



ใบรับรองวิทยานิพนธ์
บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต (วิทยาศาสตรการประมง)
ปริญญา

..... วิทยาศาสตรการประมง	 ชีววิทยาประมง
สาขา	ภาควิชา

เรื่อง ผลของไนตริไฟอิงแบคทีเรียต่อแอมโมเนีย ไนไตรท์และคุณสมบัติของน้ำบางประการ
ในบ่อเลี้ยงกุ้งขาวแวนนาไม (*Litopenaeus vannamei*)

Effects of Nitrifying Bacteria (PondProtect) on Ammonia, Nitrite and Some Water
Quality Parameters in Pacific White Shrimp (*Litopenaeus vannamei*) Ponds

นามผู้วิจัย นางสาวกัญญาณัฐ ขุนดี

ได้พิจารณาเห็นชอบโดย

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

(..... รองศาสตราจารย์ชกอ. ลิมสุวรรณ, Ph.D.)

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม

(..... ผู้ช่วยศาสตราจารย์นิติ ชูจิต, Ph.D.)

หัวหน้าภาควิชา

(..... ผู้ช่วยศาสตราจารย์ณรงค์ วีระไวทยะ, M.Sc.)

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์รับรองแล้ว

.....

(..... รองศาสตราจารย์กัญญา วีระกุล, D.Agr.)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

วันที่

เดือน

พ.ศ.

วิทยานิพนธ์

เรื่อง

ผลของไนตริไฟอิงแบคทีเรียต่อแอมโมเนีย ไนไตรท์และคุณสมบัติของน้ำบางประการ
ในบ่อเลี้ยงกุ้งขาวแวนนาไม (*Litopenaeus vannamei*)

Effects of Nitrifying Bacteria (PondProtect) on Ammonia, Nitrite and Some Water Quality
Parameters in Pacific White Shrimp (*Litopenaeus vannamei*) Ponds

โดย

นางสาวกัญญานัฐ ชุนดี

เสนอ

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
เพื่อความสมบูรณ์แห่งปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (วิทยาศาสตรการประมง)

พ.ศ. 2552

กัญญาณัฐ ขุนดี 2552: ผลของไนโตรไฟอิงแบคทีเรียต่อแอมโมเนีย ไนไตรท์และคุณสมบัติของน้ำ
บางประการในบ่อเลี้ยงกุ้งขาวแวนนาไม (*Litopenaeus vannamei*) ปรินญาวิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต
(วิทยาศาสตร์การประมง) สาขาวิทยาศาสตร์การประมง ภาควิชาชีววิทยาประมง
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก: รองศาสตราจารย์ชลอ ลิมสุวรรณ, Ph.D. 118 หน้า

การศึกษาประสิทธิภาพของไนโตรไฟอิงแบคทีเรียในการควบคุมปริมาณแอมโมเนียและไนไตรท์ ใน
ห้องปฏิบัติการและในบ่อเลี้ยงกุ้ง โดยการทดลองในห้องปฏิบัติการเตรียมแอมโมเนียและไนไตรท์ด้วยการหมัก
เลนพื้นบ่อเลี้ยงและอาหารกุ้งเข้าด้วยกันนาน 3 วัน หลังจากนั้นจึงแบ่งการทดลองออกเป็น 4 กลุ่ม คือ กลุ่มที่ 1
(กลุ่มควบคุม) ไม่มีการเติมแบคทีเรีย ส่วนกลุ่มที่ 2, 3 และ 4 เติมน้ำที่เตรียมไว้ 0.1, 0.5 และ 1 มิลลิกรัมต่อลิตร
ตามลำดับ หลังจากนั้นอีก 7 วันจะมีการเติมแบคทีเรียอีกครั้งในปริมาณเท่าเดิม ผลการศึกษา พบว่าปริมาณ
แอมโมเนียในทุกกลุ่มที่เติมจุลินทรีย์มีค่าต่ำสุดในวันที่ 5 ของการทดลอง โดยแต่ละกลุ่มมีค่าเฉลี่ย 2.30 ± 0.21 ,
 0.90 ± 0.12 , 0.88 ± 0.10 และ 0.80 ± 0.12 มิลลิกรัมต่อลิตรตามลำดับ ส่วนปริมาณไนไตรท์มีค่าต่ำสุดในวันที่ 6 โดยมี
ค่าเฉลี่ย 3.10 ± 0.15 , 1.99 ± 0.07 , 1.96 ± 0.05 และ 1.94 ± 0.09 มิลลิกรัมต่อลิตรตามลำดับ หลังจากนั้นปริมาณ
แอมโมเนียและไนไตรท์จะเพิ่มขึ้นอีกแต่ละครั้งในวันที่ 2 หลังเติมจุลินทรีย์ในครั้งที่ 2 และมีค่าต่ำกว่ากลุ่ม
ควบคุมซึ่งเพิ่มขึ้นต่อเนื่องตลอดการทดลอง การศึกษาครั้งนี้จะเห็นได้ว่าความเข้มข้นของไนโตรไฟอิงแบคทีเรีย
0.1 มิลลิกรัมต่อลิตร มีประสิทธิภาพเพียงพอในการลดปริมาณแอมโมเนียและไนไตรท์ได้ จึงศึกษาผลของ
แบคทีเรียที่ความเข้มข้นนี้ที่มีต่อคุณภาพน้ำและผลผลิตกุ้งขาวแวนนาไมด้วยน้ำความเค็มต่ำ ในบ่อทดลองขนาด 5
ไร่ จำนวน 3 บ่อและบ่อควบคุมจำนวน 3 บ่อที่มีขนาดเท่ากัน ปล่อยลูกกุ้งระยะโพสลาอ์ว 12 ในอัตราความ
หนาแน่น 100,000 ตัวต่อไร่ (63 ตัวต่อตารางเมตร) ใช้ไนโตรไฟอิงแบคทีเรียผสมสาหร่ายน้ำให้อาหารในปริมาณ 1
กิโลกรัมต่อบ่อหรือ 0.2 กิโลกรัมต่อไร่ (0.1 มิลลิกรัมต่อลิตร) โดยเติมแบคทีเรียเมื่อกุ้งอายุ 30, 85 และ 110 วัน
ส่วนบ่อควบคุมไม่มีการเติมแบคทีเรียและปล่อยลูกกุ้งในอัตราความหนาแน่นเท่ากับบ่อที่ใช้แบคทีเรียจำนวน 3
บ่อ ที่มีขนาดเดียวกัน ความเข้มข้นระหว่างการศึกษา 5-8 พีพีที ผลการศึกษา พบว่าปริมาณแอมโมเนียในบ่อที่ใช้
แบคทีเรียเมื่อกุ้งอายุได้ 30, 85 และ 110 วัน ลดลงแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) กับบ่อควบคุม ที่
เวลา 5, 3 และ 3 วันตามลำดับ หลังจากเติมเชื้อแบคทีเรีย ในขณะที่ปริมาณไนไตรท์ในบ่อทดลองที่เติมแบคทีเรีย
เมื่อกุ้งอายุ 30, 85 และ 110 วันนั้น มีค่าลดลงในวันที่ 7, 7 และ 5 วันตามลำดับ หลังจากเลี้ยงกุ้งนานประมาณ 123
วัน ได้ปริมาณผลผลิตเฉลี่ยในบ่อทดลองเท่ากับ $1,211 \pm 190.15$ กิโลกรัมต่อไร่ น้ำหนักเฉลี่ย 15.61 ± 1.21 กรัม และ
อัตราการรอดตาย 60.37 ± 1.98 เปอร์เซ็นต์ สูงกว่าบ่อควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) ซึ่งมีผลผลิตเฉลี่ย
 $1,183 \pm 265.09$ กิโลกรัมต่อไร่ น้ำหนักเฉลี่ย 14.26 ± 1.97 กรัม และอัตราการรอดตาย 62.27 ± 4.60 เปอร์เซ็นต์ ใน
ส่วนกำไรสุทธิของบ่อทดลองเท่ากับ 46,648 บาทต่อไร่ มากกว่าบ่อควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติซึ่งมีกำไร
สุทธิเพียง 35,852 บาทต่อไร่ การใช้ไนโตรไฟอิงแบคทีเรียในระหว่าง การเลี้ยงกุ้งขาวแวนนาไมสามารถลดปริมาณ
แอมโมเนียและ ไนไตรท์ได้

Gunyanat Kundee 2009: Effects of Nitrifying Bacteria (PondProtect) on Ammonia, Nitrite and Some Water Parameters in Pacific White Shrimp (*Litopenaeus vannamei*) Ponds. Master of Science (Fisheries Science), Major Field: Fisheries Science, Department of Fishery Biology.
Thesis Advisor: Associate Professor Chalor Limsuwan, Ph.D. 118 pages.

Efficacy of nitrifying bacteria for controlling ammonia (NH_3) and nitrite (NO_2^-) in both laboratory and cultured ponds was studied. Ammonia and nitrite were prepared by mixing sludge from a shrimp pond with shrimp feed for 3 days. After that the experiments were divided into four groups: group 1, with no bacteria, served as control and for groups 2, 3 and 4, nitrifying bacteria were added at 0.1, 0.5 and 1 mg/l, respectively. The same dosage of bacteria was added into each group again at day 7. The average ammonia in all treatment groups reduced to the lowest concentration on the fifth day at the values of 2.30 ± 0.21 , 0.90 ± 0.12 , 0.88 ± 0.10 and 0.80 ± 0.12 mg/l, respectively. Moreover, the lowest concentrations of nitrite were observed on the sixth day as 3.10 ± 0.15 , 1.99 ± 0.07 , 1.96 ± 0.05 and 1.94 ± 0.09 mg/l, respectively. Later on, ammonia and nitrite concentrations simultaneously increased again. However, both ammonia and nitrite dropped again on day 2 after the second application and remained lower than the control group throughout the experiment. This result indicated that nitrifying bacteria at 0.1 mg/l could reduce the amount of ammonia and nitrite. This dosage of bacteria was used to study the effects on the water quality and production of farm-reared Pacific white shrimp (*Litopenaeus vannamei*) in low salinity water. Three experimental ponds with an area of approximately $8,000 \text{ m}^2$ (5 rai) each and three control ponds of the same size were used. *L. vannamei* postlarvae 12 (PL 12), were stocked at the density of 100,000 shrimp/rai (63 PL/ m^2). Nitrifying bacteria were prepared by mixing the bacteria with water and adding into the ponds at days 30, 85 and 110 post stocking at a rate of 1 kg/pond or 0.2 kg/ $1,600 \text{ m}^2$ (0.1 mg/l). For the control ponds, PL 12 were stocked at the same density without adding nitrifying bacteria. The salinity during the culture period ranged from 5 -8 ppt. Results showed that the average ammonia in all treatment ponds at days 30, 85 and 110 post-stocking was reduced and significantly different ($p < 0.05$) from the control ponds on the fifth, third and third day respectively after bacteria were added. The average nitrite in the treatment ponds at days 30, 85 and 110 was reduced on the seventh, seventh and fifth day respectively after adding bacteria. Shrimp were harvested after 123 days. The average yield, weight and survival rate of shrimp from the experimental ponds were $1,211 \pm 190.15$ kg/rai, 15.61 ± 1.21 g and $60.37 \pm 1.98\%$, respectively, which was significantly ($p < 0.05$) higher than in the control ponds of $1,183 \pm 265.09$ kg/rai, 14.26 ± 1.97 g and $62.27 \pm 4.60\%$. The average net profit in the experimental ponds was 46,648 baht/rai which was significantly higher than the control ponds' 35,852 baht/rai. The use of nitrifying bacteria for rearing Pacific white shrimp could reduce ammonia and nitrite concentration.

Student's signature

Thesis Advisor's signature

กิตติกรรมประกาศ

ข้าพเจ้าขอกราบขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดร. ชลอ ลิมสุวรรณ อาจารย์ที่ปรึกษา
วิทยานิพนธ์หลักที่ช่วยเหลือในการวางแผนงานวิจัยในการทำวิทยานิพนธ์ ตลอดจนให้คำปรึกษา
แนะนำ และตรวจแก้ไขข้อบกพร่องต่างๆ ขอกราบขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. นิตี ชูเชิด
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม และ ดร. พรเลิศ จันทรรักษ์กุล ที่กรุณาให้คำแนะนำ แก้ไข ทำให้
วิทยานิพนธ์เล่มนี้สมบูรณ์ยิ่งขึ้น

ขอขอบพระคุณ คุณนคร หาญไกรวิไลย์ เจ้าของฟาร์มเลี้ยงกุ้ง อำเภอปากท่อ จังหวัดราชบุรี
ที่อนุเคราะห์สถานที่ในการศึกษาครั้งนี้

ขอขอบพระคุณ บริษัท Novozymes Biological, Inc. ประเทศสหรัฐอเมริกา ที่สนับสนุน
เงินทุนในการวิจัยครั้งนี้ ขอบขอบคุณพี่ๆ ปรินญาเอกและเพื่อนๆ ปรินญาโททุกคนที่คอยให้ความ
ช่วยเหลือให้กำลังใจและสนับสนุนในการทำวิทยานิพนธ์จนสำเร็จลุล่วงด้วยดี

ขอขอบพระคุณ คุณพ่อ คุณแม่ ที่ให้ความรัก ความห่วงใยและคอยเป็นกำลังใจ จนทำให้
ข้าพเจ้าสำเร็จการศึกษาครั้งนี้

กัญญาณัฐ ชุนดี
มีนาคม 2552

สารบัญ

หน้า

สารบัญ	(1)
สารบัญตาราง	(2)
สารบัญภาพ	(5)
คำนำ	1
วัตถุประสงค์	3
การตรวจเอกสาร	4
อุปกรณ์และวิธีการ	38
ผลและวิจารณ์	50
สรุปและข้อเสนอแนะ	93
สรุป	93
ข้อเสนอแนะ	94
เอกสารและสิ่งอ้างอิง	95
ภาคผนวก	110
ประวัติการศึกษาและการทำงาน	118

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
1 ผลของไนตริไฟอิงแบคทีเรียต่อคุณภาพน้ำในห้องปฏิบัติการ	53
2 อุณหภูมิในบ่อควบคุมและบ่อทดลองที่ใช้ไนตริไฟอิงแบคทีเรียในกึ่งอายุ 30 วัน	58
3 อุณหภูมิในบ่อควบคุมและบ่อทดลองที่ใช้ไนตริไฟอิงแบคทีเรียในกึ่งอายุ 85 วัน	59
4 อุณหภูมิในบ่อควบคุมและบ่อทดลองที่ใช้ไนตริไฟอิงแบคทีเรียในกึ่งอายุ 110 วัน	60
5 ความเค็มในบ่อควบคุมและบ่อทดลองที่ใช้ไนตริไฟอิงแบคทีเรียในกึ่งอายุ 30 วัน	62
6 ความเค็มในบ่อควบคุมและบ่อทดลองที่ใช้ไนตริไฟอิงแบคทีเรียในกึ่งอายุ 85 วัน	63
7 ความเค็มในบ่อควบคุมและบ่อทดลองที่ใช้ไนตริไฟอิงแบคทีเรียในกึ่งอายุ 110 วัน	64
8 ปริมาณออกซิเจนที่ละลายน้ำในบ่อควบคุมและบ่อทดลองที่ใช้ไนตริไฟอิงแบคทีเรียในกึ่งอายุ 30 วัน	66
9 ปริมาณออกซิเจนที่ละลายน้ำในบ่อควบคุมและบ่อทดลองที่ใช้ไนตริไฟอิงแบคทีเรียในกึ่งอายุ 85 วัน	67
10 ปริมาณออกซิเจนที่ละลายน้ำในบ่อควบคุมและบ่อทดลองที่ใช้ไนตริไฟอิงแบคทีเรียในกึ่งอายุ 110 วัน	68
11 พีเอชในบ่อควบคุมและบ่อทดลองที่ใช้ไนตริไฟอิงแบคทีเรียในกึ่งอายุ 30 วัน	70
12 พีเอชในบ่อควบคุมและบ่อทดลองที่ใช้ไนตริไฟอิงแบคทีเรียในกึ่งอายุ 85 วัน	71
13 พีเอชในบ่อควบคุมและบ่อทดลองที่ใช้ไนตริไฟอิงแบคทีเรียในกึ่งอายุ 110 วัน	72
14 ความเป็นค่ารวมในบ่อควบคุมและบ่อทดลองที่ใช้ไนตริไฟอิงแบคทีเรียในกึ่งอายุ 30 วัน	74
15 ความเป็นค่ารวมในบ่อควบคุมและบ่อทดลองที่ใช้ไนตริไฟอิงแบคทีเรียในกึ่งอายุ 85 วัน	75
16 ความเป็นค่ารวมในบ่อควบคุมและบ่อทดลองที่ใช้ไนตริไฟอิงแบคทีเรียในกึ่งอายุ 110 วัน	76
17 แอมโมเนียรวมในบ่อควบคุมและบ่อทดลองที่ใช้ไนตริไฟอิงแบคทีเรียในกึ่งอายุ 30 วัน	78
18 แอมโมเนียรวมในบ่อควบคุมและบ่อทดลองที่ใช้ไนตริไฟอิงแบคทีเรียในกึ่งอายุ 85 วัน	79

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่	หน้า
19 แอมโมเนียรวมในบ่อควบคุมและบ่อทดลองที่ใช้ในตรีฟองแบคทีเรียในกึ่งอายุ 110 วัน	80
20 ไนโตรที่ในบ่อควบคุมและบ่อทดลองที่ใช้ในตรีฟองแบคทีเรียในกึ่งอายุ 30 วัน	82
21 ไนโตรที่ในบ่อควบคุมและบ่อทดลองที่ใช้ในตรีฟองแบคทีเรียในกึ่งอายุ 85 วัน	83
22 ไนโตรที่ในบ่อควบคุมและบ่อทดลองที่ใช้ในตรีฟองแบคทีเรียในกึ่งอายุ 110 วัน	84
23 ไนเตรทในบ่อควบคุมและบ่อทดลองที่ใช้ในตรีฟองแบคทีเรียในกึ่งอายุ 30 วัน	86
24 ไนเตรทในบ่อควบคุมและบ่อทดลองที่ใช้ในตรีฟองแบคทีเรียในกึ่งอายุ 85 วัน	87
25 ไนเตรทในบ่อควบคุมและบ่อทดลองที่ใช้ในตรีฟองแบคทีเรียในกึ่งอายุ 110 วัน	88
26 การเปรียบเทียบข้อมูลผลผลิตกึ่งขาวแวนนาไมในบ่อทดลองที่ใช้ในตรีฟองแบคทีเรียและบ่อควบคุม	90
27 การเปรียบเทียบต้นทุนและผลตอบแทนของการเลี้ยงกึ่งขาวแวนนาไมในบ่อที่ใช้ในตรีฟองแบคทีเรียและบ่อทดลอง	92

ตารางผนวกที่

1 ผลการวิเคราะห์ทางสถิติของผลผลิตในบ่อทดลองที่ใช้ในตรีฟองแบคทีเรียและบ่อควบคุม	111
2 ผลการวิเคราะห์ทางสถิติของคุณสมบัติของน้ำในบ่อทดลองที่ใช้ในตรีฟองแบคทีเรียและบ่อควบคุมบริเวณขอบบ่อ ในกึ่งอายุ 30 วัน	112
3 ผลการวิเคราะห์ทางสถิติของคุณสมบัติของน้ำในบ่อทดลองที่ใช้ในตรีฟองแบคทีเรียและบ่อควบคุมบริเวณกลางบ่อ ในกึ่งอายุ 30 วัน	113
4 ผลการวิเคราะห์ทางสถิติของคุณสมบัติของน้ำในบ่อทดลองที่ใช้ในตรีฟองแบคทีเรียและบ่อควบคุมบริเวณขอบบ่อ ในกึ่งอายุ 85 วัน	114
5 ผลการวิเคราะห์ทางสถิติของคุณสมบัติของน้ำในบ่อทดลองที่ใช้ในตรีฟองแบคทีเรียและบ่อควบคุมบริเวณกลางบ่อ ในกึ่งอายุ 85 วัน	115

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางผนวกที่	หน้า
6 ผลการวิเคราะห์ทางสถิติของคุณสมบัติของน้ำในบ่อทดลองที่ใช้ในτριไฟอิง แบคทีเรีย และบ่อควบคุมบริเวณขอบบ่อ ในกึ่งอายุ 110 วัน	116
7 ผลการวิเคราะห์ทางสถิติของคุณสมบัติของน้ำในบ่อทดลองที่ใช้ในτριไฟอิง แบคทีเรีย และบ่อควบคุมบริเวณกลางบ่อ ในกึ่งอายุ 110 วัน	117

สารบัญภาพ

ภาพที่	หน้า
1 ชั้นของหน้าตัดดินพื้นบ่อ	14
2 การเคลื่อนที่ของน้ำและมวลสารต่าง ๆ ภายในบ่อเลี้ยงสัตว์น้ำ	15
3 การเคลื่อนที่ของสารบริเวณระหว่างชั้นดินและน้ำในบ่อที่ผิวพื้นบ่อมีออกซิเจน	15
4 การเคลื่อนที่ของสารบริเวณระหว่างชั้นดินและน้ำในบ่อที่ผิวพื้นบ่อขาดออกซิเจน	16
5 การสะสมสารอาหารและผลกระทบของน้ำทิ้งจากการเพาะเลี้ยงกุ้ง	21
6 ผลของอุณหภูมิและพีเอชต่อปริมาณแอมโมเนีย	22
7 ถังหมักเลนพื้นบ่อและอาหารกุ้ง	40
8 ไนตริไฟอิงแบคทีเรียที่ใช้ในการทดลอง	40
9 การแบ่งโหลแก้วทดลอง	40
10 แผนผังนครพนธ์ฟาร์ม จังหวัดราชบุรี	46
11 บ่อเลี้ยงกุ้งขาวแวนนาไมที่ทำการทดลอง	47
12 การสาธิตแบคทีเรียในบ่อเลี้ยงกุ้งที่อายุ 30, 85 และ 110 วัน	49
13 การเก็บตัวอย่างน้ำและวัดคุณภาพน้ำบริเวณกลางบ่อ	49
14 การเก็บตัวอย่างน้ำและวัดคุณภาพน้ำบริเวณขอบบ่อ	49
15 การเปลี่ยนแปลงแอมโมเนียรวมตลอดการทดลอง	55
16 การเปลี่ยนแปลงไนไตรท์รวมตลอดการทดลอง	55
17 การเปลี่ยนแปลงความเป็นด่างรวมตลอดการทดลอง	56
18 การเปลี่ยนแปลงพีเอชตลอดการทดลอง	56
19 การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของน้ำในกุ้งอายุ 30 วัน	58
20 การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของน้ำในกุ้งอายุ 85 วัน	59
21 การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของน้ำในกุ้งอายุ 110 วัน	60
22 การเปลี่ยนแปลงความเค็มของน้ำในกุ้งอายุ 30 วัน	62
23 การเปลี่ยนแปลงความเค็มของน้ำในกุ้งอายุ 85 วัน	63
24 การเปลี่ยนแปลงความเค็มของน้ำในกุ้งอายุ 110 วัน	64
25 การเปลี่ยนแปลงปริมาณออกซิเจนที่ละลายน้ำ ในกุ้งอายุ 30 วัน	66
26 การเปลี่ยนแปลงปริมาณออกซิเจนที่ละลายน้ำ ในกุ้งอายุ 85 วัน	67

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
27	การเปลี่ยนแปลงปริมาณออกซิเจนที่ละลายน้ำ ในกึ่งอายุ 110 วัน	68
28	การเปลี่ยนแปลงพีเอชของน้ำในกึ่งอายุ 30 วัน	70
29	การเปลี่ยนแปลงพีเอชของน้ำในกึ่งอายุ 85 วัน	71
30	การเปลี่ยนแปลงพีเอชของน้ำในกึ่งอายุ 110 วัน	72
31	การเปลี่ยนแปลงความเป็นค่ารวมของน้ำในกึ่งอายุ 30 วัน	74
32	การเปลี่ยนแปลงความเป็นค่ารวมของน้ำในกึ่งอายุ 85 วัน	75
33	การเปลี่ยนแปลงความเป็นค่ารวมของน้ำในกึ่งอายุ 110 วัน	76
34	การเปลี่ยนแปลงปริมาณแอมโมเนียรวมของน้ำในกึ่งอายุ 30 วัน	78
35	การเปลี่ยนแปลงปริมาณแอมโมเนียรวมของน้ำในกึ่งอายุ 85 วัน	79
36	การเปลี่ยนแปลงปริมาณแอมโมเนียรวมของน้ำในกึ่งอายุ 110 วัน	80
37	การเปลี่ยนแปลงปริมาณไนไตรท์ของน้ำในกึ่งอายุ 30 วัน	82
38	การเปลี่ยนแปลงปริมาณไนไตรท์ของน้ำในกึ่งอายุ 85 วัน	83
39	การเปลี่ยนแปลงปริมาณไนไตรท์ของน้ำในกึ่งอายุ 110 วัน	84
40	การเปลี่ยนแปลงปริมาณไนเตรทของน้ำในกึ่งอายุ 30 วัน	86
41	การเปลี่ยนแปลงปริมาณไนเตรทของน้ำในกึ่งอายุ 85 วัน	87
42	การเปลี่ยนแปลงปริมาณไนเตรทของน้ำในกึ่งอายุ 110 วัน	88

ผลของไนโตริไฟอิงแบคทีเรียต่อแอมโมเนีย ไนไตรท์และคุณสมบัติของน้ำบางประการ ในปอเลี้ยงกุ้งขาวแวนนาไม (*Litopenaeus vannamei*)

Effects of Nitrifying Bacteria (PondProtect) on Ammonia, Nitrite and Some Water Quality Parameters in Pacific White Shrimp (*Litopenaeus vannamei*) Ponds

คำนำ

อุตสาหกรรมการเพาะเลี้ยงกุ้ง ในประเทศไทยได้มีการพัฒนาไปอย่างรวดเร็ว ส่วนใหญ่เป็นการเลี้ยงแบบพัฒนา (intensive farming) มีการปล่อยลูกกุ้งที่ระดับความหนาแน่นสูงใช้อาหารสำเร็จรูปที่มีปริมาณโปรตีนเป็นองค์ประกอบ อยู่สูงมากประมาณ 36-40 เปอร์เซ็นต์ (ชโล, 2543) ทำให้อาหารที่เหลือและของเสียที่กุ้งขับถ่ายออกมาเป็นสาเหตุสำคัญของการสะสมแอมโมเนียในปอเลี้ยงกุ้งตามระยะเวลาการเลี้ยง โดยเฉพาะบริเวณกลางปอที่มีการสะสมของตะกอนเลนจำนวนมาก และเป็นพื้นที่ที่เกิดการย่อยสลายของเสียจน อาจเป็นบริเวณที่ขาดออกซิเจน ทำให้แบคทีเรียในกลุ่มที่ไม่ใช้ออกซิเจนสามารถเจริญเติบโตและทำการย่อยสลายแทน กระบวนการเหล่านี้จะเป็นไปอย่างช้าๆ และผลิตสารที่มีความเป็นพิษต่อสัตว์น้ำ ได้แก่ แอมโมเนีย ไนไตรท์ มีเทน และไฮโดรเจนซัลไฟด์ (Hargreaves, 1998)

ไนโตรเจนมีความสำคัญต่อระบบนิเวศวิทยา ของแหล่งน้ำ เนื่องจากเป็นส่วนประกอบของอินทรีย์สารหลายชนิด ที่มีความสำคัญต่อการดำรงชีวิตของพืชและสัตว์ เมื่อไนโตรเจนเข้าสู่แหล่งน้ำจะถูกเปลี่ยนให้เป็นสารประกอบหลายรูป ได้แก่ แก๊สไนโตรเจน ไนเตรท ไนไตรท์ แอมโมเนีย และสารอินทรีย์ไนโตรเจน การเกิดแอมโมเนียมี 2 รูปแบบ คือ แอมโมเนียมที่แตกตัวเป็นอออน (ionized ammonia, NH_4^+) ที่ไม่เป็นพิษต่อสัตว์น้ำ และแอมโมเนียที่ไม่แตกตัวเป็นอออน (unionized ammonia, NH_3) ซึ่งเป็นพิษต่อสัตว์น้ำ โดยการเกิดแอมโมเนียทั้ง 2 รูปแบบ ขึ้นอยู่กับความสมดุลของอุณหภูมิและพีเอช (Whitfield, 1974) ถ้าแอมโมเนียที่ไม่แตกตัวเป็นอออน (แอมโมเนียอิสระ) ในน้ำอยู่ในช่วง 0.1-0.4 มิลลิกรัมต่อลิตร จะส่งผลให้กุ้งโตช้า แต่ถ้าปริมาณแอมโมเนียอิสระมีค่ามากกว่า 0.4 มิลลิกรัมต่อลิตร จะทำให้กุ้งอ่อนแอและตายได้ ในขณะที่ ระดับความเข้มข้นของแอมโมเนียรวมที่ปลอดภัยสำหรับการเลี้ยงกุ้งควรมีค่าน้อยกว่า 0.1 มิลลิกรัมต่อลิตร (ชโล และพรเลิศ, 2547) การควบคุมปริมาณแอมโมเนียและไนไตรท์ด้วยวิธีทางเคมีจะส่งผลทำให้

