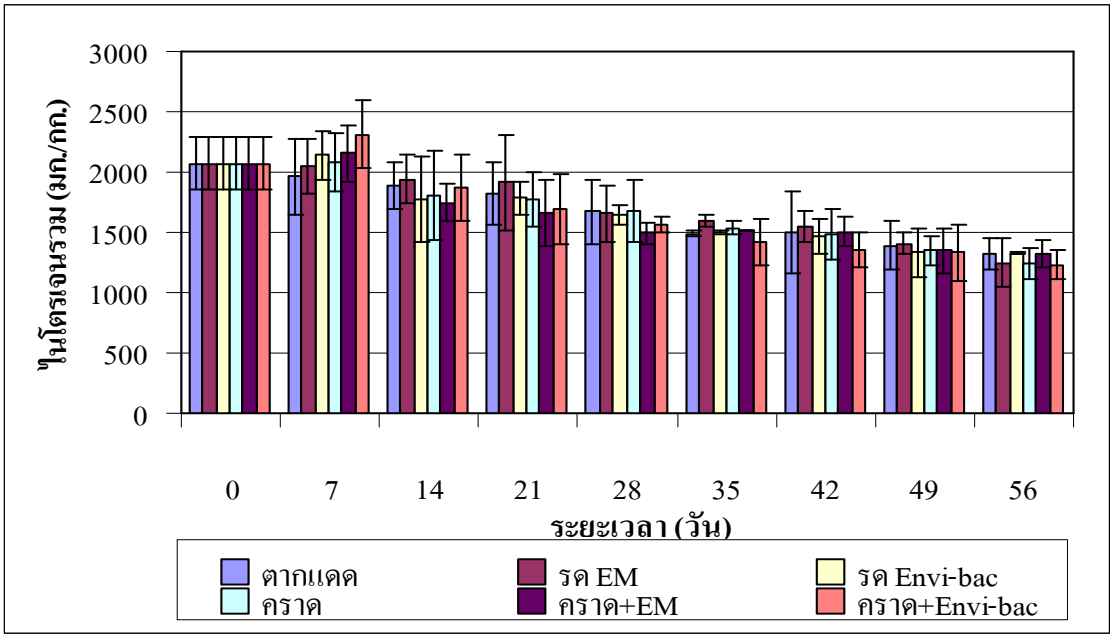
ตัวอย่างดินเลนในวันที่ 7 โดยในระหว่างนั้นได้ปล่อยดินตากแดด ดังนั้นเชื้ออาจตายหมดเหลือแต่สปอร์ จึงทำให้ไม่เห็นความแตกต่างในระหว่างการทดลอง



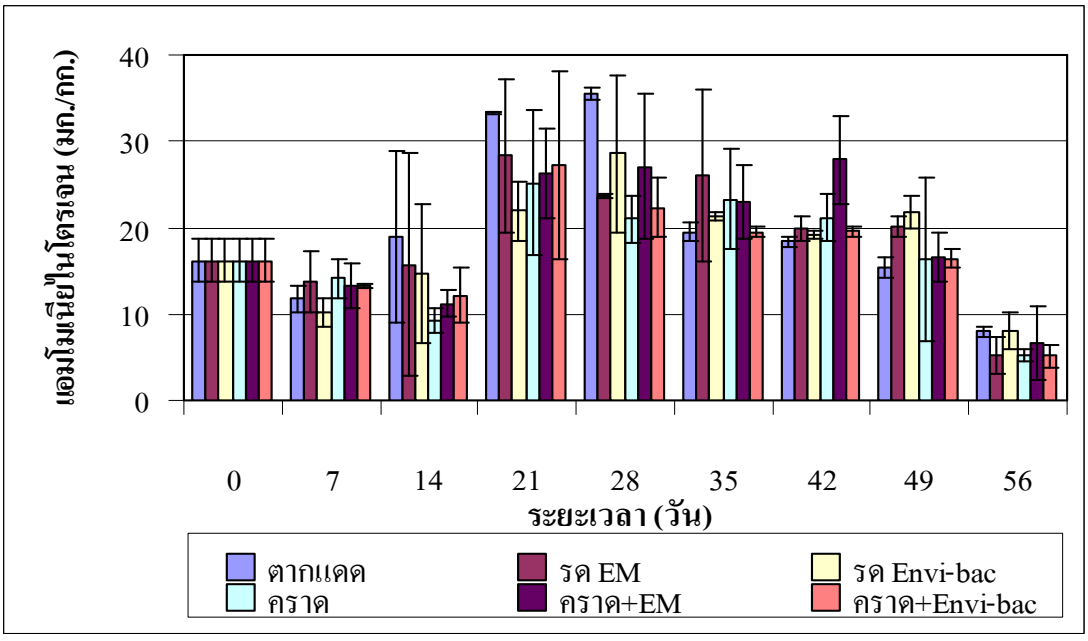
ภาพผนวกที่ ก1 ปริมาณอินทรียวัตถุ (มก./กก.) ในดินก้นบ่อเลี้ยงกุ้งทะเลที่ผ่านการบำบัดโดยวิธีการทางชีวภาพร่วมกับการคราดพรวนที่ระยะเวลาต่าง ๆ กันในบ่อจำลอง



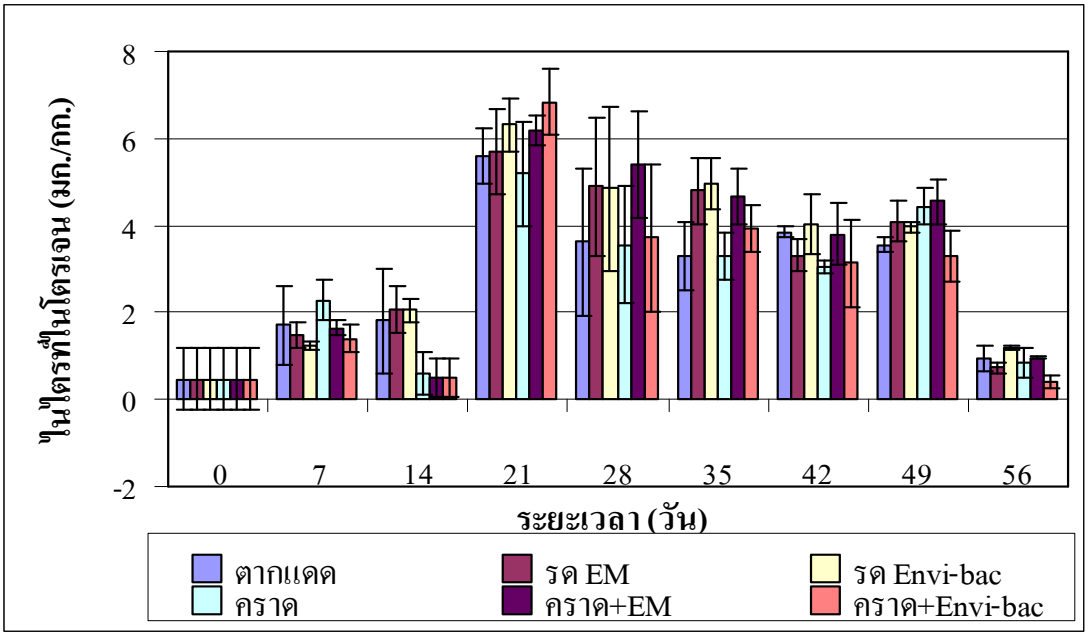
ภาพผนวกที่ ก2 ปริมาณอินทรียคาร์บอน (มก./กก.) ในดินก้นบ่อเลี้ยงกุ้งทะเลที่ผ่านการบำบัดโดยวิธีการทางชีวภาพร่วมกับการคราดพรวนที่ระยะเวลาต่าง ๆ กันในบ่อจำลอง



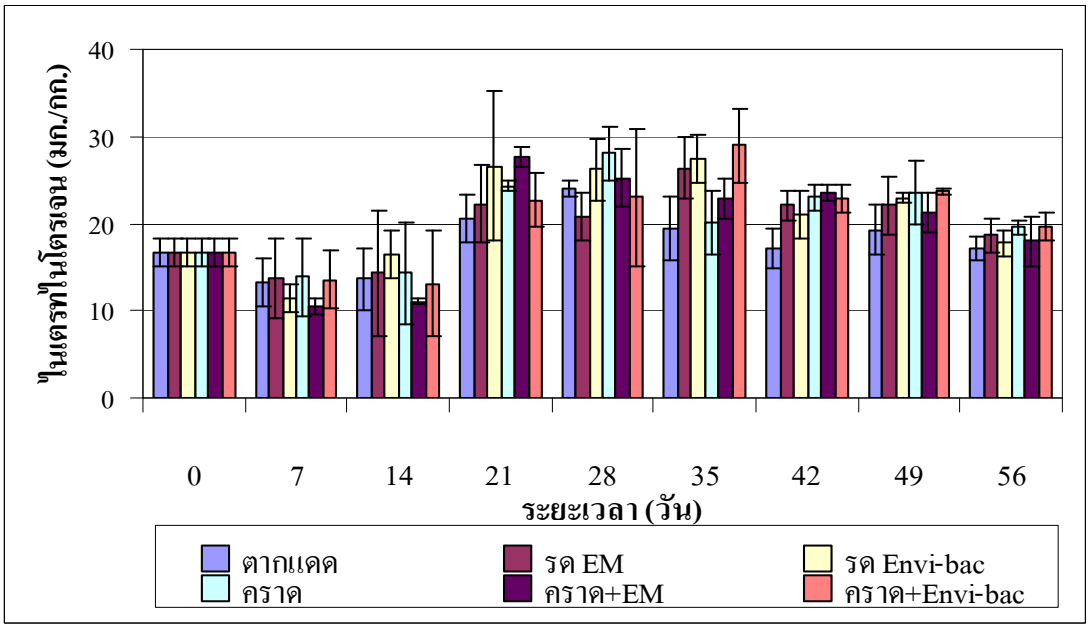
ภาพผนวกที่ ก3 ปริมาณไนโตรเจนรวม (มก./กก.) ในดินก้นบ่อเลี้ยงกุ้งทะเลที่ผ่านการบำบัดโดยวิธีการทางชีวภาพร่วมกับการคราดพรวนที่ระยะเวลาต่าง ๆ กันในบ่อจำลอง



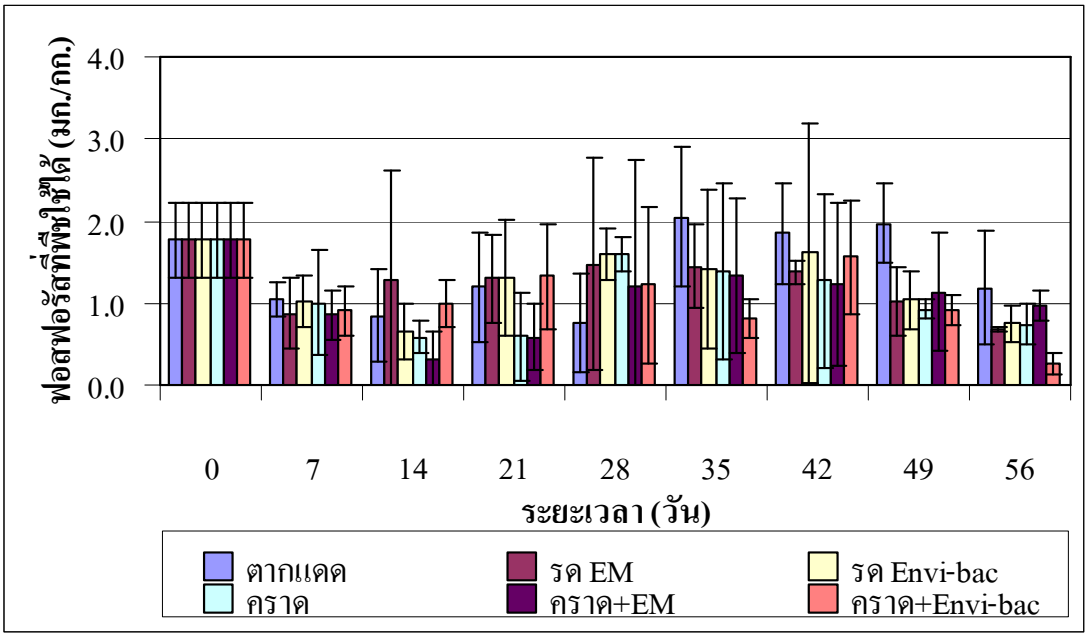
ภาพผนวกที่ ก4 ปริมาณแอมโมเนียไนโตรเจน (มก./กก.) ในดินก้นบ่อเลี้ยงกุ้งทะเลที่ผ่านการบำบัดโดยวิธีการทางชีวภาพร่วมกับการคราดพรวนที่ระยะเวลาต่าง ๆ กันในบ่อจำลอง



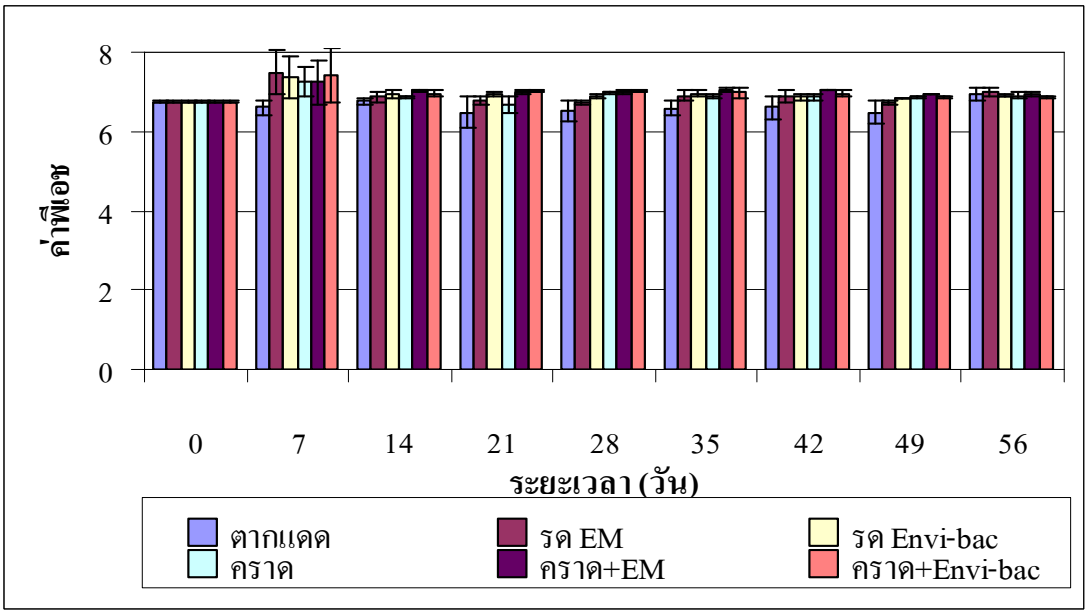
ภาพผนวกที่ ก5 ปริมาณไนไตรท์ไนโตรเจน (มก./กก.) ในดินก้นบ่อเลี้ยงกุ้งทะเลที่ผ่านการบำบัดโดยวิธีการทางชีวภาพร่วมกับการคราดพรวนที่ระยะเวลาต่าง ๆ กันในบ่อจำลอง



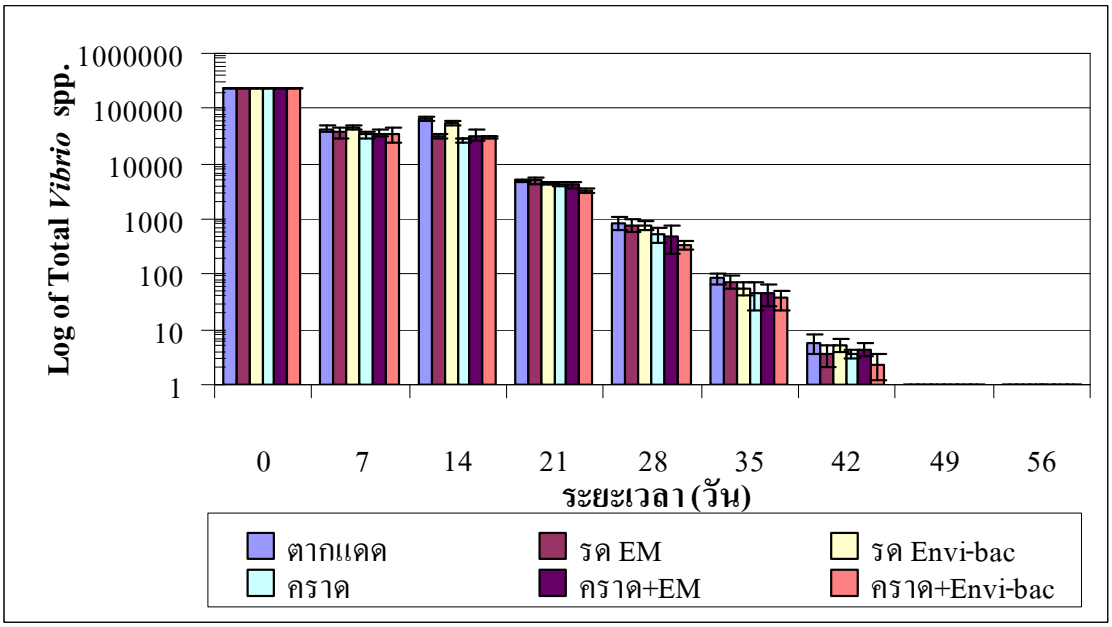
ภาพผนวกที่ ก6 ปริมาณไนเตรทไนโตรเจน (มก./กก.) ในดินก้นบ่อเลี้ยงกุ้งทะเลที่ผ่านการบำบัดโดยวิธีการทางชีวภาพร่วมกับการคราดพรวนที่ระยะเวลาต่าง ๆ กันในบ่อจำลอง



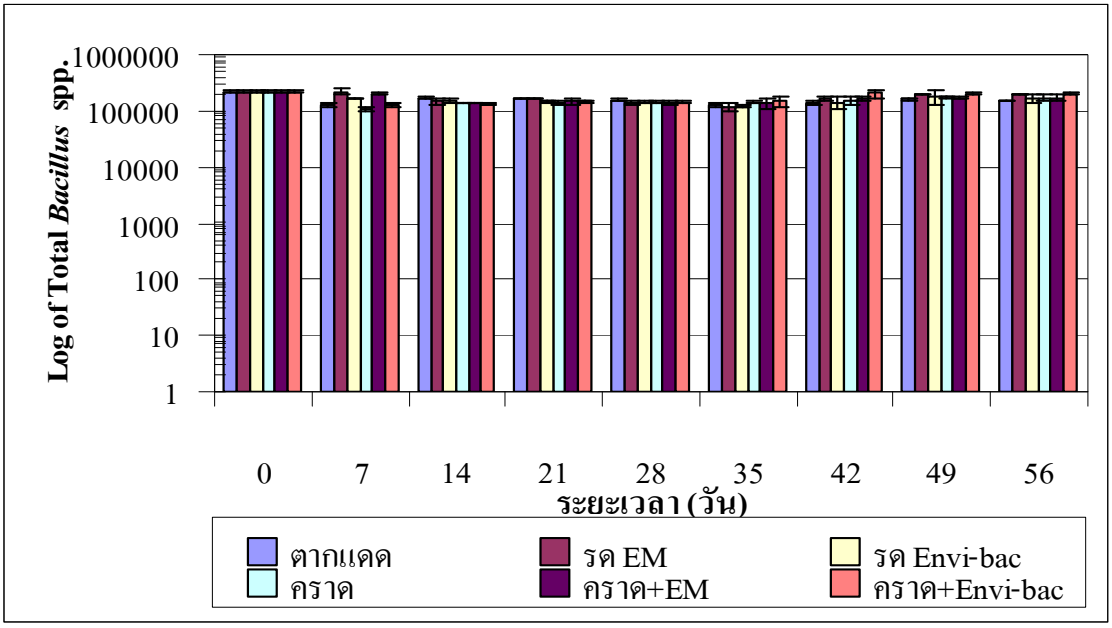
ภาพผนวกที่ ก7 ปริมาณฟอสฟอรัสที่พืชใช้ได้ (มก./กก.) ในดินก้นบ่อเลี้ยงกุ้งทะเลที่ผ่านการบำบัดโดยวิธีการทางชีวภาพร่วมกับการคราดพรวนที่ระยะเวลาต่างๆ กันในบ่อจำลอง



ภาพผนวกที่ ก8 ค่าพีเอชในดินก้นบ่อเลี้ยงกุ้งทะเลที่ผ่านการบำบัดโดยวิธีการทางชีวภาพร่วมกับการคราดพรวนที่ระยะเวลาต่างๆ กันในบ่อจำลอง



ภาพผนวกที่ ก9 ปริมาณวิบริโอรวม (CFU/g) ในดินก้นบ่อเลี้ยงกุ้งทะเลที่ผ่านการบำบัดโดยวิธีการทางชีวภาพร่วมกับการคราดพรวนที่ระยะเวลาต่างๆ กันในบ่อจำลอง



ภาพผนวกที่ ก10 ปริมาณบาซิลลัสรวม (CFU/g) ในดินก้นบ่อเลี้ยงกุ้งทะเลที่ผ่านการบำบัดโดยวิธีการทางชีวภาพร่วมกับการคราดพรวนที่ระยะเวลาต่างๆ กันในบ่อจำลอง

ตารางผนวกที่ ก2 ค่าอินทรียวัตถุก่อนและหลังการบำบัดดินด้วยวิธีทางชีวภาพร่วมกับการคราดพรวน ในบ่อจำลอง

วิธีการบำบัด	ก่อนการบำบัด	วันที่							
		7	**14**	**21**	**28**	**35**	**42**	**49**	**56**
(1) ตากแดด	32908	32845	33009	<u>35425</u>	32228	<u>30972</u>	33103	32413	31985
		0.19	-0.31	-7.65	2.07	5.88	-0.59	1.50	2.80
(2) รดจุลินทรีย์ EM	32908	<u>38720</u>	33573	38162	34688	34375	31748	32766	<u>31729</u>
		-17.66	-2.02	-15.97	-5.41	-4.46	3.52	0.43	3.58
(3) รดจุลินทรีย์ ENVI-BAC	32908	<u>45802</u>	34136	37276	32228	31059	<u>30648</u>	32325	31729
		-39.18	-3.73	-13.27	2.07	5.62	6.87	1.77	3.58
(4) คราดพรวน	32908	<u>43692</u>	34378	38484	34603	<u>32804</u>	32934	34268	30364
		-32.77	-4.47	-16.94	-5.15	0.31	-0.08	-4.13	7.73
(5) คราดพรวน+รดจุลินทรีย์ EM	32908	<u>47233</u>	40819	35183	35960	<u>29663</u>	30224	32678	31644
		-43.53	-24.04	-6.91	-9.27	9.86	8.15	0.70	3.84
(6) คราดพรวน+รดจุลินทรีย์ ENVI-BAC	32908	<u>43391</u>	38403	36713	31719	<u>29663</u>	31579	32237	29938
		-31.86	-16.70	-11.56	3.61	9.86	4.04	2.04	9.03

หมายเหตุ: ตัวเลขที่ขีดเส้นใต้ในแนวนอน หมายถึง ค่าต่ำสุดและสูงสุด

ตารางผนวกที่ ก3 อิทธิพลของปัจจัยทดลอง อิทธิพลของเวลาในการบำบัด และอิทธิพลร่วมของปัจจัยทั้งสองต่อค่าเฉลี่ยอินทรียวัตถุของดินที่ผ่านการบำบัดด้วยวิธีชีวภาพร่วมกับการคราดพรวนในบ่อจำลอง

ก. ตารางแสดงค่า F Value และMS Error

Source	df	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr>F
Time	8	1733141920	216642740	16.33	0.0001**
error	153	2029994215	13267936		
Trt	5	94947044	18989409	0.81	0.5459^{ns}
error	156	3668189090	23514033		
TimexTrt	40	641767844	16044196	1.34	0.1195^{ns}

หมายเหตุ **1)** ns หมายถึง ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

2) ** หมายถึง มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

ข. อิทธิพลของเวลาในการบำบัดต่อค่าเฉลี่ยอินทรียวัตถุ (มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม)

บ่อ	ก่อนบำบัด	วันที่							
		7	14	21	28	35	42	49	56
จำลอง	32908^{d}	41947^{a}	35720^{bc}	36874^{b}	33571^{cd}	31423^{d}	31706^{d}	32781^{d}	31882^{d}

ค. อิทธิพลของปัจจัยทดลองต่อค่าเฉลี่ยอินทรียวัตถุ (มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม)

แหล่งดิน	ชุดการทดลอง					
	T1	T2	T3	T4	T5	T6
บ่อจำลอง	32765^{a}	34297^{a}	34235^{a}	34937^{a}	35146^{a}	34061^{a}

หมายเหตุ: อักษรที่เหมือนกันในแนวนอน แสดงว่าไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ (P>0.05) และอักษรที่แตกต่างกัน แสดงว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P<0.05)

ตารางผนวกที่ ก4 ค่าอินทรีย์คาร์บอนก่อนและหลังการบำบัดดินด้วยวิธีทางชีวภาพร่วมกับการคราดพรวนในบ่อจำลอง

วิธีการบำบัด	ก่อนการบำบัด	วันที่							
		7	14	21	28	35	42	49	56
(1) ตากแดด	19088	19051	19147	20548	18694	17965	19201	18801	18553
		0.19	-0.31	-7.65	2.07	5.88	-0.59	1.50	2.80
(2) รดจุลินทรีย์ EM	19088	22460	19474	22136	20120	19939	18415	19006	18404
		-17.66	-2.02	-15.97	-5.41	-4.46	3.52	0.43	3.58
(3) รดจุลินทรีย์ ENVI-BAC	19088	26567	19801	21622	18694	18016	17777	18750	18404
		-39.18	-3.73	-13.27	2.07	5.62	6.87	1.77	3.58
(4) คราดพรวน	19088	25344	19941	22322	20071	19028	19103	19877	17613
		-32.77	-4.47	-16.94	-5.15	0.31	-0.08	-4.13	7.73
(5) คราดพรวน+รดจุลินทรีย์ EM	19088	27397	23677	20408	20858	17206	17532	18955	18355
		-43.53	-24.04	-6.91	-9.27	9.86	8.15	0.70	3.84
(6) คราดพรวน+รดจุลินทรีย์ ENVI-BAC	19088	25169	22276	21295	18399	17206	18317	18699	17365
		-31.86	-16.70	-11.56	3.61	9.86	4.04	2.04	9.03

หมายเหตุ: ตัวเลขที่ขีดเส้นใต้ในแนวนอน หมายถึง ค่าต่ำสุดและสูงสุด

ตารางผนวกที่ ก5 อิทธิพลของปัจจัยทดลอง อิทธิพลของเวลาในการบำบัด และอิทธิพลร่วมของปัจจัยทั้งสองต่อค่าเฉลี่ยอินทรีย์คาร์บอนของดินที่ผ่านการบำบัดด้วยวิธีชีวภาพร่วมกับการคราดพรวนในบ่อจำลอง

ก. ตารางแสดงค่า F Value และMS Error

Source	df	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr>F
Time	8	583122238	72890280	16.33	0.0001**
error	153	682999329	4464047.9		
Trt	5	31945296.7	6389059.3	0.81	0.5459^{ns}
error	156	1234176270	7911386.4		
TimexTrt	40	215925249	5398131.2	1.34	0.1195^{ns}

หมายเหตุ **1)** ns หมายถึง ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

2) ** หมายถึง มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

ข. อิทธิพลของเวลาในการบำบัดต่อค่าเฉลี่ยอินทรีย์คาร์บอน (มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม)

บ่อ	ก่อนบำบัด	วันที่							
		7	14	21	28	35	42	49	56
จำลอง	19088^{d}	24331^{a}	20719^{bc}	21388^{cd}	19473^{d}	18227^{d}	18391^{d}	19015^{d}	18116^{d}

ค. อิทธิพลของปัจจัยทดลองต่อค่าเฉลี่ยอินทรีย์คาร์บอน (มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม)

แหล่งดิน	ชุดการทดลอง					
	T1	T2	T3	T4	T5	T6
บ่อจำลอง	19005	19894	19858	20265	20386	19757

หมายเหตุ: อักษรที่เหมือนกันในแนวนอน แสดงว่าไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ (P>0.05) และอักษรที่แตกต่างกัน แสดงว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P<0.05)

ตารางผนวกที่ ก6 ค่าไนโตรเจนรวมก่อนและหลังการบำบัดดินด้วยวิธีทางชีวภาพร่วมกับการคราดพรวนในบ่อจำลอง

วิธีการบำบัด	ก่อนการบำบัด	วันที่							
		7	**14**	**21**	**28**	**35**	**42**	**49**	**56**
(1) ตากแดด	2071	1962	1886	1829	1672	1492	1500	1394	1322
		5.30	8.97	11.72	19.28	27.99	27.59	32.70	36.20
(2) รดจุลินทรีย์ EM	2071	2051	1941	1915	1658	1597	1551	1405	1247
		0.98	6.29	7.57	19.97	22.90	25.11	32.18	39.82
(3) รดจุลินทรีย์ ENVI-BAC	2071	2138	1775	1783	1643	1497	1473	1333	1330
		-3.20	14.30	13.92	20.71	27.75	28.90	35.66	35.77
(4) คราดพรวน	2071	2080	1804	1775	1681	1539	1487	1353	1240
		-0.39	12.92	14.29	18.84	25.70	28.23	34.71	40.16
(5) คราดพรวน+รดจุลินทรีย์ EM	2071	2154	1748	1660	1493	1519	1507	1349	1323
		-3.98	15.64	19.87	27.93	26.67	27.24	34.89	36.14
(6) คราดพรวน+รดจุลินทรีย์ ENVI-BAC	2071	2308	1875	1695	1557	1422	1359	1332	1230
		-11.43	9.49	18.16	24.83	31.37	34.38	35.71	40.61

หมายเหตุ: ตัวเลขที่ขีดเส้นใต้ในแนวนอน หมายถึง ค่าต่ำสุดและสูงสุด

ตารางผนวกที่ ก7 อิทธิพลของปัจจัยทดลอง อิทธิพลของเวลาในการบำบัด และอิทธิพลร่วมของปัจจัยทั้งสองต่อค่าเฉลี่ยไนโตรเจนรวมของดินที่ผ่านการบำบัดด้วยวิธีชีวภาพร่วมกับการคราดพรวนในบ่อจำลอง

ก. ตารางแสดงค่า F Value และMS Error

Source	Df	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr>F
Time	8	12773842.6	1596730.3	45.65	0.0001**
Error	153	5351451.31	34976.81		
Trt	5	82251.5757	16450.315	0.14	0.9821^{ns}
Error	156	18043042.4	115660.53		
TimexTrt	40	578493.62	14462.34	0.33	0.9999^{ns}

หมายเหตุ **1)** ns หมายถึง ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

2) ** หมายถึง มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

ข. อิทธิพลของเวลาในการบำบัดต่อค่าเฉลี่ยไนโตรเจนรวม (มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม)

บ่อ	ก่อนบำบัด	วันที่							
		7	14	21	28	35	42	49	56
จำลอง	2071^{a}	2115^{a}	1838^{b}	1776^{b}	1617^{c}	1511^{cd}	1480de	1361^{ef}	1282^{f}

ค. อิทธิพลของปัจจัยทดลองต่อค่าเฉลี่ยไนโตรเจนรวม (มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม)

แหล่งดิน	ชุดการทดลอง					
	T1	T2	T3	T4	T5	T6
บ่อจำลอง	1681^{a}	1715^{a}	1671^{a}	1670^{a}	1647^{a}	1650^{a}

หมายเหตุ: อักษรที่เหมือนกันในแนวนอน แสดงว่าไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ (P>0.05) และอักษรที่แตกต่างกัน แสดงว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P<0.05)

ตารางผนวกที่ ก8 ค่าแอมโมเนียไนโตรเจนก่อนและหลังการบำบัดดินด้วยวิธีทางชีวภาพร่วมกับการคราดพรวนในบ่อจำลอง

วิธีการบำบัด	ก่อนการบำบัด	วันที่							
		7	14	21	28	35	42	49	56
(1) ตากแดด	16.17	11.81	19.03	33.28	35.48	19.48	18.35	15.32	7.97
		26.98	-17.69	-105.78	-119.41	-20.46	-13.46	5.28	50.70
(2) รดจุลินทรีย์ EM	16.17	13.70	15.67	28.36	23.69	26.09	19.82	20.13	5.13
		15.26	3.07	-75.36	-46.47	-61.31	-22.56	-24.46	68.30
(3) รดจุลินทรีย์ ENVI-BAC	16.17	10.13	14.64	21.91	28.57	21.37	19.18	21.76	8.01
		37.34	9.47	-35.46	-76.64	-32.12	-18.60	-34.58	50.44
(4) คราดพรวน	16.17	14.15	9.23	25.16	21.00	23.29	21.12	16.36	5.13
		12.52	42.91	-55.56	-29.83	-44.04	-30.63	-1.18	68.25
(5) คราดพรวน+รดจุลินทรีย์ EM	16.17	13.26	11.23	26.19	27.05	22.95	27.84	16.67	6.53
		18.01	30.54	-61.94	-67.28	-41.91	-72.12	-3.09	59.60
(6) คราดพรวน+รดจุลินทรีย์ ENVI-BAC	16.17	13.30	12.13	27.22	22.33	19.45	19.57	16.43	5.11
		17.75	24.98	-68.34	-38.09	-20.25	-21.01	-1.62	68.37

หมายเหตุ: ตัวเลขที่ขีดเส้นใต้ในแนวนอน หมายถึง ค่าต่ำสุดและสูงสุด

ตารางผนวกที่ ก9 อิทธิพลของปัจจัยทดลอง อิทธิพลของเวลาในการบำบัด และอิทธิพลร่วมของปัจจัยทั้งสองต่อค่าเฉลี่ยแอมโมเนียไนโตรเจนของดินที่ผ่านการบำบัดด้วยวิธีชีวภาพร่วมกับการคราดพรวนในบ่อจำลอง