แบคทีเรียที่มีประโยชน์รวมทั้งสิ่งมีชีวิตเล็กๆ ที่อยู่ในน้ำถูกทำลายไปด้วยน้ำและดินเสียสภาพสมดุลทางธรรมชาติ รวมทั้งการใช้สารเคมีจะเสียค่าใช้จ่ายมากและมีความยุ่งยาก (Santry, 1966) ซึ่งแตกต่างจากวิธีการทางชีวภาพที่อาศัยกระบวนการต่างๆ ของแบคทีเรียจึงน่าจะเป็นวิธีที่เหมาะสมและสามารถช่วยแก้ปัญหาดังกล่าวได้ (อำพน, 2540) ปัจจุบันมีการใช้ไนโตรีฟิอิงแบคทีเรียในการควบคุมปริมาณก๊าซแอมโมเนียและกำจัดกลิ่นเหม็น ในโรงงานอุตสาหกรรม แบคทีเรียกลุ่มนี้สามารถดำรงอยู่ได้ทั้งสภาวะที่มีออกซิเจนและไม่มีออกซิเจน โดยเปลี่ยนการหายใจแบบใช้ออกซิเจนเป็นตัวรับอิเล็กตรอนในสภาวะใช้ออกซิเจนให้เป็นการหายใจแบบใช้ในไตรท์ (NO_3^-) ไนไตรท์ (NO_2^-) ไนตริกออกไซด์ (NO) และซัลเฟต (SO_4^{2-}) เป็นตัวรับอิเล็กตรอนแทนออกซิเจนในสภาวะไร้ออกซิเจน เกิดกระบวนการออกซิโดรีดักชันประกอบอินทรีย์ไนโตรเจน ได้แก่ แอมโมเนียม ให้เป็นอนินทรีย์ไนโตรเจน คือ ไนไตรท์ (NO_2^-) และไนเตรท (NO_3^-) ตามลำดับ วิธีการชีวภาพนี้ทำได้โดยการเพิ่มปริมาณของจุลินทรีย์ที่มีประโยชน์ให้มีมากขึ้น เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการกำจัดแอมโมเนีย ทำให้สภาพแวดล้อมในบ่อเลี้ยงอยู่ในสภาวะสมดุล ซึ่งจะต้องทำไปพร้อมๆ กับการจัดการที่เหมาะสมด้านอื่นๆ ควบคู่กันไปด้วย เช่น การให้อาหารที่เหมาะสมและเพียงพอต่อสิ่งมีชีวิต การรักษาระดับความเป็นกรด-ด่าง (พีเอช) ให้เหมาะสมต่อสิ่งมีชีวิต สามารถทำได้ง่าย ไม่ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมและมีต้นทุนต่ำ เมื่อเปรียบเทียบกับการใช้สารเคมี และวิธีการอื่นที่มีค่าใช้จ่ายสูง มีความสะดวกต่อการใช้งาน ง่ายต่อการเก็บรักษาและการขนส่ง เป็นการเพิ่มประสิทธิภาพในการกำจัดแอมโมเนีย ปรับปรุงคุณภาพน้ำ ทำให้กุ้งมีอัตราการรอดตาย การเจริญเติบโตสูง ส่งผลให้ปริมาณผลผลิตสูงขึ้นด้วย (Boyd, 1982)

การศึกษาประสิทธิภาพของไนโตรีฟิอิงแบคทีเรียในการควบคุมปริมาณแอมโมเนียและไนไตรท์ทั้งในห้องปฏิบัติการและในบ่อเลี้ยงกุ้งขาวแวนนาไม (*Litopenaeus vannamei*) ที่ระยะต่างๆ ผลการศึกษาจะใช้เพื่อเป็นแนวทางให้แก่เกษตรกรในการควบคุมปริมาณแอมโมเนียและไนไตรท์ที่เกิดขึ้นในบ่อเลี้ยงกุ้งและคาดว่าจะเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตของบ่อเลี้ยงกุ้งได้ จะทำให้อุตสาหกรรมการเพาะเลี้ยงกุ้งของไทยสามารถแข่งขันกับต่างประเทศได้อย่างมั่นคงและยั่งยืนต่อไป

วัตถุประสงค์

1. ศึกษาประสิทธิภาพของไนตริไฟอิงแบคทีเรียในการควบคุมปริมาณแอมโมเนียไนโตรเจน และคุณสมบัติของน้ำบางประการในห้องปฏิบัติการ
2. ศึกษาประสิทธิภาพของไนตริไฟอิงแบคทีเรียในการควบคุมปริมาณแอมโมเนียไนโตรเจน และคุณสมบัติของน้ำบางประการ ในบ่อเลี้ยงกุ้งขาวแวนนาไมที่ระยะการเลี้ยงต่างๆ กัน
3. เปรียบเทียบน้ำหนักเฉลี่ย อัตราการรอดตาย อัตราการแลกเนื้อและ ปริมาณผลผลิต ของบ่อเลี้ยงกุ้งขาวแวนนาไมที่ใช้และไม่ใช้ไนตริไฟอิงแบคทีเรีย
4. เปรียบเทียบต้นทุนและผลตอบแทนจากการเลี้ยงกุ้งขาวแวนนาไมใน บ่อที่ใช้และไม่ใช้ไนตริไฟอิงแบคทีเรีย

การตรวจเอกสาร

1. กุ้งขาวแวนนาไม

กุ้งขาวแปซิฟิก หรือกุ้งขาวแวนนาไม (*Litopenaeus vannamei*) เป็นกุ้งพื้นเมืองในทวีปอเมริกาใต้ มีการเลี้ยงกันมากในประเทศเอกวาดอร์ เม็กซิโก เปรู ปานามา ฮอนดูรัส โคลัมเบีย บราซิล ฯลฯ (Rosenberry, 1993 ; FAO, 1994) กุ้งชนิดนี้ได้มีการนำเข้ามาเลี้ยงในทวีปเอเชียครั้งแรกในประเทศไทยได้หวั่นในปี พ.ศ. 2539 และประเทศจีนในปี พ.ศ. 2541 เนื่องจากการเลี้ยงกุ้งกุลาดำและกุ้งชนิดอื่นๆ ภายในประเทศมีปัญหาผลผลิต ไม่ได้ตามเป้าหมาย ประเทศไทยได้มีการนำเข้ากุ้งขาวแปซิฟิกซึ่งเกษตรกรผู้เลี้ยงกุ้งจะเรียกว่ากุ้งขาวแวนนาไม เข้ามาทดลองในปี พ.ศ. 2541 แต่การทดลองครั้งนั้นไม่ประสบความสำเร็จมากนัก จนกระทั่งเดือนมีนาคม พ.ศ. 2545 กรมประมงได้อนุญาตให้นำพ่อแม่พันธุ์ที่ปลอดเชื้อ (specific pathogen free, SPF) จากต่างประเทศเข้ามาทดลอง จนถึงสิ้นเดือนกุมภาพันธ์ พ.ศ. 2546 ซึ่งเป็นช่วงเวลาที่การเลี้ยงกุ้งกุลาดำในประเทศไทยกำลังประสบปัญหากุ้งโตช้าซึ่งเกิดขึ้นในกุ้งกุลาดำมาเป็นเวลาหลายปีก่อนหน้านี้อยู่แล้ว โดยที่มีกุ้งขนาดแตกต่างกันมากตอนจับ โดยเฉพาะกุ้งขนาดเล็กประมาณ 3-5 กรัม (Limsuwan, 1999) ทำให้เกษตรกรบางส่วนทดลองเลี้ยงกุ้งขาว และได้ผลดีกว่ากุ้งกุลาดำ ส่งผลให้เกษตรกรเป็นจำนวนมากเปลี่ยนมาเลี้ยงกุ้งขาวกันเพิ่มขึ้น เนื่องจากเป็นกุ้งที่ผ่านการปรับปรุงสายพันธุ์มาเป็นเวลานาน ทำให้เลี้ยงง่ายกว่า มีการเจริญเติบโตเร็วมีขนาดเท่าๆ กันใช้ระยะเวลาเลี้ยงนานประมาณ 90-100 วัน และสามารถปรับตัวอยู่ในความเค็มต่ำได้ดี (Bray *et al.*, 1994)

กุ้งขาวเป็นสัตว์น้ำเศรษฐกิจที่สามารถทำเงินรายได้ให้แก่เกษตรกรอย่างมากและทำรายได้เข้าสู่ประเทศปีละหลายหมื่นล้านบาท จากข้อมูลการส่งออกกุ้งของประเทศไทยในปี พ.ศ. 2548 ซึ่งมีปริมาณการส่งออกถึง 221,986 ตัน ทำเงินรายได้เข้าประเทศมากกว่า 50,600 ล้านบาท (กรมศุลกากร, 2548) ในปี พ.ศ. 2550-2551 ปริมาณการส่งออกกุ้งสดแช่แข็งของประเทศไทยมากกว่า 95 เปอร์เซ็นต์ มาจากกุ้งขาวแวนนาไม (กระทรวงพาณิชย์, 2551)

2. การเลี้ยงกุ้งขาวแวนนาไม

ชลอ และ พรเลิศ (2547) กล่าวถึงรูปแบบการเลี้ยงกุ้งขาวแวนนาไมโดยแบ่งตามความเค็มของน้ำได้เป็น 2 แบบ คือ

1. การเลี้ยงกุ้งขาวด้วยน้ำความเค็มต่ำ เป็นการเลี้ยงในเขตพื้นที่น้ำจืด เช่น พื้นที่ทางภาคกลาง ใช้น้ำความเค็มต่ำมากจนเกือบจะเป็นระดับที่ถือว่าเป็นน้ำจืด โดยจะใช้น้ำเค็มจากนาเกลือที่มีความเค็ม 100-200 พีพีที มาเติมในน้ำจืดเพื่อให้ได้ระดับความเค็มประมาณ 3-4 พีพีที หลังจากนั้นจะนำลูกกุ้งขาวแวนนาไมระยะโพสลาอ์ว 10-12 (พี 10-12) ที่ปรับความเค็มจากโรงเพาะฟักมาปล่อยในคอก อนุบาลลูกกุ้งในคอกประมาณ 3-4 วัน จึงเปิดคอกให้ลูกกุ้งกระจายทั่วบ่อ อีกรวี่คือไม่กั้นคอก จะเตรียมน้ำความเค็มประมาณ 3-5 พีพีที แล้วให้ทางโรงเพาะฟักปรับความเค็มของลูกกุ้งจนอยู่ที่ความเค็มที่ต่ำที่สุดประมาณใกล้เคียงกับที่จะมาปล่อยในบ่อแล้วนำลูกกุ้งมาปล่อยโดยตรง ซึ่งจะทำให้มีอัตราการรอดตายที่สูงกว่า โดยปล่อยลงเลี้ยงในอัตราความหนาแน่นประมาณ 70,000-80,000 ตัวต่อไร่ ส่วนใหญ่เกษตรกรจะเลี้ยงให้ได้กุ้งขนาดประมาณ 60-80 ตัวต่อกิโลกรัม คือ เลี้ยงประมาณ 3 เดือน โดยใช้อวนตาห่างเพื่อลากกุ้งขนาดใหญ่ออกขายประมาณครึ่งหนึ่ง หลังจากนั้นเติมน้ำจืดเข้าบ่อจนเต็ม และเติมน้ำเค็มอีกรอบเพื่อเพิ่มความเค็ม เลี้ยงอีกประมาณ 2 สัปดาห์ จะทำให้กุ้งในบ่อโตขึ้น เช่น จากขนาด 80 ตัวต่อกิโลกรัมเป็น 60 ตัวต่อกิโลกรัม จึงจับกุ้งทั้งหมดอีกครั้งหนึ่ง ซึ่งจะทำให้ได้ผลผลิตสูงกว่าการเลี้ยงกุ้งกุลาดำ

2. การเลี้ยงกุ้งขาวด้วยน้ำความเค็มปกติ คือ น้ำที่มีความเค็ม 10 พีพีทีขึ้นไป ในพื้นที่ริมชายฝั่งทะเลโดยเฉพาะการเลี้ยงทางภาคใต้ ส่วนใหญ่จะมีการปล่อยลูกกุ้งอย่างหนาแน่นมากกว่า 120,000 ตัวต่อไร่ ผลผลิตประมาณ 2 ตันต่อไร่ อัตรารอดประมาณ 80 เปอร์เซ็นต์ สำหรับในบางพื้นที่ผลผลิตอาจจะประมาณ 3-4 ตันต่อไร่ การเลี้ยงด้วยน้ำความเค็มปกติจะได้ผลดีกว่าน้ำความเค็มต่ำ เนื่องจากมีการถ่ายน้ำในปริมาณที่มากในช่วงท้ายๆ ของการเลี้ยง

3. คุณสมบัติของน้ำบางประการที่มีผลต่อการเลี้ยงกุ้งขาวแวนนาไม

การเลี้ยงกุ้งขาวแวนนาไมแบบหนาแน่นจะต้องใช้วิชาการความรู้และการจัดการที่ดี เพื่อควบคุมให้คุณสมบัติของน้ำเหมาะสม ซึ่งจะทำให้กุ้งมีอัตราการรอดตายสูง มีการเจริญเติบโตเร็ว

มีอัตราการแลกเปลี่ยนที่ต่ำ รวมทั้งให้ผลผลิตต่อพื้นที่สูง และต้นทุนในการผลิตต่ำ คุณภาพน้ำที่เหมาะสมสำหรับการเลี้ยงกุ้งขาวแวนนาไม ประกอบด้วยพารามิเตอร์ต่างๆ ที่สำคัญดังนี้

3.1 ความโปร่งแสง (transparency) เป็นค่าแสดงความสามารถให้แสงส่องผ่าน ซึ่งเป็นดัชนีที่บ่งบอกถึงปริมาณแพลงก์ตอนพืชและตะกอนแขวนลอยในบ่อเลี้ยงกุ้งขาวแวนนาไมมีความสำคัญต่อกระบวนการสังเคราะห์แสงของแพลงก์ตอน ซึ่งจะให้ออกซิเจนเป็นผลพลอยได้ ปริมาณออกซิเจนละลายน้ำที่เกิดขึ้นจะมีผลต่อการดำรงชีวิตของกุ้ง (Boyd, 1987) สำหรับความขุ่นที่เกิดจากตะกอนดินจะไปทับถมกันที่พื้นบ่อ โดยเฉพาะสารแขวนลอยที่เป็นสารอินทรีย์จำนวนมากอาจทำให้เกิดปัญหาการขาดออกซิเจนและก่อให้เกิดการเน่าเสียที่บริเวณดังกล่าวและเกิดก๊าซพิษตามมาได้แก่ แอมโมเนียและไฮโดรเจนซัลไฟด์ (ยงค์, 2530) หากน้ำในบ่อมีความขุ่นมาก จะทำให้ค่าความโปร่งแสงของน้ำในบ่อน้อยเกินไปแสงจะส่องไม่ถึงพื้นบ่อ ในขณะที่มีสาหร่ายบริเวณพื้นบ่อเป็นจำนวนมากในเวลาต่อมาสาหร่ายเหล่านี้จะตายและเกิดการเน่าเสียตามมา แต่ถ้าน้ำในบ่อเลี้ยงกุ้งใสเกินไปอาหารธรรมชาติจะมีน้อย ความโปร่งแสงที่เหมาะสมในบ่อเลี้ยงกุ้งขาวแวนนาไม ควรจะอยู่ในช่วง 25-50 เซนติเมตร (Brock and Main, 1994)

3.2 ปริมาณของแข็งแขวนลอย (suspended solid) ในบ่อเลี้ยงกุ้งขาวแวนนาไมที่เป็นบ่อดินส่วนใหญ่จะมีปริมาณของแข็งแขวนลอยสูง ทั้งจากอนุภาคของดิน และสารอินทรีย์ที่เกิดจากกระแสน้ำจากเครื่องให้อากาศก่อกวนบริเวณขอบบ่อและตะกอนที่อยู่บนพื้นบ่อ โดยบ่อที่มีปริมาณดินเลนสูงจะมีตะกอนมากกว่าบ่อที่มีปริมาณอนุภาคของดินเหนียวสูง ปริมาณของแข็งแขวนลอยในน้ำเป็นปฏิภาคผกผันกับค่าความโปร่งแสงของน้ำ ถ้ามีปริมาณของแข็งแขวนลอยมากน้ำจะมีความโปร่งแสงน้อยลง ทำให้การเจริญเติบโตของแพลงก์ตอนพืชมีน้อยกว่าบ่อที่มีสารแขวนลอยน้อยกว่าเกณฑ์คุณภาพน้ำที่เหมาะสมต่อการดำรงชีวิตของสัตว์น้ำ กำหนดปริมาณสารแขวนลอยไว้สูงสุดไม่เกิน 25 มิลลิกรัมต่อกรัม (กรมประมง, 2530)

3.3 อุณหภูมิ (temperature) อุณหภูมิของน้ำเป็นปัจจัยหนึ่งที่ควบคุมการเจริญเติบโตและการแพร่พันธุ์ของพืชและสัตว์ ซึ่งแหล่งน้ำธรรมชาติในประเทศไทยมีอุณหภูมิอยู่ระหว่าง 23-32 องศาเซลเซียส (ศิริเพ็ญ, 2543) การเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิมีความสัมพันธ์โดยตรงกับฤดูกาล สภาพภูมิประเทศ กระแสลม ความลึก สภาพแวดล้อม ความเข้มแสงและค่าการนำไฟฟ้า (Boyd, 1990) ถ้าปริมาณความเข้มแสงมากก็จะทำให้อุณหภูมิที่ผิวน้ำสูงขึ้น (เปี่ยมศักดิ์, 2525) ซึ่งจะส่งผลต่อการเจริญเติบโตของแพลงก์ตอนที่แตกต่างกัน บางชนิดชอบอาศัยที่อุณหภูมิที่ต่ำ เช่น ไคโดตอม

สามารถเจริญเติบโตได้ดีในอุณหภูมิระหว่าง 15-25 องศาเซลเซียส และสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินจะอาศัยอยู่ในน้ำที่มีอุณหภูมิสูงประมาณ 35 องศาเซลเซียส นอกจากนั้นอุณหภูมิที่สูงจะทำให้ค่าการนำไฟฟ้า (electrical conductivity) สูงขึ้น เพราะจะทำให้การแตกตัวเป็นไอออนของเกลือมากขึ้น (สุธี, 2543) อุณหภูมิมีผลต่อการกินอาหารและการเจริญเติบโตของกุ้ง ซึ่งอุณหภูมิที่เหมาะสมกับการเลี้ยงกุ้งขาวแวนนาไมอยู่ระหว่าง 26-33 องศาเซลเซียส (Wickins and Lee, 2002) แต่กุ้งสามารถเจริญเติบโตได้ดีที่สุดที่อุณหภูมิระหว่าง 25-30 องศาเซลเซียส ส่วนที่อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียสหรือสูงกว่านี้กุ้งจะตาย (Boyd and Fast, 1992)

3.4 ความเค็ม (salinity) เป็นดัชนีวัดความเข้มข้นของไอออนที่ละลายน้ำแสดงหน่วยวัดเป็นหนึ่งส่วนในพันส่วน (พีพีที) กุ้งขาวแวนนาไมสามารถทนทานต่อการเปลี่ยนแปลงของเค็มได้ในช่วงกว้าง Ponce-Palafox *et al.* (1997) ได้อธิบายไว้ว่า กุ้งขาวแวนนาไมที่เลี้ยงในความเค็มสูงกว่า 20 พีพีที กุ้งในระยะ juvenile หรือกุ้งวัยรุ่น จะมีอัตราการรอดที่ดี นอกจากนี้ความเค็มและอุณหภูมิยังมีผลกับอัตราการรอดตายของสัตว์ในกลุ่มครัสเตเชีย น้ด้วย (Lester and Pante, 1991) และมีผลต่อความสามารถในการละลายน้ำของออกซิเจน เมื่อความเค็มเพิ่มขึ้นการละลายของออกซิเจนจะลดลง โดยในน้ำเค็มจะมีปริมาณออกซิเจนในน้ำน้อยกว่าน้ำจืด เพราะระดับความอึดตัวยังขาดในน้ำเค็มสูงกว่าในน้ำจืด (สไบทิพย์ และคณะ, 2543) จากการศึกษา Samocha *et al.* (2001) พบว่ากุ้งขาวแวนนาไมสามารถเลี้ยงได้ในน้ำที่มีความเค็ม 1-40 พีพีที

3.5 ความเป็นกรด – ด่าง (พีเอช) เป็นดัชนีแสดงความเข้มข้นของไฮโดรเจนไอออน (H^+) ในน้ำ การเปลี่ยนแปลงของค่าพีเอชในบ่อเลี้ยงกุ้งจะถูกควบคุมโดยปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์และปริมาณ ไอออนที่มีอยู่ในน้ำ ซึ่งในช่วงกลางวันแพลงก์ตอนพืชจะใช้คาร์บอนไดออกไซด์จากไบคาร์บอเนตเพื่อการสังเคราะห์แสงทำให้ค่าพีเอชสูงขึ้น ถ้าแพลงก์ตอนพืชมีปริมาณมากจะทำให้ค่าพีเอชสูงในตอนบ่าย ส่วนในเวลากลางคืนคาร์บอนไดออกไซด์จะเพิ่มมากขึ้นจากกระบวนการหายใจโดยแพลงก์ตอนพืชและสิ่งมีชีวิตที่อยู่ในบ่อรวมทั้งกระบวนการย่อยสลายสารอินทรีย์ จึงทำให้พีเอชต่ำในตอนเช้ามืด (ชโล, 2543) ปริมาณแพลงก์ตอนในน้ำก็มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงพีเอชด้วย คือถ้ามีปริมาณแพลงก์ตอนมากจะทำให้เกิดความแตกต่างของค่าพีเอชต่ำสุดและสูงสุดในรอบวันมาก ซึ่งจะมีผลกระทบต่อปริมาณของสาร ที่เป็นอันตรายต่อกุ้งได้ เช่น แอมโมเนียและไฮโดรเจนซัลไฟด์ สำหรับระดับพีเอชมีผลต่อการเลี้ยงสัตว์น้ำรวมทั้งกุ้ง ถ้าพีเอชน้อยกว่า 4 กุ้งจะตาย ค่าพีเอชระหว่าง 4-6 มีการเจริญเติบโตช้า ค่าพีเอช ระหว่าง 6-9 เป็นระดับที่มีการเจริญเติบโตดีที่สุด ค่าพีเอชระหว่าง 9-11 การเจริญเติบโตช้า และพีเอช สูงกว่า 11 กุ้งจะตาย (Boyd, 1987) พีเอชยังมี

บทบาทสำคัญในการควบคุมสารพิษชนิดอื่นๆ ที่เป็นอันตรายให้มีการแตกตัวเพิ่มขึ้นหรือลดลงได้ คือ ถ้าค่าพีเอชมีระดับสูงขึ้นจะทำให้ความเป็นพิษของแอมโมเนียเพิ่มมากขึ้น แต่ถ้าค่าพีเอชมีระดับลดลงจะทำให้เปอร์เซ็นต์ของไฮโดรเจนซัลไฟด์เพิ่มมากขึ้น (Tucker and Boyd, 1985)

3.6 ความเป็นด่าง (alkalinity) หมายถึง ความสามารถหรือคุณสมบัติของน้ำที่รับไฮโดรเจนไอออน (H^+) ซึ่งความเป็นด่างของน้ำประกอบด้วยคาร์บอเนต (CO_3^{2-}) ไบคาร์บอเนต (HCO_3^-) และไฮดรอกไซด์ (OH^-) เป็นส่วนใหญ่ ค่าความเป็นด่างมีผลเกี่ยวเนื่องกับคุณสมบัติด้านอื่นๆ เช่น ความเป็นกรด (acidity) และความกระด้าง (hardness) เป็นต้น (Brawn *et al.* , 1983) ความสำคัญของความเป็นด่างต่อแหล่งน้ำ คือ เป็นตัวช่วยควบคุมไม่ให้แหล่งน้ำมีการเปลี่ยนแปลงของพีเอชรวดเร็วเกินไป น้ำที่มีพีเอชต่ำกว่า 4.5 จะไม่พบค่าความเป็นด่างอยู่เลย (Molye, 1945; Mairs, 1966) ซึ่งถ้าค่าพีเอชมากกว่า 9 หรือน้อยกว่า 5 จะมีผลทำให้ค่าการนำไฟฟ้าสูงขึ้นเพราะน้ำที่เป็นกรดหรือด่างเกินไปจะมีปริมาณ H^+ และ OH^- มากซึ่งมีผลต่อค่าการเคลื่อนที่ของไอออนสูง ส่วนความเป็นพิษของโลหะลดลงเมื่อความเป็นด่างเพิ่มขึ้น เนื่องจากโดยทั่วไปพีเอชเพิ่มขึ้นตามความเป็นด่าง (Boyd and Tucker, 1998) ค่าความเป็นด่างมีความสำคัญมากในการเพาะเลี้ยงกุ้ง ซึ่งจะมีความสัมพันธ์กับอัตราการรอดตายและการเจริญเติบโตของกุ้งทะเลทุกชนิดค่าความเป็นด่างที่เหมาะสมกับการเลี้ยงกุ้งอยู่ระหว่าง 80-150 มิลลิกรัมต่อลิตร โดยทั่วไปการรักษาระดับความเป็นด่างให้คงที่นั้นจะใช้วัสดุปูนในกลุ่มคาร์บอเนต ส่วนการเพิ่มความเป็นด่างอาจจะใช้โซเดียมไบคาร์บอเนตหรือโซเดียมคาร์บอเนตขึ้นกับระดับพีเอชของน้ำ (ชลอ, 2543)

3.7 ความกระด้าง (hardness) หมายถึง ผลรวมความเข้มข้นของแคลเซียมและแมกนีเซียม (ศิริเพ็ญ, 2543) ส่วนใหญ่เกิดจากตะกอนของแคลเซียมไอออน (Ca^{2+}) และแมกนีเซียมไอออน (Mg^{2+}) ซึ่งจะวัดออกมาเป็นปริมาณแคลเซียมคาร์บอเนต ($CaCO_3$) ปริมาณความกระด้างรวม ในแหล่งน้ำตามธรรมชาติโดยทั่วไปจะมีค่าความกระด้างน้อยกว่า 1,000 มิลลิกรัมต่อลิตร ความกระด้างมีความสัมพันธ์กับค่าความเป็นด่างและพีเอช นอกจากนี้ความกระด้างของน้ำยังช่วยลดความเป็นพิษได้เช่นกัน โดยเฉพาะพวกโลหะหนัก ดังนั้นน้ำกระด้างปานกลางหรือสูงจึงมีความเหมาะสมต่อการดำรงชีวิตของสัตว์น้ำ ในการแบ่งความกระด้างของน้ำจะใช้ปริมาณ $CaCO_3$ ที่มีอยู่เป็นเกณฑ์สามารถแบ่งได้ดังนี้ (Sawyer and McCarty, 1967)

น้ำอ่อน	0 - 75	มิลลิกรัมต่อลิตร ของ CaCO_3
น้ำค่อนข้างกระด้าง	75 - 150	มิลลิกรัมต่อลิตร ของ CaCO_3
น้ำกระด้าง	150 - 300	มิลลิกรัมต่อลิตร ของ CaCO_3
น้ำกระด้างมาก	> 300	มิลลิกรัมต่อลิตร ของ CaCO_3

3.8 ออกซิเจนที่ละลายน้ำ (dissolved oxygen) ออกซิเจนมีความสำคัญต่อการดำรงชีวิตของสัตว์น้ำ ตั้งแต่การกินอาหาร การเจริญเติบโต และสุขภาพของกุ้ง ถ้าปริมาณออกซิเจนต่ำเกินไปอาจมีผลทำให้กุ้งตายได้ ความสามารถในการละลายน้ำของก๊าซออกซิเจนขึ้นกับควมดันของบรรยากาศ อุณหภูมิของน้ำ ปริมาณเกลือแร่ต่างๆ ที่มีอยู่ในน้ำ (Boyd, 1982) ซึ่งปริมาณออกซิเจนในบ่อเลี้ยงจะมีการเปลี่ยนแปลงคล้ายกับค่าพีเอช คือมีค่าต่ำสุดตอนเช้ามืด เนื่องจากจะถูกใช้ไปในการย่อยสลายสารอินทรีย์และการหายใจของสิ่งมีชีวิตในบ่อ ในตอนกลางวันเมื่อมีแสงแดด แพลงก์ตอนพืชเริ่มมีการสังเคราะห์แสง ปริมาณออกซิเจนจะเพิ่มขึ้นและมีปริมาณสูงสุดในตอนบ่าย (ชโล, 2543) แหล่งออกซิเจนที่สำคัญในบ่อเลี้ยงส่วนใหญ่เกิดขึ้นจากการใช้เครื่องให้อากาศ แต่แหล่งที่ให้ออกซิเจนในบ่อเลี้ยงกุ้งมากที่สุด คือกระบวนการสังเคราะห์แสงของแพลงก์ตอนพืชในตอนกลางวัน (Boyd, 1987) ส่วน Brock and Main (1994) กล่าวว่าปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำควรมากกว่า 3 มิลลิกรัมต่อลิตร โดยความเข้มข้นของออกซิเจนที่ละลายในน้ำที่ต่ำกว่า 3.7 มิลลิกรัมต่อลิตร เป็นระดับที่วิกฤตสำหรับการดำรงชีวิตของกุ้งปกติ โดยปกติออกซิเจนในบ่อควรอยู่ในระดับ 5-8 มิลลิกรัมต่อลิตร (Chen *et al.* , 1988)