ก. ตารางแสดงค่า F Value และMS Error

Source	df	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr>F
Time	8	6539.316	817.4145	39.87	0.0001**
error	153	3136.79809	20.501948		
Trt	5	169.426874	33.885375	0.56	0.7335 ns
error	156	9506.68721	60.940303		
TimexTrt	40	1091.48505	27.287126	1.57	0.0348 ns

หมายเหตุ 1) ns หมายถึง ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

2) ** หมายถึง มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

ข. อิทธิพลของเวลาในการบำบัดต่อค่าเฉลี่ยแอมโมเนียไนโตรเจน (มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม)

บ่อ	ก่อนบำบัด	วันที่							
		7	14	21	28	35	42	49	56
จำลอง	16.17^{cd}	12.73^{e}	13.66^{de}	27.02^{a}	26.35^{a}	22.10^{b}	20.98^{b}	17.78^{c}	6.32^{f}

ค. อิทธิพลของปัจจัยทดลองต่อค่าเฉลี่ยแอมโมเนียไนโตรเจน (มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม)

แหล่งดิน	ชุดการทดลอง					
	T1	T2	T3	T4	T5	T6
บ่อจำลอง	19.66^{a}	18.75^{a}	17.97^{a}	16.85^{a}	18.66^{a}	16.86^{a}

หมายเหตุ: อักษรที่เหมือนกันในแนวนอน แสดงว่าไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ (P>0.05) และอักษรที่แตกต่างกัน แสดงว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P<0.05)

ตารางผนวกที่ ก10 ค่าไนไตรท์ในโตรเจนก่อนและหลังการบำบัดดินด้วยวิธีทางชีวภาพร่วมกับการคราดพรวนในบ่อจำลอง

วิธีการบำบัด	ก่อนบำบัด	วันที่							
		7	14	21	28	35	42	49	56
(1) ตากแดด	0.472	1.702	1.816	5.587	3.616	3.309	3.850	3.546	0.936
		-260.52	-284.77	-1083.71	-666.22	-601.09	-715.65	-651.34	-98.34
(2) รดจุลินทรีย์ EM	0.472	1.467	2.077	5.690	4.902	4.791	3.304	4.095	0.723
		-210.88	-339.95	-1105.56	-938.50	-915.09	-599.98	-767.69	-53.15
(3) รดจุลินทรีย์ ENVI-BAC	0.472	1.238	2.046	6.309	4.859	4.955	4.010	3.961	1.197
		-162.33	-333.39	-1236.68	-929.47	-949.81	-749.54	-739.19	-153.69
(4) คราดพรวน	0.472	2.288	0.587	5.191	3.555	3.287	3.055	4.445	0.851
		-384.65	-24.31	-999.79	-653.13	-596.34	-547.34	-841.78	-80.40
(5) คราดพรวน+รด EM	0.472	1.636	0.486	6.189	5.401	4.673	3.799	4.552	0.949
		-246.69	-2.96	-1211.18	-1044.25	-890.03	-704.86	-864.39	-101.05
(6) คราดพรวน+รดENVI-BAC	0.472	1.389	0.511	6.844	3.713	3.923	3.130	3.295	0.398
		-194.33	-8.22	-1350.02	-686.62	-731.13	-563.21	-598.11	15.69

หมายเหตุ: ตัวเลขที่ขีดเส้นใต้ในแนวนอน หมายถึง ค่าต่ำสุดและสูงสุด

ตารางผนวกที่ ก11 อิทธิพลของปัจจัยทดลอง อิทธิพลของเวลาในการบำบัด และอิทธิพลร่วมของปัจจัยทั้งสองต่อค่าเฉลี่ยไนไตรท์ไนโตรเจนของดินที่ผ่านการบำบัดด้วยวิธีชีวภาพร่วมกับการคราดพรวนในบ่อจำลอง

ก. ตารางแสดงค่า F Value และMS Error

Source	df	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr>F
Time	8	523.726376	65.465797	110.86	0.0001**
error	153	106.229022	0.6943073		
Trt	5	9.31282629	1.8625653	0.47	0.7995 ^{ns}
error	156	620.642572	3.978478		
TimexTrt	40	33.137817	0.8284454	1.4	0.0869 ^{ns}

หมายเหตุ 1) ns หมายถึง ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

2) ** หมายถึง มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

ข. อิทธิพลของเวลาในการบำบัดต่อค่าเฉลี่ยไนไตรท์ไนโตรเจน(มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม)

บ่อ	ก่อนบำบัด	วันที่							
		7	14	21	28	35	42	49	56
จำลอง	0.472^{f}	1.620^{d}	1.254^{de}	5.968^{a}	4.341^{b}	4.156^{b}	3.525^{c}	3.982^{bc}	0.842^{ef}

ค. อิทธิพลของปัจจัยทดลองต่อค่าเฉลี่ยไนไตรท์ไนโตรเจน (มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม)

แหล่งดิน	ชุดการทดลอง					
	T1	T2	T3	T4	T5	T6
บ่อจำลอง	2.76^{a}	3.06^{a}	3.23^{a}	2.64^{a}	3.13^{a}	2.63^{a}

หมายเหตุ: อักษรที่เหมือนกันในแนวนอน แสดงว่าไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ (P>0.05) และอักษรที่แตกต่างกัน แสดงว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P<0.05)

ตารางผนวกที่ ก12 ค่าไนเตรทไนโตรเจนก่อนและหลังการบำบัดดินด้วยวิธีทางชีวภาพร่วมกับการคราดพรวนในบ่อจำลอง

วิธีการบำบัด	ก่อนการบำบัด	วันที่							
		7	14	21	28	35	42	49	56
(1) ตากแดด	16.65	13.22	13.70	20.62	23.99	19.46	17.23	19.30	17.19
		20.56	17.70	-23.88	-44.12	-16.88	-3.52	-15.94	-3.25
(2) รดจุลินทรีย์ EM	16.65	13.65	14.32	22.22	20.78	26.36	22.09	22.07	18.66
		18.00	13.97	-33.46	-24.83	-58.35	-32.69	-32.57	-12.06
(3) รดจุลินทรีย์ ENVI-BAC	16.65	11.48	16.54	26.61	26.18	27.45	21.09	22.94	17.79
		31.07	0.63	-59.84	-57.25	-64.88	-26.67	-37.82	-6.88
(4) คราดพรวน	16.65	13.91	14.29	24.33	28.02	20.11	22.98	23.52	19.56
		16.45	14.19	-46.13	-68.31	-20.79	-38.04	-41.31	-17.51
(5) คราดพรวน+รด EM	16.65	10.54	11.07	27.60	25.23	22.87	23.58	21.28	18.02
		36.70	33.49	-65.81	-51.57	-37.39	-41.61	-27.82	-8.23
(6) คราดพรวน+รด ENVI-BAC	16.65	13.57	13.12	22.72	23.04	28.96	22.84	23.75	19.71
		18.46	21.21	-36.50	-38.37	-73.94	-37.22	-42.67	-18.42

หมายเหตุ: ตัวเลขที่ขีดเส้นใต้ในแนวนอน หมายถึง ค่าต่ำสุดและสูงสุด

ตารางผนวกที่ ก13 อิทธิพลของปัจจัยทดลอง อิทธิพลของเวลาในการบำบัด และอิทธิพลร่วมของปัจจัยทั้งสองต่อค่าเฉลี่ยไนเตรทไนโตรเจนของดินที่ผ่านการบำบัดด้วยวิธีชีวภาพร่วมกับการคราดพรวนในบ่อจำลอง

ก. ตารางแสดงค่า F Value และMS Error

Source	df	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr>F
Time	8	2982.07591	372.75949	30.14	0.0001**
error	153	1892.50368	12.369305		
Trt	5	141.502729	28.300546	0.93	0.4614 ns
error	156	4733.07686	30.340236		
TimexTrt	40	513.749422	12.843736	1.12	0.3159 ns

หมายเหตุ 1) ns หมายถึง ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

2) ** หมายถึง มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

ข. อิทธิพลของเวลาในการบำบัดต่อค่าเฉลี่ยไนเตรทไนโตรเจน(มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม)

บ่อ	ก่อนบำบัด	วันที่							
		7	14	21	28	35	42	49	56
จำลอง	16.65^{c}	12.73^{d}	13.84^{d}	24.02^{ab}	24.54^{a}	24.20^{a}	21.64^{b}	22.15^{ab}	18.49^{c}

ค. อิทธิพลของปัจจัยทดลองต่อค่าเฉลี่ยไนเตรทไนโตรเจน (มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม)

แหล่งดิน	ชุดการทดลอง					
	T1	T2	T3	T4	T5	T6
บ่อจำลอง	17.93^{a}	19.64^{a}	20.75^{a}	20.37^{a}	19.65^{a}	20.49^{a}

หมายเหตุ: อักษรที่เหมือนกันในแนวนอน แสดงว่าไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ (P>0.05) และอักษรที่แตกต่างกัน แสดงว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P<0.05)

ตารางผนวกที่ ก14 ค่าฟอสฟอรัสที่พืชใช้ได้ก่อนและหลังการบำบัดดินด้วยวิธีทางชีวภาพร่วมกับการคราดพรวนในบ่อจำลอง

วิธีการบำบัด	ก่อนการบำบัด	วันที่							
		7	14	21	28	35	42	49	56
(1) ตากแดด	1.77	1.04	0.85	1.19	0.77	2.05	1.85	1.97	1.18
		41.01	52.15	32.51	56.74	-15.58	-4.40	-11.27	33.13
(2) รดจุลินทรีย์ EM	1.77	0.87	1.27	1.30	1.47	1.45	1.38	1.02	0.68
		50.70	28.13	26.55	16.71	18.24	22.09	42.55	61.33
(3) รดจุลินทรีย์ ENVI-BAC	1.77	1.02	0.66	1.31	1.59	1.42	1.61	1.04	0.75
		42.30	62.49	25.86	10.02	19.79	8.77	41.28	57.85
(4) คราดพรวน	1.77	1.01	0.59	0.59	1.60	1.39	1.27	0.93	0.74
		43.14	66.78	66.59	9.68	21.69	28.25	47.73	58.06
(5) คราดพรวน+รดจุลินทรีย์ EM	1.77	0.85	0.31	0.59	1.20	1.34	1.24	1.13	0.97
		51.90	82.35	66.82	32.27	24.53	30.08	36.25	45.26
(6) คราดพรวน+รดจุลินทรีย์ ENVI-BAC	1.77	0.91	0.99	1.32	1.22	0.82	1.56	0.91	0.25
		48.67	44.09	25.18	30.98	53.92	11.78	48.68	85.64

หมายเหตุ: ตัวเลขที่ขีดเส้นใต้ในแนวนอน หมายถึง ค่าต่ำสุดและสูงสุด

ตารางผนวกที่ ก15 อิทธิพลของปัจจัยทดลอง อิทธิพลของเวลาในการบำบัด และอิทธิพลร่วมของปัจจัยทั้งสองต่อค่าเฉลี่ยฟอสฟอรัสที่พืชใช้ได้ของดินที่ผ่านการบำบัดด้วยวิธีชีวภาพร่วมกับการคราดพรวนในบ่อจำลอง

ก. ตารางแสดงค่า F Value และMS Error

Source	df	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr>F
Time	8	16.4333336	2.0541667	5.29	0.0001**
error	153	59.4135078	0.3883236		
Trt	5	2.54965634	0.5099313	1.09	0.3707 ns
error	156	73.297185	0.4698538		
TimexTrt	40	9.69998725	0.2424997	0.56	0.9818 ns

หมายเหตุ 1) ns หมายถึง ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

2) ** หมายถึง มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

ข. อิทธิพลของเวลาในการบำบัดต่อค่าเฉลี่ยฟอสฟอรัสที่พืชใช้ได้(มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม)

บ่อ	ก่อนบำบัด	วันที่							
		7	14	21	28	35	42	49	56
จำลอง	1.77[a]	0.95[cd]	0.78[d]	1.05[bcd]	1.31[bc]	1.41[ab]	1.48[ab]	1.16[bcd]	0.76[d]

ค. อิทธิพลของปัจจัยทดลองต่อค่าเฉลี่ยฟอสฟอรัสที่พืชใช้ได้ (มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม)

แหล่งดิน	ชุดการทดลอง					
	T1	T2	T3	T4	T5	T6
บ่อจำลอง	1.41[a]	1.25[a]	1.24[a]	1.10[a]	1.04[a]	1.08[a]

หมายเหตุ: อักษรที่เหมือนกันในแนวนอน แสดงว่าไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ (P>0.05) และอักษรที่แตกต่างกัน แสดงว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P<0.05)

ตารางผนวกที่ ก16 ค่าพีเอชก่อนและหลังการบำบัดดินด้วยวิธีทางชีวภาพร่วมกับการคราดพรวนในบ่อจำลอง

วิธีการบำบัด	ก่อนการบำบัด	วันที่							
		7	14	21	28	35	42	49	56
(1) ตากแดด	6.75	6.61	6.77	6.48	6.52	6.59	6.60	6.47	6.93
		2.12	-0.25	4.10	3.41	2.47	2.27	4.24	-2.57
(2) รดจุลินทรีย์ EM	6.75	7.49	6.87	6.79	6.75	6.91	6.89	6.73	6.99
		-10.96	-1.78	-0.49	0.05	-2.32	-2.07	0.39	-3.46
(3) รดจุลินทรีย์ ENVI-BAC	6.75	7.38	6.94	6.92	6.88	6.97	6.87	6.82	6.91
		-9.33	-2.81	-2.47	-1.83	-3.16	-1.78	-0.99	-2.37
(4) คราดพรวน	6.75	7.28	6.87	6.66	6.99	6.89	6.87	6.87	6.90
		-7.75	-1.68	1.43	-3.46	-2.02	-1.73	-1.73	-2.12
(5) คราดพรวน+รดจุลินทรีย์ EM	6.75	7.25	7.04	6.98	6.99	7.05	7.03	6.93	6.93
		-7.35	-4.20	-3.36	-3.46	-4.44	-4.15	-2.67	-2.57
(6) คราดพรวน+รดจุลินทรีย์ ENVI-BAC	6.75	7.44	6.95	7.02	7.02	6.97	6.96	6.87	6.87
		-10.12	-2.86	-3.90	-3.90	-3.26	-3.06	-1.73	-1.78

หมายเหตุ: ตัวเลขที่ขีดเส้นใต้ในแนวนอน หมายถึง ค่าต่ำสุดและสูงสุด

ตารางผนวกที่ ก17 อิทธิพลของปัจจัยทดลอง อิทธิพลของเวลาในการบำบัด และอิทธิพลร่วมของปัจจัยทั้งสองต่อค่าเฉลี่ยพีเอชของดินที่ผ่านการบำบัดด้วยวิธีชีวภาพร่วมกับการคราดพรวนในบ่อจำลอง

ก. ตารางแสดงค่า F Value และMS Error

Source	df	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr>F
Time	8	2.95651605	0.3695645	6.64	0.0001**
error	153	8.51168889	0.055632		
Trt	5	2.35639012	0.471278	8.07	0.0001**
error	156	9.11181481	0.0584091		
TimexTrt	40	1.69156543	0.0422891	1.02	0.4492 ^{ns}

หมายเหตุ 1) ns หมายถึง ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

2) ** หมายถึง มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

ข. อิทธิพลของเวลาในการบำบัดต่อค่าเฉลี่ยพีเอช

บ่อ	ก่อนบำบัด	วันที่							
		7	14	21	28	35	42	49	56
จำลอง	6.75 ^{b}	7.24 ^{a}	6.91 ^{b}	6.81 ^{b}	6.86 ^{b}	6.90 ^{b}	6.87 ^{b}	6.78 ^{b}	6.92 ^{b}

ค. อิทธิพลของปัจจัยทดลองต่อค่าเฉลี่ยพีเอช

แหล่งดิน	ชุดการทดลอง					
	T1	T2	T3	T4	T5	T6
บ่อจำลอง	6.63 ^{b}	6.91 ^{a}	6.94 ^{a}	6.90 ^{a}	6.99 ^{a}	6.98 ^{a}

หมายเหตุ: อักษรที่เหมือนกันในแนวนอน แสดงว่าไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ (P>0.05) และอักษรที่แตกต่างกัน แสดงว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P<0.05)

ตารางผนวกที่ ก18 ปริมาณวิบริโอรวมก่อนและหลังการบำบัดดินด้วยวิธีทางชีวภาพร่วมกับการคราดพรวนในบ่อจำลอง

วิธีการบำบัด	ก่อนการบำบัด	วันที่							
		7	14	21	28	35	42	49	56
(1) ตากแดด	228667	42667	65000	5067	867	87	6	0	0
		81.34	71.57	97.78	99.62	99.96	100	100	100
(2) รดจุลินทรีย์ EM	228667	36333	33000	4933	767	73	4	0	0
		84.11	85.57	97.84	99.66	99.97	100	100	100
(3) รดจุลินทรีย์ ENVI-BAC	228667	45667	55333	4467	767	57	5	0	0
		80.03	75.80	98.05	99.66	99.98	100	100	100
(4) คราดพรวน	228667	33667	27667	4367	533	47	4	0	0
		85.28	87.90	98.09	99.77	99.98	100	100	100
(5) คราดพรวน+รดจุลินทรีย์ EM	228667	36000	33000	4133	500	47	4	0	0
		84.26	85.57	98.19	99.78	99.98	100	100	100
(6) คราดพรวน+รดจุลินทรีย์ ENVI-BAC	228667	35667	30667	3367	333	37	2	0	0
		84.40	86.59	98.53	99.85	99.98	100	100	100

หมายเหตุ: ตัวเลขที่ขีดเส้นใต้ในแนวนอน หมายถึง ค่าต่ำสุดและสูงสุด

ตารางผนวกที่ ก19 อิทธิพลของปัจจัยทดลอง อิทธิพลของเวลาในการบำบัด และอิทธิพลร่วมของปัจจัยทั้งสองต่อค่าเฉลี่ยวิบริโอรวมของดินที่ผ่านการบำบัดด้วยวิธีชีวภาพร่วมกับการคราดพรวนในบ่อจำลอง

ก. ตารางแสดงค่า F Value และMS Error

Source	df	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr>F
Time	8	8.02×10^{11}	1.00×10^{11}	3133.73	0.0001**
error	153	4.90×10^{9}	3.20×10^{7}		
Trt	5	6.905×10^{8}	1.381×10^{8}	0.03	0.9997^{ns}
error	156	8.064×10^{11}	5.169×10^{9}		
TimexTrt	40	3.23×10^{9}	8.07×10^{7}	8.94	0.0001**

หมายเหตุ 1) ns หมายถึง ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

2) ** หมายถึง มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

ข. อิทธิพลของเวลาในการบำบัดต่อค่าเฉลี่ยวิบริโอรวม (เซลล์ต่อกรัม)

บ่อ	ก่อนบำบัด	วันที่							
		7	14	21	28	35	42	49	56
จำลอง	228667 [a]	38333 [b]	40778 [b]	4389 [c]	628 [d]	58 [d]	4 [d]	0 [d]	0 [d]

ค. อิทธิพลของปัจจัยทดลองต่อค่าเฉลี่ยวิบริโอรวม(เซลล์ต่อกรัม)

แหล่งดิน	ชุดการทดลอง					
	T1	T2	T3	T4	T5	T6
บ่อจำลอง	38040 [a]	33753 [a]	37218 [a]	32772 [a]	33595 [a]	33193 [a]

หมายเหตุ: อักษรที่เหมือนกันในแนวนอน แสดงว่าไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ (P>0.05) และอักษรที่แตกต่างกัน แสดงว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P<0.05)

ง. อิทธิพลร่วมของปัจจัยทั้งสองต่อค่าเฉลี่ยวิบริโอรวม

วิธีการบำบัด	ก่อนบำบัด	วันที่							
		7	14	21	28	35	42	49	56
(1) ตากแดด	228667^{a}	42667^{a}	65000^{a}	5067^{a}	867^{a}	87^{a}	6^{a}	0^{a}	0^{a}
(2) รด EM	228667^{a}	36333^{a}	33000^{c}	4933^{a}	767^{ab}	73^{ab}	4^{ab}	0^{b}	0^{b}
(3) รดENVI-BAC	228667^{a}	45667^{a}	55333^{b}	4467^{ab}	767^{ab}	57^{ab}	5^{a}	0^{c}	0^{c}
(4) คราดพรวน	228667^{a}	33667^{a}	27667^{c}	4367^{ab}	533^{abc}	47^{b}	4^{ab}	0^{d}	0^{d}
(5) คราดพรวน+รดจุลินทรีย์ EM	228667^{a}	36000^{a}	33000^{c}	4133^{b}	500^{bc}	47^{b}	4^{ab}	0^{e}	0^{e}
(6) คราดพรวน+รดจุลินทรีย์ ENVI-BAC	228667^{a}	35667^{a}	30667^{c}	3367^{c}	333^{c}	37^{b}	2^{b}	0^{f}	0^{f}

หมายเหตุ: อักษรที่เหมือนกันในแนวตั้งในช่วงก่อนการบำบัด และวันที่ 7, 14, 21, 28, 35, 42, 49, และ 56 แสดงว่าไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($P>0.05$) และอักษรที่แตกต่างกัน แสดงว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$)

ตารางผนวกที่ ก20 ปริมาณบาซิลลัส ก่อนและหลังการบำบัดดินด้วยวิธีทางชีวภาพร่วมกับการคราดพรวนในบ่อจำลอง

วิธีการบำบัด	ก่อนการบำบัด	วันที่							
		7	14	21	28	35	42	49	56
(1) ตากแดด	220667	125667	171667	164667	154333	127667	144000	159333	152667
		43.05	22.21	25.38	30.06	42.15	34.74	27.79	30.82
(2) รดจุลินทรีย์ EM	220667	218667	147000	168000	144000	118000	164000	195667	197667
		0.91	33.38	23.87	34.74	46.53	25.68	11.33	10.42
(3) รดจุลินทรีย์ ENVI-BAC	220667	164667	152000	146667	143667	121000	144333	179667	163667
		25.38	31.12	33.53	34.89	45.17	34.59	18.58	25.83
(4) คราดพรวน	220667	107667	141333	137000	141333	142667	155000	172667	172000
		51.21	35.95	37.92	35.95	35.35	29.76	21.75	22.05
(5) คราดพรวน+รด EM	220667	200667	139667	147667	140667	136333	170667	171333	168667
		9.06	36.71	33.08	36.25	38.22	22.66	22.36	23.56
(6) คราดพรวน+รด ENVI-BAC	220667	123667	132667	148333	144667	147667	205333	202333	201333
		43.96	39.88	32.78	34.44	33.08	6.95	8.31	8.76

หมายเหตุ: ตัวเลขที่ขีดเส้นใต้ในแนวนอน หมายถึง ค่าต่ำสุดและสูงสุด

ตารางผนวกที่ ก21 อิทธิพลของปัจจัยทดลอง อิทธิพลของเวลาในการบำบัด และอิทธิพลร่วมของปัจจัยทั้งสองต่อค่าเฉลี่ยบาซิลลัสในดินที่ผ่านการบำบัดด้วยวิธีชีวภาพร่วมกับการคราดพรวนในบ่อจำลอง

ก. ตารางแสดงค่า F Value และMS Error

Source	df	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr>F
Time	8	$9.8376x\ 10^{10}$	1.23×10^{10}	21.65	0.0001**
error	153	8.6898×10^{10}	5.6796×10^{8}		
Trt	5	81564×10^{9}	1.631×10^{9}	1.44	0.214^{ns}
error	156	1.7712×10^{11}	1.135×10^{9}		
TimexTrt	40	4.26×10^{11}	2.84×10^{10}	11.04	0.0001**

หมายเหตุ 1) ns หมายถึง ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

2) ** หมายถึง มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

ข. อิทธิพลของเวลาในการบำบัดต่อค่าเฉลี่ยบาซิลลัส (เซลล์ต่อกรัม)

บ่อ	ก่อนบำบัด	วันที่							
		7	14	21	28	35	42	49	56
จำลอง	220667^{a}	156833^{cd}	147389^{cde}	152056^{cd}	144778^{de}	132222^{e}	163889^{bc}	180167^{b}	176000^{b}

ค. อิทธิพลของปัจจัยทดลองต่อค่าเฉลี่ยบาซิลลัส (เซลล์ต่อกรัม)

แหล่งดิน	ชุดการทดลอง					
	T1	T2	T3	T4	T5	T6
บ่อจำลอง	157852^{a}	174852^{a}	159593^{a}	154481^{a}	166259^{a}	169630^{a}

หมายเหตุ: อักษรที่เหมือนกันในแนวนอน แสดงว่าไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ (P>0.05) และอักษรที่แตกต่างกัน แสดงว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P<0.05)

ง. อิทธิพลร่วมของปัจจัยทั้งสองต่อค่าเฉลี่ยบาซิลลัส

วิธีการบำบัด	ก่อนบำบัด	วันที่							
		7	14	21	28	35	42	49	56
(1) ตากแดด	220667^{a}	125667^{c}	171667^{a}	164667^{a}	154333^{a}	127667^{a}	144000^{b}	159333^{b}	152667^{b}
(2) รด EM	220667^{a}	218667^{a}	147000^{bc}	168000^{a}	144000^{a}	118000^{a}	164000^{ab}	195667^{ab}	197667^{a}
(3) รดENVI-BAC	220667^{a}	164667^{b}	152000^{b}	146667^{b}	143667^{a}	121000^{a}	144333^{b}	179667^{ab}	163667^{b}
(4) คราดพรวน	220667^{a}	107667^{c}	141333^{bc}	137000^{b}	141333^{a}	142667^{a}	155000^{b}	172667^{ab}	172000^{ab}
(5) คราดพรวน+รดจุลินทรีย์ EM	220667^{a}	200667^{a}	139667^{bc}	147667^{b}	140667^{a}	136333^{a}	170667^{ab}	171333^{ab}	168667^{ab}
(6) คราดพรวน+รดจุลินทรีย์ ENVI-BAC	220667^{a}	123667^{c}	132667^{c}	148333^{b}	144667^{a}	147667^{a}	205333^{a}	202333^{a}	201333^{a}

หมายเหตุ: อักษรที่เหมือนกันในแนวตั้งในช่วงก่อนการบำบัด และวันที่ 7, 14, 21, 28, 35, 42, 49, และ 56 แสดงว่าไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($P>0.05$) และอักษรที่แตกต่างกัน แสดงว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$)

ตารางผนวกที่ ก22 อิทธิพลของปัจจัยทดลองและเวลาที่มีต่อค่าอินทรียวัตถุก่อนและหลังการบำบัดด้วยวิธีชีวภาพร่วมกับการคราดพรวนในบ่อจำลอง

ชุดการทดลอง	ซ้ำ	ก่อนบำบัด	สัปดาห์ที่							
			1 (7)	2 (14)	3 (21)	4 (28)	5 (35)	6 (42)	7 (49)	8 (56)
1-1	1	31225	36159	34780	35747	32567	26959	36828	31530	30705
	2	31756	29379	26568	32365	29514	32717	30224	32590	31473
	3	35742	32995	37679	38162	34603	33241	32256	33120	33776
1-2	1	31225	32091	37679	38645	35112	31408	28192	30735	33264
	2	31756	36611	35747	37679	34603	36643	33526	33915	29938
	3	35742	47459	27293	38162	34348	35073	33526	33650	31985
1-3	1	31225	45199	29708	44200	31804	25650	30732	32855	30194
	2	31756	47911	36954	33090	32313	34026	30986	32325	33776
	3	35742	44295	35747	34539	32567	33502	30224	31795	31217
1-4	1	31225	40679	23187	47823	32567	34287	35812	34974	30194
	2	31756	44747	40094	33331	36893	30623	31748	30735	31217
	3	35742	45651	39853	34297	34348	33502	31240	37094	29682
1-5	1	31225	47459	40094	34539	37147	27744	28700	32060	31985
	2	31756	47233	43717	35747	36129	31932	31748	33120	33008
	3	35742	47007	38645	35264	34603	29315	30224	32855	29938
1-6	1	31225	46103	30191	32365	28496	32979	30732	29675	30961
	2	31756	40227	40336	41060	34094	30885	32256	34445	30194
	3	35742	43843	44683	36713	32567	25127	31748	32590	28658

ตารางผนวกที่ ก23 อิทธิพลของปัจจัยทดลองและเวลาที่มีต่อค่าอินทรีย์คาร์บอนวัตถุก่อนและหลังการบำบัดด้วยวิธีชีวภาพร่วมกับการคราดพรวนในบ่อจำลอง

ชุดการทดลอง	ซ้ำ	ก่อนบำบัด	สัปดาห์ที่							
			1 (7)	2 (14)	3 (21)	4 (28)	5 (35)	6 (42)	7 (49)	8 (56)
1-1	1	18112	20974	20174	20735	18891	15637	21362	18289	17811
	2	18420	17041	15411	18773	17120	18977	17532	18904	18256
	3	20732	19139	21855	22136	20071	19281	18710	19211	19592
1-2	1	18112	18614	21855	22416	20366	18218	16353	17828	19295
	2	18420	21236	20735	21855	20071	21255	19447	19672	17365
	3	20732	27528	15831	22136	19924	20344	19447	19518	18553
1-3	1	18112	26217	17232	25638	18448	14878	17826	19057	17514
	2	18420	27791	21435	19194	18743	19737	17973	18750	19592
	3	20732	25693	20735	20034	18891	19433	17532	18443	18107
1-4	1	18112	23596	13450	27740	18891	19888	20773	20287	17514
	2	18420	25955	23256	19334	21400	17763	18415	17828	18107
	3	20732	26480	23116	19894	19924	19433	18121	21516	17217
1-5	1	18112	27528	23256	20034	21547	16093	16648	18596	18553
	2	18420	27397	25358	20735	20957	18522	18415	19211	19146
	3	20732	27266	22416	20454	20071	17004	17532	19057	17365
1-6	1	18112	26742	17512	18773	16529	19129	17826	17213	17959
	2	18420	23334	23397	23817	19776	17915	18710	19979	17514
	3	20732	25431	25918	21295	18891	14575	18415	18904	16623

ตารางผนวกที่ ก24 อิทธิพลของปัจจัยทดลองและเวลาที่มีต่อค่าไนโตรเจนรวมก่อนและหลังการบำบัดด้วยวิธีชีวภาพร่วมกับการคราดพรวนในบ่อจำลอง

ชุดการทดลอง	ซ้ำ	ก่อนบำบัด	สัปดาห์ที่							
			1 (7)	2 (14)	3 (21)	4 (28)	5 (35)	6 (42)	7 (49)	8 (56)
1-1	1	2305	2071	1669	1589	1780	1482	1505	1243	1402
	2	1883	2208	1948	1792	1865	1479	1840	1623	1389
	3	2027	1606	2039	2105	1372	1515	1155	1316	1174
1-2	1	2305	2304	2153	1845	1830	1611	1456	1396	1351
	2	1883	1959	1932	2337	1392	1539	1693	1321	1372
	3	2027	1890	1739	1561	1751	1641	1505	1498	1016
1-3	1	2305	1963	2174	1662	1616	1506	1589	1492	1339
	2	1883	2350	1503	1759	1729	1500	1311	1402	1317
	3	2027	2101	1649	1928	1582	1484	1519	1105	1335
1-4	1	2305	1821	2201	1519	1481	1602	1480	1218	1174
	2	1883	2105	1755	1837	1585	1492	1701	1394	1384
	3	2027	2313	1456	1970	1977	1524	1279	1445	1160
1-5	1	2305	2387	1595	1938	1432	1515	1639	1158	1191
	2	1883	2158	1737	1380	1455	1519	1490	1352	1383
	3	2027	1917	1911	1662	1592	1523	1393	1537	1394
1-6	1	2305	1984	1883	1772	1539	1288	1209	1483	1163
	2	1883	2464	1595	1940	1503	1326	1502	1446	1158
	3	2027	2477	2146	1373	1629	1650	1367	1066	1370

ตารางผนวกที่ ก25 อิทธิพลของปัจจัยทดลองและเวลาที่มีต่อค่าแอมโมเนียไนโตรเจนก่อนและหลังการบำบัดด้วยวิธีชีวภาพร่วมกับการคราดพรวนในบ่อจำลอง

ชุดการทดลอง	ซ้ำ	ก่อนบำบัด	สัปดาห์ที่ 1 (7)	2 (14)	3 (21)	4 (28)	5 (35)	6 (42)	7 (49)	8 (56)
1-1	1	15.95	11.81	26.05	33.13	35.48	20.69	17.79	15.17	8.40
	2	13.79	13.36	12.02	33.36	34.99	19.13	18.15	14.20	7.27
	3	18.77	10.25	19.03	33.36	35.97	18.62	19.10	16.58	8.25
1-2	1	15.95	17.17	6.58	19.20	23.45	19.05	18.51	21.55	3.21
	2	13.79	10.24	24.77	28.89	23.92	33.13	19.66	19.20	4.73
	3	18.77	13.70	15.67	36.98	23.69	26.09	21.29	19.64	7.43
1-3	1	15.95	8.41	23.47	17.86	28.57	21.00	19.52	20.08	6.08
	2	13.79	11.79	12.73	23.70	35.04	21.73	19.41	23.77	7.76
	3	18.77	10.20	7.71	24.16	22.09	21.37	18.61	21.44	10.20
1-4	1	15.95	14.15	7.96	33.68	17.90	18.97	20.42	27.21	5.85
	2	13.79	16.44	8.83	16.85	22.02	21.04	18.83	9.91	5.11
	3	18.77	11.86	10.90	24.94	23.07	29.87	24.13	11.96	4.45
1-5	1	15.95	13.26	11.00	20.93	27.05	25.89	30.04	17.24	3.20
	2	13.79	15.95	9.82	26.36	32.95	20.01	22.06	13.60	5.10
	3	18.77	10.57	12.88	31.28	21.16	22.95	31.41	19.18	11.30
1-6	1	15.95	13.30	11.38	36.99	19.90	19.93	18.95	16.15	5.36
	2	13.79	13.49	15.60	15.66	24.76	18.82	20.11	17.69	3.68
	3	18.77	13.11	9.42	29.02	22.33	19.59	19.65	15.47	6.30