3.9 ค่าการนำไฟฟ้า (electrical conductivity) คือค่าความสามารถในการนำไฟฟ้าของของเหลว ซึ่งประสิทธิภาพของการนำไฟฟ้าของน้ำขึ้นกับปริมาณไอออน ในน้ำ ค่าการนำไฟฟ้าของน้ำธรรมชาติทั่วไปมีค่าอยู่ระหว่าง 100-1,500 มิลลิซีเมนส์ต่อเซนติเมตร (Todd, 1959) ไมตรี และ จารุวรรณ (2528) ได้กล่าวว่า ปัจจัยที่มีผลต่อค่าการนำไฟฟ้า คือ อุณหภูมิ โดยถ้าอุณหภูมิเปลี่ยนแปลง 1 องศาเซลเซียส จะทำให้ค่าการนำไฟฟ้าเปลี่ยนแปลงไปจากเดิมประมาณ 2 เปอร์เซ็นต์ เนื่องจากอุณหภูมิมีผลต่อการแตกตัวเป็นไอออนของสารต่างๆ ประวิทย์ และ พิกพ (2539) กล่าวว่า สามารถใช้ค่าการนำไฟฟ้ามาเป็นพารามิเตอร์ตรวจสอบการปนเปื้อนของน้ำจากบ่อเลี้ยงกุ้ง แหล่งน้ำใต้ดินที่อยู่บริเวณใกล้เคียงได้ เนื่องจากค่า การนำไฟฟ้ามีความสัมพันธ์กับปริมาณธาตุชนิดต่างๆ ซึ่งเป็นองค์ประกอบหลักในน้ำทะเล ทำให้สามารถนำค่าการนำไฟฟ้านี้มาใช้ ในการศึกษาหาขอบเขตการแพร่กระจายความเค็มจากบ่อเลี้ยงกุ้งสู่บริเวณข้างเคียงได้

3.10 กระบวนการเกิดของเสียและสารพิษ (toxic metabolites) สิ่งมีชีวิตในน้ำจะมีกระบวนการเมตาบอลิซึม (metabolism) ที่สำคัญได้แก่ การหายใจและการย่อยสลายสารอินทรีย์ ทำให้เกิดแก๊สพิษต่างๆ วรรณิการ์ (2543) ได้กล่าวถึงแก๊สพิษที่เกิดขึ้น ที่สำคัญ 3 ชนิด คือ คาร์บอนไดออกไซด์ ไฮโดรเจนซัลไฟด์ และแอมโมเนีย ดังนี้

คาร์บอนไดออกไซด์ ส่วนใหญ่เกิดจากการหายใจของสัตว์น้ำ และแพลงก์ตอนพืชในเวลากลางคืน สัตว์ส่วนใหญ่ทนทาน และมีชีวิตอยู่ได้ในน้ำที่มีปริมาณความเข้มข้นของคาร์บอนไดออกไซด์ละลายน้ำได้สูงถึง 60 มิลลิกรัมต่อลิตร แต่ปริมาณความเข้มข้นของคาร์บอนไดออกไซด์ละลายน้ำที่เหมาะสมสำหรับการดำรงชีวิตของสัตว์น้ำควรมีค่าต่ำกว่า 5 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาณความเข้มข้นของคาร์บอนไดออกไซด์ในน้ำควรมีค่าเป็นปฏิภาคผกผันกับปริมาณความเข้มข้นของออกซิเจนที่ละลายน้ำ โดยปกติปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ละลายในน้ำจะมีค่าต่ำกว่าในเวลากลางวัน เนื่องจากแพลงก์ตอนพืชจะดึงคาร์บอนไดออกไซด์ในน้ำไปใช้ในกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสง และจะมีค่าสูงในเวลากลางคืน เนื่องจากมีเพียงกระบวนการหายใจของแพลงก์ตอนพืชและสัตว์น้ำ ซึ่งจะปล่อยคาร์บอนไดออกไซด์ออกมา

ไฮโดรเจนซัลไฟด์ ในการเลี้ยงสัตว์น้ำจะมีการให้อาหารประเภทโปรตีนสูง ทำให้เกิดการย่อยสลายของ heterotrophic bacteria ที่อยู่ในน้ำในสภาวะที่ไม่มีออกซิเจน (anaerobic conditions) โดยมีสารประกอบพวกซัลเฟต (SO_4^{2-}) จะทำให้ไฮโดรเจนซัลไฟด์เกิดขึ้นได้ เจนจิรา (2548) กล่าวว่า การเกิดแก๊สไฮโดรเจนซัลไฟด์เป็นปฏิกิริยาปฏิภาคผกผันกับค่าพีเอชของน้ำ ในน้ำที่มีพีเอช 6.0 และมีการปนเปื้อนของกำมะถัน (sulfide) ที่ความเข้มข้น 0.01 มิลลิกรัมต่อลิตร จะมีแก๊สไฮโดรเจนซัลไฟด์ปนเปื้อนในน้ำประมาณ 0.009 มิลลิกรัมต่อลิตร และปริมาณแก๊สไฮโดรเจนซัลไฟด์จะลดลงเหลือเพียง 0.0003 มิลลิกรัมต่อลิตร เมื่อพีเอชเพิ่มขึ้นเป็น 8.5

แอมโมเนียส่วนใหญ่เกิดจากกระบวนการเมตาบอลิซึมของสิ่งมีชีวิตในน้ำ และกระบวนการย่อยสลาย (decomposition) สารอินทรีย์โดยจุลินทรีย์ในน้ำ การเกิดแอมโมเนียในน้ำมี 2 รูปแบบ คือ un-ionized ammonia (NH_3) และ ammonium ion (NH_4^+) การเกิดแอมโมเนียทั้ง 2 รูปแบบ ขึ้นอยู่กับความสมดุลของอุณหภูมิ กับพีเอช ซึ่งพีเอชจะเป็นปัจจัยที่สำคัญมากกว่าอุณหภูมิ ความเป็นพิษของแอมโมเนียที่มีต่อสัตว์น้ำ คือแอมโมเนียจะทำลายเหงือกของสัตว์น้ำ ลดประสิทธิภาพการแลกเปลี่ยนออกซิเจนในเลือด ทำให้สัตว์ต้องการออกซิเจนเพิ่มขึ้น และสัตว์น้ำมีความ

ด้านทานลดลง สัตว์น้ำมีความทนทานต่อ พิษแอมโมเนียต่างกัน โดยปกติจะมีความทนทานได้ในระยะสั้น (24-72 ชั่วโมง) เมื่อมีความเข้มข้นของแอมโมเนียในน้ำมากกว่า 0.2-0.4 มิลลิกรัมต่อลิตร

นอกจากนี้จุลินทรีย์และแพลงก์ตอนก่อให้เกิดผลกระทบต่อคุณภาพน้ำ ในบ่อเลี้ยงกุ้งขาวแวนนาไมที่ปล่อยหนาแน่น 120 ตัวต่อตารางเมตร ที่ Belize และประเทศแถบอเมริกากลาง โดยเป็นการเลี้ยงที่ไม่มีการถ่ายน้ำตลอดการเลี้ยงและมีการให้อาหารเต็มที่ พบว่าปริมาณสารอาหารที่มากเกินไปทำให้อัตราการเพิ่มจำนวนของแบคทีเรีย แพลงก์ตอนพืช และโปรโตซัวสูงขึ้น 40 เปอร์เซ็นต์ (Burford *et al.*, 2003)

4. ความสัมพันธ์ระหว่างดินและน้ำในการเลี้ยงกุ้ง

ดินพื้นบ่อเป็นปัจจัยสำคัญในการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ นอกจากจะทำหน้าที่ในการเก็บกักน้ำ ซึ่งเป็นที่อยู่อาศัยของสัตว์แล้วยังเป็นที่ศูนย์กลางการหมุนเวียนของธาตุอาหารต่าง ๆ ภายในบ่อ (Boyd, 1990; Matida, 1966) อีกทั้งยังเป็นบัฟเฟอร์ (buffer) และเป็นตัวกรองทางชีวภาพโดยจุลินทรีย์ สารอินทรีย์ตกค้างจากอาหาร สิ่งขับถ่ายและสารเมตาบอไลต์ต่างๆ (Ray and Chien, 1992) คุณภาพของดินพื้นบ่อจะส่งผลกระทบต่อคุณภาพน้ำในบ่อและต่อตัวกุ้งโดยตรงเนื่องจากกุ้งใช้เวลาส่วนใหญ่อยู่บริเวณพื้นก้นบ่อ (ยงค์ และพรพันธ์, 2534; Boyd, 1990; Hajek and Boyd, 1994) กระบวนการทางฟิสิกส์ เคมี และชีวภาพของดินพื้นบ่อจะเกี่ยวข้องกับคุณภาพน้ำสภาพดินที่ไม่ดีจะเป็นข้อจำกัดที่รุนแรงต่อการเลี้ยงกุ้งแบบกึ่งพัฒนาและพัฒนา (Boyd, 1992; Ray and Chien, 1992) ปฏิกริยาที่เกิดขึ้นระหว่างดินและน้ำจะส่งผลกระทบต่อคุณภาพน้ำ การเจริญเติบโตและอัตราการรอดตายของสัตว์น้ำ (Hajek and Boyd, 1994) การแลกเปลี่ยนที่เกิดขึ้นระหว่างดินและน้ำจะเกี่ยวข้องกับอินทรีย์วัตถุและออกซิเจน โดยจะเป็นพลังงาน แร่ธาตุ และอาหารสำหรับสิ่งมีชีวิต ในดินขนาดเล็กและสัตว์หน้าดิน (Guy, 1992) โดยสามารถแบ่งดินพื้นบ่อออกเป็นชั้นตามระดับความลึกและปริมาณออกซิเจนที่ใช้ในการย่อยสลายสารอินทรีย์ (Barnes and Hughes, 1982; Brown and McLachlan, 1990; Munsiri *et al.*, 1995) ได้ 4 ชั้น คือ

4.1 flocculent layer เป็นชั้นบนสุดของดินพื้นบ่อประกอบด้วยพวกซากแพลงก์ตอนที่ถูกอาหารเหลือสิ่งขับถ่าย จุลินทรีย์ และอนุภาคขนาดเล็ก การเคลื่อนที่ของน้ำผ่านบริเวณนี้จะช้าเนื่องจากมีความหนืดสูงกว่าน้ำที่หมุนเวียนอยู่ข้างบน (freely-circulating water) สารต่างๆ เคลื่อนที่โดยการพา (convection) และการแพร่โดยเฉพาะอย่างยิ่งการแพร่จะมีบทบาทหลักต่อการปลดปล่อยสาร

หรืออออนต่างๆ จากน้ำในดิน (interstitial water) ส่วนการเคลื่อนที่ของสารลงสู่ดินชั้นล่างตามช่องว่างระหว่างอนุภาคดินเกิดการแพร่และการดูดซึมลงสู่ด้านล่าง (downward seepage) (Boyd, 1995) บริเวณชั้นนี้จะเกิดการเปลี่ยนแปลงของสารอินทรีย์มาก โดยมีอัตราการย่อยสลายสารอินทรีย์สูงมาก (Nixon and Pilson, 1983; Visscher and Duerr, 1991; Hopkins *et al.*, 1994)

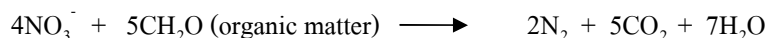
4.2 oxidized layer หรือ aerobic zone คือ ดินชั้นบนที่มีออกซิเจน ไนโตรเจนและซัลเฟอร์ ซึ่งอยู่ในสภาพออกซิไดซ์ (oxidized states) ได้แก่ ไนเตรทและซัลเฟตโดยมีค่าศักย์ไฟฟ้ารีดอกซ์ระหว่าง 200-400 มิลลิโวลต์ ดินชั้นนี้จะเกิดกระบวนการไนตริฟิเคชันโดยกลุ่มแบคทีเรียพวกเคมีลิโทโทรฟ (chemolithotroph) กระบวนการนี้จะเริ่มจากแอมโมเนียหรืออออนจะถูกออกซิไดซ์เป็นไนไตรท์โดยแบคทีเรีย *Nitrosomonas* sp. และขั้นที่สองไนไตรท์ถูกออกซิไดซ์เป็นไนเตรทโดยแบคทีเรีย *Nitrobacter* sp. ทั้งสองกระบวนการเป็นการหายใจแบบใช้ออกซิเจน เรียกแบคทีเรียกลุ่มนี้ว่าไนตริไฟอิงแบคทีเรีย ดินในชั้นนี้ยังมีกระบวนการตรึงก๊าซไนโตรเจนโดยเปลี่ยนก๊าซไนโตรเจนกลับมาเป็นไนเตรท (ควงพร, 2545; ชลอ และพรเลิศ, 2547) และกระบวนการดีซัลเฟอร์ไรเซชัน (desulfurization) คือ กระบวนการกำจัดซัลเฟอร์ออกจากสารอินทรีย์ทำให้เกิดซัลเฟตโดยแบคทีเรียบางชนิดในชั้นที่มีออกซิเจน

4.3 redox potential discontinuity layer (RPD) คือ ดินชั้นกลางซึ่งอยู่ระหว่างชั้นที่มีออกซิเจนและไม่มีออกซิเจนจะมีการเปลี่ยนจากสถานะออกซิไดซ์เป็น สถานะรีดิวซ์ ออกซิเจนในดินชั้นนี้จะลดลงจนเกือบหมด ค่าศักย์ไฟฟ้ารีดอกซ์จะมีค่าใกล้เคียง 0 มิลลิโวลต์ (Brown and McLachlan, 1990) เริ่มมีการเกิดกระบวนการดีไนตริฟิเคชัน โดยไนเตรทจะทำหน้าที่เป็นตัวรับอิเล็กตรอนตัวสุดท้าย เรียกว่า การหายใจแบบไม่ใช้ออกซิเจน (anaerobic respiration ในที่นี้ก็คือ nitrate respiration) ไนเตรทถูกเปลี่ยนเป็นก๊าซไนโตรเจน สำหรับการใช้กลูโคสโดยผ่านการรีดิวซ์ไนเตรทสรุปเป็นสมการได้ดังนี้



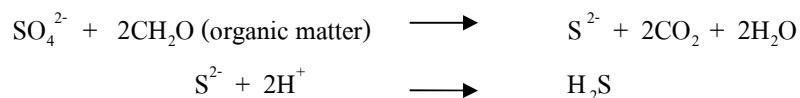
ดังนั้นกระบวนการดีไนตริฟิเคชันที่เกิดโดยแบคทีเรียบางชนิด เช่น *Escherichia coli* ซึ่งมีความสามารถรีดิวซ์ไนเตรทเป็นไนไตรท์ แต่แบคทีเรียอื่นๆ สามารถทำขั้นตอนต่อจากนี้ได้อีก 2 ขั้นตอนของการหายใจแบบไม่ใช้ออกซิเจน คือ การรีดิวซ์ไนไตรท์เป็นก๊าซไนตรัสออกไซด์ (N_2O) และรีดิวซ์ต่อเป็นก๊าซไนโตรเจน เมื่อเกิดก๊าซไนตรัสออกไซด์หรือไนตรัสออกไซด์หรือ

ไนโตรเจนถือว่าเป็นเกิดกระบวนการดีไนตริฟิเคชัน ตัวอย่างแบคทีเรียที่ทำให้เกิดกระบวนการนี้ เช่น *Pseudomonas* sp., *Moraxella* sp., *Spirillum* sp., *Thiobacillus* sp. และ *Bacillus* sp. การเกิดไนตรัสออกไซด์เกิดได้ดีเมื่อสิ่งแวดล้อมมีไนเตรทปริมาณมากและมีค่าพีเอชที่ต่ำแต่การเกิดก๊าซไนโตรเจนจะเกิดได้ดีกว่าเมื่อมีสารอินทรีย์เพียงพอที่จะเป็นแหล่งพลังงานสรุปเป็นสมการได้ดังนี้



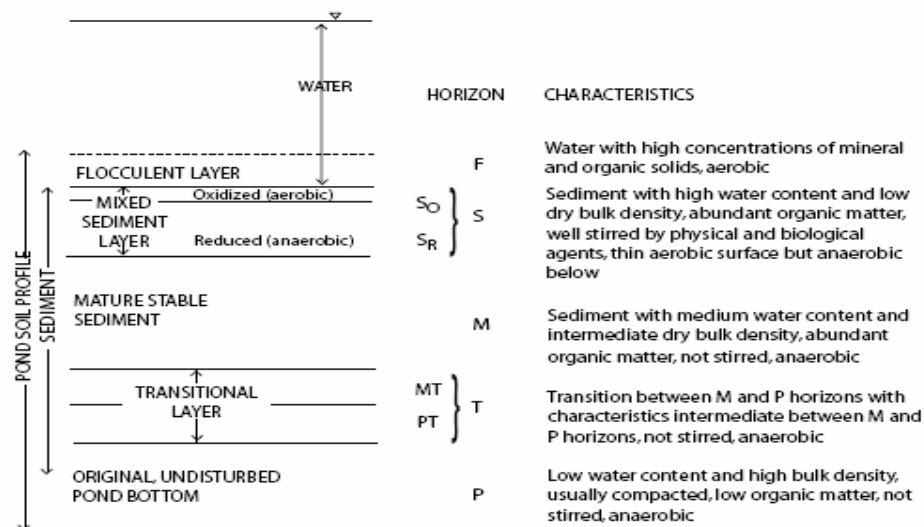
สารอินทรีย์จะถูกแบคทีเรียที่ใช้ออกซิเจนจากไนเตรทเปลี่ยนสารอินทรีย์ไปเป็นคาร์บอนไดออกไซด์ น้ำและก๊าซไนโตรเจน ซึ่งก๊าซไนโตรเจนที่ถูกสร้างขึ้นจะถูกส่งออกไปสู่บรรยากาศ คาร์บอนไดออกไซด์จะทำปฏิกิริยากับน้ำเกิดเป็นไบคาร์บอเนต (HCO_3^-) ปฏิกิริยานี้จะทำให้ดินมีความเป็นกรดลดลง (Boyd, 1995)

4.4 reduced layer คือ ดินชั้นล่างสุดที่ไม่มีออกซิเจนซึ่งเป็นชั้นรีดิวซ์ ในดินชั้นนี้จะมีค่าศักย์ไฟฟ้ารีดอกซ์เป็นลบ ภายหลังจากการใช้ไนเตรท (NO_3^-) แมงกานีสออกไซด์ (MnO_2) และเหล็กออกไซด์ (Fe_2O_3) จนหมดแล้ว แบคทีเรียพื้นบ่อบางชนิดจะใช้ซัลเฟต (SO_4^{2-}) เป็นตัวรับอิเล็กตรอน ซึ่งการใช้ซัลเฟตในการหายใจเป็นการรีดิวซ์ซัลเฟตแบบสลาย (dissimilatory sulphate reduction) และแบคทีเรียกลุ่มนี้เจริญในสภาวะไม่มีออกซิเจนเท่านั้นเรียกแบคทีเรียกลุ่มนี้ว่า sulphate reducing bacteria ได้แก่ *Desulfovibrio* sp., *Desulfomonas* sp. (ดวงพร, 2545) ผลจากการรีดิวซ์ทำให้เกิดไฮโดรเจนซัลไฟด์สรุปเป็นสมการได้ดังนี้



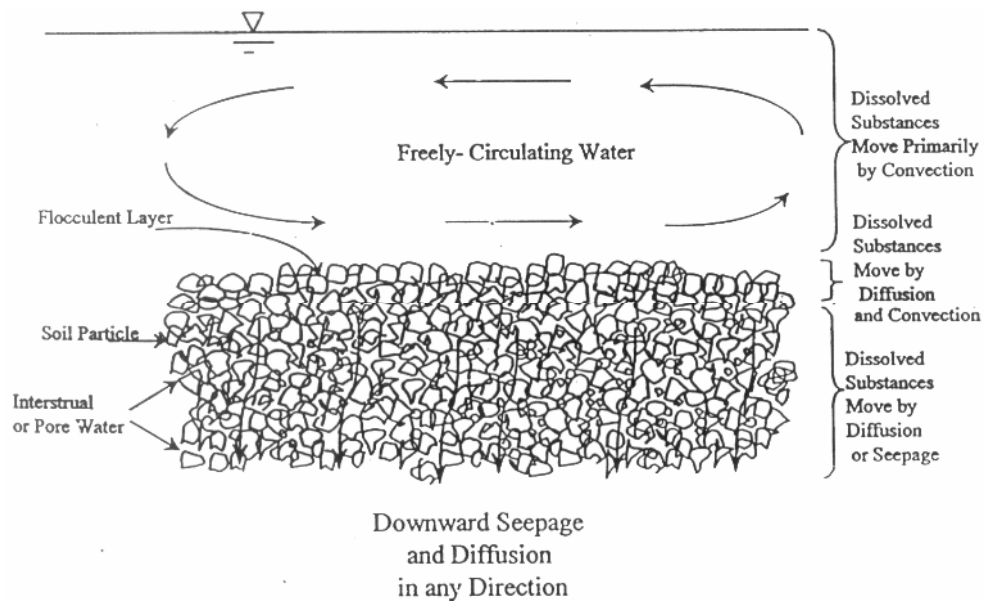
ซัลไฟด์ซึ่งจะอยู่ในสามรูปแบบ คือ ไฮโดรเจนซัลไฟด์ (H_2S) ไฮโดรซัลไฟด์ไอออน (HS^-) และไบซัลไฟด์ไอออน (S^{2-}) ในน้ำที่มีพีเอชต่ำจะมีเปอร์เซ็นต์ของไฮโดรเจนซัลไฟด์สูง แต่ถ้ามีค่าพีเอชสูงขึ้นเปอร์เซ็นต์ของไฮโดรเจนซัลไฟด์จะลดลง แต่ไฮโดรซัลไฟด์ไอออนและไบซัลไฟด์ไอออนมากขึ้นความเป็นพิษต่อสัตว์น้ำลดลงด้วย (ชลอ และพรเลิศ, 2547) พวกโลหะหนักที่มีความว่องไวมากจะรวมตัวกับก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ แล้วอยู่ในรูปตกตะกอนเป็นโลหะซัลไฟด์ซึ่งมีสีดำ (ดวงพร, 2545)

สำหรับรูปแบบการเคลื่อนย้ายของสารต่างๆ ภายในบ่อในทางเคมีมี 2 ลักษณะ คือ
 ผิวดินพื้นบ่อที่มีออกซิเจน (oxidized layer) และผิวดินพื้นบ่อที่ไม่มีออกซิเจน (reduced layer)
 แต่้ำที่อยู่ข้างบนยังมีอากาศ ชั้นที่มีออกซิเจนจะควบคุมไม่ให้สารรีดิวซ์ เช่น พอกไนโตรเจน ฟอสฟอรัส
 ไฮโดรเจนซัลไฟด์ ก๊าซมีเทนและสารรีดิวซ์ตัวอื่นๆ แพร่ขึ้นไปสู่น้ำข้างบน ถ้าน้ำในบ่อมีออกซิเจน
 สารรีดิวซ์เหล่านี้จะตกตะกอนลงมาอีกครั้ง อย่างไรก็ตามการตกค้างนานๆ จะเป็นอันตรายต่อกุ้ง
 โดยตรง (สุวรรณิช, 2540; Boyd, 1992; Masuda and Boyd, 1994)

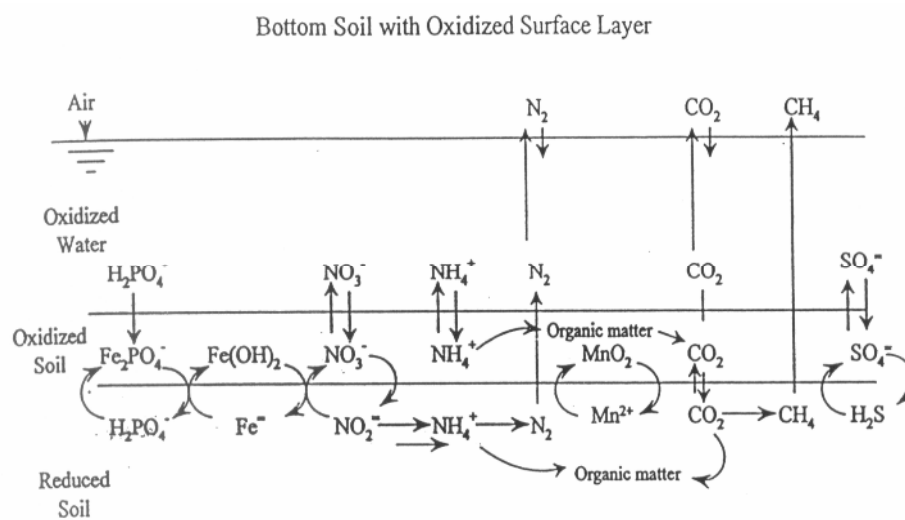


ภาพที่ 1 ชั้นของหน้าตัดดินพื้นบ่อ

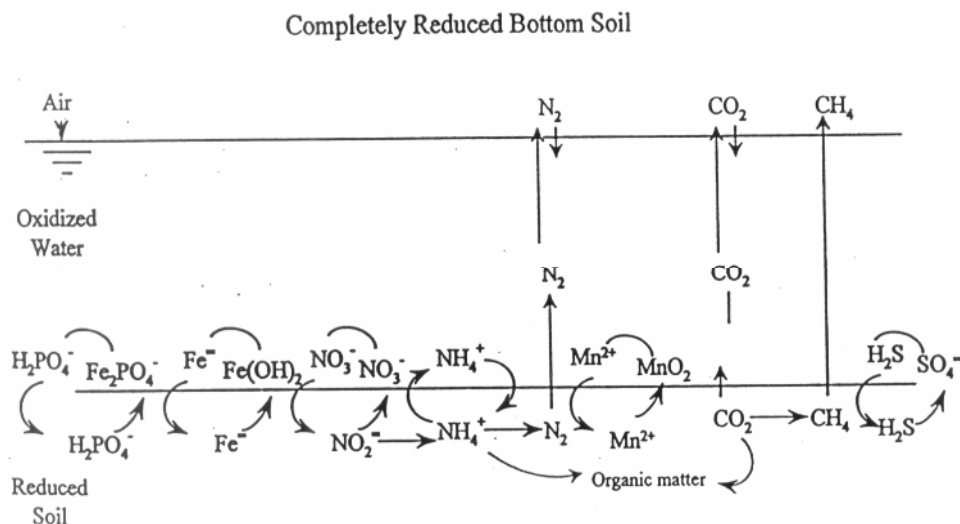
ที่มา: Munsiri *et al.* (1995)



ภาพที่ 2 การเคลื่อนที่ของน้ำและมวลสารต่างๆ ภายในบ่อเลี้ยงสัตว์น้ำ
ที่มา: Boyd (1990)



ภาพที่ 3 การเคลื่อนที่ของสารบริเวณระหว่างชั้นดินและน้ำในบ่อที่ผิวพื้นบ่อมีออกซิเจน
ที่มา: Boyd (1995)



ภาพที่ 4 การเคลื่อนที่ของสารบริเวณระหว่างชั้นดินและน้ำในบ่อที่ผิวพื้นบ่อขาดออกซิเจน
ที่มา: Boyd (1995)

Revsbech *et al.* (1980) ศึกษาความลึกของชั้นตะกอนดินในบ่อเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำที่ออกซิเจนสามารถแทรกผ่านได้ประมาณ 1-5 มิลลิเมตร ในขณะที่ Hansen *et al.* (1981) กล่าวว่ากระบวนการไนตริฟิเคชันจะลดลงเมื่อความลึกของชั้นตะกอนดินในบ่อเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำมาก (6-8 เซนติเมตร) ซึ่งมีความสัมพันธ์ต่อความอยู่รอดของแบคทีเรียในกลุ่มไนตริฟิอิงแบคทีเรียตามปริมาณออกซิเจนที่สามารถแทรกผ่านชั้นดินได้ การแทรกตัวของออกซิเจนในชั้นตะกอนดินเป็นปัจจัยสำคัญในการควบคุมการเกิดกระบวนการไนตริฟิเคชัน (Roddy and Patrick, 1984; Rysgaard *et al.*, 1994) ส่วนอัตราการย่อยสลายสารอินทรีย์ในมวลน้ำจะเกิดขึ้นน้อย เมื่อเทียบกับชั้นรอยต่อระหว่างดินและน้ำ (floculent layer) ซึ่งบริเวณนี้เป็นแหล่งแอมโมเนียที่สำคัญในน้ำ โดยปริมาณแอมโมเนียส่วนใหญ่มาจากธาตุอาหาร ปริมาณแอมโมเนียในน้ำจะผันแปรตามปริมาณสารอินทรีย์ในชั้นตะกอนที่จะแพร่สู่ น้ำ (Hargreaves, 1997)

ในประเทศไทยได้มีการศึกษาปริมาณสารอินทรีย์ในดินพื้นบ่อเลี้ยงกุ้งกุลาดำแบบพัฒนาบริเวณรอบๆ ป่าชายเลนและบ่อเลี้ยงในพื้นที่ป่าชายเลน (นิวุติ, 2534) รวมทั้งปริมาณสารอินทรีย์จากตะกอนในบ่อพักน้ำและบ่อเลี้ยงกุ้งกุลาดำ (ยนต์ และ พรพันธ์, 2534) บริเวณคันบ่อที่เลี้ยงกุ้งในกุ้งที่มีอัตราการเลี้ยงในระดับความหนาแน่นแตกต่างกัน (ดุสิต และคณะ, 2537) และการ

เปลี่ยนแปลงคุณสมบัติของดินพื้นบ่อเลี้ยงกุ้งกุลาดำที่ผ่านการเลี้ยงมาเป็นเวลานานแตกต่างกัน (สุวนิช, 2540)

5. ของเสียที่เกิดจากการเลี้ยงกุ้ง

น้ำทิ้งจากการเพาะเลี้ยงกุ้งหากขาดการจัดการระบบการเพาะเลี้ยงที่ดีและมีการปล่อย น้ำทิ้ง เหล่านี้ลงสู่แหล่งน้ำธรรมชาติในปริมาณที่มากจนเกินกว่าความสามารถการย่อยสลายตามธรรมชาติ จะมีผลทำให้คุณภาพของแหล่งน้ำเสื่อมลง (Hargreaves, 1998) ของเสียจากการเพาะเลี้ยงกุ้ง แบ่งออกเป็น 2 ประเภท คือ

1. ของเสียในรูปของแข็ง (solid matter)

ได้แก่ อนุภาคที่แขวนลอยอยู่ในน้ำในบ่อเลี้ยงกุ้งบางส่วนจะ จมลง ไปทับถมกับดิน ตะกอนก้นบ่อ ได้แก่ เศษอาหารกุ้ง สิ่งขับถ่ายจากกุ้ง ซากแพลงก์ตอนและแบคทีเรีย

2. ของเสียที่ละลายน้ำได้ (dissolved matter)

ได้แก่ แอมโมเนีย ยูเรีย คาร์บอนไดออกไซด์ ฟอสฟอรัส กรดอะมิโน ไนโตรเจน โปรตีนและคาร์โบไฮเดรต เจนจิรา (2548) กล่าวถึงสาเหตุหลักของการเกิดของเสียในบ่อเลี้ยงกุ้ง ดังนี้

2.1 เศษอาหารกุ้ง

อาหารกุ้งนั้นมีทั้งในลักษณะของอาหารสด และอาหารเม็ด ซึ่งมีส่วนประกอบของ สารอินทรีย์ถึง 90 เปอร์เซ็นต์ และยังมีส่วนประกอบของไนโตรเจนและฟอสฟอรัสสูงถึง 77.5 เปอร์เซ็นต์ และ 86 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ (Bratvold and Browdy, 2001) หากมีการให้อาหารกุ้งมากเกินไป อาหารส่วนที่เหลือจะเกิดการตกค้างอยู่ในบ่อเลี้ยงทำให้เกิดการเน่าเสียขึ้น โดยอาหารกุ้งที่สามารถละลายน้ำได้ทันที เช่น อาหารสดจะทำให้แบคทีเรียมีการเจริญอย่างรวดเร็ว ส่วนอาหาร เม็ดจะจมตัวลงอยู่ในตะกอนดินทำให้เกิดการตกค้างของอาหารส่งผลให้แพลงก์ตอนพืชและแบคทีเรียมีการเจริญเติบโตมากขึ้น เป็นแหล่งสะสมของเชื้อโรค เกิดสภาวะการเน่าเสียของน้ำใน

ที่สุด ดังนั้นปริมาณอาหารที่ให้จึงควรมีความเหมาะสมกับอายุและขนาดของกุ้ง นอกจากนี้การให้อาหารสมทบ โดยเฉพาะอาหารสดจำพวกปลาสดหรือหอยสดในปริมาณมากทำให้มีอาหารเหลือและของเสียจากสัตว์น้ำจะเป็นส่วนหนึ่งที่ทำให้เกิดสารอินทรีย์ในบ่อเลี้ยงสัตว์น้ำ (คณิต และขงยุทธ, 2537)

2.2 สิ่งขับถ่ายจากกุ้ง

กุ้งขับของเสียในรูปของแอมโมเนีย โดยที่กุ้งจะมีไนโตรเจนเป็นองค์ประกอบ (nitrogenous waste) เนื่องจากอาหารสำเร็จรูปที่ใช้เลี้ยงกุ้งมีโปรตีนสูง และกุ้งยังขับแอมโมเนียออกจากร่างกายทางเหงือกในระหว่างที่กุ้งหายใจ ปริมาณแอมโมเนียที่กุ้งขับออกมาขึ้นอยู่กับขนาดของกุ้ง โดยกุ้งขนาดเล็กจะขับแอมโมเนียออกมาในปริมาณที่สูงกว่ากุ้งขนาดใหญ่ ในกุ้งขนาดต่ำกว่า 5 กรัม จะขับแอมโมเนียประมาณ 1 มิลลิกรัมต่อกรัมต่อวัน ส่วนในกุ้งขนาดใหญ่กว่า 10-20 กรัม จะขับแอมโมเนีย 0.1 มิลลิกรัมต่อกรัมต่อวัน (Wickins, 1976)

2.3 ดินตะกอน

ดินตะกอนมีบทบาทสำคัญในการการหมุนเวียนของปริมาณแอมโมเนีย ในไนโตรที่และไนเตรท ในบ่อเลี้ยงกุ้งเกิดจากการทับถมกันของสิ่งที่กุ้งขับถ่าย ซากแพลงก์ตอนพืช และแบคทีเรีย เศษอาหารที่เหลือทำให้บ่อเกิด มีดินเหนียวเป็นสาเหตุทำให้เกิดขี้แดด โดยขี้แดด หมายถึง สาหร่ายที่เกิดขึ้นบริเวณขอบบ่อที่ตื้นหรือพื้นบ่อทั่วไปที่แสงแดดสามารถส่องลงไปถึงพื้นก้นบ่อ ทำให้สาหร่ายเกิดการเจริญเติบโตอย่างรวดเร็วจนมีขนาดใหญ่เป็นแผ่นหนา ในช่วงกลางวันแสงแดดส่องถึงทำให้มีการสังเคราะห์แสงผลิตแก๊สออกซิเจนซึ่งมีบางส่วนที่ละลายน้ำได้ และอีกส่วนที่รวมกันเป็นฟองอากาศจำนวนมากจนทำให้แผ่นสาหร่ายหลุดลอยขึ้นจากพื้นบ่อไปสู่ผิวน้ำ เมื่อถูกคลื่นจากกระแสน้ำพัดพาทำให้สาหร่ายแตกออกเป็นชิ้นและจมลงสู่ก้นบ่อ ในบริเวณที่ลึกแสงแดดส่องไม่ถึงจะเกิดการเน่าสลายเป็นสาเหตุของการเกิดแก๊สไฮโดรเจนซัลไฟด์แอมโมเนีย ในไนโตรที่ ไนเตรท และการเพิ่มจำนวนของจุลินทรีย์ (ดีพร้อม, 2531) ดินตะกอนสามารถที่จะปลดปล่อยหรือดูดซับธาตุอาหารรวมถึงการแลกเปลี่ยนแก๊สต่างๆ อยู่กับน้ำตลอดเวลา โดยเฉพาะสารประกอบไนโตรเจนที่เกิดขึ้นบริเวณผิวสัมผัสน้ำกับดินตะกอน ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงปริมาณของแอมโมเนีย ในไนโตรที่และไนเตรทในมวลน้ำและดินตะกอน ส่งผลให้เกิดการลดลงของออกซิเจน (ภาพที่ 5) โดยบริเวณผิวสัมผัสน้ำกับดินตะกอนจะมีการปลดปล่อยแก๊สแอมโมเนีย

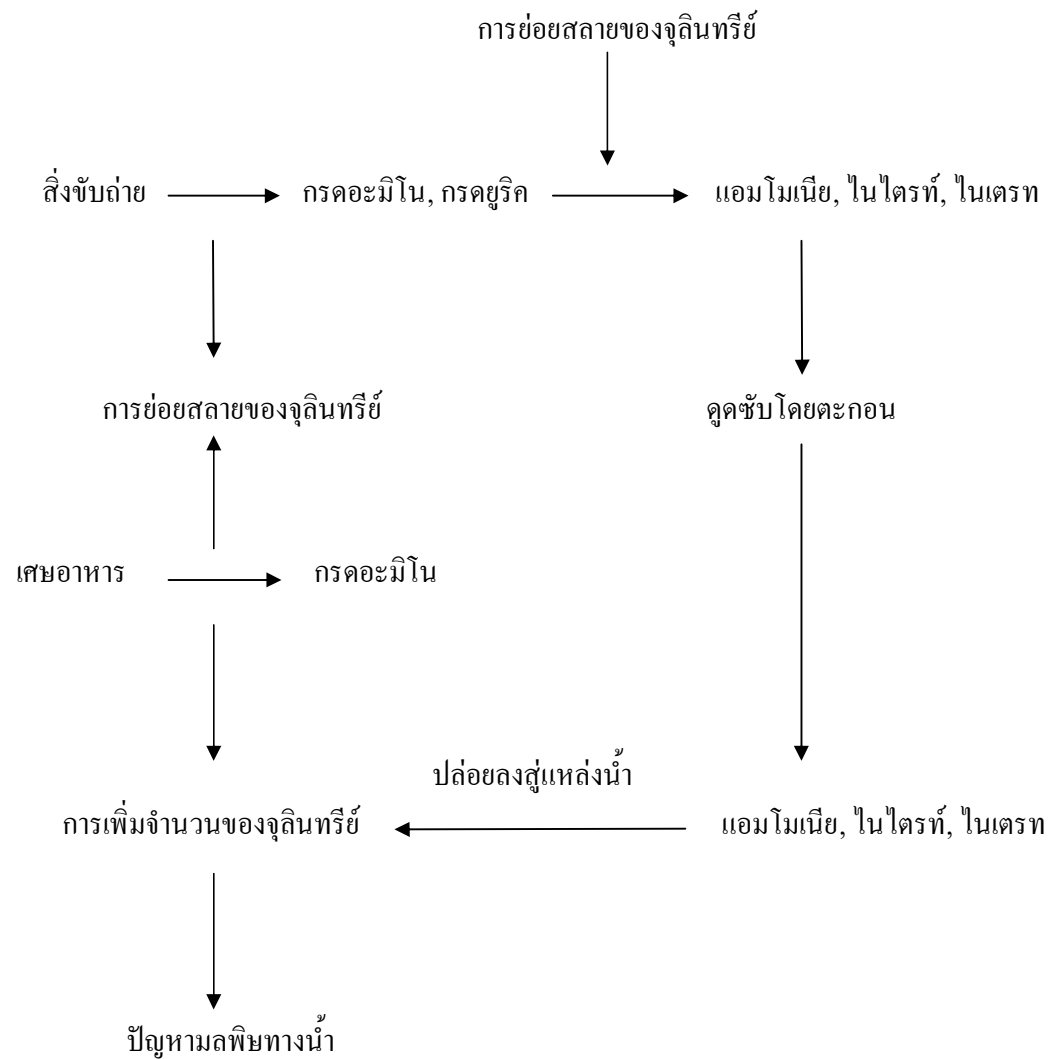
ไนโตรเจน อยู่ตลอดเวลา ดังนั้นเมื่อตะกอนเข้าสู่ห้องจะขัดขวางการแลกเปลี่ยนที่จำเป็นสำหรับการเจริญเติบโตของกุ้ง (พุทธ และคณะ, 2543)

2.4 สาหร่าย

ในบ่อเลี้ยงกุ้งที่มีสาหร่ายเจริญมากจะทำให้เกิดการสังเคราะห์แสงมากในตอนกลางวัน ทำให้พีเอชน้ำสูงขึ้นในช่วงตอนบ่าย ส่งผลให้แอมโมเนียอยู่ในรูปของ unionized ammonia (NH_3) มากขึ้น (พุทธ, 2546) ส่วนตอนกลางคืนสาหร่ายจะใช้ออกซิเจนที่ละลายน้ำในกระบวนการหายใจ ทำให้ปริมาณ ออกซิเจนลดลงเรื่อยๆ และจะต่ำที่สุดในช่วงเช้ามืด โดยเฉพาะในกรณีที่มีแพลงก์ตอนตายเป็นจำนวนมาก ทับถมกันอยู่ที่พื้นบ่อ ทำให้เกิดสภาวะไร้ออกซิเจน เกิดการเน่าเสียของน้ำในที่สุด สาหร่ายหรือแพลงก์ตอนในบ่อเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ 50 เปอร์เซ็นต์ (10 กรัมของน้ำหนักแห้งต่อตารางเมตรต่อวัน) อาจจมลงสู่พื้นผิวของตะกอน (Schroeder *et al.*, 1991) และในการเลี้ยงกุ้งแบบกึ่งพัฒนา 48-66 เปอร์เซ็นต์ของตะกอนพื้นบ่อมาจากแพลงก์ตอนพืช (Lorenzen *et al.*, 1997)

พุทธ (2543) กล่าวว่า ไนโตรเจนเกือบทั้งหมด (97 เปอร์เซ็นต์) ที่สะสมภายในบ่อกุ้งมาจากอาหารที่กุ้งกิน กุ้งสามารถเก็บไนโตรเจนไว้ในเนื้อได้ประมาณ 21.8 เปอร์เซ็นต์ ไนโตรเจนอีกประมาณ 80 เปอร์เซ็นต์ นั้นจะตกอยู่ในบ่อ ในรูปของเศษอาหารและขี้กุ้งที่บริเวณ พื้นก้นบ่อประมาณ 70 เปอร์เซ็นต์ และในรูปของสิ่งขับถ่ายที่ละลายน้ำได้ เช่น อินทรีย์ไนโตรเจน แอมโมเนีย ไนโตรเจน และไนเตรทประมาณ 9 เปอร์เซ็นต์ ไนโตรเจนที่สะสมอยู่ในบ่อจะมีการเปลี่ยนแปลงจากรูปที่สามารถเป็นอาหารของแบคทีเรียขนาดเล็ก (อินทรีย์ไนโตรเจน) ให้อยู่ในรูปของสารประกอบที่เป็นพิษกับกุ้ง (แอมโมเนีย และไนโตรเจน) หมุนเวียนในระบบนิเวศของบ่อเลี้ยงกุ้ง บางส่วนจะถูกเปลี่ยนเป็นก๊าซไนโตรเจนและจะออกจากบ่อกุ้งไป สารประกอบอินทรีย์ไนโตรเจนในน้ำ มากกว่า 14 เปอร์เซ็นต์ เกิดจากการขับถ่ายของสัตว์น้ำโดยเฉพาะสัตว์น้ำพวกครัสเตเชียนสามารถขับถ่ายของเสียออกมาในรูปของแอมโมเนียและกรดอะมิโนบางชนิด เช่น อาร์ดีนีน (Colwell and Morita, 1974) การขับสารประกอบไนโตรเจนของสัตว์น้ำทำให้เกิดการเสื่อมของคุณภาพน้ำและมีผลต่อการเจริญเติบโตของสัตว์น้ำ เนื่องจากเกิดการสะสมของสารอนินทรีย์ไนโตรเจน (accumulation of dissolved inorganic nitrogen, DIN) ซึ่งส่วนใหญ่เกิดจากการให้อาหารที่มากเกินไป (Kund-Hansen *et al.*, 1991) ปริมาณแอมโมเนียในบ่อที่มีการให้อาหารที่มีปริมาณโปรตีนที่แตกต่างกันจะมีการขับแอมโมเนียในปริมาณที่แตกต่างกัน โดยจะแปรผันกับปริมาณโปรตีน ถึงแม้ว่าปริมาณโปรตีนใน

อาหารต่างกัน แต่เมื่อกุ้งอดอาหารอัตราการขับแอมโมเนียของกุ้งจะคงที่ คือ 10 ไมโครกรัมต่อกรัมของน้ำหนักกุ้งต่อชั่วโมง (Kund-Hansen *et al.*, 1991; Koshio *et al.*, 1993) ส่วนปริมาณแอมโมเนียในกุ้งที่มีการให้อาหารที่มีปริมาณโปรตีนที่แตกต่างกันจะมีการขับแอมโมเนียในปริมาณที่แตกต่างกัน โดยจะแปรผันกับปริมาณโปรตีน ธาตุไนโตรเจนที่อยู่ในอาหารสำเร็จรูปสามารถเปลี่ยนไปอยู่ในรูปของไนโตรเจนในน้ำ 3 ทาง คือการขับถ่ายออกมาทางเหงือก ส่วนใหญ่อยู่ในรูปแอมโมเนีย นอกจากนี้ยังพบการแพร่ออกมาจากอาหารที่ตกค้างและจากสิ่งขับถ่ายของกุ้งบ้างเล็กน้อย แต่จะอยู่ในรูปของสารประกอบอินทรีย์ไนโตรเจนเป็นส่วนใหญ่ โดยอาหารพบอยู่ในรูปของ dissolve primary amine (DPA) 23 เปอร์เซ็นต์ และสิ่งขับถ่ายของกุ้งจะอยู่ในรูปของยูเรีย 26 เปอร์เซ็นต์ โดยเฉพาะยูเรียจะถูกกลุ่มจุลินทรีย์นำไปใช้ได้ทันที ขณะที่อินทรีย์ไนโตรเจนที่ซึมออกมาจากอาหารและสิ่งขับถ่ายของกุ้งที่เหลือจะสะสมอยู่ในบ่อ ส่งผลต่อการเจริญของพวกจุลินทรีย์และมีผลต่อคุณภาพน้ำภายในบ่อ (Burford *et al.*, 2003) ปริมาณแพลงก์ตอนยังมีความสัมพันธ์กับความเข้มข้นของแอมโมเนีย คือในช่วงที่แพลงก์ตอนสูงหรือมีการตายของแพลงก์ตอนมาก แอมโมเนียจะเพิ่มสูงขึ้น (Tucker and Van der Ploeg, 1993)

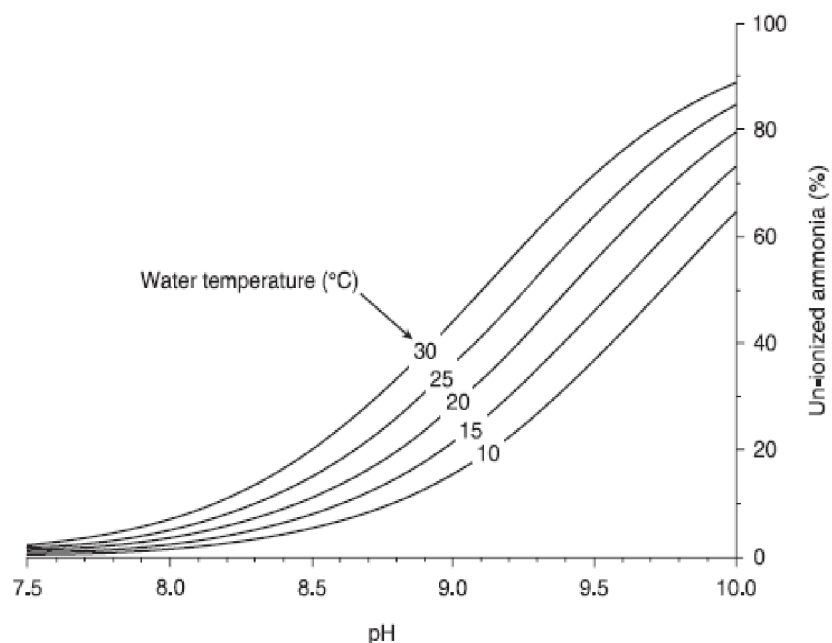


ภาพที่ 5 การสะสมสารอาหารและผลกระทบของน้ำทิ้งจากการเพาะเลี้ยงกุ้ง
ที่มา: พุทธ และคณะ (2543)

6. สารประกอบไนโตรเจน

ไนโตรเจนมีความสำคัญต่อระบบนิเวศวิทยาของแหล่งน้ำ เนื่องจากเป็นส่วนประกอบของอินทรีย์สารหลายชนิด ที่มีความสำคัญต่อการดำรงชีวิตของพืชและสัตว์ เช่น เป็นส่วนประกอบของโปรตีน และไขมันบางชนิด เมื่อไนโตรเจนเข้าสู่แหล่งน้ำจะถูกเปลี่ยนให้เป็นสารประกอบหลายรูป ได้แก่ แก๊สไนโตรเจน ไนเตรท ไนไตรท์ แอมโมเนีย แอมโมเนียม และสารอินทรีย์ไนโตรเจน

ซึ่งเกิดจากเศษอาหาร สิ่งขับถ่ายและการย่อยสลายซากของสิ่งมีชีวิตต่างๆ ดังที่ได้กล่าวมาแล้วข้างต้น ซึ่งการเกิดแอมโมเนียมี 2 รูปแบบ คือ แอมโมเนียที่แตกตัวเป็นไอออน (ionize ammonia; NH_4^+) ซึ่งไม่เป็นพิษต่อสัตว์และแอมโมเนียที่ไม่แตกตัวเป็นไอออน (un-ionize ammonia; NH_3) ซึ่งเป็นพิษต่อสัตว์น้ำ ทั้งสองรูปนั้นจะเปลี่ยนรูปกลับไปกลับมาขึ้นอยู่กับค่าพีเอชและอุณหภูมิ (ภาพที่ 6) แต่จะพบว่าค่าพีเอชจะส่งผลต่อการแตกตัวเป็นแอมโมเนียที่ไม่แตกตัวเป็นไอออนมากกว่าอุณหภูมิ (Boyd, 1989) คือเมื่อพีเอชสูงขึ้นจะมีผลทำให้แอมโมเนียที่ไม่แตกตัวเป็นไอออนมีปริมาณเพิ่มขึ้นด้วย แต่ถ้าพีเอชต่ำลงจะมีผลทำให้แอมโมเนียที่แตกตัวเป็นไอออนมีปริมาณเพิ่มขึ้น การวัดแอมโมเนียโดยทั่วไปจึงเป็นการวัดแอมโมเนียทั้งสองรูปนี้ ค่าที่วัดได้จะเรียกว่า ค่าแอมโมเนียรวม (total ammonia nitrogen; TAN) ในบ่อเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของไนไตรฟิอิงแบคทีเรีย พบว่าควรมีอุณหภูมิ 25-35 องศาเซลเซียส พีเอช 7-8.5 หากค่าพีเอชสูง (มากกว่า 8.5) แบคทีเรียจะถูกยับยั้งการทำงาน โดยแบคทีเรียในกลุ่ม *Nitrobacter* sp. จะได้รับผลกระทบมากกว่า *Nitrosomonas* sp. เป็นผลให้ในบ่อเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำเกิดการสะสมของไนไตรท์ (Fenchel and Blackburn, 1979)



ภาพที่ 6 ผลของอุณหภูมิและพีเอชต่อปริมาณแอมโมเนีย

ที่มา: Hargreaves and Tucker (2004)

โปรตีนจากซากของสิ่งมีชีวิตที่ตายแล้ว เศษอาหารและสิ่งขับถ่ายจากกึ่งจะเกิดการย่อยสลายด้วยจุลินทรีย์ในบ่อได้เป็นกรดอะมิโน ส่วนหนึ่งจะถูกจุลินทรีย์ใช้ในการสร้างเซลล์ และอีกส่วนหนึ่งจะถูกแบคทีเรียพวกเฮเทอโรโทรฟย่อยสลายเป็นแอมโมเนียซึ่งเกิดขึ้นในสภาวะที่มีหรือไม่มีออกซิเจนก็ได้ ปรมินทร์ (2548) ได้สรุปขั้นตอนการย่อยสลายของจุลินทรีย์ ดังนี้

6.1 Aminization

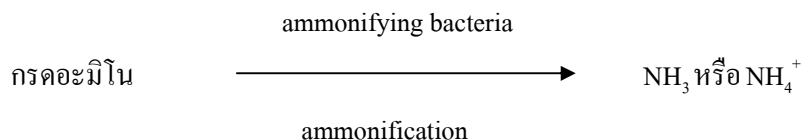
เป็นกระบวนการที่สารประกอบโปรตีนถูกย่อยสลายโดยจุลินทรีย์พวก heterotrophic ไปเป็นสารประกอบไนโตรเจนพวก amino compound ซึ่งได้ดังสมการ



โปรตีนจะถูกเอนไซม์โปรติโอไลติก (proteolytic) ของจุลินทรีย์ย่อยเป็นกรดอะมิโน ในกระบวนการโปรติโอไลซิส (proteolysis) กรดอะมิโนที่ได้ส่วนหนึ่งถูกนำไปใช้เป็นแหล่งไนโตรเจนและแหล่งพลังงานของเซลล์ บางส่วนจะถูกเปลี่ยนสภาพต่อไป

6.2 Ammonification

เป็นกระบวนการที่เกิดต่อเนื่องจาก aminization เพื่อเปลี่ยนสารประกอบเอมีนหรือกรดอะมิโนให้เป็น NH_3 หรือ NH_4^+ โดยจุลินทรีย์พวก heterotrophic ดังสมการ



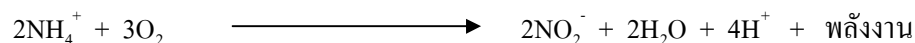
ปฏิกิริยานี้กรดอะมิโนจะถูกเปลี่ยนในกระบวนการ deamination โดยการดึงเอาหมู่เอมิโนออกจากกรดอะมิโนทำให้ได้แอมโมเนีย กระบวนการนี้เกิดขึ้นโดยการทำงานของจุลินทรีย์พวก heterotrophic ทั้งในสภาวะที่ออกซิเจน หรือไม่มีออกซิเจน หลังจากนั้นแอมโมเนียจะถูก

ออกซิไดซ์ให้เป็นไนไตรท์ และไนไตรท์ถูกออกซิไดซ์ต่อไปเป็นไนเตรทด้วยกระบวนการไนตริฟิเคชัน โดยไนตริไฟอิงแบคทีเรียในสภาวะที่มีออกซิเจน

6.3 กระบวนการไนตริฟิเคชัน (nitrification)

กระบวนการไนตริฟิเคชัน คือ กระบวนการออกซิไดซ์สารประกอบอินทรีย์ในโตรเจน ได้แก่ แอมโมเนียม โดยแบคทีเรียในกลุ่มไนตริไฟอิงแบคทีเรียให้เป็นอนินทรีย์ในโตรเจน คือ ไนไตรท์ (NO_2^-) และไนเตรท (NO_3^-) ตามลำดับ ไนตริไฟอิงแบคทีเรียเป็นแบคทีเรียที่พบในดิน น้ำ จืด และน้ำทะเล ไนตริไฟอิงแบคทีเรีย แบ่งออกเป็น 2 กลุ่ม คือ กลุ่ม ammonium oxidizing bacteria เป็นแบคทีเรียที่เปลี่ยนแอมโมเนียเป็นไนไตรท์และกลุ่ม nitrite oxidizing bacteria ที่เปลี่ยนไนไตรท์ให้เป็นไนเตรท ดังสมการ

ขั้นที่ 1 การเปลี่ยนแอมโมเนียม (NH_4^+) เป็นไนไตรท์ (NO_2^-) โดย ammonium oxidizing bacteria ดังสมการ



ตัวอย่างแบคทีเรียในกลุ่มนี้ ได้แก่

Nitrosomonas eutropha

Nitrosomonas oligocarbogenes

Nitrosovibrio tenuis

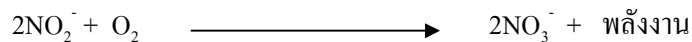
Nitrosococcus nitrosus

Nitrosococcus oceanus

Nitrosospirillum briensis

Nitrosolobus multiformis

ขั้นที่ 2 การเปลี่ยนไนไตรท์ (NO_2^-) เป็นไนเตรท (NO_3^-) โดย nitrite oxidizing bacteria ดังสมการ



ตัวอย่างแบคทีเรียในกลุ่มนี้ ได้แก่

Nitrobacter winogradski

Nitrobacter agilis

Nitrospira gracililis

Nitrococcus mobiles

(Bitton, 1994; Yanagita, 1990)

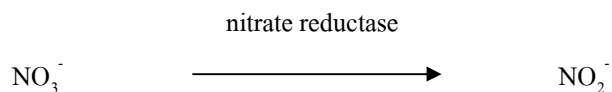
ไนตริไฟอิงแบคทีเรีย ส่วนใหญ่เป็น แบคทีเรียที่ใช้คาร์บอนไดออกไซด์เป็นแหล่งคาร์บอน (chemolithotrophs) เมื่อแบคทีเรียได้รับอนินทรีย์สารเข้าสู่เซลล์จะทำปฏิกิริยากับออกซิเจนได้เป็นพลังงาน ซึ่งจะทำให้โมเลกุลน้ำแตกตัวให้ไฮโดรเจนและออกซิเจน ไฮโดรเจนที่ได้จะรวมตัวกับคาร์บอนไดออกไซด์เกิดเป็นอินทรีย์สารพวกคาร์โบไฮเดรตต่อไป ส่วนไนตริไฟอิงแบคทีเรียชนิดที่ไม่สามารถสร้างอาหารได้เอง (heterotrophic bacteria) และแบคทีเรียที่สร้างอาหารได้เองโดยการสังเคราะห์สารอินทรีย์ (chemoautotrophic bacteria) จะเกิดปฏิกิริยาช้ากว่าแบคทีเรียหลายชนิดสามารถริควิชีไนเตรทเป็นไนโตรที่ได้นี้ แต่เนื่องจากไนโตรที่สามารถถูกออกซิไดซ์เป็นไนเตรทได้ง่ายเช่นกันทำให้ความเข้มข้นของไนโตรที่ในน้ำจะต่ำมากประมาณ 1 มิลลิกรัมต่อลิตร ถึงแม้ว่าความเข้มข้นของไนเตรทจะสูง 50 -100 มิลลิกรัมต่อลิตร (Durborow *et al.* , 1997) แต่ทั้งนี้การเกิดปฏิกิริยาไนตริฟิเคชันอาจถูกยับยั้ง เนื่องจากแบคทีเรียกลุ่ม heterotrophic bacteria แข่งขันในการใช้ออกซิเจน (Burford *et al.* , 2003) โดยปฏิกิริยาไนตริฟิเคชันทำให้ปริมาณออกซิเจนในน้ำลดลงแล้วเกิดกรดขึ้น ซึ่งกรดนี้อาจจะยับยั้งกลุ่มจุลินทรีย์ที่ก่อให้เกิดปฏิกิริยานี้ (WHO, 1986) อัตราการเกิดปฏิกิริยาไนตริฟิเคชันนั้นขึ้นอยู่กับความเข้มข้นของออกซิเจนในน้ำ รวมถึงความสามารถในการแพร่ของออกซิเจนเข้าสู่ดินตะกอน อุณหภูมิ พีเอช ความเข้มข้นของปริมาณแอมโมเนีย และปริมาณแบคทีเรียในกลุ่มไนตริไฟเออร์ (nitrifiers)