ตารางผนวกที่ ก26 อิทธิพลของปัจจัยทดลองและเวลาที่มีต่อค่าไนไตรท์ในโตรเจนก่อนและหลังการบำบัดด้วยวิธีชีวภาพร่วมกับการคราดพรวนในบ่อจำลอง

ชุดการทดลอง	ซ้ำ	ก่อนบำบัด	สัปดาห์ที่							
			1 (7)	2 (14)	3 (21)	4 (28)	5 (35)	6 (42)	7 (49)	8 (56)
1-1	1	0.08	1.41	1.07	6.23	5.44	4.14	3.74	3.68	0.66
	2	0.05	1.00	3.20	4.98	3.36	3.22	3.96	3.35	0.90
	3	1.30	2.70	1.17	5.55	2.05	2.57	3.93	3.61	1.25
1-2	1	0.08	1.81	2.34	5.58	3.13	4.00	3.73	4.62	0.72
	2	0.05	1.37	1.46	6.71	5.42	4.91	3.03	3.69	0.60
	3	1.30	1.23	2.43	4.78	6.16	5.46	3.16	3.98	0.85
1-3	1	0.08	1.17	2.32	6.49	6.97	4.40	4.80	3.81	1.16
	2	0.05	1.38	1.75	6.80	3.33	5.57	3.65	4.05	1.19
	3	1.30	1.17	2.06	5.64	4.27	4.89	3.58	4.01	1.24
1-4	1	0.08	2.78	1.13	5.64	3.94	3.00	2.26	3.97	0.52
	2	0.05	1.91	0.44	6.09	2.05	2.95	3.24	4.57	1.21
	3	1.30	2.17	0.20	3.84	4.68	3.91	3.66	4.80	0.82
1-5	1	0.08	1.57	0.96	5.84	4.40	3.98	4.04	4.61	0.94
	2	0.05	1.83	0.11	6.24	6.75	4.78	3.94	5.03	0.93
	3	1.30	1.50	0.39	6.48	5.05	5.26	3.42	4.01	0.97
1-6	1	0.08	1.37	0.29	7.17	3.52	4.47	3.59	3.65	0.37
	2	0.05	1.72	1.01	7.38	2.11	3.39	1.96	3.65	0.27
	3	1.30	1.08	0.23	5.98	5.51	3.92	3.83	2.59	0.56

ตารางผนวกที่ ก27 อิทธิพลของปัจจัยทดลองและเวลาที่มีต่อค่าไนเตรทไนโตรเจนก่อนและหลังการบำบัดด้วยวิธีชีวภาพร่วมกับการคราดพรวนในบ่อจำลอง

ชุดการทดลอง	ซ้ำ	ก่อนบำบัด	สัปดาห์ที่							
			1 (7)	2 (14)	3 (21)	4 (28)	5 (35)	6 (42)	7 (49)	8 (56)
1-1	1	16.98	16.31	12.99	20.56	23.65	16.13	19.73	20.74	18.12
	2	14.95	11.94	17.55	23.45	24.97	18.83	15.18	21.14	17.91
	3	18.01	11.43	10.55	17.86	23.36	23.41	16.79	16.02	15.53
1-2	1	16.98	10.47	10.38	17.08	23.34	22.56	20.39	18.66	17.08
	2	14.95	11.62	9.92	24.73	17.87	27.11	22.11	25.06	20.88
	3	18.01	18.87	22.67	24.85	21.14	29.42	23.77	22.49	18.00
1-3	1	16.98	10.32	13.95	22.15	23.69	26.47	22.56	23.32	20.68
	2	14.95	10.86	16.26	21.11	30.34	30.62	22.72	23.31	17.95
	3	18.01	13.25	19.42	36.57	24.51	25.25	17.98	22.20	14.75
1-4	1	16.98	17.68	20.87	23.75	25.72	21.53	22.04	27.74	21.48
	2	14.95	9.03	9.92	24.91	26.69	22.76	24.66	20.94	14.53
	3	18.01	15.02	12.07	24.32	31.65	16.04	22.24	21.89	22.67
1-5	1	16.98	11.39	10.84	26.43	21.70	22.54	24.38	19.22	19.35
	2	14.95	9.57	11.53	28.66	28.26	20.68	23.69	23.86	20.11
	3	18.01	10.65	10.84	27.71	25.74	25.39	22.65	20.76	14.59
1-6	1	16.98	15.05	19.93	19.26	16.17	24.07	21.40	23.89	22.73
	2	14.95	9.74	11.30	23.48	21.32	31.05	22.72	23.35	17.00
	3	18.01	15.93	8.12	25.43	31.62	31.75	24.41	24.02	19.42

ตารางผนวกที่ ก28 อิทธิพลของปัจจัยทดลองและเวลาที่มีต่อค่าฟอสฟอรัสที่พืชใช้ได้ก่อนและหลังการบำบัดด้วยวิธีชีวภาพร่วมกับการคราดพรวนในบ่อจำลอง

ชุดการทดลอง	ซ้ำ	ก่อนบำบัด	สัปดาห์ที่							
			1 (7)	2 (14)	3 (21)	4 (28)	5 (35)	6 (42)	7 (49)	8 (56)
1-1	1	2.13	1.21	1.50	1.96	0.73	1.73	2.51	2.25	1.35
	2	1.25	1.11	0.49	0.92	1.38	3.00	1.30	1.41	0.43
	3	1.93	0.81	0.55	0.70	0.19	1.40	1.73	2.25	1.78
1-2	1	2.13	0.62	0.33	0.92	0.10	0.90	1.37	0.70	0.71
	2	1.25	0.63	0.66	1.06	2.67	1.52	1.24	0.85	0.68
	3	1.93	1.37	2.82	1.92	1.65	1.92	1.53	1.50	0.66
1-3	1	2.13	1.28	0.47	2.06	1.23	0.35	1.20	1.37	0.97
	2	1.25	0.66	0.46	0.66	1.75	2.23	3.36	1.06	0.77
	3	1.93	1.13	1.06	1.22	1.80	1.68	0.28	0.68	0.50
1-4	1	2.13	0.28	0.36	0.17	1.77	2.63	0.19	0.87	0.53
	2	1.25	1.22	0.64	1.19	1.36	0.66	2.31	1.06	0.70
	3	1.93	1.52	0.77	0.42	1.67	0.87	1.31	0.85	1.00
1-5	1	2.13	0.63	0.68	1.05	0.21	2.03	0.16	0.57	1.16
	2	1.25	1.19	0.05	0.29	0.39	1.72	2.10	1.94	0.95
	3	1.93	0.74	0.21	0.42	3.00	0.26	1.45	0.87	0.80
1-6	1	2.13	0.70	0.74	0.96	1.28	0.64	1.90	1.10	0.27
	2	1.25	1.25	0.94	2.07	0.24	1.09	2.02	0.89	0.11
	3	1.93	0.78	1.29	0.93	2.15	0.72	0.76	0.74	0.38

ตารางผนวกที่ ก29 อิทธิพลของปัจจัยทดลองและเวลาที่มีต่อพีเอชก่อนและหลังการบำบัดด้วยวิธีชีวภาพร่วมกับการคราดพรวนในบ่อจำลอง

ชุดการทดลอง	ซ้ำ	ก่อนบำบัด	สัปดาห์ที่ 1 (7)	2 (14)	3 (21)	4 (28)	5 (35)	6 (42)	7 (49)	8 (56)
1-1	1	6.77	6.44	6.70	6.07	6.81	6.43	6.34	6.14	6.80
	2	6.70	6.60	6.75	6.51	6.26	6.56	6.57	6.57	6.87
	3	6.79	6.80	6.86	6.85	6.50	6.77	6.89	6.69	7.11
1-2	1	6.77	6.86	6.75	6.68	6.70	6.78	6.74	6.74	6.91
	2	6.70	7.85	6.86	6.79	6.74	6.88	6.89	6.69	6.93
	3	6.79	7.77	7.01	6.89	6.81	7.07	7.05	6.75	7.12
1-3	1	6.77	7.64	7.02	6.89	6.80	7.06	6.82	6.81	6.93
	2	6.70	7.74	6.98	6.98	6.90	6.97	6.98	6.83	6.90
	3	6.79	6.77	6.83	6.89	6.93	6.87	6.82	6.82	6.91
1-4	1	6.77	7.57	6.87	6.90	7.01	6.85	6.85	6.85	6.90
	2	6.70	7.40	6.91	6.53	7.00	6.94	6.95	6.85	6.98
	3	6.79	6.86	6.82	6.54	6.95	6.88	6.81	6.91	6.81
1-5	1	6.77	7.84	7.03	6.93	6.95	7.08	7.04	6.94	6.97
	2	6.70	6.74	7.07	7.00	6.98	7.07	7.04	6.94	6.89
	3	6.79	7.17	7.01	7.01	7.03	7.01	7.02	6.92	6.92
1-6	1	6.77	6.65	6.86	7.01	7.01	6.86	6.89	6.90	6.89
	2	6.70	7.71	6.96	7.01	7.03	6.97	6.96	6.88	6.87
	3	6.79	7.95	7.02	7.03	7.01	7.09	7.03	6.83	6.86

ตารางผนวกที่ ก30 อิทธิพลของปัจจัยทดลองและเวลาที่มีต่อปริมาณวิบริโอรวมก่อนและหลังการบำบัดด้วยวิธีชีวภาพร่วมกับการคราดพรวนในบ่อจำลอง

ชุดการทดลอง	ซ้ำ	ก่อนบำบัด	สัปดาห์ที่							
			1 (7)	2 (14)	3 (21)	4 (28)	5 (35)	6 (42)	7 (49)	8 (56)
1-1	1	225000	38000	61000	4900	800	80	8	0	0
	2	229000	41000	69000	5300	1100	110	5	0	0
	3	232000	49000	65000	5000	700	70	4	0	0
1-2	1	225000	30000	36000	5200	600	80	5	0	0
	2	229000	34000	33000	5300	1000	50	2	0	0
	3	232000	45000	30000	4300	700	90	4	0	0
1-3	1	225000	42000	49000	4100	800	60	7	0	0
	2	229000	49000	63000	4800	900	70	5	0	0
	3	232000	46000	54000	4500	600	40	4	0	0
1-4	1	225000	30000	28000	4100	700	50	3	0	0
	2	229000	39000	30000	4700	400	70	4	0	0
	3	232000	32000	25000	4300	500	20	4	0	0
1-5	1	225000	30000	26000	4600	800	30	3	0	0
	2	229000	40000	33000	3600	400	70	5	0	0
	3	232000	38000	40000	4200	300	40	5	0	0
1-6	1	225000	24000	29000	3700	400	50	3	0	0
	2	229000	46000	33000	3100	300	40	3	0	0
	3	232000	37000	30000	3300	300	20	1	0	0

ตารางผนวกที่ ก31 อิทธิพลของปัจจัยทดลองและเวลาที่มีต่อปริมาณแบคทีเรียรวมก่อนและหลังการบำบัดด้วยวิธีชีวภาพร่วมกับการคราดพรวนในบ่อจำลอง

ชุด	ซ้ำ	ก่อนบำบัด	หลังการบำบัดครั้งที่							
			1 (7)	2 (14)	3 (21)	4 (28)	5 (35)	6 (42)	7 (49)	8 (56)
1-1	1	204000	113000	161000	160000	159000	130000	130000	160000	158000
	2	234000	134000	170000	169000	154000	141000	146000	165000	151000
	3	224000	130000	184000	165000	150000	112000	156000	153000	149000
1-2	1	204000	186000	136000	165000	148000	100000	181000	196000	198000
	2	234000	226000	165000	172000	154000	112000	167000	201000	201000
	3	224000	244000	140000	167000	130000	142000	144000	190000	194000
1-3	1	204000	159000	143000	148000	143000	115000	170000	207000	195000
	2	234000	170000	163000	142000	134000	129000	155000	121000	137000
	3	224000	165000	150000	150000	154000	119000	108000	211000	159000
1-4	1	204000	96000	138000	130000	133000	141000	126000	160000	190000
	2	234000	119000	145000	135000	149000	136000	157000	175000	174000
	3	224000	108000	141000	146000	142000	151000	182000	183000	152000
1-5	1	204000	190000	136000	168000	131000	159000	185000	177000	145000
	2	234000	211000	140000	135000	147000	145000	154000	164000	189000
	3	224000	201000	143000	140000	144000	105000	173000	173000	172000
1-6	1	204000	113000	133000	141000	148000	178000	200000	202000	203000
	2	234000	134000	129000	155000	154000	156000	243000	207000	197000
	3	224000	124000	136000	149000	132000	109000	173000	198000	204000

ภาคผนวก ข

ตารางข้อมูลผลการทดลอง

ตารางผนวกที่ ข1 ค่าอินทรียวัตถุก่อนและหลังการบำบัดดินด้วยวิธีทางชีวภาพร่วมกับการคราดพรวน ในบ่อเลี้ยงกุ้ง

วิธีการบำบัด	ก่อนการบำบัด	หลังการบำบัดวันที่				
		7	14	28	42	56
(1) ตากแดด	36933	36200	38867	<u>51400</u>	38933	<u>34867</u>
		1.98	-5.24	-39.17	-5.42	5.59
(2) รดจุลินทรีย์ EM	38900	<u>55233</u>	40633	53533	37050	<u>32000</u>
		-41.99	-4.46	-37.62	4.76	17.74
(3) คราดพรวน	37400	<u>48900</u>	36650	48767	35567	<u>34450</u>
		-30.75	2.01	-30.39	4.90	7.89
(4) คราดพรวน+รดจุลินทรีย์ ENVI-BAC	43067	49633	40733	<u>50800</u>	34933	<u>31333</u>
		-15.25	5.42	-17.96	18.89	27.25

หมายเหตุ: ตัวเลขที่ขีดเส้นใต้ในแนวนอน หมายถึง ค่าต่ำสุดและสูงสุด

ตัวเลขที่แสดงในตารางแถวที่ 1 คือ ค่าเฉลี่ยที่ได้จากวิเคราะห์ดินเลน

ตัวเลขที่แสดงในตารางแถวที่ 2 4 6 และ 8 คือ ประสิทธิภาพในการบำบัด (%)

ตัวเลขเป็นบวก แสดงว่า บ่อบำบัดมีความสามารถในการบำบัดหรือกำจัดสารเหล่านั้น

ตัวเลขเป็นลบ แสดงว่า บ่อบำบัดผลิตสารเหล่านั้นออกมา

ตารางผนวกที่ ข2 อิทธิพลของปัจจัยทดลอง อิทธิพลของเวลาในการบำบัด และอิทธิพลร่วมของปัจจัยทั้งสองต่อค่าเฉลี่ยอินทรียวัตถุของดินที่ผ่านการบำบัดด้วยวิธีชีวภาพร่วมกับการคราดพรวน ในบ่อเลี้ยงกุ้ง

ก. ตารางแสดงค่า F Value และMS Error

Source	df	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr>F
Time	5	2784614757	556922951	9.01	0.0001**
error	66	4078664375	61797945		
Trt	3	121390104	40463368	0.41	0.7477^{ns}
error	68	6741889028	99145427		
TimexTrt	15	654625938	43641729	0.63	0.8317^{ns}

หมายเหตุ 1) ns หมายถึง ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

2) ** หมายถึง มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

ข. อิทธิพลของเวลาในการบำบัดต่อค่าเฉลี่ยอินทรียวัตถุ (มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม)

แหล่งดิน	ก่อนการบำบัด	หลังการบำบัดวันที่				
		7	14	28	42	56
บ่อเลี้ยงกุ้ง	39075^{bc}	47492^{a}	39204^{bc}	51100^{a}	36633^{c}	33196^{c}

ค. อิทธิพลของปัจจัยทดลองต่อค่าเฉลี่ยอินทรียวัตถุ (มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม)

แหล่งดิน	ชุดการทดลอง			
	T1	T2	T3	T4
ในบ่อเลี้ยงกุ้ง	39533^{a}	42892^{a}	40289^{a}	41750^{a}

หมายเหตุ: อักษรที่เหมือนกันในแนวนอน แสดงว่าไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ (P>0.05) และอักษรที่แตกต่างกัน แสดงว่ามีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P<0.05)

ตารางผนวกที่ ข3 ค่าอินทรีย์คาร์บอนก่อนและหลังการบำบัดดินด้วยวิธีทางชีวภาพร่วมกับการคราดพรวน ในบ่อเลี้ยงกุ้งทะเลระบบปิด