6.4 กระบวนการดีไนตริฟิเคชัน

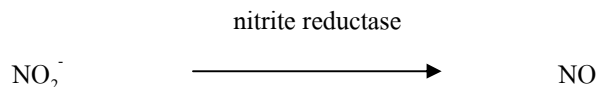
ดีไนตริฟิเคชัน คือ กระบวนการที่เปลี่ยนไนไตรท์ (NO_2^-) และไนเตรท (NO_3^-) ให้เป็นไนโตรเจน (N_2) หรือไนตรัสออกไซด์ (NO_2) สู่บรรยากาศ โดยกิจกรรมของจุลินทรีย์กลุ่มคีโมออโตโทรป (chemoautotroph) ในกลุ่ม aerobic heterotrophic bacteria หรือ facultative heterotrophic

bacteria ที่สามารถดึงออกซิเจนออกจากไนเตรทมาใช้ในการเจริญเติบโต จุลินทรีย์กลุ่มนี้สามารถเปลี่ยนการหายใจแบบใช้ออกซิเจนเป็นตัวรับอิเล็กตรอนในสภาวะใช้ออกซิเจน ให้เป็นการหายใจแบบใช้ไนเตรท (NO_3^-) ไนไตรท์ (NO_2^-) ไนตริกออกไซด์ (NO) และซัลเฟต (SO_4^{2-}) เป็นตัวรับอิเล็กตรอนแทนออกซิเจนในสภาวะไร้ออกซิเจน ตามลำดับ กระบวนการดีไนตริฟิเคชันที่สมบูรณ์ตามธรรมชาติเกิดได้ยาก เนื่องจากต้องอาศัยปัจจัยประกอบหลายอย่างมีการใช้พลังงานเป็นจำนวนมากเพื่อดึงอิเล็กตรอนออก (electron transfer system; ETS) Bitton (1994) แบ่งขั้นตอนการเกิดปฏิกิริยาดีไนตริฟิเคชันมี 4 ขั้นตอน คือ

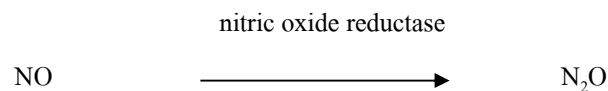
1. Nitrate reduction



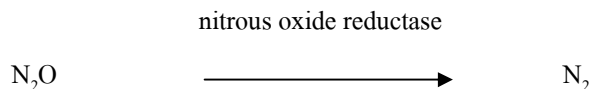
2. Nitrite reduction



3. Nitric reduction



4. Nitrous reduction



ตัวอย่างดีไนตริฟิเคชันแบบที่เรียกว่าได้แก่ *Pseudomonas* sp., *Achromobacteria* sp., *Thiobacteria* sp., *Bacillus* sp. และ *Micrococcus* sp. (Smith *et al.*, 1972; Payne, 1973)

สาลินี (2546) ศึกษาการย่อยสลายของเสียในบ่อกึ่งกลาดำ โดยแยกแบคทีเรียจากดินตะกอนของบ่อเลี้ยงกุ้งมาตรวจสอบการย่อยสลายในน้ำและดินตะกอนจากบ่อเลี้ยงกุ้ง พบว่าสามารถย่อยสลายสารอินทรีย์ในโตรเจนแล้วทำให้เกิดการสะสมของแอมโมเนีย แบคทีเรียนี้จึงจัดอยู่ในกลุ่ม ammonifying bacteria ส่วนแบคทีเรียกลุ่ม ammonia oxidizing bacteria (AOB) มี *Nitrosomonas* sp. มากกว่า 90 เปอร์เซ็นต์ (Ma *et al.*, 2008) และจุลินทรีย์บางชนิดสามารถเกิดปฏิกิริยาได้ทั้งไนตริฟิเคชันและดีไนตริฟิเคชัน โดยมีไนโตรเจนเป็นตัวกลางระหว่างปฏิกิริยาทั้งสอง ได้แก่ *Thiosphaera pantotropha*, *Alcaligenes faecalis*, *Mesorhizobium amorphae* และ *Ochrobactrum grignonense* (Matsuzaka *et al.*, 2003)

การเลี้ยงกุ้งขาวแวนนาไมแบบหนาแน่นจะเกิดการย่อยสลายของอาหารกุ้งให้เป็นสารอินทรีย์ และสารอินทรีย์ในโตรเจนที่ละลายน้ำในความเข้มข้นสูง (2.29-5.56 และ 0.17-10.66 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ) ซึ่งจะเป็นปัจจัยทำให้แบคทีเรีย แพลงก์ตอนพืช และโปรโตซัวที่การเจริญอย่างมากโดยมีการใช้ออกซิเจน 22 เปอร์เซ็นต์ เนื่องจากการเกิดปฏิกิริยาไนตริฟิเคชันที่วัดได้จากการลดลงของ total ammonical nitrogen (TAN) แต่มีความเข้มข้นของไนโตรเจนและไนเตรทสูงขึ้น นอกจากนี้การเลี้ยงในรูปแบบนี้จะมีอนุภาคแขวนลอยสูงซึ่งเป็นแหล่งสืบสเตรทที่ดีสำหรับแบคทีเรียกลุ่มไนตริไฟเออร์ ทำให้ปฏิกิริยาไนตริฟิเคชันเกิดได้มากกว่าการเลี้ยงแบบดั้งเดิม (Burford *et al.*, 2003) และเมื่อเปรียบเทียบวิธีการให้อาหารระหว่างการให้อาหารโดยใส่ในยอกกับการให้อาหารด้วยเครื่องให้อาหาร พบว่ากุ้งที่ให้อาหารด้วยยอกมีผลผลิตสูงกว่ากลุ่มที่ให้อาหารด้วยเครื่องให้อาหาร แต่มีปริมาณไนโตรเจนและฟอสฟอรัสในน้ำสูง (Casillas-Hernández *et al.*, 2006) โดยอาหารกุ้งจะมีสารประกอบไนโตรเจน 76-92 เปอร์เซ็นต์ และฟอสฟอรัส 70-91 เปอร์เซ็นต์ แต่มีสารอาหารไนโตรเจนและฟอสฟอรัสที่กุ้งสามารถดูดซึมไปใช้ประโยชน์ได้เพียง 23-31 เปอร์เซ็นต์ และ 10-13 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ส่วนไนโตรเจนและฟอสฟอรัสอาหารที่เหลือจะมีการสะสมอยู่บริเวณดินตะกอน 14-53 เปอร์เซ็นต์ และ 12-29 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ ซึ่งฟอสฟอรัสจะดูดซับกับโคลนในบ่อเพาะเลี้ยงด้วยการระเหยของแอมโมเนียจากการเพิ่มออกซิเจน และค่าพีเอช หรือจากการเกิดปฏิกิริยาดินตะกอนบริเวณดินตะกอน (Thakur and Lin, 2003) ซึ่งดินตะกอนในบ่อเลี้ยงสัตว์น้ำมีสารอินทรีย์ในโตรเจน ประมาณ 9.7 เปอร์เซ็นต์ โดยมาจากธาตุอาหารประมาณ 19.2 เปอร์เซ็นต์ การนำเข้าของจุลินทรีย์ 17.4 เปอร์เซ็นต์ และจากกระบวนการไนตริฟิเคชัน 2.4 เปอร์เซ็นต์ ส่วนการกำจัดออกของไนโตรเจนด้วยกระบวนการดีไนตริฟิเคชันเกิดเพียง 4.1 เปอร์เซ็นต์

Menasveta *et al.* (2001) กล่าวว่า กระบวนการดีไนตริฟิเคชัน (denitrification) ที่เกิดขึ้นในขณะที่อยู่ในสภาวะขาดออกซิเจนไนเตรตจะถูกใช้เป็นตัวรับอิเล็กตรอนแทน โดยขณะเกิดปฏิกิริยาอะตอมของออกซิเจนจะถูกกำจัดออกจากไนเตรตที่ละตัวเกิดเป็นไนไตรท์ หากระบบอยู่ในสภาวะที่มีสารอินทรีย์ที่มากเกินไปจะทำให้ไนไตรท์ถูกเปลี่ยนไปเป็นไนตริกออกไซด์และไนตรัสออกไซด์ทันที แล้วถูกเปลี่ยนเป็นแก๊สไนโตรเจนอย่างรวดเร็ว ซึ่งการเกิดการเปลี่ยนแปลงนี้จะทำให้เกิดไฮดรอกซิลไอออน (OH^-) ขึ้นจึงส่งผลให้ค่าพีเอชในบ่อเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำลดลงแล้วมีการสะสมของไนเตรตเกิดขึ้น Wu *et al.* (2008) ศึกษากระบวนการไนตริฟิเคชันและการแพร่กระจายของแบคทีเรียกลุ่ม ammonia oxidizing bacteria (AOB) ในตะกอนดิน โดยแบ่งเป็น 2 กลุ่มทดลอง คือกลุ่มที่เติมกลูโคส (G-reactor) และกลุ่มไม่เติมกลูโคส (N-reactor) จากการศึกษาพบว่าในกลุ่มที่ไม่เติมกลูโคสอัตราการเกิดกระบวนการไนตริฟิเคชันสูงและมีสัดส่วนของแบคทีเรียสูงกว่ากลุ่มที่เติมกลูโคสถึง 3 เท่า นอกจากนี้การเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิมีผลต่อกลุ่มจุลินทรีย์ คือที่อุณหภูมิต่ำ (5 องศาเซลเซียส) จุลินทรีย์ส่วนใหญ่อยู่ในกลุ่มดีไนตริไฟเออร์ แต่จะพบจุลินทรีย์ในกลุ่ม fermentative nitrate-ammonifiers เช่น *Enterobacter* sp. ที่มีความสามารถในการใช้ไนเตรตได้ดีที่อุณหภูมิค่อนข้างสูง (5-20 องศาเซลเซียส) ส่วนที่อุณหภูมิมากกว่า 20 องศาเซลเซียส จะพบจุลินทรีย์กลุ่ม obligately fermentative metabolism ได้แก่ *Klebsiella oxytoca* (Ogilvie *et al.*, 1997)

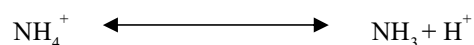
7. ความเป็นพิษของสารประกอบไนโตรเจนในบ่อเพาะเลี้ยงกุ้ง

สารประกอบไนโตรเจนจากเศษอาหารที่เหลือตกค้างอยู่และของเสียที่กุ้งขับถ่ายออกมานั้นจัดว่าเป็นปัญหากับผู้เลี้ยงกุ้ง เนื่องจากเมื่อสารประกอบไนโตรเจนเหล่านี้ผ่านเข้าสู่วงจรไนโตรเจนจะทำให้เกิดแอมโมเนียและไนไตรท์ที่มีความเป็นพิษกับกุ้งโดยตรง แอมโมเนียและไนไตรท์ความเข้มข้นต่ำๆ ก็อาจทำให้กุ้งตายได้ ไนเตรตที่เกิดขึ้นถึงแม้จะมีความเป็นพิษกับกุ้งน้อยมากเมื่อเทียบกับแอมโมเนียและไนไตรท์ แต่เมื่อสะสมในปริมาณมากก็อาจเป็นผลเสียกับกุ้งได้เช่นเดียวกัน

7.1 ความเป็นพิษของแอมโมเนีย

แอมโมเนียที่อยู่ในรูปที่ไม่แตกตัว (unionized ammonia, NH_3) จะมีความเป็นพิษต่อสัตว์น้ำ หรือกุ้งมากกว่าแอมโมเนียในรูปที่แตกตัว (ionized ammonia, NH_4^+) การที่แอมโมเนียในรูปที่ไม่แตกตัวมีความเป็นพิษมากกว่า เนื่องจากแอมโมเนียในรูปนี้สามารถแพร่กระจายผ่านผนังเซลล์ได้ดี (Fromm and Gillette, 1968) เพราะไม่มีประจุไฟฟ้าและสามารถละลายในไขมันซึ่งเป็น

ส่วนประกอบของผนังเซลล์ได้ แต่แอมโมเนียในรูปที่แตกตัวเป็นอนุภาคที่มีประจุไฟฟ้าทำให้สามารถแพร่ผ่านผนังเซลล์ได้น้อยกว่าปริมาณการแตกตัวหรือ ionization ของปริมาณแอมโมเนียทั้งหมดในน้ำจะขึ้นอยู่กับอุณหภูมิและพีเอชของน้ำ ดังสมการ



มีการศึกษาความเป็นพิษเฉียบพลันของแอมโมเนียต่อกุ้งกุลาดำวัยรุ่น ซึ่งมีค่า 96-ชั่วโมง LC_{50} เท่ากับ 1.69 มิลลิกรัมแอมโมเนีย-ไนโตรเจนต่อลิตร (37.4 มิลลิกรัมแอมโมเนียม-ไนโตรเจนต่อลิตร) และแอมโมเนียที่ทำให้อัตราการเติบโตของกุ้งกุลาดำลดลง 5 เปอร์เซ็นต์ ถ้าสัมผัสเป็นเวลานาน คือ 0.21 มิลลิกรัมแอมโมเนีย-ไนโตรเจนต่อลิตร (4.1 มิลลิกรัมแอมโมเนียม-ไนโตรเจนต่อลิตร) (Allan *et al.*, 1990) ค่าความปลอดภัยของแอมโมเนียที่เหมาะสมต่อการดำรงชีวิตของกุ้งกุลาดำตัวเต็มวัยที่ความเค็ม 20 พีพีที ค่าพีเอชของน้ำ 7.57 อุณหภูมิ 24.5 องศาเซลเซียส คือ 4.26 มิลลิกรัมแอมโมเนียม-ไนโตรเจนต่อลิตร หรือเท่ากับ 0.08 มิลลิกรัมแอมโมเนีย-ไนโตรเจนต่อลิตร (Chen *et al.*, 1990) และสำหรับกุ้งขาวแวนนาไม ปริมาณแอมโมเนียรวมที่ปลอดภัยมีค่าไม่ควรจะมากกว่า 1 มิลลิกรัมต่อลิตร (Brock and Main, 1994)

แอมโมเนียจะส่งผลต่อการเจริญเติบโตของกุ้ง เพราะน้ำที่มีแอมโมเนียน้อยจะทำให้กุ้งสามารถขับถ่ายแอมโมเนียได้ดี และมีการเจริญเติบโตที่ดี ถ้ามีแอมโมเนียในน้ำมากจะสามารถแพร่ย้อนกลับเข้าไปในเลือดได้ เมื่อแอมโมเนียในเลือดสูงจะทำให้พีเอชในเลือดสูงขึ้นมีความเป็นพิษมากขึ้น พีเอชของเลือดที่สูงทำให้เอนไซม์ในเลือดทำงานไม่ปกติ ในสภาวะเช่นนี้จะทำให้กุ้งโตช้า (แอมโมเนียอิสระในช่วง 0.1-0.4 มิลลิกรัมต่อลิตร) แต่ถ้าแอมโมเนียมีความเข้มข้นสูงมาก กุ้งเครียดจนอาจจะทำให้กุ้งตายได้ (แอมโมเนียอิสระมากกว่า 0.4 มิลลิกรัมต่อลิตร) (พุทธ, 2545) นอกจากนั้นแอมโมเนียจะทำให้เนื้อเยื่อกุ้งใช้ออกซิเจนเพิ่มขึ้น ลดความสามารถของเลือดในการลำเลียงออกซิเจน ทำให้กุ้งเครียดมีโอกาสติดเชื้อได้ง่าย และกุ้งตายได้ในที่สุด (ชลิต, 2535) จากรายงานของชลอ (2534) พบว่าแอมโมเนียจะมีผลทำให้กุ้งติดเชื้อโรคได้ง่าย โดยแอมโมเนียจะทำลายเหงือก ทำให้การหายใจแลกเปลี่ยนออกซิเจนไม่เป็นปกติ

กุ้งมีการตอบสนองต่อแอมโมเนียในระดับต่างๆ กัน ในสภาวะที่น้ำมีปริมาณแอมโมเนียสูง และออกซิเจนละลายน้ำต่ำร่วมด้วย กุ้งจะลดการหายใจซึ่งจะเป็นกลไกหนึ่งที่ป้องกันไม่ให้แอมโมเนียในน้ำเข้าสู่ร่างกายของกุ้ง แต่จะทำให้เกิดความเครียดเพิ่มขึ้น ส่งผลให้การเจริญเติบโตลดลง เนื่องจากกุ้งที่หายใจน้อยจะลดกิจกรรมในการดำรงชีวิต และการลดอัตราการกิน

อาหารด้วย ในสภาวะที่น้ำมีพีเอชสูงขึ้นสัดส่วนของแอมโมเนียอิสระที่เป็นพิษต่อการเลี้ยงกุ้งจะเพิ่มมากขึ้น ทำให้ระดับความเป็นพิษเพิ่มมากขึ้น (พุทธ, 2545) ซึ่ง Boyd (2002) เปรียบเทียบให้เห็นชัดเจนว่าที่พีเอช 7.5 และอุณหภูมิของน้ำ 30 องศาเซลเซียส ปริมาณแอมโมเนีย 15.62 มิลลิกรัม แอมโมเนียม-ไนโตรเจนต่อลิตร จึงจะให้แอมโมเนียในรูปที่ไม่แตกตัวความเข้มข้น 0.4 มิลลิกรัม แอมโมเนีย-ไนโตรเจนต่อลิตร ซึ่งเป็นระดับที่มีความเป็นพิษเฉียบพลันในเวลา 24-72 ชั่วโมง และที่ความเข้มข้นของแอมโมเนีย-ไนโตรเจน 0.45 มิลลิกรัมต่อลิตร จะทำให้การเจริญเติบโตของกุ้งกุลาดำลดลง 50 เปอร์เซ็นต์ (Kungwankij and Chen , 1986) ส่วนค่าแอมโมเนียในรูปผลรวมระดับที่ปลอดภัยต่อลูกกุ้งกุลาดำคือ 0.4820 มิลลิกรัมต่อลิตร (สิริ, 2527) การเพิ่มขึ้นของแอมโมเนีย ทำให้ระยะเวลาการลอกคราบ จากคราบที่ 1 ไปคราบที่ 2 สั้นลง นอกจากนี้การเพิ่มขึ้นของปริมาณแอมโมเนียทำให้ปริมาณแคลเซียมในเนื้อกุ้งเพิ่มขึ้น ส่วนในเปลือกและคราบกุ้ง แอมโมเนียไม่มีผลต่อปริมาณแคลเซียม (สุริยะ, 2540) กุ้งขาวแวนนาไมที่สัมผัสกับแอมโมเนียในระดับที่สูง มีการบริโภคออกซิเจนสูง ระดับแลคเตท และไกลโคเจนในตับสูงขึ้น ความเข้มข้นของออกซิซีโมไซยานิน เอซิกลิซีเซอรอล และคลอเรสเตอรอลในเลือดลดลงเช่นเดียวกับแลคเตท ในกล้ามเนื้อ รวมทั้งอัตราการแลกเปลี่ยนของเลือดกับเนื้อเยื่อลดลง (Racotta and Hernández-Herrera , 2000)

7.2 ความเป็นพิษของไนไตรท์

ไนไตรท์มีพิษต่อสัตว์น้ำเช่นเดียวกับแอมโมเนีย ไนไตรท์เกิดขึ้นจากกระบวนการไนตริฟิเคชัน โดยแอมโมเนียจะถูกแบคทีเรียออกซิไดส์ในสภาพที่มีอากาศกลายเป็นไนไตรท์ (NO_2^-) และไนเตรท (NO_3^-) ตามลำดับ ผลลัพธ์จากกระบวนการจะได้ไนเตรทซึ่งไม่เป็นพิษต่อสัตว์น้ำ (Russo *et al.* , 1974) นอกจากนี้ไนไตรท์ยังเกิดจากปฏิกิริยารีดักชันไนเตรทให้เปลี่ยนกลับไปเป็นไนไตรท์ โดยแบคทีเรียที่มีอยู่ในน้ำหรือดินในสภาพที่ไม่มีอากาศ ความเป็นพิษของไนไตรท์ต่อสัตว์น้ำจะอยู่ในรูปของไนไตรท์ที่ไม่แตกตัว (unionized nitrite) และรูปกรดไนตริก (HNO_2) โดยจะเกาะตามผิวหนังและเหงือกของสัตว์น้ำอย่างรวดเร็วกว่าส่วนที่อยู่ในรูปแตกตัว (ionized nitrite) (Douderoff *et al.* , 1966; Armstrong *et al.* , 1976) ไนไตรท์ในเลือดกุ้งจะทำให้ระดับโปรตีนและ พีเอชของเลือดกุ้งลดลง ซึ่งจะทำให้ชีวเคมี ในเลือดกุ้งเปลี่ยนแปลงไปกระบวนการเผาผลาญอาหารในร่างกายมีประสิทธิภาพลดลงทำให้การเจริญเติบโตของกุ้งลดลง เกิดการสะสมยูเรียในเลือดและมีการดูดซึมน้ำมากทำให้สมดุลเกลือแร่เปลี่ยนแปลงไป (พุทธ, 2546) พิษของไนไตรท์ทำให้การขนถ่ายออกซิเจนในเลือดลดลง ส่งผลให้ระบบหายใจ ของกุ้งผิดปกติ ทำให้กุ้งลอกคราบไม่ออก กุ้งเปลือกนิ่ม มีการกินกันเองขณะลอกคราบ

Hargreaves and Tucker (2004) กล่าวว่าความเป็นพิษของไนไตรต์ต่อสัตว์น้ำ ที่มีเลือดสีแดง คือมีฮีโมโกลบินเกิดเนื่องมาจากไนไตรต์ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงทางเคมีของเลือดและระบบเลือด กล้ามเนื้อเรียบในเส้นเลือดฝอยคลายตัว เกิดเลือดคั่งและเกิดเมธิโมโกลบินีเมีย (methemoglobinemia) โดยไปออกซิไดส์เหล็กในรูปของเฟอร์รัส (Fe^{++}) ในโมเลกุลของฮีโมโกลบิน (hemoglobin) ให้กลายเป็นเฟอร์ริก (Fe^{+++}) ทำให้ฮีโมโกลบินเปลี่ยนไปเป็นเมธิโมโกลบิน (methemoglobin) ซึ่งไม่สามารถรวมกับออกซิเจนได้ เลือดจึงไม่สามารถขนถ่ายออกซิเจนไปยังเนื้อเยื่อต่างๆ เกิดสภาวะการขาดออกซิเจนและเป็นสาเหตุให้สัตว์น้ำตาย

7.3 ความเป็นพิษของไนเตรท

ไนเตรทเกิดจากปฏิกิริยาออกซิเดชันไนไตรท์เป็นไนเตรทในกระบวนการไนตริฟิเคชัน นอกจากนี้ไนเตรทยังได้มาจากการใช้ปุ๋ยในการเกษตร ซึ่งจะมีธาตุไนโตรเจนเป็นองค์ประกอบ การชะล้างธาตุอาหารจากพื้นดินลงสู่แหล่งน้ำความเป็นพิษของไนเตรทมีรายงานน้อย เนื่องจากไนเตรทไม่ก่อให้เกิดพิษเฉียบพลัน ไนเตรทจะทำให้สุขภาพสัตว์น้ำไม่ดี เกิดความอ่อนแอ กินอาหารน้อยลง และมีโอกาสติดเชื้อได้ง่าย แต่ไนเตรทจะมีความเป็นพิษมากขึ้นถ้ากุ้งหรือสัตว์น้ำต้องอาศัยอยู่ในน้ำที่มีความเข้มข้นของไนเตรทมากเป็นเวลานาน โดยจะแสดงความเป็นพิษต่อกุ้งเช่นเดียวกับไนไตรท์ แม้ว่าจะมีเพียงปริมาณไม่มากนัก ถ้าน้ำที่ใช้เพาะเลี้ยงกุ้งมีปริมาณของไนเตรทเข้มข้นเพียง 15.4 มิลลิกรัมต่อลิตร กุ้งประมาณ 50 เปอร์เซนต์ จะตายภายในระยะเวลา 90 ชั่วโมง (Wickin, 1976)

Whitson *et al.* (1993) กล่าวว่าไนเตรทในระบบเลี้ยงสัตว์น้ำไม่ควรมีความเข้มข้นมากกว่า 50 มิลลิกรัมไนเตรท-ไนโตรเจนต่อลิตร ไนเตรทอาจจะทำให้เกิดเมธิโมโกลบินได้เหมือนกัน แต่ความเป็นพิษของไนเตรทต่ำมากเมื่อเทียบกับไนไตรท์และแอมโมเนีย ส่วนมากจึงไม่มีปัญหาเกี่ยวกับความเป็นพิษของไนเตรทในการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ (ศิริวรรณ, 2538) อย่างไรก็ตามไนเตรทอาจจะถูกเปลี่ยนเป็นไนไตรท์โดยการรีดิวซ์โดยแบคทีเรียในทางเดินอาหาร ซึ่งอาจเป็นอันตรายต่อสัตว์น้ำได้

8.วิธีการกำจัดแอมโมเนียในป่อเลี้ยงกุ้ง

วิธีบำบัดหรือลดปัญหาจากการเกิดแอมโมเนียในป่อเลี้ยงกุ้งที่มีการปฏิบัติ กันมาก ได้แก่

8.1 ซีโอไลต์ (Zeolite)

ซีโอไลต์ (ภาษากรีก แปลว่า หินเดือด) คือ สารประกอบของอลูมิโนซิลิเกต ซึ่งมีโครงสร้างเป็นรูพรุน สามารถดูดซับน้ำและอามอนิแอคได้ดี

1. ชนิดของซีโอไลต์

สุชาดา (2546) แบ่งชนิดของซีโอไลต์เป็น 2 ชนิด คือ

1.1) ซีโอไลต์ธรรมชาติ (natural zeolite) เป็นซีโอไลต์ที่เกิดขึ้นตามธรรมชาติ โดยกระบวนการ hydrothermal ของสารละลายได้ฟิวโลกที่มีองค์ประกอบของอลูมินา (alumina) ซิลิกา (silica) และสถานะเป็นเบสอย่างแรง ภายใต้อุณหภูมิ 70 – 350 องศาเซลเซียส และความดันค่อนข้างสูงเป็นเวลานาน จนค่อยๆ ก่อตัวเป็นโครงสร้างซีโอไลต์ ส่วนมากจะพบในบริเวณที่เป็นหินภูเขาไฟหรือบริเวณน้ำพุร้อน เป็นต้น

1.2) ซีโอไลต์ที่สังเคราะห์ขึ้น (synthetic zeolite) เป็นซีโอไลต์ที่สังเคราะห์ขึ้น โดยการเล่นแบบกระบวนการ hydrothermal ที่เกิดในธรรมชาติ แต่อาจมีการดัดแปลงวิธีการบ้างในการผลิตบางครั้งเพื่อให้ซีโอไลต์ที่สังเคราะห์ขึ้นมีสมบัติเฉพาะในการใช้งานหรือให้ได้ประสิทธิภาพดีขึ้นตามต้องการ

2. องค์ประกอบทางเคมีของซีโอไลต์

สูตรทั่วไปของ aluminosilicate zeolite คือ $M^{+m}, Al_xSi_{2-x}O_4, nH_2O$ โครงสร้างของซีโอไลต์ประกอบด้วย 3 ส่วนใหญ่ๆ คือ

2.1) ส่วนโครงข่าย (framework components) : $\text{Al}_x\text{Si}_{2-x}\text{O}_4$ เป็นโครงข่ายที่มีองค์ประกอบหลักเป็น Si, Al และ O

2.2) ส่วนไอออนบวกในโครงข่าย (nonframework cation) : M^{+m} เป็นไอออนบวกของโลหะ alkali หรือ alkali earth เช่น Na^+ , K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} หรือในธรรมชาติบางครั้งอาจพบ Fe^{2+}

2.3) ส่วนที่เป็นน้ำ (sorbed water) : $n\text{H}_2\text{O}$ พบว่ามีน้ำอยู่ภายในช่องว่างในโครงข่ายของซีโอไลต์มาก บางครั้งอาจมีถึง 50 เปอร์เซ็นต์ของปริมาณโครงผลึกกลุ่มแร่ซีโอไลต์จะพบว่าการเรียกชื่อแตกต่างกันตามลักษณะการเกิดองค์ประกอบของหินเดิม และอุณหภูมิที่แตกต่างกัน

3. ประโยชน์ของซีโอไลต์

ซีโอไลต์สามารถนำมาใช้ประโยชน์ได้หลายชนิด แบ่งเป็น 3 ประเภท คือ

3.1) เป็นตัวแลกเปลี่ยนไอออน (ion exchange)