วิธีการบำบัด	ก่อนการบำบัด	หลังการบำบัดวันที่				
		7	14	28	42	56
(1) ตากแดด	21433	21000	22533	<u>29833</u>	22600	<u>20233</u>
		2.02	-5.13	-39.19	-5.44	5.60
(2) รดจุลินทรีย์ EM	22567	<u>32033</u>	23567	31033	21500	<u>18567</u>
		-41.95	-4.43	-37.51	4.73	17.72
(3) คราดพรวน	21700	<u>28367</u>	21250	28300	20633	<u>20000</u>
		-30.72	2.07	-30.41	4.92	7.83
(4) คราดพรวน+รดจุลินทรีย์ ENVI-BAC	24967	28800	23633	<u>29467</u>	20267	<u>18167</u>
		-15.25	5.42	-17.96	18.89	27.25

หมายเหตุ: ตัวเลขที่ขีดเส้นใต้ในแนวนอน หมายถึง ค่าต่ำสุดและสูงสุด

ตัวเลขที่แสดงในตารางแถวที่ 1 คือ ค่าเฉลี่ยที่ได้จากวิเคราะห์ดินเลน

ตัวเลขที่แสดงในตารางแถวที่ 2 4 6 และ 8 คือ ประสิทธิภาพในการบำบัด (%)

ตัวเลขเป็นบวก แสดงว่า บ่อบำบัดมีความสามารถในการบำบัดหรือกำจัดสารเหล่านั้น

ตัวเลขเป็นลบ แสดงว่า บ่อบำบัดผลิตสารเหล่านั้นออกมา

ตารางผนวกที่ ข4 อิทธิพลของปัจจัยทดลอง อิทธิพลของเวลาในการบำบัด และอิทธิพลร่วมของปัจจัยทั้งสองต่อค่าเฉลี่ยอินทรีย์คาร์บอนของดินที่ผ่านการบำบัดด้วยวิธีชีวภาพร่วมกับการคราดพรวนในบ่อเลี้ยงกุ้งทะเลระบบปิด

ก. ตารางแสดงค่า F Value และMS Error

Source	df	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr>F
Time	5	936514896	187302979	9.0	0.0001**
error	66	1373222292	20806398		
Trt	3	40437048.6	13479016	0.4	0.7507 ns
error	68	2269300139	33372061		
TimexTrt	15	220373576	14691572	0.63	0.832 ns

หมายเหตุ 1) ns หมายถึง ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

2) ** หมายถึง มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

ข. อิทธิพลของเวลาในการบำบัดต่อค่าเฉลี่ยอินทรีย์คาร์บอน (มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม)

แหล่งดิน	ก่อนการบำบัด	หลังการบำบัดวันที่				
		7	14	28	42	56
บ่อเลี้ยงกุ้ง	22667 bc	27550 a	22746 bc	29658 a	21250 c	19242 c

ค. อิทธิพลของปัจจัยทดลองต่อค่าเฉลี่ยอินทรีย์คาร์บอน (มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม)

แหล่งดิน	ชุดการทดลอง			
	T1	T2	T3	T4
ในบ่อเลี้ยงกุ้ง	22939 a	24878 a	23375 a	24217 a

หมายเหตุ: อักษรที่เหมือนกันในแนวนอน แสดงว่าไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ (P>0.05) และอักษรที่แตกต่างกัน แสดงว่ามีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P<0.05

ตารางผนวกที่ ข5 ค่าไนโตรเจนรวมก่อนและหลังการบำบัดดินด้วยวิธีทางชีวภาพร่วมกับการคราดพรวน ในบ่อเลี้ยงกุ้ง

วิธีการบำบัด	ก่อนการบำบัด	หลังการบำบัดวันที่				
		7	14	28	42	56
(1) ตากแดด	2167	2000	1967	<u>2167</u>	1550	<u>1400</u>
		7.71	9.23	0.00	28.47	35.39
(2) รดจุลินทรีย์ EM	1633	<u>2733</u>	2467	2467	1133	<u>1100</u>
		-67.36	-51.07	-51.07	30.62	32.64
(3) คราดพรวน	2000	<u>3200</u>	2500	1767	<u>1200</u>	1250
		-60.00	-25.00	11.65	40.00	37.50
(4) คราดพรวน+รดจุลินทรีย์ ENVI-BAC	2033	<u>2767</u>	1733	2067	1400	<u>1100</u>
		-36.10	14.76	-1.67	31.14	45.89

หมายเหตุ: ตัวเลขที่ขีดเส้นใต้ในแนวนอน หมายถึง ค่าต่ำสุดและสูงสุด

ตัวเลขที่แสดงในตารางแถวที่ 1 คือ ค่าเฉลี่ยที่ได้จากวิเคราะห์ดินเลน

ตัวเลขที่แสดงในตารางแถวที่ 2 4 6 และ 8 คือ ประสิทธิภาพในการบำบัด (%)

ตัวเลขเป็นบวก แสดงว่า บ่อบำบัดมีความสามารถในการบำบัดหรือกำจัดสารเหล่านั้น

ตัวเลขเป็นลบ แสดงว่า บ่อบำบัดผลิตสารเหล่านั้นออกมา

ตารางผนวกที่ ข6 อิทธิพลของปัจจัยทดลอง อิทธิพลของเวลาในการบำบัด และอิทธิพลร่วมของปัจจัยทั้งสองต่อค่าเฉลี่ยไนโตรเจนรวมของดินที่ผ่านการบำบัดด้วยวิธีชีวภาพร่วมกับการคราดพรวนในบ่อเลี้ยงกุ้ง

ก. ตารางแสดงค่า F Value และ MS Error

Source	df	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr>F
Time	5	18357083.3	3671416.7	13.78	0.0001**
Error	66	17582916.7	266407.83		
Trt	3	193611.111	64537.037	0.12	0.9464 ns
Error	68	35746388.9	525682.19		
TimexTrt	23	5052638.89	336842.59	1.31	0.2331 ns

หมายเหตุ 1) ns หมายถึง ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

2) ** หมายถึง มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

ข. อิทธิพลของเวลาในการบำบัดต่อค่าเฉลี่ยไนโตรเจนรวม (มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม)

แหล่งดิน	ก่อนการบำบัด	หลังการบำบัดวันที่				
		7	14	28	42	56
บ่อเลี้ยงกุ้ง	1958 bc	2675 a	2167 bc	2117 a	1321 c	1213 c

ค. อิทธิพลของปัจจัยทดลองต่อค่าเฉลี่ยไนโตรเจนรวม (มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม)

แหล่งดิน	ชุดการทดลอง			
	T1	T2	T3	T4
บ่อเลี้ยงกุ้ง	1875 a	1922 a	1986 a	1850 a

หมายเหตุ: อักษรที่เหมือนกันในแนวนอน แสดงว่าไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ (P>0.05) และอักษรที่แตกต่างกัน แสดงว่ามีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P<0.05)

ตารางผนวกที่ ข7 ค่าแอมโมเนียไนโตรเจนก่อนและหลังการบำบัดดินด้วยวิธีทางชีวภาพร่วมกับการคราดพรวน ในบ่อเลี้ยงกุ้ง

วิธีการบำบัด	ก่อนการบำบัด	หลังการบำบัดวันที่				
		7	14	28	42	56
(1) ตากแดด	28.55	76.89	62.92	33.91	15.94	10.32
		-169.32	-120.39	-18.77	44.17	63.85
(2) รดจุลินทรีย์ EM	38.48	65.92	72.45	43.18	15.68	14.77
		-71.31	-88.28	-12.21	59.25	61.62
(3) คราดพรวน	49.85	88.53	61.22	30.71	12.54	13.07
		-77.59	-22.81	38.40	74.84	73.78
(4) คราดพรวน+รดจุลินทรีย์ ENVI-BAC	45.93	89.83	50.11	43.90	17.77	11.96
		-95.58	-9.10	4.42	61.31	73.96

หมายเหตุ: ตัวเลขที่ขีดเส้นใต้ในแนวนอน หมายถึง ค่าต่ำสุดและสูงสุด

ตัวเลขที่แสดงในตารางแถวที่ 1 คือ ค่าเฉลี่ยที่ได้จากวิเคราะห์ดินเลน

ตัวเลขที่แสดงในตารางแถวที่ 2 4 6 และ 8 คือ ประสิทธิภาพในการบำบัด (%)

ตัวเลขเป็นบวก แสดงว่า บ่อบำบัดมีความสามารถในการบำบัดหรือกำจัดสารเหล่านั้น

ตัวเลขเป็นลบ แสดงว่า บ่อบำบัดผลิตสารเหล่านั้นออกมา

ตารางผนวกที่ ข8 อิทธิพลของปัจจัยทดลอง อิทธิพลของเวลาในการบำบัด และอิทธิพลร่วมของปัจจัยทั้งสองต่อค่าเฉลี่ยแอมโมเนียไนโตรเจนของดินที่ผ่านการบำบัดด้วยวิธีชีวภาพร่วมกับการคราดพรวนในบ่อเลี้ยงกุ้ง

ก. ตารางแสดงค่า F Value และMS Error

Source	df	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr>F
Time	5	41298.68	8259.736	24.54	0.0001**
error	66	22210.2912	336.51956		
Trt	3	289.201884	96.400628	0.10	0.9576^{ns}
error	68	63219.7693	929.70249		
TimexTrt	23	2855.91745	190.3945	0.48	0.9398^{ns}

หมายเหตุ 1) ns หมายถึง ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

2) ** หมายถึง มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

ข. อิทธิพลของเวลาในการบำบัดต่อค่าเฉลี่ยแอมโมเนียไนโตรเจน (มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม)

แหล่งดิน	ก่อนการบำบัด	หลังการบำบัดวันที่				
		7	14	28	42	56
บ่อเลี้ยงกุ้ง	40.70^{bc}	80.29^{a}	61.68^{bc}	37.93^{a}	15.48^{c}	12.53^{c}

ค. อิทธิพลของปัจจัยทดลองต่อค่าเฉลี่ยแอมโมเนียไนโตรเจน (มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม)

แหล่งดิน	ชุดการทดลอง			
	T1	T2	T3	T4
บ่อเลี้ยงกุ้ง	38.09^{a}	41.75^{a}	42.65^{a}	43.25^{a}

หมายเหตุ: อักษรที่เหมือนกันในแนวนอน แสดงว่าไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ (P>0.05) และอักษรที่แตกต่างกัน แสดงว่ามีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P<0.05)

ตารางผนวกที่ ข9 ค่าไนไตรท์ในโตรเจนก่อนและหลังการบำบัดดินด้วยวิธีทางชีวภาพร่วมกับการคราดพรวน ในบ่อเลี้ยงกุ้ง

วิธีการบำบัด	ก่อนการบำบัด	หลังการบำบัดวันที่				
		7	14	28	42	56
(1) ตากแดด	0.021	0.062	0.086	0.027	0.003	0.002
		-195.24	-309.52	-28.57	85.71	90.48
(2) รดจุลินทรีย์ EM	0.016	0.004	0.037	0.018	0.002	0.002
		75.00	-131.25	-12.50	87.50	87.50
(3) คราดพรวน	0.064	0.005	0.017	0.027	0.002	0.002
		92.19	73.44	57.81	96.88	96.88
(4) คราดพรวน+รดจุลินทรีย์ ENVI-BAC	0.017	0.007	0.009	0.010	0.001	0.001
		58.82	47.06	41.18	94.12	94.12

หมายเหตุ: ตัวเลขที่ขีดเส้นใต้ในแนวนอน หมายถึง ค่าต่ำสุดและสูงสุด

ตัวเลขที่แสดงในตารางแถวที่ 1 คือ ค่าเฉลี่ยที่ได้จากวิเคราะห์ดินเลน

ตัวเลขที่แสดงในตารางแถวที่ 2 4 6 และ 8 คือ ประสิทธิภาพในการบำบัด (%)

ตัวเลขเป็นบวก แสดงว่า บ่อบำบัดมีความสามารถในการบำบัดหรือกำจัดสารเหล่านั้น

ตัวเลขเป็นลบ แสดงว่า บ่อบำบัดผลิตสารเหล่านั้นออกมา

ตารางผนวกที่ ข10 อิทธิพลของปัจจัยทดลอง อิทธิพลของเวลาในการบำบัด และอิทธิพลร่วมของปัจจัยทั้งสองต่อค่าเฉลี่ยไนไตรท์ไนโตรเจนของดินที่ผ่านการบำบัดด้วยวิธีชีวภาพร่วมกับการคราดพรวนในบ่อเลี้ยงกุ้ง

ก. ตารางแสดงค่า F Value และMS Error

Source	df	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr>F
Time	5	0.01254967	0.0025099	6.21	0.0001**
error	66	0.02666753	0.0004041		
Trt	3	0.00671483	0.0022383	4.68	0.0049**
error	68	0.03250237	0.000478		
TimexTrt	15	0.01666181	0.0011108	16.2	0.0001**

หมายเหตุ 1) * หมายถึง มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

2) ** หมายถึง มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

ข. อิทธิพลของเวลาในการบำบัดต่อค่าเฉลี่ยไนไตรท์ไนโตรเจน(มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม)

แหล่งดิน	ก่อนการบำบัด	หลังการบำบัดวันที่				
		7	14	28	42	56
บ่อเลี้ยงกุ้ง	0.030^{bc}	0.020^{a}	0.037^{bc}	0.021^{a}	0.002^{c}	0.002^{c}

ค. อิทธิพลของปัจจัยทดลองต่อค่าเฉลี่ยไนไตรท์ไนโตรเจน (มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม)

แหล่งดิน	ชุดการทดลอง			
	T1	T2	T3	T4
บ่อเลี้ยงกุ้ง	0.03^{a}	0.01^{b}	0.02^{ab}	0.01^{b}

หมายเหตุ: อักษรที่เหมือนกันในแนวนอน แสดงว่าไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ (P>0.05) และอักษรที่แตกต่างกัน แสดงว่ามีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P<0.05)

ง. อิทธิพลร่วมของปัจจัยทั้งสองต่อค่าเฉลี่ยไนไตรท์ไนโตรเจน

วิธีการบำบัด	ก่อนการบำบัด	หลังการบำบัดวันที่				
		7	14	28	42	56
(1) ตากแดด	0.021^{de}	0.062^{f}	0.086^{g}	0.027^{e}	0.003^{a}	0.002^{a}
(2) รด EM	0.016^{bcde}	0.004^{ab}	0.037^{e}	0.018^{cde}	0.002^{a}	0.002^{a}
(3) คราดพรวน	0.064^{f}	0.005^{abc}	0.017^{bcde}	0.027^{e}	0.002^{a}	0.002^{a}
(4) คราดพรวน+รด ENVI-BAC	0.017^{cde}	0.007^{abc}	0.009^{abcd}	0.010^{abcd}	0.001^{a}	0.001^{a}

หมายเหตุ: อักษรที่เหมือนกันในช่วงก่อนการบำบัด และหลังการบำบัดวันที่ 7, 14, 28, 42, และ 56 แสดงว่าไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($P>0.05$) และอักษรที่แตกต่างกัน แสดงว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$)

ตารางผนวกที่ ข11 ค่าไนเตรทไนโตรเจนก่อนและหลังการบำบัดดินด้วยวิธีทางชีวภาพร่วมกับการคราดพรวน ในบ่อเลี้ยงกุ้ง

วิธีการบำบัด	ก่อนการบำบัด	หลังการบำบัดวันที่				
		7	14	28	42	56
(1) ตากแดด	0.18	0.20	0.14	0.10	0.07	0.09
		-11.11	22.22	44.44	61.11	50.00
(2) รดจุลินทรีย์ EM	0.19	0.18	0.23	0.16	0.09	0.05
		5.26	-21.05	15.79	52.63	73.68
(3) คราดพรวน	0.21	0.16	0.17	0.10	0.06	0.06
		23.81	19.05	52.38	71.43	71.43
(4) คราดพรวน+รดจุลินทรีย์ ENVI-BAC	0.27	0.22	0.16	0.15	0.10	0.05
		18.52	40.74	44.44	62.96	81.48

หมายเหตุ: ตัวเลขที่ขีดเส้นใต้ในแนวนอน หมายถึง ค่าต่ำสุดและสูงสุด

ตัวเลขที่แสดงในตารางแถวที่ 1 คือ ค่าเฉลี่ยที่ได้จากวิเคราะห์ดินเลน

ตัวเลขที่แสดงในตารางแถวที่ 2 4 6 และ 8 คือ ประสิทธิภาพในการบำบัด (%)

ตัวเลขเป็นบวก แสดงว่า บ่อบำบัดมีความสามารถในการบำบัดหรือกำจัดสารเหล่านั้น

ตัวเลขเป็นลบ แสดงว่า บ่อบำบัดผลิตสารเหล่านั้นออกมา

ตารางผนวกที่ ข12 อิทธิพลของปัจจัยทดลอง อิทธิพลของเวลาในการบำบัด และอิทธิพลร่วมของปัจจัยทั้งสองต่อค่าเฉลี่ยไนเตรทไนโตรเจนของดินที่ผ่านการบำบัดด้วยวิธีชีวภาพร่วมกับการคราดพรวนในบ่อเลี้ยงกุ้ง

ก. ตารางแสดงค่า F Value และMS Error

Source	df	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr>F
Time	5	0.22043674	0.0440874	13.36	0.0001**
error	66	0.2177735	0.0032996		
Trt	3	0.01131128	0.0037704	0.6	0.6168 ^{ns}
error	68	0.42689896	0.0062779		
TimexTrt	15	0.0393701	0.0026247	0.75	0.7186 ^{ns}

หมายเหตุ 1) ns หมายถึง ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

2) ** หมายถึง มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

ข. อิทธิพลของเวลาในการบำบัดต่อค่าเฉลี่ยไนเตรทไนโตรเจน(มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม)

แหล่งดิน	ก่อนการบำบัด	หลังการบำบัดวันที่				
		7	14	28	42	56
บ่อเลี้ยงกุ้ง	0.213 ^{bc}	0.190 ^{a}	0.175 ^{bc}	0.128 ^{a}	0.080 ^{c}	0.063 ^{c}

ค. อิทธิพลของปัจจัยทดลองต่อค่าเฉลี่ยไนเตรทไนโตรเจน (มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม)

แหล่งดิน	ชุดการทดลอง			
	T1	T2	T3	T4
บ่อเลี้ยงกุ้ง	0.131 ^{a}	0.152 ^{a}	0.129 ^{a}	0.158 ^{a}

หมายเหตุ: อักษรที่เหมือนกันในแนวนอน แสดงว่าไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ (P>0.05) และอักษรที่แตกต่างกัน แสดงว่ามีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P<0.05)

ตารางผนวกที่ ข13 ค่าฟอสฟอรัสที่พืชใช้ได้ก่อนและหลังการบำบัดดินด้วยวิธีทางชีวภาพร่วมกับการคราดพรวน ในบ่อเลี้ยงกุ้ง

วิธีการบำบัด	ก่อน การบำบัด	หลังการบำบัดวันที่				
		7	14	28	42	56
(1) ตากแดด	0.22	0.41	0.20	0.43	0.32	0.26
		-86.36	9.09	-95.45	-45.45	-18.18
(2) รดจุลินทรีย์ EM	0.38	1.23	0.51	0.11	0.16	0.16
		-223.68	-34.21	71.05	57.89	57.89
(3) คราดพรวน	0.50	0.66	1.29	0.90	0.29	0.10
		-32.00	-158.00	-80.00	42.00	80.00
(4) คราดพรวน+รดจุลินทรีย์ ENVI-BAC	0.19	1.25	0.90	0.74	0.12	0.08
		-557.89	-373.68	-289.47	36.84	57.89

หมายเหตุ: ตัวเลขที่ขีดเส้นใต้ในแนวนอน หมายถึง ค่าต่ำสุดและสูงสุด

ตัวเลขที่แสดงในตารางแถวที่ 1 คือ ค่าเฉลี่ยที่ได้จากวิเคราะห์ดินเลน

ตัวเลขที่แสดงในตารางแถวที่ 2 4 6 และ 8 คือ ประสิทธิภาพในการบำบัด (%)

ตัวเลขเป็นบวก แสดงว่า บ่อบำบัดมีความสามารถในการบำบัดหรือกำจัดสารเหล่านั้น

ตัวเลขเป็นลบ แสดงว่า บ่อบำบัดผลิตสารเหล่านั้นออกมา

ตารางผนวกที่ ข14 อิทธิพลของปัจจัยทดลอง อิทธิพลของเวลาในการบำบัด และอิทธิพลร่วมของปัจจัยทั้งสองต่อค่าเฉลี่ยฟอสฟอรัสที่พืชใช้ได้ของดินที่ผ่านการบำบัดด้วยวิธีชีวภาพร่วมกับการคราดพรวนในบ่อเลี้ยงกุ้ง

ก. ตารางแสดงค่า F Value และMS Error

Source	df	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr>F
Time	5	4.65495018	0.93099	6.27	0.0001**
error	66	9.79482375	0.1484064		
Trt	3	0.75793513	0.252645	1.25	0.2969 ^{ns}
error	68	13.6918388	0.2013506		
TimexTrt	23	3.2844442	0.218963	1.83	0.0581 ^{ns}

หมายเหตุ 1) ns หมายถึง ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

2) ** หมายถึง มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

ข. อิทธิพลของเวลาในการบำบัดต่อค่าเฉลี่ยฟอสฟอรัสที่พืชใช้ได้(มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม)

แหล่งดิน	ก่อนการบำบัด	หลังการบำบัดวันที่				
		7	14	28	42	56
บ่อเลี้ยงกุ้ง	0.323^{bc}	0.888^{a}	0.725^{bc}	0.545^{a}	0.223^{c}	0.150^{c}

ค. อิทธิพลของปัจจัยทดลองต่อค่าเฉลี่ยฟอสฟอรัสที่พืชใช้ได้ (มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม)

แหล่งดิน	ชุดการทดลอง			
	T1	T2	T3	T4
บ่อเลี้ยงกุ้ง	0.305^{a}	0.425^{a}	0.556^{a}	0.547^{a}

หมายเหตุ: อักษรที่เหมือนกันในแนวนอน แสดงว่าไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ (P>0.05) และอักษรที่แตกต่างกัน แสดงว่ามีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P<0.05)

ตารางผนวกที่ ข15 ค่าพีเอชก่อนและหลังการบำบัดดินด้วยวิธีทางชีวภาพร่วมกับการคราดพรวน ในบ่อเลี้ยงกุ้ง

วิธีการบำบัด	ก่อนการบำบัด	หลังการบำบัดวันที่				
		7	14	28	42	56
(1) ตากแดด	7.71	7.65	7.73	7.68	7.05	6.94
		0.78	-0.26	0.39	8.56	9.99
(2) รดจุลินทรีย์ EM	7.36	7.76	7.69	7.69	6.83	6.82
		-5.43	-4.48	-4.48	7.20	7.34
(3) คราดพรวน	7.52	7.77	7.72	7.68	6.77	6.78
		-3.32	-2.66	-2.13	9.97	9.84
(4) คราดพรวน+รดจุลินทรีย์ ENVI-BAC	7.64	7.71	7.65	7.64	6.87	6.62
		-0.92	-0.13	0.00	10.08	13.35

หมายเหตุ: ตัวเลขที่ขีดเส้นใต้ในแนวนอน หมายถึง ค่าต่ำสุดและสูงสุด

ตัวเลขที่แสดงในตารางแถวที่ 1 คือ ค่าเฉลี่ยที่ได้จากวิเคราะห์ดินเลน

ตัวเลขที่แสดงในตารางแถวที่ 2 4 6 และ 8 คือ ประสิทธิภาพในการบำบัด (%)

ตัวเลขเป็นบวก แสดงว่า บ่อบำบัดมีความสามารถในการบำบัดหรือกำจัดสารเหล่านั้น

ตัวเลขเป็นลบ แสดงว่า บ่อบำบัดผลิตสารเหล่านั้นออกมา

ตารางผนวกที่ ข16 อิทธิพลของปัจจัยทดลอง อิทธิพลของเวลาในการบำบัด และอิทธิพลร่วมของปัจจัยทั้งสองค่าเฉลี่ยพีเอชของดินที่ผ่านการบำบัดด้วยวิธีชีวภาพร่วมกับการคราดพรวนในบ่อเลี้ยงกุ้ง

ก. ตารางแสดงค่า F Value และMS Error

Source	df	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr>F
Time	5	11.2532569	2.2506514	94.02	0.0001**
error	66	1.579875	0.0239375		
Trt	3	0.13497083	0.0449903	0.24	0.7477 ns
error	68	12.6981611	0.1867377		
TimexTrt	23	0.40497083	0.0269981	1.25	0.2728 ns

หมายเหตุ 1) ns หมายถึง ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

2) ** หมายถึง มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

ข. อิทธิพลของเวลาในการบำบัดต่อค่าเฉลี่ยพีเอช

แหล่งดิน	ก่อนการบำบัด	หลังการบำบัดวันที่				
		7	14	28	42	56
บ่อเลี้ยงกุ้ง	7.56[bc]	7.72[a]	7.70[bc]	7.67[a]	6.88[c]	6.79[c]

ค. อิทธิพลของปัจจัยทดลองต่อค่าเฉลี่ยพีเอช

แหล่งดิน	ชุดการทดลอง			
	T1	T2	T3	T4
บ่อเลี้ยงกุ้ง	7.46[a]	7.36[a]	7.37[a]	7.36[a]

หมายเหตุ: อักษรที่เหมือนกันในแนวนอน แสดงว่าไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ (P>0.05) และอักษรที่แตกต่างกัน แสดงว่ามีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P<0.05)

ตารางผนวกที่ ข17 ปริมาณวิบริโอรวมก่อนและหลังการบำบัดดินด้วยวิธีทางชีวภาพร่วมกับการคราดพรวน ในบ่อเลี้ยงกุ้ง

วิธีการบำบัด	ก่อนการบำบัด	หลังการบำบัดวันที่				
		7	14	28	42	56
(1) ตากแดด	3550000	8130000	2683333	274667	81267	11767
		-129.01	24.41	92.26	97.71	99.67
(2) รดจุลินทรีย์ EM	2543333	7716667	1280000	183000	64700	44433
		-203.41	49.67	92.80	97.46	98.25
(3) คราดพรวน	1766667	5526667	1163333	175667	45033	27200
		-212.83	34.15	90.06	97.45	98.46
(4) คราดพรวน+รดจุลินทรีย์ ENVI-BAC	1263333	3306667	771667	175000	25633	10767
		-161.74	38.92	86.15	97.97	99.15

หมายเหตุ: ตัวเลขที่ขีดเส้นใต้ในแนวนอน หมายถึง ค่าต่ำสุดและสูงสุด

ตัวเลขที่แสดงในตารางแถวที่ 1 คือ ค่าเฉลี่ยที่ได้จากวิเคราะห์ดินเลน

ตัวเลขที่แสดงในตารางแถวที่ 2 4 6 และ 8 คือ ประสิทธิภาพในการบำบัด (%)

ตัวเลขเป็นบวก แสดงว่า บ่อบำบัดมีความสามารถในการบำบัดหรือกำจัดสารเหล่านั้น

ตัวเลขเป็นลบ แสดงว่า บ่อบำบัดผลิตสารเหล่านั้นออกมา

ตารางผนวกที่ ข18 อิทธิพลของปัจจัยทดลอง อิทธิพลของเวลาในการบำบัด และอิทธิพลร่วมของปัจจัยทั้งสองต่อค่าเฉลี่ยวิบริโอรวมของดินที่ผ่านการบำบัดด้วยวิธีชีวภาพร่วมกับการคราดพรวนในบ่อเลี้ยงกุ้ง

ก. ตารางแสดงค่า F Value และMS Error

Source	df	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr>F
Time	5	3.38×10^{14}	6.75×10^{13}	63.15	0.0001**
error	66	7.06×10^{13}	1.07×10^{12}		
Trt	3	2.35×10^{13}	7.84×10^{12}	1.39	0.2546^{ns}
error	68	3.85×10^{14}	5.66×10^{12}		
TimexTrt	23	3.63×10^{13}	2.42×10^{12}	10.76	0.0001**

หมายเหตุ 1) ns หมายถึง ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

2) ** หมายถึง มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

ข. อิทธิพลของเวลาในการบำบัดต่อค่าเฉลี่ยวิบริโอรวม (เซลล์ต่อกรัม)

แหล่งดิน	ก่อนการบำบัด	หลังการบำบัดวันที่				
		7	14	28	42	56
บ่อเลี้ยงกุ้ง	2280833^{bc}	6170000^{a}	1474583^{bc}	202084^{a}	54158^{c}	23542^{c}

ค. อิทธิพลของปัจจัยทดลองต่อค่าเฉลี่ยวิบริโอรวม(เซลล์ต่อกรัม)

แหล่งดิน	ชุดการทดลอง			
	T1	T2	T3	T4
บ่อเลี้ยงกุ้ง	2455172^{a}	1972022^{a}	1450761^{a}	925511^{a}

หมายเหตุ: อักษรที่เหมือนกันในแนวนอน แสดงว่าไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ (P>0.05) และอักษรที่แตกต่างกัน แสดงว่ามีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P<0.05)

ง. อิทธิพลร่วมของปัจจัยทั้งสองต่อค่าเฉลี่ยวิบริโอรวม

วิธีการบำบัด	ก่อนการบำบัด	หลังการบำบัดวันที่				
		7	14	28	42	56
(1) ตากแดด	3550000^{f}	8130000^{h}	2683333^{d}	274667^{a}	81267^{a}	11767^{a}
(2) รด EM	2543333de	7716667^{g}	1280000^{bc}	183000^{a}	64700^{a}	44433^{a}
(3) คราดพรวน	1766667^{cd}	5526667^{g}	1163333^{bc}	175667^{a}	45033^{a}	27200^{a}
(4) คราดพรวน+รด ENVI-BAC	1263333^{bc}	3306667^{ef}	771667^{ab}	175000^{a}	25633^{a}	10767^{a}

หมายเหตุ: อักษรที่เหมือนกันในแนวนอนในช่วงก่อนการบำบัด และหลังการบำบัดวันที่ 7, 14, 28, 42 และ 56 แสดงว่าไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($P>0.05$) และอักษรที่แตกต่างกันแสดงว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$)

ตารางผนวกที่ ข19 ปริมาณบาซิลลัสรวมก่อนและหลังการบำบัดดินด้วยวิธีทางชีวภาพร่วมกับการคราดพรวน ในบ่อเลี้ยงกุ้ง

วิธีการบำบัด	ก่อนการบำบัด	หลังการบำบัดวันที่				
		7	14	28	42	56
(1) ตากแดด	228667	235667	226333	273333	142333	122333
		-3.06	1.02	-19.53	37.76	46.50
(2) รดจุลินทรีย์ EM	126000	248333	573333	180333	192000	169000
		-97.09	-355.03	-43.12	-52.38	-34.13
(3) คราดพรวน	122333	201333	186667	169000	271000	143000
		-64.58	-52.59	-38.15	-121.53	-16.89
(4) คราดพรวน+รดจุลินทรีย์ ENVI-BAC	226333	169000	345333	142333	413333	234667
		25.33	-52.58	37.11	-82.62	-3.68

หมายเหตุ: ตัวเลขที่ขีดเส้นใต้ในแนวนอน หมายถึง ค่าต่ำสุดและสูงสุด

ตัวเลขที่แสดงในตารางแถวที่ 1 คือ ค่าเฉลี่ยที่ได้จากวิเคราะห์ดินเลน

ตัวเลขที่แสดงในตารางแถวที่ 2 4 6 และ 8 คือ ประสิทธิภาพในการบำบัด (%)

ตัวเลขเป็นบวก แสดงว่า บ่อบำบัดมีความสามารถในการบำบัดหรือกำจัดสารเหล่านั้น

ตัวเลขเป็นลบ แสดงว่า บ่อบำบัดผลิตสารเหล่านั้นออกมา

ตารางผนวกที่ ข20 อิทธิพลของปัจจัยทดลอง อิทธิพลของเวลาในการบำบัด และอิทธิพลร่วมของปัจจัยทั้งสองต่อค่าเฉลี่ยบาซิลลัสรวม ของดินที่ผ่านการบำบัดด้วยวิธีชีวภาพร่วมกับการคราดพรวนในบ่อเลี้ยงกุ้ง

ก. ตารางแสดงค่า F Value และMS Error

Source	df	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr>F
Time	5	2.34×10^{11}	4.68×10^{10}	5.02	0.0006**
Error	66	6.16×10^{11}	9.33×10^{9}		
Trt	3	6.59×10^{10}	2.197×10^{10}	1.91	0.1369^{ns}
Error	68	7.84×10^{11}	1.153×10^{10}		
TimexTrt	23	4.26×10^{11}	2.84×10^{10}	11.04	0.0001**

หมายเหตุ 1) ns หมายถึง ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

2) ** หมายถึง มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

ข. อิทธิพลของเวลาในการบำบัดต่อค่าเฉลี่ยบาซิลลัสรวม (เซลล์ต่อกรัม)

แหล่งดิน	ก่อนการบำบัด	หลังการบำบัดวันที่				
		7	14	28	42	56
บ่อเลี้ยงกุ้ง	175833^{bc}	213583^{a}	332917^{bc}	191250^{a}	254667^{c}	167250^{c}

ค. อิทธิพลของปัจจัยทดลองต่อค่าเฉลี่ยบาซิลลัสรวม (เซลล์ต่อกรัม)

แหล่งดิน	ชุดการทดลอง			
	T1	T2	T3	T4
บ่อเลี้ยงกุ้ง	204778^{a}	248167^{a}	182222^{a}	255167^{a}