การใช้งานส่วนใหญ่จะเป็นการแลกเปลี่ยน ไอออนบวก หรือ cationic exchange โดยกลไกการแทนที่ด้วยไอออนบวกชนิดอื่น การแลกเปลี่ยนจะเกิดขึ้นภายใน โครงสร้างของซีโอไลต์ โดยประจุที่เข้าและออกจากโครงสร้างจะเท่ากัน

3.2) การเป็นตัวดูดซับและตัวกรอง (adsorption and separation)

เนื่องจากโครงข่ายที่มีน้ำเป็นองค์ประกอบอยู่ในช่องว่าง เมื่อทำให้น้ำระเหยออกไปจากช่องว่างภายในโครงข่ายของซีโอไลต์ จะเกิดช่องว่างขึ้นทำให้เกิดการดูดซับโมเลกุลหรือไอออนอื่นๆ ที่เล็กพอที่จะสามารถผ่านเข้าไปในช่องว่างได้ จะทำให้สามารถแยกของผสมที่ต่างกันออกจากกันได้

3.3) การใช้เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา

ซีโอไลต์ที่ใช้เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา สามารถแบ่งได้ 2 ลักษณะ คือ bifunctional catalyst มักใช้เป็นตัวพอง โลหะทรานซิชัน เช่น Fe, Pt, Pd ในกระบวนการทางอุตสาหกรรม หรือใช้ซีโอไลต์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาโดยตรง ในกระบวนการ catalytic cracking ในน้ำมันเบนซิน

8.2 จุลินทรีย์

การใช้จุลินทรีย์จัดเป็นวิธีทางชีวภาพ โดยกลุ่มจุลินทรีย์ที่มีประสิทธิภาพในการย่อยสลายสารอินทรีย์ได้แก่กลุ่มแบคทีเรีย ซึ่งจะย่อยสลายอาหารกึ่ง ซากกึ่ง และจี้กึ่ง ทำให้ปริมาณสารอินทรีย์ลดลง แบ่งชนิดของแบคทีเรียที่ใช้ปรับปรุงคุณภาพน้ำดังนี้

1. *Bacillus subtilis* แบคทีเรียชนิดนี้จะออกซิโดคาร์โบไฮเดรต กรดอินทรีย์ และสารประกอบอื่นๆ เช่น ไขมัน โปรตีน และแป้ง โดยการทำงานจะเกิดเฉพาะบริเวณ พื้นบ่อโดยการสร้างน้ำย่อยที่เรียกว่า extracellular enzyme ออกมาย่อยสลายสารอินทรีย์โมเลกุลใหญ่ให้เป็นโมเลกุลเล็ก แบคทีเรียชนิดนี้ยังสามารถทนต่อสภาพแวดล้อมที่พื้นบ่อได้ด้วย

2. *Nitrosomonas* sp. แบคทีเรียชนิดนี้จะออกซิโดซ์แอมโมเนียให้เป็นไนไตรท์ ซึ่งการทำงานของแบคทีเรียชนิดนี้ต้องการออกซิเจนอย่างเพียงพอ นอกจากนั้นการเจริญต้องอาศัยสารประกอบอินทรีย์ของคาร์บอนที่ละลายน้ำด้วย โดยจะต้องมีสารประกอบอินทรีย์ที่ละลายในน้ำ 20 มิลลิกรัมต่อลิตร ถึงจะเจริญได้

3. *Nitrobacter* sp. แบคทีเรียชนิดนี้จะออกซิโดซ์ไนไตรท์ให้เป็นไนเตรท โดยต้องการสภาพที่ออกซิเจน ทั้ง *Nitrosomonas* sp. และ *Nitrobacter* sp. นี้เรียกรวมกันว่า nitrifying bacteria

4. *Pseudomonas* sp. แบคทีเรียชนิดนี้ช่วยลดระดับไนเตรทที่มีมากเกินไป โดยจะทำงานในสภาพที่มีออกซิเจน และยังสามารถควบคุมสารประกอบอินทรีย์ที่ละลายน้ำได้ด้วย

5. *Enterobacter* sp. แบคทีเรียชนิดนี้เจริญได้ดีในสภาพที่ไม่มีออกซิเจนแต่สามารถเจริญได้ในสภาพที่มีอากาศ (facultative anaerobe) ภายใต้สภาวะที่มีอากาศจะออกซิโดซ์

สารประกอบคาร์โบไฮเดรตและสารอินทรีย์ที่มีองค์ประกอบหรือโครงสร้างแบบง่าย ๆ เมื่อย่อยสลายแล้วผลผลิตที่ได้ คือคาร์บอนไดออกไซด์และน้ำ ซึ่งจะกระจายตัวอยู่น้ำกลายเป็นแหล่งคาร์บอนไดออกไซด์ของพืชน้ำ ในสภาพที่มีปริมาณออกซิเจนต่ำ หรือไม่มีออกซิเจนจะเกิดการหมักของสารประกอบคาร์โบไฮเดรตทำให้เกิดเป็นกรดอินทรีย์

6. *Cellulomonas* sp. แบคทีเรียชนิดนี้สามารถเปลี่ยนเซลลูโลสเป็นกลูโคส น้ำตาลโมเลกุลเดี่ยวที่ละลายน้ำได้และนำเข้าไปใช้ในเซลล์ รวมทั้งแบคทีเรียชนิดอื่น ๆ ก็สามารถนำไปใช้ได้ด้วย

7. *Rhodopseudomonas* sp. แบคทีเรียชนิดนี้สามารถใช้แสงเป็นแหล่งพลังงาน และออกซิไดส์สารประกอบอินทรีย์ โดยเฉพาะกรดอินทรีย์หลายชนิดในสภาพที่มีออกซิเจนแต่มีแสงได้ นอกจากนี้บางสายพันธุ์ยังสามารถตรึงไนโตรเจนได้ ผลผลิตที่ได้จะเป็นแหล่งอาหารที่ดีของแบคทีเรียชนิดอื่นๆ (Ehrlich *et al.* ,1989; Boyd, 1990)

นอกจากนี้ยังมีการศึกษาวิธีการลดแอมโมเนียด้วยกระบวนการทางชีวภาพอีกหลายวิธี ได้แก่ การใช้สัตว์น้ำบางชนิดเลี้ยงร่วมกับกุ้ง หรือเลี้ยงในบ่อน้ำทิ้งเพื่อลดปริมาณแพลงก์ตอนสารอินทรีย์ สัตว์ที่นำมาทดลองเลี้ยง ได้แก่ ปลานิล ปลาน้ำเค็ม ปลาน้ำจืด เป็นต้น (พัฒนา, 2539; สุขชัย, 2540) หรืออาจใช้พืชในการบำบัด ได้แก่ สาหร่ายพวงองุ่น ประทุษเล (อนันต์, 2539) วิธีการกำจัดแอมโมเนียทางชีวภาพเป็นกระบวนการที่เสียค่าใช้จ่ายต่ำและมีประสิทธิภาพดี โดยเฉพาะอย่างยิ่งกระบวนการไนตริฟิเคชันและดีไนตริฟิเคชันของแบคทีเรียสามารถออกแบบได้ง่าย และเพิ่มเข้ากับระบบที่มีอยู่เดิมได้เป็นอย่างดี

เปรมสุตา (2539) ศึกษาประสิทธิภาพของแบคทีเรียที่มีส่วนช่วยในการบำบัดน้ำเสียที่เกิดจากการเลี้ยงกุ้งทะเล โดยนำแบคทีเรีย *Bacillus subtilis*, *B. megaterium*, *B. firmus*, *B. lentus* และ *B. marinus* ทั้ง 5 สายพันธุ์มาทำการทดลองประสิทธิภาพในการย่อยสลายสารอินทรีย์ พบว่าสามารถลดปริมาณสารอินทรีย์ของอาหารกุ้งที่ตกค้างอยู่ในบ่อได้ สอดคล้องกับการศึกษาของเจนจิรา (2548) ที่ใช้แบคทีเรียจำนวน 6 ชนิด คือ *Oceanishaera* sp., *Bacillus polymyxa*, *B. subtilis*, *B. megaterium* และ *B. cereus* ซึ่งแยกได้จากสิ่งแวดล้อมสามารถลดความเข้มข้นของไนเตรทไนโตรเจน แอมโมเนีย และย่อยสลายสารอินทรีย์ได้แตกต่างจากชุดควบคุม นอกจากนี้ยังสามารถลดปริมาณ *Vibrio* sp. ได้ เช่นเดียวกับ Focht and Verstraete (1977) พบว่าแบคทีเรียที่สามารถลด

ปริมาณแอมโมเนียได้มีอย่างน้อย 14 ชนิด โดยชนิดหลักได้แก่ *Bacillus* sp., *Pseudomonas* sp. และ *Alcaligines* sp.

Gong *et al.* (2008) ศึกษาการทำงานของแบคทีเรียในกลุ่มที่สามารถลดปริมาณไนโตรเจนได้ โดยเลือกแบคทีเรีย 2 กลุ่ม คือ aerobic ammonia oxidizing bacteria (AOB) และ anammox bacteria พบว่าแบคทีเรียทั้ง 2 ชนิดสามารถทำงานได้ดีในแหล่งน้ำที่มีออกซิเจนสูง และการทำงานของแบคทีเรียทั้งสองกลุ่มนี้มักเกิดร่วมกัน นอกจากปริมาณออกซิเจนที่เพียงพอแล้ว แหล่งสับสเตรทยังจัดเป็นปัจจัยที่สำคัญต่อการทำงานของแบคทีเรีย โดย Menasveta *et al.* (2001) ศึกษาการเลือกใช้สับสเตรทสำหรับแบคทีเรีย แหล่งคาร์บอน และการเลือกใช้หัวเชื้อแบคทีเรียที่แตกต่างกันจะมีผลต่อการลดปริมาณไนเตรทในบ่อเพาะเลี้ยงโดยใช้แบคทีเรียกลุ่มดีไนทริไฟอิงร่วมกับแหล่งสับสเตรทโดยใช้เปลือกหอยนางรม และมีเอทานอลเป็นแหล่งคาร์บอน สามารถช่วยลดปริมาณไนเตรทได้ในระดับหนึ่ง แต่ถ้าเปลี่ยนให้เป็นสภาวะที่ไร้ออกซิเจน โดยใช้เมทานอลเป็นแหล่งคาร์บอน และเพิ่มระยะเวลาที่น้ำจะสัมผัสกับแบคทีเรียกลุ่มดีไนทริไฟเออร์บนสับสเตรท โดยจะต้องปรับค่า C/N ratio ให้เหมาะสม เพื่อให้ปฏิกิริยาดีไนทริฟิเคชันเกิดได้คงที่

Thimmalapura *et al.* (2002) ศึกษาผลของผลิตภัณฑ์จุลินทรีย์ต่อกลุ่มแบคทีเรียในบ่อกึ่ง โดยผลิตภัณฑ์แรกประกอบด้วย *Bacillus* sp. และ *Sacchamycetes* sp. ส่วนผลิตภัณฑ์ที่ 2 ประกอบด้วย *Bacillus* sp., *Nitrosomonas* sp. และ *Nitrobacter* sp. การวิเคราะห์ตัวอย่างน้ำและดินตะกอนพบว่ามีความหลากหลายของชนิดแบคทีเรียในกลุ่ม heterotrophic และ autotrophic มี *Bacillus* sp. เป็นแบคทีเรียกลุ่มหลักในทุกบ่อทดลอง สอดคล้องกับการศึกษาของ Devaraja *et al.* (2002) ที่พบว่าจากน้ำตัวอย่างและดินตะกอนในบ่อเลี้ยงกุ้งที่บำบัดด้วยจุลินทรีย์ทางการค้าจะมี *Bacillus* sp. เป็นชนิดที่โดดเด่นเช่นกัน

Piedrahita (1991) ศึกษาอิทธิพลของความลึกบ่อที่มีต่อปริมาณแอมโมเนียไนไตรท์และไนเตรท พบว่าความลึกบ่อมีผลต่อความเข้มข้นของไนไตรท์และไนเตรท โดยการลดระดับความลึกของน้ำ ทำให้ปริมาณไนไตรท์และไนเตรทลดลง เนื่องจากบ่อที่มีระดับน้ำน้อยทำให้การเจริญเติบโตของแพลงก์ตอนพืชมากกว่าบ่อที่มีระดับน้ำสูง แพลงก์ตอนเหล่านี้จะใช้ไนไตรท์และไนเตรทในการเจริญเติบโต ส่วนระดับแอมโมเนียไม่มีความสัมพันธ์กับระดับความลึกของน้ำ ในบ่อเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำกลไกการสูญเสียแอมโมเนียจะเกิดการระเหยโดยตรงจากผิวน้ำการระเหยโดยตรงจะอยู่ในช่วง 2 – 28 เปอร์เซ็นต์ต่อวัน (Bouldin, 1974) และบางส่วนจะถูกแพลงก์ตอนพืชใน

กลุ่มไดอะตอมและสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินใช้ในการเจริญเติบโต (Thompson *et al.*, 2002) นอกจากนี้การเปลี่ยนถ่ายน้ำ 0.025 เปอร์เซ็นต์ต่อวัน สามารถลดความเข้มข้นของแอมโมเนียได้ เมื่อเทียบกับบ่อที่ไม่มีการเปลี่ยนถ่ายน้ำ (Hopkins *et al.* , 1994)

อุปกรณ์และวิธีการ

การศึกษานี้ได้แบ่งออกเป็น 2 ขั้นตอน คือศึกษาการใช้ไนตริไฟอิงแบคทีเรียในการควบคุมปริมาณแอมโมเนียและไนโตรเจนในห้องปฏิบัติการ และในบ่อเลี้ยงกุ้งขาวแวนนาไมที่ระยะต่างๆ โดยทั้ง 2 ขั้นตอนมีวิธีการศึกษาดังนี้

1. การศึกษาผลของไนตริไฟอิงแบคทีเรียในการควบคุมปริมาณแอมโมเนียและไนโตรเจนในห้องปฏิบัติการ

1.1 การเตรียมการทดลอง

1.1.1 การเตรียมแอมโมเนียและไนโตรเจน

ทำการทดลองในห้องปฏิบัติการ ศูนย์วิจัยธุรกิจเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ ภาควิชาชีววิทยา ประมง คณะประมง มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ โดยนำเลนบริเวณกลางบ่อจากฟาร์มเลี้ยงกุ้งเอกชน ในเขตอำเภอบางบาล จังหวัดราชบุรี มาผสมกับอาหารกุ้งในอัตราส่วนเลนพื้นบ่อปริมาณ 1 กิโลกรัม ต่ออาหารกุ้ง 200 กรัม ใส่ในถังปริมาตร 50 ลิตร ก่อนที่จะเติมน้ำจากบ่อเลี้ยงกุ้งความเค็มประมาณ 15 ส่วนในพันส่วน (พีพีที) ลงไปจนได้ปริมาตรรวม 40 ลิตร มีการให้อากาศตลอดเวลา (ภาพที่ 7)

1.1.2 การเตรียมแบคทีเรีย

แบคทีเรียที่ใช้ในการทดลอง คือ ไนตริไฟอิงแบคทีเรีย หรือชื่อทางการค้าว่า PondProtect ซึ่งได้รับความอนุเคราะห์จากบริษัท Novozymes Biological, Inc. ประเทศสหรัฐอเมริกา ประกอบด้วยแบคทีเรีย 2 ชนิด คือ แบคทีเรีย *Nitrosomonas eutropha* และ *Nitrobacter winogradskyi* โดย *N. eutropha* มีความสามารถในการออกซิไดซ์แอมโมเนียเท่ากับ 1000-1200 มิลลิกรัมแอมโมเนีย-ไนโตรเจนต่อกิโลกรัมต่อชั่วโมง ส่วน *Nitrobacter winogradskyi* มีสามารถในการออกซิไดซ์ไนโตรเจนเท่ากับ 250-300 มิลลิกรัมไนโตรเจน-ไนโตรเจนต่อกิโลกรัมต่อชั่วโมง บรรจุอยู่ในถุงที่สามารถละลายน้ำได้ แต่ละถุงมีน้ำหนัก 200 กรัม (ภาพที่ 8)

1.2 การดำเนินการทดลอง

นำเลนจากที่ผสมกับอาหารกุ้งในข้อ 1 มาหมักทิ้งไว้นาน 3 วัน เพื่อให้เกิดแอมโมเนีย และไนไตรท์ บรรจุลงโหลแก้วทรงกลมในปริมาณ 3 ลิตร จำนวน 12 ใบ เก็บไว้ที่อุณหภูมิ 28-30 องศาเซลเซียส พร้อมทั้งให้อากาศอย่างสม่ำเสมอ (ภาพที่ 9) จากนั้นจึงเริ่มทำการทดลองโดยแบ่งกลุ่มการทดลองออกเป็น 4 กลุ่ม กลุ่มละ 3 ซ้ำ ดังนี้

กลุ่มที่ 1 (กลุ่มควบคุม) ไม่มีการเติมแบคทีเรียในโหลทดลอง

กลุ่มที่ 2 เติมแบคทีเรียปริมาณ 0.1 มิลลิกรัมต่อลิตร

กลุ่มที่ 3 เติมแบคทีเรียปริมาณ 0.5 มิลลิกรัมต่อลิตร

กลุ่มที่ 4 เติมแบคทีเรียปริมาณ 1.0 มิลลิกรัมต่อลิตร

หลังจากนั้นวันที่ 7 ของการทดลองมีการเติมแบคทีเรียอีกครั้งในอัตราส่วนเดิม วิเคราะห์คุณภาพของน้ำทุกวัน เป็นระยะเวลา 14 วัน ปริมาณแอมโมเนียและไนไตรท์ วิเคราะห์ตามวิธีมาตรฐานของ APHA *et al.* (1995) ความเป็นด่างรวมวิเคราะห์ด้วยวิธี titration (APHA *et al.* ,1995) และพีเอชวัดโดยใช้เครื่องวัดพีเอช Ecoscan pH 5/6

1.3 การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

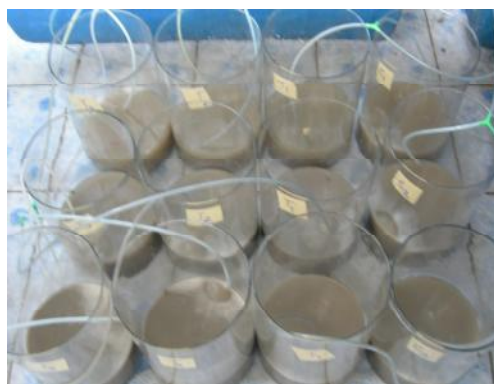
วิเคราะห์ความแตกต่างทางสถิติโดยใช้วิธีวิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of Variance) และเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยระหว่างชุดทดลองโดยใช้วิธี Duncan's New Multiple Range Test (DMRT) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ ด้วยโปรแกรมสำเร็จรูปทางสถิติ (Steel and Torrie, 1980)



ภาพที่ 7 ถังหมักเลนพื้นป่อและอาหารกุ้ง



ภาพที่ 8 ไนตริไฟอิงแบคทีเรียที่ใช้ในการทดลอง



ภาพที่ 9 การแบ่งโหลแก้วทดลอง

2. การศึกษาผลของไนตริไฟอิงแบคทีเรียในการควบคุมปริมาณแอมโมเนียและไนโตรเจนใน บ่อเลี้ยงกุ้ง ขาวแวนนาไม

ทำการศึกษาในฟาร์มเลี้ยงกุ้งเอกชน ที่อำเภอปากท่อ จังหวัดราชบุรี ซึ่งเป็นฟาร์มเลี้ยงกุ้งด้วยน้ำความเค็มต่ำ เลี้ยงแบบระบบปิดน้ำหมุนเวียน คือในระหว่างการเลี้ยงน้ำที่ถ่ายออกมาจากบ่อและขณะจับกุ้งน้ำทั้งหมดจะนำเข้าไปเก็บใน บ่อพักน้ำ หลังจากพักน้ำและบำบัดน้ำให้มีคุณภาพที่เหมาะสมแล้วจะนำน้ำกลับมาใช้เลี้ยงกุ้งในรุ่นต่อไปอีก พื้นที่ฟาร์มทั้งหมด 198 ไร่ ประกอบด้วยพื้นที่บ่อพักน้ำประมาณ 50 ไร่ พื้นที่บ่อเลี้ยงกุ้งประมาณ 84 ไร่ ทั้งหมด 15 บ่อ โดยแต่ละบ่อมีขนาดแตกต่างกัน คือ 4, 5, 6 และ 8 ไร่ มีความลึกประมาณ 2 เมตร การศึกษาครั้งนี้ใช้บ่อทดลองทั้งหมด 6 บ่อ (ภาพที่ 10 และ 11) โดยแบ่งเป็น 2 กลุ่ม คือ

กลุ่มทดลองประกอบด้วยบ่อเลี้ยงกุ้งขาวแวนนาไม จำนวน 3 บ่อ คือ บ่อที่ 7, 11 และ 14 ใช้เป็นบ่อทดลองที่มีการใช้ในไนตริไฟอิงแบคทีเรีย

กลุ่มควบคุมประกอบด้วยบ่อเลี้ยงกุ้งขาวแวนนาไม จำนวน 3 บ่อ คือ บ่อที่ 1, 9 และ 10 ใช้เป็นบ่อควบคุมที่ไม่มีการใช้ในไนตริไฟอิงแบคทีเรีย

2.1 การเตรียมบ่อและการเตรียมน้ำ

โดยนำน้ำเค็มจากนาเกลือมาผสมกับน้ำจืดได้ความเค็มประมาณ 5-10 พีพีที สำหรับการเลี้ยงกุ้ง หลังจากการเลี้ยงกุ้งรอบที่ผ่านมาตากบ่อนาน 4 สัปดาห์ หลังจากนั้นสูบน้ำจากบ่อพักน้ำซึ่งมีความเค็มอยู่ระหว่าง 5-10 พีพีที เข้าสู่บ่อเลี้ยง โดยผ่านถุงกรองไนลอนเพื่อป้องกันสัตว์น้ำต่างๆ เข้าสู่บ่อ ให้ได้ระดับน้ำสูงประมาณ 1.20 เมตร เปิดเครื่องให้อากาศเพื่อให้น้ำหมุนเวียน ทิ้งไว้ประมาณ 7 วัน เพื่อให้คุณภาพน้ำต่างๆ มีความเหมาะสมและเกิดอาหารธรรมชาติ เช่น แพลงก์ตอนพืชและแพลงก์ตอนสัตว์

2.3 การปล่อยลูกกุ้ง

นำลูกกุ้งระยะ โพลลาร์วา 12 (PL12) ที่ผ่านการตรวจด้วยเทคนิคพีซีอาร์ (PCR: polymerase chain reaction) หรือปฏิกิริยาลูกโซ่โพลีเมอเรสว่าปลอดเชื้อไวรัสดวงขาว (White Spot

Syndrome Virus; WSSV) ไวรัสหัวเหลือง (Yellow Head Virus; YHV) ไวรัสทอรา (Taura Syndrome Virus; TSV) และไวรัสตัวพิกการ (Infectious Hypodermal and Hematopoietic Necrosis Virus; IHNV) และผ่านการปรับระดับความเค็มจากโรงเพาะฟักลงมาที่ 10 พีพีที ปล่อยกลงไปในบ่อเลี้ยงทั้ง 6 บ่อ ในอัตราความหนาแน่น 100,000 ตัวต่อไร่ (63 ตัวต่อตารางเมตร)

2.4 การเลี้ยงและการให้อาหาร

ให้อาหารเม็ดสำเร็จรูปสำหรับกุ้งขาวแวนนาไมที่มีปริมาณโปรตีน 38 เปอร์เซ็นต์ ไขมัน 4 เปอร์เซ็นต์ ความชื้น 12 เปอร์เซ็นต์ และใยอาหาร (fiber) 4 เปอร์เซ็นต์ ให้อาหารวันละ 4 ครั้ง คือ 7.00, 11.00, 16.00 และ 20.00 น. โดยเริ่มให้อาหารวันแรกในปริมาณ 1 กิโลกรัมต่อกุ้ง 100,000 ตัว หลังจากนั้นเพิ่มอาหาร 200 กรัมต่อกุ้ง 100,000 ตัวต่อวัน เมื่อกุ้งอายุ 21 วัน จึงเริ่มทำการปรับอาหารตามขอ โดยเริ่มจากให้อาหารในขอ 1 กรัมต่ออาหาร 1 กิโลกรัม ใช้เวลาตรวจอาหารในขอ 2.30 ชั่วโมง เมื่อกุ้งอายุ 60 วัน ให้อาหารในขอ 5 กรัมต่ออาหาร 1 กิโลกรัม ใช้เวลาตรวจอาหารในขอ 2 ชั่วโมง และเมื่อกุ้งอายุ 90 วัน ให้อาหารในขอ 7 กรัมต่ออาหาร 1 กิโลกรัม ใช้เวลาตรวจอาหารในขอ 1.30 ชั่วโมง ในระหว่างการเลี้ยงใน 30 วันแรกไม่มีการถ่ายน้ำ แต่จะมีการเติมน้ำจากบ่อพักน้ำเข้ามาทดแทนส่วนที่ระเหยหรือซึมออกไปและเมื่อความเค็มของน้ำในบ่อเลี้ยงลดลงเรื่อยๆ ในกรณีที่มิฝนตกติดต่อกันหลายวันจะนำน้ำเค็มจากนาเกลือมาเติม เพื่อเพิ่มความเค็มของน้ำในบ่อเลี้ยงให้อยู่ในระดับที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโต การถ่ายน้ำจะเริ่มขึ้นเมื่อคุณสมบัติของน้ำในบ่อเริ่มมีแนวโน้มไม่เหมาะสมน้ำที่ถ่ายออกจะนำไปเก็บไว้ในบ่อพักน้ำ ส่วนน้ำที่เติมเข้าไปในบ่อจะเป็นน้ำที่มาจากบ่อพักน้ำ

2.5 การใช้เครื่องให้อากาศ

ในบ่อเลี้ยงกุ้งขาวแวนนาไมทั้ง 15 บ่อ ใช้เครื่องให้อากาศแบบมอเตอร์ไฟฟ้าขนาด 3 แรงม้า จำนวน 8 เครื่องต่อบ่อแต่ละบ่อมี 1 แขน มีใบพัดตีน้ำจำนวน 14 ใบ โดยจำนวนของเครื่องจะใช้แตกต่างกันตามอายุกุ้ง เช่น กุ้งอายุ 1 เดือนใช้เครื่องให้อากาศ 4 เครื่อง ส่วนการเปิดเครื่องให้อากาศในเวลากลางวันเริ่มเปิดหลังจากหว่านอาหารไปแล้ว 2.30 ชั่วโมง และปิดก่อนให้อาหาร 30 นาที สำหรับเวลากลางคืนเริ่มเปิดเวลา 20.00 น. เป็นต้นไป จนถึงตอนเช้าเวลาประมาณ 7.00 น. ในกรณีที่บางช่วงที่ตอนกลางวันมีสภาพอากาศมีคลื่น หรือมีฝนตกปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำมีค่าต่ำ ปริมาณ

แอมโมเนียหรือไนไตรท์สูง หรือมีแพลงก์ตอนพืชตายเป็นจำนวนมากก็จะเปิดเครื่องให้อากาศตลอดเวลา

2.6 การเติมจุลินทรีย์

เติมจุลินทรีย์ในบ่อทดลองที่ช่วงอายุกุ้ง 3 ช่วง คือ 30-35, 85-90 และ 110-120 วัน แต่ละช่วงอายุจะเติมแบคทีเรีย 2 ครั้ง คือเมื่อเริ่มทดลองและหลังจากเริ่มทดลอง 3 วัน โดยจุลินทรีย์ที่ใช้มีชื่อทางการค้าว่า PondProtect จากบริษัท Novozymes Biological, Inc. ประเทศสหรัฐอเมริกา ซึ่งประกอบด้วยแบคทีเรีย 2 สายพันธุ์ คือ *Nitrosomonas eutropha* และ *Nitrobacter winogradskyi* บรรจุอยู่ในถุงที่สามารถละลายน้ำได้ แต่ละถุงมีน้ำหนัก 200 กรัม ใส่ไว้ละ 1 ถุง โดยโยนของจุลินทรีย์หน้าเครื่องหน้าให้อากาศหรือผสมน้ำก่อนสาด (ภาพที่ 12)

2.7 การศึกษาคุณสมบัติน้ำ

เก็บตัวอย่างน้ำในบ่อเลี้ยงทั้ง 6 บ่อ จากบริเวณกลางบ่อและขอบบ่อ (ภาพที่ 13 และ 14) ในวันที่ 2, 3, 5, 7, 10 และ 14 หลังเติมจุลินทรีย์ ที่เวลาประมาณ 11.00-12.00 น. เพื่อวิเคราะห์ค่าปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำ อุณหภูมิ พีเอช ความเค็ม ความเป็นด่าง ปริมาณแอมโมเนีย ไนไตรท์ และไนเตรท การวิเคราะห์คุณสมบัติน้ำที่ทำการศึกษา มีดังนี้

- อุณหภูมิ น้ำ วิเคราะห์โดยใช้เครื่อง Ecoscan pH 5/6
- พีเอช วิเคราะห์โดยใช้เครื่องวัดพีเอช Ecoscan pH 5/6
- ปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำ วิเคราะห์โดยใช้เครื่อง YSI DO 200-4M
- ความเค็ม วิเคราะห์โดยใช้เครื่อง YSI 30/10 FT
- ความเป็นด่างรวม วิเคราะห์โดยใช้วิธี titration (APHA *et al.* , 1995)
- แอมโมเนียรวม วิเคราะห์โดยใช้วิธี phenol-hypochlorite method (APHA *et al.* , 1995)
- ไนไตรท์ วิเคราะห์โดยใช้วิธีของ APHA *et al.* (1995)
- ไนเตรท วิเคราะห์โดยใช้วิธีของ APHA *et al.* (1995)

3. การเปรียบเทียบน้ำหนักเฉลี่ย อัตราการรอดตาย อัตราการแลกเนื้อและปริมาณผลผลิตของบ่อเลี้ยงกุ้งขาวแวนนาไมที่โนนศรีโพธิ์องแบคที่เรียและบ่อควบคุม

3.1 การศึกษาอัตราการรอดตาย

$$\text{อัตราการรอดตาย (เปอร์เซ็นต์)} = \frac{\text{จำนวนกุ้งที่เหลือ}}{\text{จำนวนกุ้งที่ปล่อยทั้งหมด}} \times 100$$

3.2 การศึกษาอัตราการแลกเนื้อ

$$\text{อัตราการแลกเนื้อ} = \frac{\text{ปริมาณอาหารที่ให้ทั้งหมด (กิโลกรัม)}}{\text{น้ำหนักกุ้งที่จับได้ทั้งหมด (กิโลกรัมต่อบ่อ)}}$$

3.3 การศึกษาปริมาณผลผลิต

$$\text{ปริมาณผลผลิต (กิโลกรัมต่อไร่)} = \frac{\text{น้ำหนักกุ้งที่จับได้ทั้งหมด (กิโลกรัม)}}{\text{พื้นที่บ่อ (ไร่)}}$$

4. การศึกษาเปรียบเทียบต้นทุนและผลตอบแทนของป่อเลี้ยงกุ้งขาวแวนนาไมที่ไนโตรไฟอิง แบคทีเรียและบ่อควบคุม

4.1 การวิเคราะห์ต้นทุนและผลตอบแทนจากการเลี้ยงกุ้งขาวแวนนาไมด้วยน้ำความเค็มต่ำ
ตามวิธีของ ศศิวิมล (2544) และ จักรกฤษ (2547) มีรายละเอียด ดังนี้

$$\begin{aligned} \text{ต้นทุน} = & \text{ค่าพันธุ์กุ้ง} + \text{ค่าอาหารกุ้ง} + \text{ค่าไฟฟ้าและน้ำมันเชื้อเพลิง} + \text{ค่าน้ำเค็ม} + \\ & \text{ค่าวัสดุปูนและเคมีภัณฑ์} + \text{ค่าแรงงาน} + \text{ค่าอุปกรณ์และซ่อมบำรุง} + \\ & \text{ค่าใช้จ่ายเบ็ดเตล็ด} + \text{ค่าเช่าที่ดิน} + \text{ค่าปรับปรุงบ่อ} + \text{ค่าดอกเบี้ย} \end{aligned}$$

$$\text{ผลตอบแทนทั้งหมด} = \text{ปริมาณผลผลิตกุ้ง} \times \text{ราคากุ้งที่ขายได้}$$

$$\text{ผลตอบแทนสุทธิ} = \text{ผลตอบแทนทั้งหมด} - \text{ต้นทุนผันแปร}$$

$$\text{กำไรสุทธิ} = \text{ผลตอบแทนทั้งหมด} - \text{ต้นทุนทั้งหมด}$$

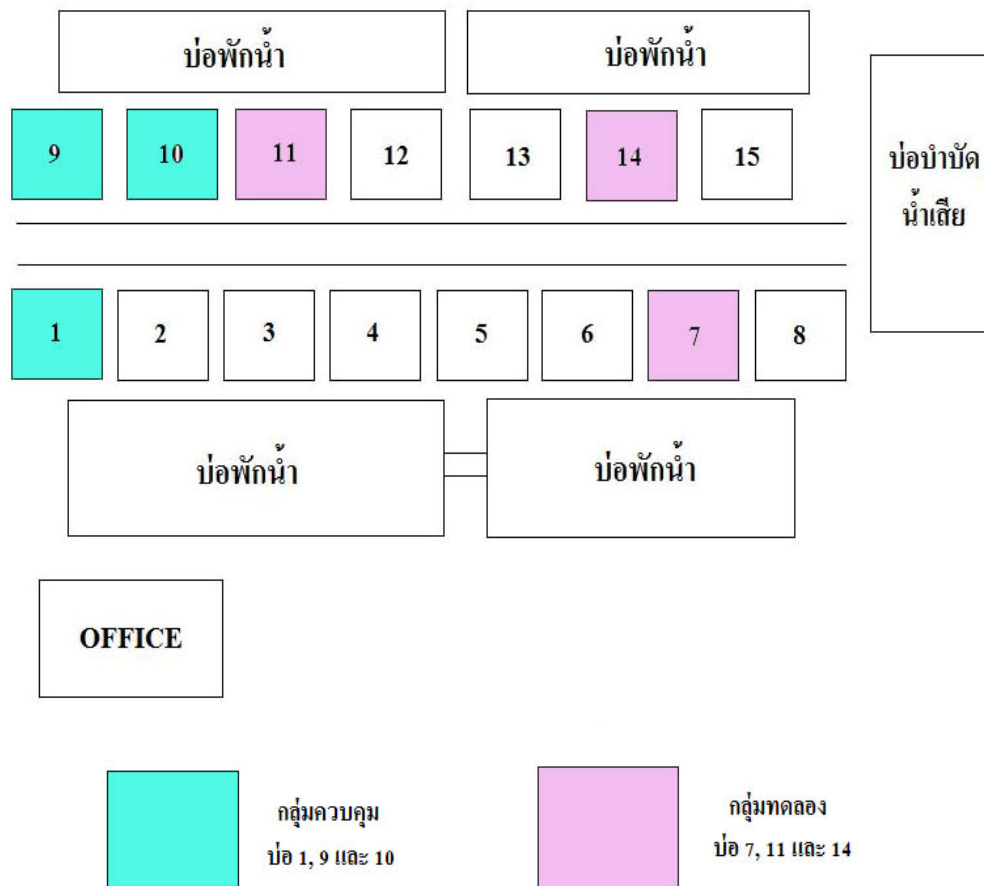
4.2 องค์ประกอบของผลตอบแทนของการลงทุนประกอบด้วยผลตอบแทนทางตรงจากรายได้จากการขายกุ้งที่ได้จากการเลี้ยงซึ่งคำนวณจาก

$$\text{รายได้จากการขายกุ้ง} = \text{ปริมาณผลผลิตกุ้ง} \times \text{ราคากุ้งที่ขายได้}$$

ซึ่งผลตอบแทนหรือรายได้มาจากการขายกุ้งเพียงอย่างเดียว

5. การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

นำข้อมูลปริมาณแอมโมเนีย ไนไตรท์ และคุณสมบัติของน้ำของบ่อที่มีการใช้ ไนโตรไฟอิงแบคทีเรียและบ่อควบคุมมาเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยระหว่างชุดทดลอง โดยใช้ t-test (Steel and Torrie, 1980)



ภาพที่ 10 แผนผังนครพงษ์ฟาร์ม จังหวัดราชบุรี



ภาพที่ 11 A, B บ่อเลี้ยงกุ้งขาวแวนนาไมที่ทำการทดลอง

สถานที่และระยะเวลาทำการวิจัย

สถานที่ทำการวิจัย

ฟาร์มเลี้ยงกุ้งเอกชน อ.ปากท่อ จ. ราชบุรี
 ห้องปฏิบัติการศูนย์วิจัยธุรกิจเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ อาคารจินดาเทียมนเมธ ภาควิชาชีววิทยา
 ประมง มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตบางเขน กรุงเทพมหานคร

ระยะเวลาการวิจัย

ระหว่างเดือนพฤษภาคม 2551 – ธันวาคม 2551

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

ผลจากการวิจัยสามารถใช้เป็นข้อมูลเบื้องต้นในการใช้ไนตริไฟอิงแบคทีเรีย เพื่อลด
 ปริมาณแอมโมเนียและไนไตรท์ในบ่อเลี้ยงกุ้งขาวแวนนาไมที่ระยะต่าง ๆ ตลอดจนเพิ่ม
 ประสิทธิภาพการผลิตของบ่อเลี้ยงกุ้งต่อไป

แหล่งทุนสนับสนุน

บริษัท Novozymes Biological, Inc. ประเทศสหรัฐอเมริกา



ภาพที่ 12 การใส่แบคทีเรียในบ่อเลี้ยงกุ้งที่อายุ 30, 85 และ 110 วัน



ภาพที่ 13 การเก็บตัวอย่างน้ำและวัดคุณภาพน้ำบริเวณกลางบ่อ



ภาพที่ 14 การเก็บตัวอย่างน้ำและวัดคุณภาพน้ำบริเวณขอบบ่อ

ผลและวิจารณ์

1. การศึกษาผลของไนโตรไฟอิงแบคทีเรียในการควบคุมปริมาณแอมโมเนียและไนไตรท์ในห้องปฏิบัติการ

ผลของไนโตรไฟอิงแบคทีเรียต่อคุณสมบัติของน้ำ (ตารางที่ 1) กลุ่มที่ 1 (กลุ่มควบคุม) ไม่มีการเติมแบคทีเรีย ส่วนกลุ่มที่ 2, 3 และ 4 (กลุ่มทดลอง) เติมแบคทีเรีย 0.1, 0.5 และ 1 มิลลิกรัมต่อลิตรตามลำดับ พบว่าสัปดาห์แรกของการทดลองปริมาณแอมโมเนียในทุกกลุ่มที่เติมจุลินทรีย์มีค่าต่ำที่สุดในวันที่ 5 ของการทดลองโดยแต่ละกลุ่มมีค่าเฉลี่ย 2.30 ± 0.21 , 0.90 ± 0.12 , 0.88 ± 0.10 และ 0.80 ± 0.12 มิลลิกรัมต่อลิตรตามลำดับ (ภาพที่ 15) ซึ่งต่ำกว่ากลุ่มควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) ส่วนปริมาณไนไตรท์ลดลงแตกต่างจากกลุ่มควบคุม ในวันที่ 4 โดยมีค่าเฉลี่ย 2.88 ± 0.03 , 2.58 ± 0.01 , 2.56 ± 0.02 และ 2.54 ± 0.01 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ (ภาพที่ 16) ในขณะที่กลุ่มควบคุมปริมาณแอมโมเนียและไนไตรท์เพิ่มขึ้นต่อเนื่องตลอดการทดลอง หลังจากการเติมแบคทีเรียซ้ำอีกครั้งในวันที่ 7 พบว่าแนวโน้มของปริมาณแอมโมเนียและไนไตรท์ในสัปดาห์ที่ 2 คล้ายคลึงกับสัปดาห์แรก คือ ปริมาณแอมโมเนียและไนไตรท์ทุกกลุ่มที่เติมจุลินทรีย์มีค่าต่ำกว่ากลุ่มทดลองอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) จนสิ้นสุดการทดลอง โดยทั้งปริมาณแอมโมเนียและไนไตรท์มีค่าต่ำที่สุดในวันที่ 10 แต่ละกลุ่มการทดลองมีค่าแอมโมเนียเฉลี่ย 2.49 ± 0.05 , 1.33 ± 0.03 , 1.29 ± 0.02 และ 1.22 ± 0.01 มิลลิกรัมต่อลิตรตามลำดับ ส่วนไนไตรท์มีค่าเฉลี่ย 3.86 ± 0.06 , 2.18 ± 0.04 , 2.11 ± 0.01 และ 2.03 ± 0.05 มิลลิกรัมต่อลิตรตามลำดับ เนื่องจากการเติมไนโตรไฟอิงแบคทีเรียซึ่งมีความสามารถในการออกซิไดซ์สารประกอบอินทรีย์ในโตรเจน ได้แก่ แอมโมเนีย (NH_3) ให้เป็นอนินทรีย์ในโตรเจน คือ ไนไตรท์ (NO_2^-) และไนเตรท (NO_3^-) ตามลำดับ ซึ่งแบคทีเรียดังกล่าวสามารถแบ่งได้ 2 กลุ่ม คือ ammonium oxidizing bacteria ชนิดที่สำคัญในกลุ่มนี้ได้แก่ *Nitrosomonas* sp. เป็นแบคทีเรียที่เปลี่ยนแอมโมเนียเป็นไนไตรท์ ส่วนกลุ่มที่ 2 คือ nitrite oxidizing bacteria ชนิดที่สำคัญในกลุ่มนี้ได้แก่ *Nitrobacter* sp. เป็นแบคทีเรียที่เปลี่ยนไนไตรท์เป็นไนเตรท โดยกระบวนการเปลี่ยนแอมโมเนียเป็นไนไตรท์และไนเตรท เรียกว่ากระบวนการไนตริฟิเคชัน (nitrification) จากนั้นไนไตรท์และไนเตรทจะเข้าสู่กระบวนการดีไนตริฟิเคชัน (denitrification) โดยไนเตรทจะถูกรีดิวซ์กลายเป็นไนโตรเจน (N_2) หรือไนตรัสออกไซด์ (N_2O) ออกสู่บรรยากาศ (Yanagita, 1990; Bitton, 1994) ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของสาลินี (2546) พบว่าภายใต้สภาวะที่มีออกซิเจนจะเกิดการเปลี่ยนแปลงของปริมาณแอมโมเนียและไนไตรท์ เนื่องจากเกิดกระบวนการไนตริฟิเคชันของ จุลินทรีย์ สังเกตจากปริมาณแอมโมเนียและไนไตรท์ที่ลดลง จากผลการทดลอง

ในช่วงแรกของการเติมแบคทีเรียจะมีปริมาณแอมโมเนียและไนไตรท์สูง เนื่องจากแบคทีเรียต้องใช้เวลารับตัวให้เข้ากับสภาพแวดล้อมระยะหนึ่ง จึงสามารถใช้แอมโมเนียได้ทำให้ปริมาณแอมโมเนียลดต่ำที่สุดในวันที่ 5 ส่วนไนไตรท์ลดต่ำที่สุดในวันที่ 6 แต่หลังจากนั้นปริมาณแอมโมเนียและไนไตรท์ในทุกกลุ่มทดลองเพิ่มขึ้นอีก โดยเฉพาะในกลุ่มควบคุม แสดงว่าปริมาณแอมโมเนียและไนไตรท์จากการผสมอาหารกึ่งกับเลนจากบ่อเลี้ยงอยู่ในระดับที่สูง และมีการผลิตออกมาอย่างต่อเนื่องซึ่งสังเกตได้จากในกลุ่มควบคุม ตลอดระยะเวลาการทดลองในกลุ่มที่เติมแบคทีเรียทั้ง 3 กลุ่ม มีปริมาณแอมโมเนียและไนไตรท์ไม่แตกต่างกันทางสถิติ เนื่องจากการทำงานของไนตริไฟอิงแบคทีเรียในโหลทดลองมีขนาดพื้นที่ และปริมาณสารอาหารที่มีอยู่อย่างจำกัด ทำให้จุลินทรีย์เจริญเติบโตได้ไม่เต็มที่ ดังนั้นการเติมแบคทีเรียเพียงครั้งเดียวจึงสามารถลดปริมาณแอมโมเนียและไนไตรท์ได้ในระดับหนึ่งเท่านั้น หลังจากนั้นแบคทีเรียจึงเริ่มเข้าสู่ระยะสุดท้ายในการเจริญ (death phase) ซึ่งระยะนี้จำนวนเซลล์จะตายลง (Grega *et al.*, 1984) จึงเติมแบคทีเรียอีกครั้งในวันที่ 7 ของการทดลอง เพื่อเพิ่มปริมาณแบคทีเรียในกระบวนการไนตริไฟเคชัน ทำให้ปริมาณแอมโมเนียและไนไตรท์ลดลงในเวลาต่อมา ซึ่งในสภาพความเป็นจริงในบ่อเลี้ยงกึ่งมีการผลิตแอมโมเนียและไนไตรท์เพิ่มออกมาอย่างต่อเนื่องจากการเน่าเสียของพื้นบ่อหรืออาหารกึ่ง จำเป็นต้องมีการเติมแบคทีเรียเป็นระยะๆ ถ้าพิจารณาจากผลการทดลองครั้งนี้ควรเติมแบคทีเรียทุกๆ 5-6 วัน เพื่อป้องกันการเพิ่มขึ้นของแอมโมเนียและไนไตรท์ แต่ถ้าระดับแอมโมเนียไม่เพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องอาจจะเติมแบคทีเรียในช่วงเวลาที่ห่างกันมากกว่า 6 วันก็ได้ ในสภาพบ่อเลี้ยงกึ่งจริงปริมาณแอมโมเนียและไนไตรท์จะค่อยๆ เพิ่มขึ้นตามระยะเวลาการเลี้ยงจากการสะสมของเสียภายในบ่อและซากแพลงก์ตอน และปริมาณอาหารรวมทั้งสิ่งขับถ่ายจากกึ่งที่เพิ่มมากขึ้น เช่นเดียวกัน ดังนั้นในระยะแรกๆ ของการเลี้ยงอาจจะเติมแบคทีเรียในช่วงที่เว้นระยะห่างกันได้มากกว่าในช่วงเดือนสุดท้ายของการเลี้ยงหรือช่วงเวลาที่ปริมาณแพลงก์ตอนหนาแน่น สีนํ้าเข้มจัด และมีการเปลี่ยนถ่ายนํ้าบ่อย

นอกจากนี้ยังพบว่าในวันที่ 4 ปริมาณความเป็นด่างรวมของการทดลองทั้ง 4 กลุ่ม มีค่าเฉลี่ย 149.53 ± 1.14 , 144.87 ± 0.58 , 143.93 ± 0.31 และ 143.80 ± 0.53 มิลลิกรัมต่อลิตรตามลำดับ ซึ่งในกลุ่มทดลองลดลงแตกต่างจากกลุ่มควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) หลังจากนั้นความเป็นด่างรวมจะเพิ่มสูงขึ้นและเริ่มลดลงอีกครั้งในวันที่ 10 มีค่าเฉลี่ย 151.90 ± 1.61 , 142.52 ± 1.15 , 140.57 ± 1.65 และ 139.67 ± 0.91 มิลลิกรัมต่อลิตรตามลำดับ (ภาพที่ 17) เนื่องจากไนตริไฟอิงแบคทีเรียใช้คาร์บอนไดออกไซด์เป็นแหล่งคาร์บอน (chemolithotrophs) ในกระบวนการทำงานทำให้ค่าความเป็นด่างรวมในช่วงเวลาดังกล่าวมีค่าลดลง (Yanagita, 1990; Bitton, 1994) ส่วนในช่วง

เวลาอื่นๆ ของการทดลองค่าความเป็นด่างรวม ทั้ง 4 กลุ่ม มีค่าใกล้เคียงกัน ส่วนค่าพีเอชในช่วง สัปดาห์แรกของทั้ง 4 กลุ่มทดลองลดลงในวันที่ 5 มีค่าเฉลี่ย 8.77 ± 0.06 , 8.77 ± 0.06 , 8.63 ± 0.06 และ 8.57 ± 0.06 ตามลำดับ หลังจากนั้นพีเอชจะเพิ่มสูงขึ้นและเริ่มลดลงอีกครั้งในวันที่ 10 มีค่าเฉลี่ย 8.87 ± 0.06 , 8.77 ± 0.10 , 8.63 ± 0.12 และ 8.43 ± 0.15 โดยตลอดการทดลองค่าพีเอชของทุกกลุ่มการ ทดลองไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p > 0.05$) ทั้งนี้พีเอชเป็นดัชนีแสดงความเข้มข้นของไฮโดรเจน อีออน (H^+) ในน้ำ ในการทดลองครั้งนี้ไม่มีปริมาณแพลงก์ตอนมาเกี่ยวข้อง ทำให้ การเปลี่ยนแปลง ของค่าพีเอชสูงมากในแต่ละวัน

ดังนั้นจากการทดลองขึ้นต้นในห้องปฏิบัติการ พบว่าความเข้มข้นของไนตริไฟอิงแบคทีเรียที่ ต่ำที่สุด และมีประสิทธิภาพเพียงพอที่จะสามารถลดปริมาณแอมโมเนียและไนโตรที่ได้อีก คือ 0.1 มิลลิกรัมต่อลิตร จึงมีการนำ ไนตริไฟอิงแบคทีเรียที่ความเข้มข้นนี้มาใช้ทดลองในบ่อเลี้ยงกุ้งขาว แวนนาไมที่เลี้ยงด้วยน้ำความเค็มต่ำ

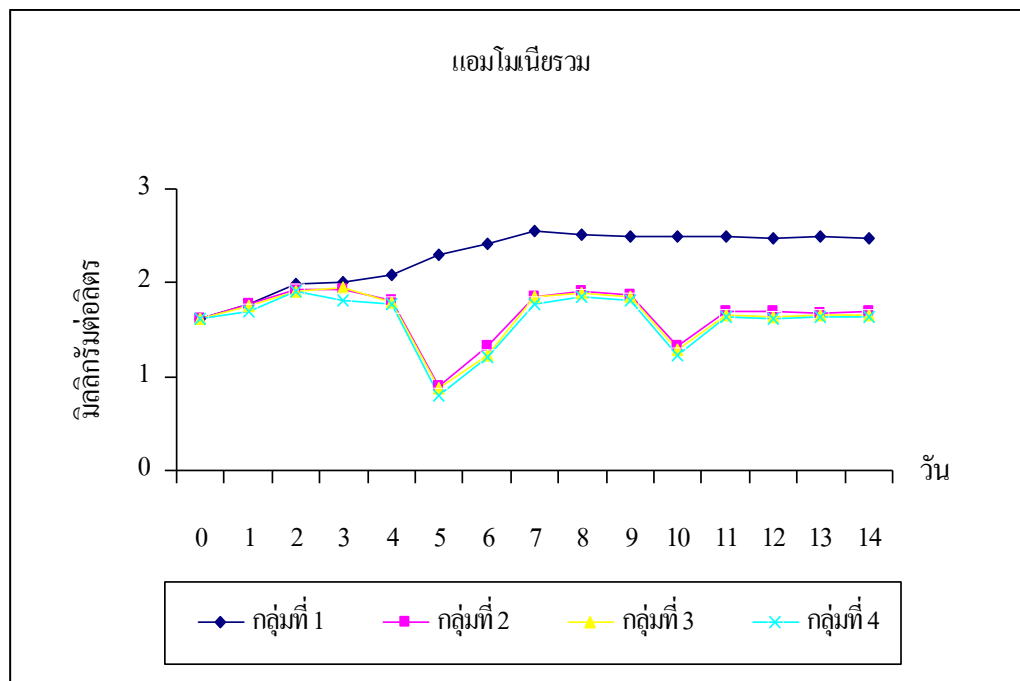
ตารางที่ 1 ผลของไนตริไฟอิงแบคทีเรียต่อคุณภาพน้ำในห้องปฏิบัติการ

วัน	พารามิเตอร์ (มิลลิกรัมต่อลิตร)	กลุ่มที่ 1 (กลุ่มควบคุม)	กลุ่มที่ 2 (0.1 ppm)	กลุ่มที่ 3 (0.5 ppm)	กลุ่มที่ 4 (1 ppm)
0	NH ₃	1.62 ± 0.16^a	1.62 ± 0.16^a	1.62 ± 0.16^a	1.62 ± 0.16^a
	NO ₂ ⁻	1.68 ± 0.01^a	1.68 ± 0.01^a	1.68 ± 0.01^a	1.68 ± 0.01^a
	Alkalinity	115.00 ± 2.11^a	115.00 ± 2.11^a	115.00 ± 2.11^a	115.00 ± 2.11^a
	pH	8.50	8.50	8.50	8.50
1	NH ₃	1.78 ± 0.08^a	1.77 ± 0.03^a	1.76 ± 0.05^a	1.69 ± 0.05^a
	NO ₂ ⁻	1.80 ± 0.01^a	1.79 ± 0.01^a	1.78 ± 0.04^a	1.77 ± 0.03^a
	Alkalinity	124.47 ± 2.34^a	121.87 ± 2.72^a	121.80 ± 2.91^a	120.07 ± 0.92^a
	pH	8.50 ± 0.10^a	8.47 ± 0.06^a	8.47 ± 0.06^a	8.47 ± 0.06^a
2	NH ₃	1.98 ± 0.13^a	1.92 ± 0.20^a	1.91 ± 0.24^a	1.90 ± 0.15^a
	NO ₂ ⁻	2.06 ± 0.03^a	2.06 ± 0.02^a	2.05 ± 0.04^a	2.04 ± 0.05^a
	Alkalinity	131.73 ± 2.72^a	130.93 ± 3.21^a	130.33 ± 1.55^a	130.30 ± 1.31^a
	pH	8.63 ± 0.06^a	8.60 ± 0.10^a	8.60 ± 0.10^a	8.57 ± 0.06^a
3	NH ₃	2.00 ± 0.20^a	1.93 ± 0.03^a	1.95 ± 0.08^a	1.81 ± 0.22^a
	NO ₂ ⁻	2.31 ± 0.03^a	2.23 ± 0.01^a	2.22 ± 0.10^a	2.21 ± 0.1^a
	Alkalinity	150.47 ± 0.76^a	149.60 ± 0.72^a	148.93 ± 0.99^a	146.80 ± 2.20^a
	pH	8.77 ± 0.06^a	8.77 ± 0.06^a	8.73 ± 0.06^a	8.73 ± 0.06^a
4	NH ₃	2.09 ± 0.20^a	1.81 ± 0.22^a	1.79 ± 0.08^a	1.78 ± 0.05^a
	NO ₂ ⁻	2.88 ± 0.03^b	2.58 ± 0.01^a	2.56 ± 0.02^a	2.54 ± 0.01^a
	Alkalinity	149.53 ± 1.14^b	144.87 ± 0.58^a	143.93 ± 0.31^a	143.80 ± 0.53^a
	pH	8.87 ± 0.06^a	8.87 ± 0.06^a	8.83 ± 0.06^a	8.83 ± 0.12^a
5	NH ₃	2.30 ± 0.21^b	0.90 ± 0.12^a	0.88 ± 0.10^a	0.80 ± 0.12^a
	NO ₂ ⁻	2.93 ± 0.08^b	2.49 ± 0.06^a	2.41 ± 0.05^a	2.39 ± 0.05^a
	Alkalinity	149.60 ± 0.69^b	145.07 ± 1.10^a	147.73 ± 0.90^a	143.07 ± 0.64^a
	pH	8.77 ± 0.06^a	8.77 ± 0.06^a	8.63 ± 0.06^a	8.57 ± 0.06^a
6	NH ₃	2.41 ± 0.24^b	1.33 ± 0.19^a	1.23 ± 0.06^a	1.21 ± 0.05^a
	NO ₂ ⁻	3.10 ± 0.15^b	1.99 ± 0.07^a	1.96 ± 0.05^a	1.94 ± 0.09^a
	Alkalinity	149.13 ± 1.10^a	148.93 ± 1.03^a	148.13 ± 0.95^a	147.67 ± 1.30^a
	pH	8.83 ± 0.06^a	8.77 ± 0.06^a	8.67 ± 0.06^a	8.67 ± 0.06^a
7	NH ₃	2.56 ± 0.02^b	1.88 ± 0.07^a	1.84 ± 0.07^a	1.78 ± 0.02^a
	NO ₂ ⁻	3.83 ± 0.07^b	2.47 ± 0.11^a	2.45 ± 0.09^a	2.39 ± 0.05^a
	Alkalinity	150.93 ± 1.40^a	150.20 ± 2.96^a	149.33 ± 0.61^a	147.73 ± 1.40^a
	pH	9.17 ± 0.06^a	9.13 ± 0.06^a	9.13 ± 0.06^a	9.13 ± 0.06^a

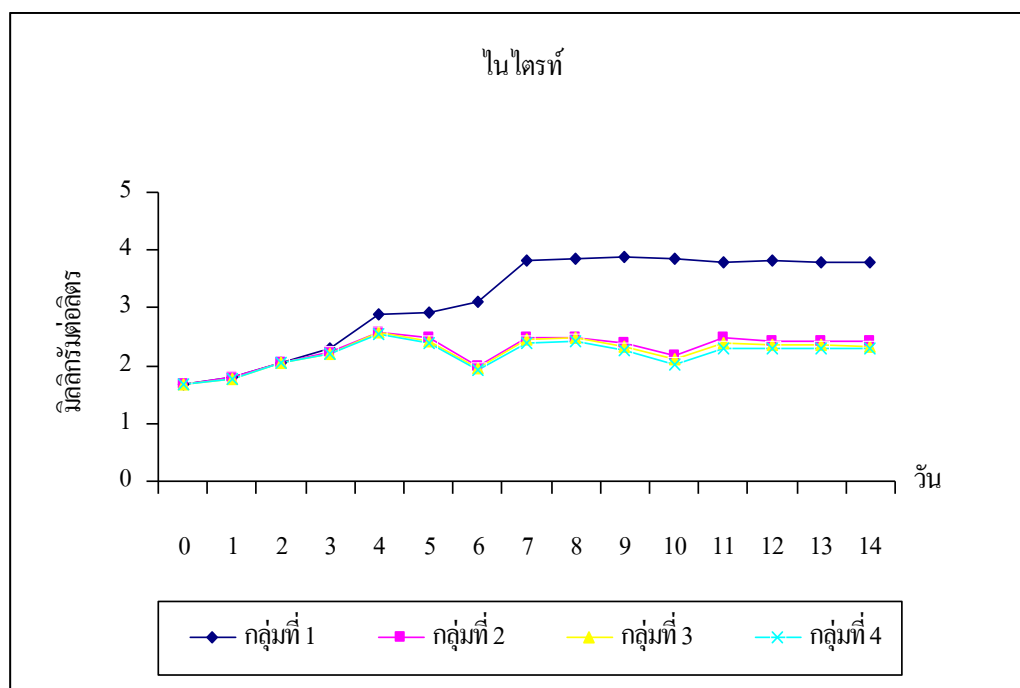
ตารางที่ 1 (ต่อ)