หมายเหตุ: อักษรที่เหมือนกันในแนวนอน แสดงว่าไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ (P>0.05) และอักษรที่แตกต่างกัน แสดงว่ามีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P<0.05)

ง. อิทธิพลร่วมของปัจจัยทั้งสองต่อค่าเฉลี่ยบาซิลลัสรวม

วิธีการบำบัด	ก่อนการบำบัด	หลังการบำบัดวันที่				
		7	14	28	42	56
(1) ตากแดด	228667^{bc}	235667^{bc}	226333^{bc}	273333^{cd}	142333^{a}	122333^{a}
(2) รด EM	126000^{a}	248333^{ab}	573333^{e}	180333^{ab}	192000^{ab}	169000^{a}
(3) คราดพรวน	122333^{c}	201333^{ab}	186667^{ab}	169000^{ab}	271000^{cd}	143000^{a}
(4) คราดพรวน+รด ENVI-BAC	226333^{bc}	169000^{ab}	345333^{d}	142333^{a}	413333^{d}	234667^{bc}

หมายเหตุ: อักษรที่เหมือนกันในแนวนอนในช่วงก่อนการบำบัด และหลังการบำบัดวันที่ 7, 14, 28, 42 และ 56 แสดงว่าไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($P>0.05$) และอักษรที่แตกต่างกันแสดงว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$)

ภาคผนวก ค

ข้อมูลจากการทดลอง

ตารางผนวกที่ ค1 อิทธิพลของปัจจัยทดลองและเวลาที่มีต่อค่าอินทรียวัตถุก่อนและหลังการบำบัดด้วยวิธีชีวภาพร่วมกับการคราดพรวนในบ่อเลี้ยงกุ้งทะเลระบบปิด

ชุดการทดลองที่	ซ้ำ	ก่อนบำบัด	หลังการบำบัด				
			ครั้งที่1	ครั้งที่2	ครั้งที่3	ครั้งที่4	ครั้งที่5
			(วันที่ 7)	(วันที่ 14)	(วันที่ 28)	(วันที่ 42)	(วันที่ 56)
(1) ตากแดด	1	46900	40200	38700	51000	39700	25000
	2	33900	47900	43400	60100	35100	51500
	3	30000	20500	34500	43100	42000	28100
(2) รด EM	1	42800	52400	46400	50200	41000	36400
	2	38400	57400	55000	65700	33100	27900
	3	35500	55900	20500	44700	37050	31700
(3) คราดพรวน	1	41900	50300	37400	47600	36000	40800
	2	33900	49500	35900	49600	46600	34450
	3	36400	46900	36650	49100	24100	28100
(4) คราดพรวน+	1	44700	50300	47900	53100	32900	26900
รด ENVI-BAC	2	35500	44500	28800	50200	46000	25000
	3	49000	54100	45500	49100	25900	42100

ตารางผนวกที่ ค2 อิทธิพลของปัจจัยทดลองและเวลาที่มีต่อค่าอินทรีย์คาร์บอนก่อนและหลังการบำบัดด้วยวิธีชีวภาพร่วมกับการคราดพรวนในบ่อเลี้ยงกุ้งทะเลระบบปิด

ชุดการทดลองที่	ซ้ำ	ก่อนบำบัด	หลังการบำบัด				
			ครั้งที่1	ครั้งที่2	ครั้งที่3	ครั้งที่4	ครั้งที่5
			(วันที่ 7)	(วันที่ 14)	(วันที่ 28)	(วันที่ 42)	(วันที่ 56)
(1) ตากแดด	1	27200	23300	22400	29600	23000	14500
	2	19700	27800	25200	34900	20300	29900
	3	17400	11900	20000	25000	24500	16300
(2) รด EM	1	24800	30400	26900	29100	23800	21100
	2	22300	33300	31900	38100	19200	16200
	3	20600	32400	11900	25900	21500	18400
(3) คราดพรวน	1	24300	29200	21700	27600	20900	23700
	2	19700	28700	20800	28800	27000	20000
	3	21100	27200	21250	28500	14000	16300
(4) คราดพรวน+	1	25900	29200	27800	30800	19100	15600
รด ENVI-BAC	2	20600	25800	16700	29100	26700	14500
	3	28400	31400	26400	28500	15000	24400

ตารางผนวกที่ ค3 อิทธิพลของปัจจัยทดลองและเวลาที่มีต่อค่าไนโตรเจนก่อนและหลังการบำบัดด้วยวิธีชีวภาพร่วมกับการคราดพรวนในบ่อเลี้ยงกุ้งทะเลระบบปิด

ชุดการทดลองที่	ซ้ำ	ก่อนบำบัด	หลังการบำบัด				
			ครั้งที่1	ครั้งที่2	ครั้งที่3	ครั้งที่4	ครั้งที่5
			(วันที่ 7)	(วันที่ 14)	(วันที่ 28)	(วันที่ 42)	(วันที่ 56)
(1) ตากแดด	1	2000	1500	2000	2000	1700	1900
	2	1800	2000	2300	2400	1400	1100
	3	2700	2500	1600	2100	1550	1200
(2) รด EM	1	1300	3700	3100	2500	1000	900
	2	1200	2400	3000	3100	1100	1300
	3	2400	2100	1300	1800	1300	1100
(3) คราดพรวน	1	2200	3500	2900	1500	1000	1100
	2	2300	2900	2300	2300	1400	1250
	3	1500	3200	2300	1500	1200	1400
(4) คราดพรวน+	1	1500	2800	2600	2500	1300	1100
รด ENVI-BAC	2	2500	3400	700	1400	1400	1200
	3	2100	2100	1900	2300	1500	1000

ตารางผนวกที่ ค4 อิทธิพลของปัจจัยทดลองและเวลาที่มีต่อค่าแอมโมเนียไนโตรเจนก่อนและหลังการบำบัดด้วยวิธีชีวภาพร่วมกับการคราดพรวนในบ่อเลี้ยงกุ้งทะเลระบบปิด

ชุดการทดลองที่	ซ้ำ	ก่อนบำบัด	หลังการบำบัด				
			ครั้งที่1	ครั้งที่2	ครั้งที่3	ครั้งที่4	ครั้งที่5
			(วันที่ 7)	(วันที่ 14)	(วันที่ 28)	(วันที่ 42)	(วันที่ 56)
(1) ตากแดด	1	23.72	72.32	29.20	29.20	18.82	14.50
	2	51.94	122.89	37.04	37.04	14.90	8.62
	3	10.00	35.48	35.48	35.48	14.11	7.84
(2) รด EM	1	44.10	60.56	72.32	72.32	19.60	9.02
	2	35.87	85.65	36.06	36.06	14.50	23.52
	3	35.48	51.55	21.17	21.17	12.94	11.76
(3) คราดพรวน	1	51.16	98.98	42.34	42.34	16.86	9.80
	2	55.08	86.44	21.56	21.56	12.15	18.03
	3	43.32	80.16	28.22	28.22	8.62	11.37
(4) คราดพรวน+	1	49.20	101.72	49.78	49.78	13.72	14.11
รด ENVI-BAC	2	29.99	46.84	47.82	47.82	22.74	9.80
	3	58.60	120.93	34.10	34.10	16.86	11.96

ตารางผนวกที่ ค5 อิทธิพลของปัจจัยทดลองและเวลาที่มีต่อค่าไนไตรท์ไนโตรเจนก่อนและหลังการบำบัดด้วยวิธีชีวภาพร่วมกับการคราดพรวนในบ่อเลี้ยงกุ้งทะเลระบบปิด

ชุดการทดลองที่	ซ้ำ	ก่อนบำบัด	หลังการบำบัด				
			ครั้งที่1	ครั้งที่2	ครั้งที่3	ครั้งที่4	ครั้งที่5
			(วันที่ 7)	(วันที่ 14)	(วันที่ 28)	(วันที่ 42)	(วันที่ 56)
(1) ตากแดด	1	0.020	0.071	0.086	0.027	0.001	0.003
	2	0.019	0.053	0.074	0.011	0.005	0.002
	3	0.026	0.062	0.098	0.043	0.001	0.001
(2) รด EM	1	0.021	0.004	0.008	0.018	0.001	0.002
	2	0.020	0.003	0.036	0.010	0.001	0.003
	3	0.008	0.004	0.067	0.025	0.003	0.002
(3) คราดพรวน	1	0.065	0.005	0.019	0.026	0.001	0.002
	2	0.063	0.003	0.010	0.027	0.003	0.001
	3	0.064	0.006	0.023	0.028	0.001	0.002
(4) คราดพรวน+	1	0.028	0.005	0.006	0.009	0.001	0.002
รด ENVI-BAC	2	0.007	0.004	0.012	0.010	0.001	0.001
	3	0.017	0.011	0.009	0.011	0.001	0.001

ตารางผนวกที่ ค6 อิทธิพลของปัจจัยทดลองและเวลาที่มีต่อค่าไนเตรทไนโตรเจนก่อนและหลังการบำบัดด้วยวิธีชีวภาพร่วมกับการคราดพรวนในบ่อเลี้ยงกุ้งทะเลระบบปิด

ชุดการทดลองที่	ซ้ำ	ก่อนบำบัด	หลังการบำบัด				
			ครั้งที่1	ครั้งที่2	ครั้งที่3	ครั้งที่4	ครั้งที่5
			(วันที่ 7)	(วันที่ 14)	(วันที่ 28)	(วันที่ 42)	(วันที่ 56)
(1) ตากแดด	1	0.12	0.19	0.15	0.09	0.09	0.16
	2	0.24	0.18	0.16	0.13	0.06	0.11
	3	0.18	0.22	0.12	0.07	0.07	0.01
(2) รด EM	1	0.31	0.16	0.31	0.21	0.14	0.04
	2	0.13	0.14	0.25	0.15	0.08	0.06
	3	0.14	0.24	0.13	0.14	0.06	0.05
(3) คราดพรวน	1	0.17	0.20	0.25	0.15	0.12	0.01
	2	0.31	0.17	0.13	0.05	0.06	0.13
	3	0.16	0.11	0.13	0.10	0.01	0.07
(4) คราดพรวน+	1	0.37	0.16	0.18	0.15	0.08	0.07
รด ENVI-BAC	2	0.15	0.33	0.15	0.17	0.12	0.02
	3	0.29	0.16	0.16	0.12	0.10	0.05

ตารางผนวกที่ ค7 อิทธิพลของปัจจัยทดลองและเวลาที่มีต่อค่าฟอสฟอรัสที่พืชใช้ได้ก่อนและหลังการบำบัดด้วยวิธีชีวภาพร่วมกับการคราดพรวนในบ่อเลี้ยงกุ้งทะเลระบบปิด

ชุดการทดลองที่	ซ้ำ	ก่อนบำบัด	หลังการบำบัด				
			ครั้งที่1	ครั้งที่2	ครั้งที่3	ครั้งที่4	ครั้งที่5
			(วันที่ 7)	(วันที่ 14)	(วันที่ 28)	(วันที่ 42)	(วันที่ 56)
(1) ตากแดด	1	0.224	0.169	0.199	0.807	0.216	0.257
	2	0.323	0.406	0.073	0.429	0.316	0.289
	3	0.124	0.643	0.326	0.051	0.416	0.224
(2) รด EM	1	0.573	1.234	0.506	0.158	0.207	0.157
	2	0.376	1.157	0.963	0.089	0.162	0.187
	3	0.179	1.311	0.049	0.092	0.116	0.128
(3) คราดพรวน	1	0.888	0.909	0.893	0.878	0.307	0.162
	2	0.114	0.407	0.953	0.901	0.315	0.035
	3	0.501	0.658	0.833	0.924	0.236	0.099
(4) คราดพรวน+	1	0.296	1.128	2.570	0.582	0.122	0.030
รด ENVI-BAC	2	0.083	1.245	0.020	0.900	0.030	0.085
	3	0.189	1.363	0.105	0.741	0.215	0.139

ตารางผนวกที่ ค8 อิทธิพลของปัจจัยทดลองและเวลาที่มีต่อค่าความเป็นกรด-ด่างก่อนและหลังการบำบัดด้วยวิธีชีวภาพร่วมกับการคราดพรวนในบ่อเลี้ยงกุ้งทะเลระบบปิด

ชุดการทดลองที่	ซ้ำ	ก่อนบำบัด	หลังการบำบัด				
			ครั้งที่1	ครั้งที่2	ครั้งที่3	ครั้งที่4	ครั้งที่5
			(วันที่ 7)	(วันที่ 14)	(วันที่ 28)	(วันที่ 42)	(วันที่ 56)
(1) ตากแดด	1	7.91	7.52	7.78	7.69	7.07	6.79
	2	7.62	7.71	7.70	7.77	6.81	6.97
	3	7.60	7.73	7.72	7.58	7.26	7.05
(2) รด EM	1	7.51	7.78	7.73	7.76	6.74	6.93
	2	7.38	7.75	7.65	7.74	6.92	6.73
	3	7.19	7.76	7.69	7.56	6.83	6.80
(3) คราดพรวน	1	7.65	7.73	7.72	7.67	6.91	6.72
	2	7.68	7.78	7.74	7.80	6.69	6.78
	3	7.23	7.79	7.70	7.57	6.71	6.83
(4) คราดพรวน+	1	7.44	7.74	7.85	7.62	7.29	6.68
รด ENVI-BAC	2	7.60	7.71	7.57	7.65	6.53	6.67
	3	7.88	7.68	7.52	7.65	6.78	6.50

ตารางผนวกที่ ค9 อิทธิพลของปัจจัยทดลองและเวลาที่มีต่อปริมาณวิบริโอรวมก่อนและหลังการบำบัดด้วยวิธีชีวภาพร่วมกับการคราดพรวนในบ่อเลี้ยงกุ้งทะเลระบบปิด

ชุดการทดลองที่	ซ้ำ	ก่อนบำบัด	หลังการบำบัด				
			ครั้งที่1	ครั้งที่2	ครั้งที่3	ครั้งที่4	ครั้งที่5
			(วันที่ 7)	(วันที่ 14)	(วันที่ 28)	(วันที่ 42)	(วันที่ 56)
(1) ตากแดด	1	3690000	7040000	2520000	265000	71200	10900
	2	3520000	8070000	2900000	300000	82400	12600
	3	3440000	9280000	2630000	259000	90200	11800
(2) รด EM	1	2500000	9000000	1390000	190000	58500	56200
	2	2650000	7400000	1160000	179000	72400	32100
	3	2480000	6750000	1290000	180000	63200	45000
(3) คราดพรวน	1	1620000	4020000	1140000	190000	44500	21900
	2	2030000	7210000	1230000	160000	48000	32500
	3	1650000	5350000	1120000	177000	42600	27200
(4) คราดพรวน+	1	1060000	3480000	900000	172000	27000	10100
รด ENVI-BAC	2	1530000	3240000	740000	164000	24300	11400
	3	1200000	3200000	675000	189000	25600	10800

ตารางผนวกที่ ค10 อิทธิพลของปัจจัยทดลองและเวลาที่มีต่อปริมาณแบคทีเรียรวมก่อนและหลังการบำบัดด้วยวิธีชีวภาพร่วมกับการคราดพรวนในบ่อเลี้ยงกุ้งทะเลระบบปิด

ชุดการทดลองที่	ซ้ำ	ก่อนบำบัด	หลังการบำบัด				
			ครั้งที่1	ครั้งที่2	ครั้งที่3	ครั้งที่4	ครั้งที่5
			(วันที่ 7)	(วันที่ 14)	(วันที่ 28)	(วันที่ 42)	(วันที่ 56)
(1) ตากแดด	1	221000	210000	247000	290000	106000	128000
	2	282000	263000	212000	280000	205000	118000
	3	183000	234000	220000	250000	116000	121000
(2) รด EM	1	136000	210000	630000	188000	273000	265000
	2	118000	270000	520000	183000	167000	136000
	3	124000	265000	570000	170000	136000	106000
(3) คราดพรวน	1	128000	263000	120000	265000	290000	150000
	2	118000	210000	250000	136000	259000	130000
	3	121000	131000	190000	106000	264000	149000
(4) คราดพรวน+	1	247000	265000	335000	106000	330000	153000
รด ENVI-BAC	2	212000	136000	352000	205000	490000	269000
	3	220000	106000	349000	116000	420000	282000

ประวัติการศึกษาและการทำงาน

ชื่อ –นามสกุล	นางสาวปณิดา โกฏเพชร
วัน เดือน ปี ที่เกิด	28 ตุลาคม 2526
สถานที่เกิด	อำเภอเมือง จังหวัดชุมพร
ประวัติการศึกษา	วท.บ. วิทยาศาสตรบัณฑิต (ประมง) สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ตำแหน่งหน้าที่การงานปัจจุบัน	-
สถานที่ทำงานปัจจุบัน	-
ผลงานดีเด่นและรางวัลทางวิชาการ	-
ทุนการศึกษาที่ได้รับ	ทุนอุดหนุนการวิจัยจากโครงการวิจัยร่วมภาครัฐและเอกชนในเชิงพาณิชย์สำนักงานการอุดมศึกษา (สกอ.) ประจำปี 2549