วัน	พารามิเตอร์ (มิลลิกรัมต่อลิตร)	กลุ่มที่ 1 (กลุ่มควบคุม)	กลุ่มที่ 2 (0.1 ppm)	กลุ่มที่ 3 (0.5 ppm)	กลุ่มที่ 4 (1 ppm)
8	NH ₃	2.51±0.04 ^b	1.90±0.04 ^a	1.88±0.04 ^a	1.85±0.05 ^a
	NO ₂ ⁻	3.85±0.06 ^b	2.49±0.02 ^{ab}	2.48±0.02 ^{ab}	2.41±0.01 ^a
	Alkalinity	150.84±1.22 ^a	150.60±1.11 ^a	149.94±0.10 ^a	149.25±0.65 ^a
	pH	9.13±0.01 ^a	9.13±0.03 ^a	9.13±0.01 ^a	9.13±0.01 ^a
9	NH ₃	2.50±0.01 ^b	1.87±0.03 ^a	1.85±0.03 ^a	1.81±0.03 ^a
	NO ₂ ⁻	3.89±0.03 ^b	2.40±0.06 ^a	2.34±0.03 ^a	2.26±0.07 ^a
	Alkalinity	152.01±1.73 ^a	150.33±0.89 ^a	149.34±1.44 ^a	148.63±1.53 ^a
	pH	8.93±0.15 ^a	8.93±0.06 ^a	8.80±0.10 ^a	8.77±0.15 ^a
10	NH ₃	2.49±0.05 ^b	1.33±0.03 ^{ab}	1.29±0.02 ^{ab}	1.22±0.01 ^a
	NO ₂ ⁻	3.86±0.06 ^b	2.18±0.04 ^a	2.11±0.01 ^a	2.03±0.05 ^a
	Alkalinity	151.90±1.61 ^b	142.52±1.15 ^a	140.57±1.65 ^a	139.67±0.91 ^a
	pH	8.87±0.06 ^a	8.77±0.10 ^a	8.63±0.12 ^a	8.43±0.15 ^a
11	NH ₃	2.49±0.05 ^b	1.70±0.07 ^a	1.66±0.05 ^a	1.63±0.01 ^a
	NO ₂ ⁻	3.79±0.06 ^c	2.47±0.01 ^b	2.40±0.02 ^b	2.30±0.01 ^a
	Alkalinity	153.08±1.52 ^b	139.83±0.83 ^a	138.97±1.14 ^a	134.18±1.93 ^a
	pH	8.63±0.21 ^a	8.60±0.10 ^a	8.53±0.47 ^a	8.40±0.20 ^a
12	NH ₃	2.48±0.06 ^b	1.69±0.04 ^a	1.64±0.07 ^a	1.62±0.04 ^a
	NO ₂ ⁻	3.82±0.06 ^b	2.43±0.04 ^a	2.37±0.06 ^a	2.29±0.06 ^a
	Alkalinity	150.57±0.81 ^b	140.38±0.96 ^{ab}	139.72±0.35 ^{ab}	135.33±1.10 ^a
	pH	8.73±0.06 ^a	8.67±0.21 ^a	8.60±0.10 ^a	8.53±0.12 ^a
13	NH ₃	2.49±0.01 ^b	1.68±0.01 ^a	1.65±0.02 ^a	1.64±0.04 ^a
	NO ₂ ⁻	3.80±0.02 ^b	2.42±0.01 ^{ab}	2.36±0.02 ^{ab}	2.30±0.01 ^a
	Alkalinity	148.82±1.03 ^b	141.32±1.07 ^a	141.19±1.68 ^a	140.36±0.82 ^a
	pH	8.67±0.06 ^a	8.63±0.06 ^a	8.57±0.15 ^a	8.53±0.15 ^a
14	NH ₃	2.48±0.03 ^b	1.69±0.01 ^a	1.65±0.04 ^a	1.64±0.01 ^a
	NO ₂ ⁻	3.80±0.09 ^b	2.42±0.02 ^{ab}	2.34±0.03 ^{ab}	2.29±0.02 ^a
	Alkalinity	148.51±1.55 ^b	141.39±1.00 ^a	140.60±0.57 ^a	140.26±0.37 ^a
	pH	8.53±0.12 ^a	8.53±0.21 ^a	8.53±0.12 ^a	8.50±0.10 ^a

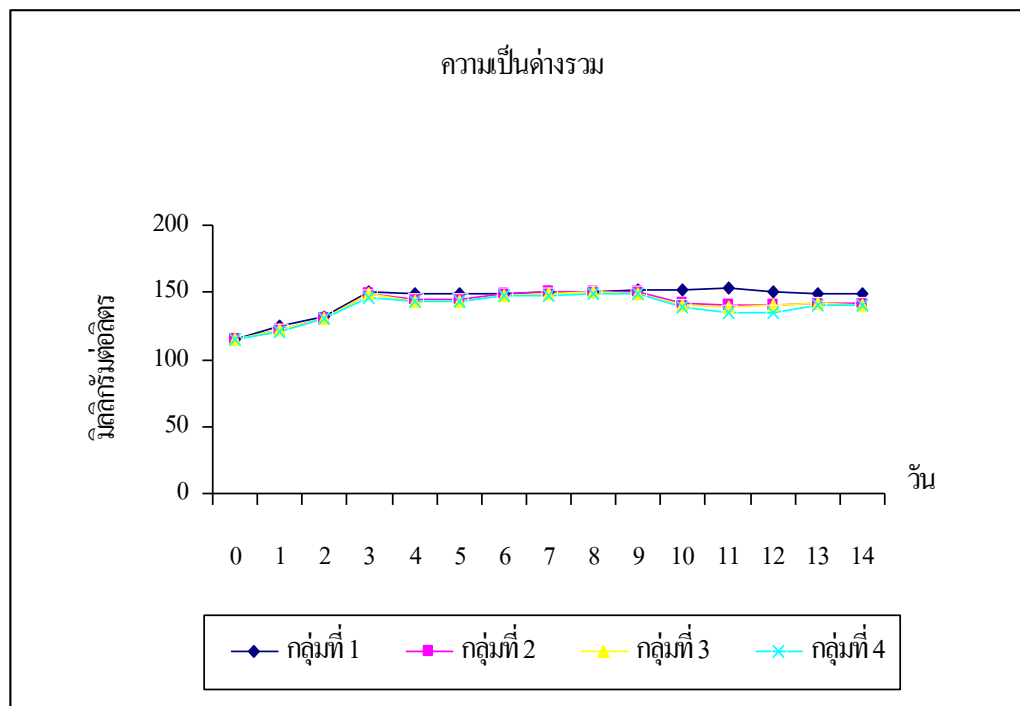
หมายเหตุ ค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานในแนวนอนที่กำกับด้วยอักษรที่แตกต่างกัน
มีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ (p<0.05)



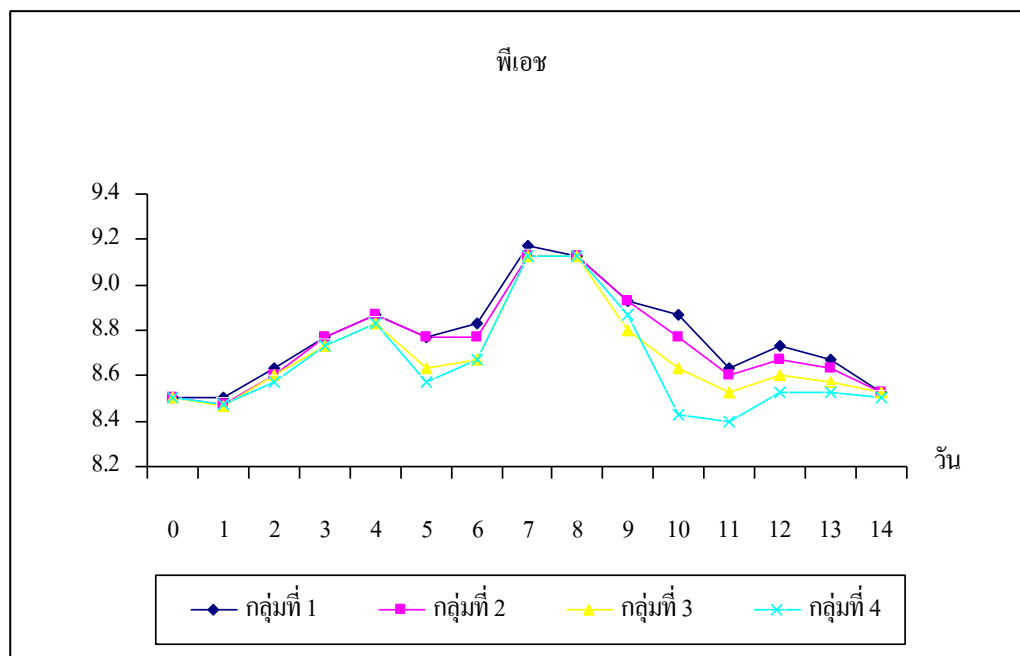
ภาพที่ 15 การเปลี่ยนแปลงแอมโมเนียรวมตลอดการทดลอง



ภาพที่ 16 การเปลี่ยนแปลงไนไตรท์ตลอดการทดลอง



ภาพที่ 17 การเปลี่ยนแปลงความเป็นต่างรวมตลอดการทดลอง



ภาพที่ 18 การเปลี่ยนแปลงพีเอชตลอดการทดลอง

2. การศึกษาผลของไนตริไฟอิงแบคทีเรียในการควบคุมปริมาณแอมโมเนียและไนโตรเจนในบ่อเลี้ยงกุ้งขาวแวนนาไม

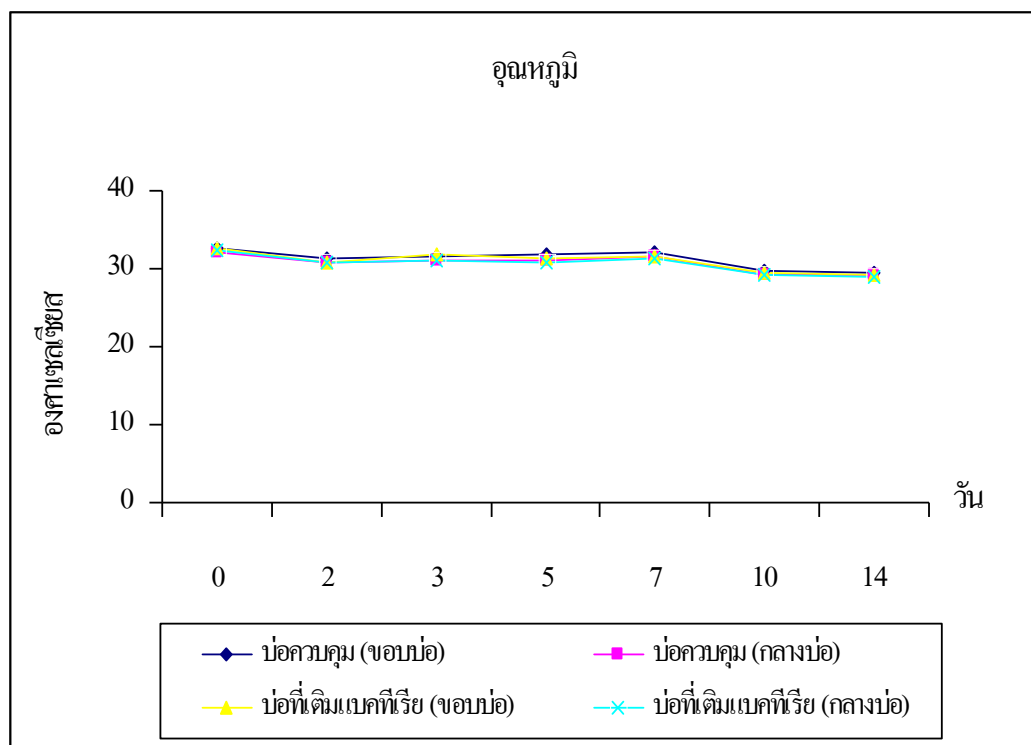
คุณสมบัติของน้ำในบ่อทดลองและบ่อควบคุม แสดงไว้ในตารางที่ 2-25 และภาพที่ 19-20 ซึ่งในแต่ละพารามิเตอร์ มีดังนี้

2.1 อุณหภูมิ

อุณหภูมิเฉลี่ยของบ่อควบคุมและบ่อทดลองทั้ง 3 ช่วงอายุกุ้ง คือ 30, 85 และ 110 วัน ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) โดยบริเวณขอบบ่อของบ่อควบคุม ทั้ง 3 ช่วงอายุ มีค่าระหว่าง 29.50-32.67, 28.27-29.07 และ 28.70-30.83 องศาเซลเซียส บริเวณกลางบ่อมีค่าระหว่าง 29.30-32.07, 28.27-28.80 และ 28.83-30.03 องศาเซลเซียส ตามลำดับ ส่วนบริเวณขอบบ่อของบ่อทดลอง มีค่าระหว่าง 29.17-32.67, 28.43-28.80 และ 29.00-30.40 องศาเซลเซียส บริเวณกลางบ่อมีค่าระหว่าง 28.90-32.33, 28.17-29.30 และ 28.97-30.10 องศาเซลเซียส ตามลำดับ (ตารางที่ 2-4 และภาพที่ 19-21) ทั้งนี้บ่อที่ทำการศึกษาอยู่ในฟาร์มเดียวกันและช่วงเวลาเดียวกัน ได้รับอิทธิพลจากปัจจัยภายนอกและสิ่งแวดล้อม คือ แสงแดด อุณหภูมิของอากาศ และปริมาณน้ำฝนและอื่นๆ เหมือนกัน ดังนั้นอุณหภูมิจากทุกบ่อจึงมีค่าใกล้เคียงกัน โดยตลอดระยะเวลาการเลี้ยง อุณหภูมิในบ่อควบคุมและบ่อทดลองในช่วงเวลาที่ทำการศึกษาอยู่ในระดับที่เหมาะสมต่อการเลี้ยงกุ้งขาวแวนนาไมซึ่งอยู่ระหว่าง 26-33 องศาเซลเซียส (Wickins and Lee, 2002)

ตารางที่ 2 อุณหภูมิในบ่อควบคุมและบ่อทดลองที่ใช้ในตริฟองแบคทีเรีย ในกึ่งอายุ 30 วัน

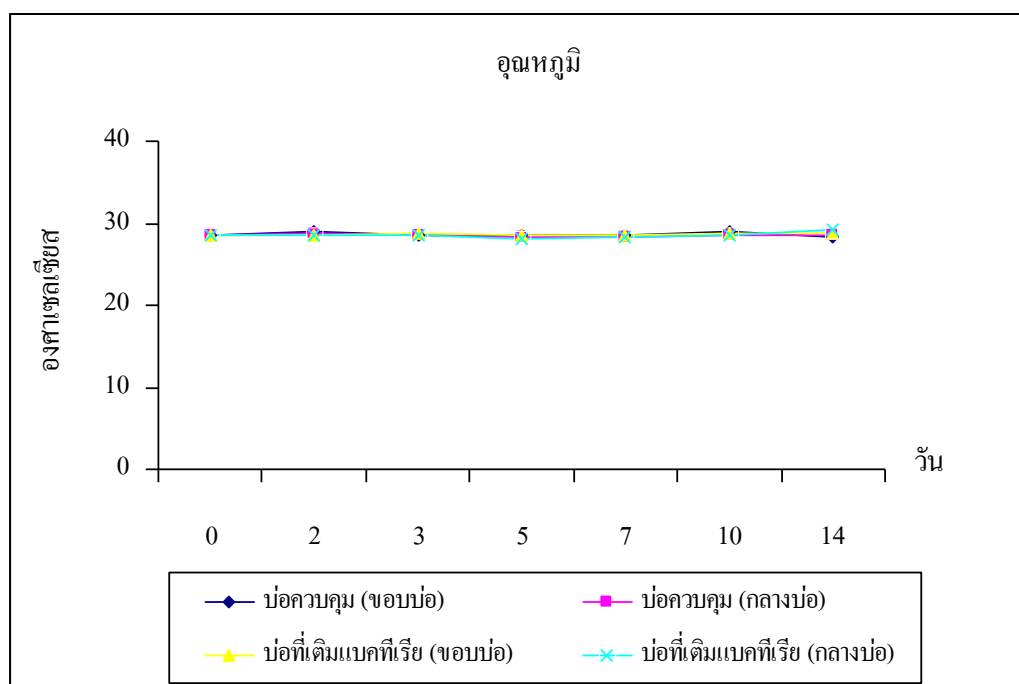
		บ่อควบคุม				บ่อทดลองที่ใช้ในตริฟองแบคทีเรีย			
		1	9	10	เฉลี่ย	7	11	14	เฉลี่ย
0	ขอบบ่อ	32.90	31.80	33.30	32.67±0.78 ^a	32.90	32.70	32.40	32.67±0.25 ^a
	กลางบ่อ	32.60	31.40	32.20	32.07±0.61 ^a	32.70	32.20	32.10	32.33±0.32 ^a
2	ขอบบ่อ	31.10	31.60	31.00	31.23±0.32 ^a	30.90	30.90	31.30	31.03±0.23 ^a
	กลางบ่อ	30.70	31.20	30.30	30.73±0.45 ^a	30.70	30.80	30.50	30.67±0.15 ^a
3	ขอบบ่อ	30.70	32.40	31.60	31.57±0.85 ^a	30.30	32.80	32.40	31.83±1.34 ^a
	กลางบ่อ	30.60	31.40	31.40	31.13±0.46 ^a	30.30	31.30	31.50	31.03±0.64 ^a
5	ขอบบ่อ	31.60	32.80	31.30	31.90±0.79 ^a	31.40	31.30	31.00	31.23±0.21 ^a
	กลางบ่อ	30.70	31.70	30.90	31.10±0.53 ^a	31.00	30.80	30.60	30.80±0.20 ^a
7	ขอบบ่อ	32.10	32.20	31.80	32.03±0.21 ^a	31.30	32.30	31.30	31.63±0.58 ^a
	กลางบ่อ	31.30	32.10	31.60	31.67±0.40 ^a	31.20	31.30	31.30	31.27±0.06 ^a
10	ขอบบ่อ	29.00	30.50	29.60	29.70±0.75 ^a	29.80	29.30	29.30	29.47±0.29 ^a
	กลางบ่อ	28.80	29.70	29.40	29.30±0.46 ^a	28.90	29.20	29.30	29.13±0.21 ^a
14	ขอบบ่อ	29.60	29.60	29.30	29.50±0.17 ^a	29.10	29.10	29.30	29.17±0.12 ^a
	กลางบ่อ	29.10	29.60	29.20	29.30±0.26 ^a	28.90	29.10	28.70	28.90±0.20 ^a



ภาพที่ 19 การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของน้ำในกึ่งอายุ 30 วัน

ตารางที่ 3 อุณหภูมิในบ่อควบคุมและบ่อดลองที่ใช้ในตริไฟอิงแบคทีเรียในกุ้งอายุ 85 วัน

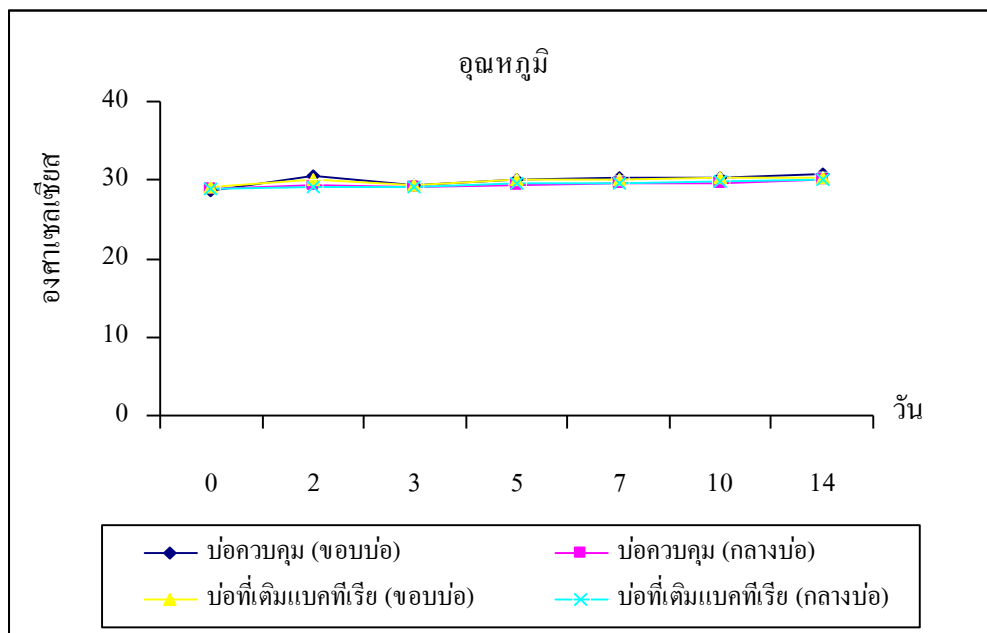
บ่อ วันที่		บ่อควบคุม				บ่อทดลองที่ใช้ในตริไฟอิงแบคทีเรีย			
		1	9	10	เฉลี่ย	7	11	14	เฉลี่ย
0	ขอบบ่อ	28.30	28.40	28.60	28.43±0.15 ^a	28.50	28.70	28.50	28.57±0.12 ^a
	กลางบ่อ	28.40	28.80	28.60	28.60±0.20 ^a	28.60	28.60	28.70	28.63±0.06 ^a
2	ขอบบ่อ	29.00	28.70	29.50	29.07±0.40 ^a	28.80	28.50	28.60	28.63±0.15 ^a
	กลางบ่อ	28.80	28.50	29.10	28.80±0.30 ^a	28.60	28.40	28.50	28.50±0.10 ^a
3	ขอบบ่อ	28.50	28.60	28.70	28.60±0.10 ^a	28.70	28.80	28.70	28.73±0.06 ^a
	กลางบ่อ	28.50	28.40	28.60	28.50±0.10 ^a	28.70	28.60	28.60	28.63±0.06 ^a
5	ขอบบ่อ	28.50	28.30	28.60	28.47±0.15 ^a	28.40	28.60	28.50	28.50±0.10 ^a
	กลางบ่อ	28.20	28.20	28.40	28.27±0.12 ^a	28.30	28.10	28.10	28.17±0.12 ^a
7	ขอบบ่อ	28.50	28.50	28.40	28.47±0.06 ^a	28.40	28.50	28.40	28.43±0.06 ^a
	กลางบ่อ	28.30	28.30	28.50	28.37±0.12 ^a	28.30	28.30	28.20	28.27±0.06 ^a
10	ขอบบ่อ	29.00	28.90	28.90	28.93±0.06 ^a	28.60	28.90	28.50	28.67±0.21 ^a
	กลางบ่อ	28.50	28.70	28.60	28.60±0.10 ^a	28.50	29.60	28.50	28.53±0.06 ^a
14	ขอบบ่อ	28.00	28.00	28.80	28.27±0.49 ^a	29.00	28.90	28.50	28.80±0.26 ^a
	กลางบ่อ	28.00	28.20	29.20	28.47±0.64 ^a	29.70	29.20	29.00	29.30±0.36 ^a



ภาพที่ 20 การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของน้ำในกุ้งอายุ 85 วัน

ตารางที่ 4 อุณหภูมิในบ่อควบคุมและบ่อทดลองที่ใช้ในตริไฟอิงแบคทีเรียในกุ้งอายุ 110 วัน

บ่อ วันที่		บ่อควบคุม				บ่อทดลองที่ใช้ในตริไฟอิงแบคทีเรีย			
		1	9	10	เฉลี่ย	7	11	14	เฉลี่ย
0	ขอบบ่อ	29.00	28.30	28.80	28.70±0.36 ^a	29.00	28.90	29.10	29.00±0.10 ^a
	กลางบ่อ	28.80	28.50	29.20	28.83±0.35 ^a	28.70	29.20	29.00	28.97±0.25 ^a
2	ขอบบ่อ	28.90	32.60	30.20	30.57±1.88 ^a	30.00	30.00	30.20	30.07±0.12 ^a
	กลางบ่อ	28.90	30.40	29.10	29.47±0.81 ^a	29.00	29.10	29.10	29.07±0.06 ^a
3	ขอบบ่อ	29.00	29.60	29.50	29.37±0.32 ^a	29.00	30.20	29.10	29.43±0.67 ^a
	กลางบ่อ	28.90	29.00	29.30	29.07±0.21 ^a	29.00	29.30	29.10	29.13±0.15 ^a
5	ขอบบ่อ	30.10	29.60	30.40	30.03±0.40 ^a	29.10	30.90	-	30.00±1.27 ^a
	กลางบ่อ	29.10	28.90	30.10	29.37±0.64 ^a	28.90	30.20	-	29.55±0.92 ^a
7	ขอบบ่อ	30.50	30.00	30.30	30.27±0.25 ^a	30.10	30.20	-	30.15±0.07 ^a
	กลางบ่อ	29.40	29.90	29.80	29.70±0.26 ^a	29.40	29.90	-	29.65±0.35 ^a
10	ขอบบ่อ	30.20	29.70	30.90	30.27±0.60 ^a	30.50	30.20	-	30.35±0.21 ^a
	กลางบ่อ	29.40	29.60	29.90	29.63±0.25 ^a	29.90	29.70	-	29.80±0.14 ^a
14	ขอบบ่อ	31.00	30.80	30.70	30.83±0.15 ^a	-	30.40	-	30.40 ^a
	กลางบ่อ	29.80	29.90	30.40	30.03±0.32 ^a	-	30.10	-	30.10 ^a



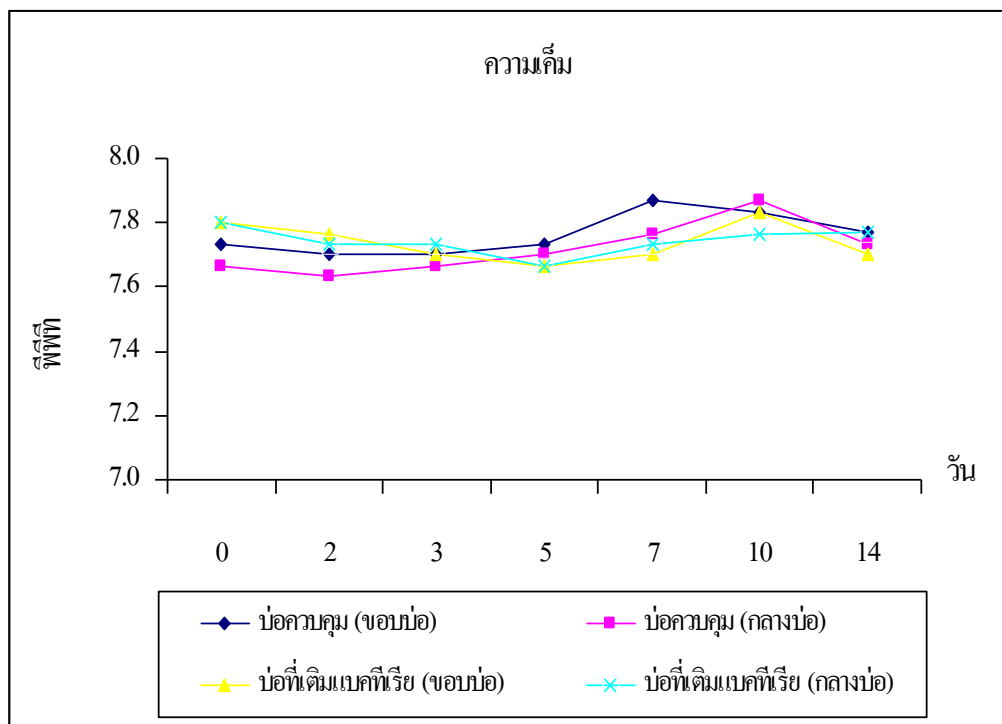
ภาพที่ 21 การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของน้ำในกุ้งอายุ 110 วัน

1.2 ความเค็ม

ความเค็มเฉลี่ยของบ่อควบคุมและบ่อทดลองในกุ้งทั้ง 3 ช่วงอายุ คือ 30, 85 และ 110 วัน ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p>0.05$) โดยบริเวณขอบบ่อของบ่อควบคุมทั้ง 3 ช่วงอายุ มีค่าอยู่ระหว่าง 7.67-7.83, 5.73-5.87 และ 5.63-5.87 พีพีที บริเวณกลางบ่อมีค่าระหว่าง 7.67-7.80, 5.77-5.80 และ 5.60-5.87 พีพีที ตามลำดับ ส่วนบ่อทดลองที่บริเวณขอบบ่อมีค่าความเค็มเฉลี่ยระหว่าง 7.70-7.87, 5.73-5.83 และ 5.67-5.80 พีพีที บริเวณกลางบ่อมีค่าระหว่าง 7.63-7.87, 5.70-5.83 และ 5.65-5.80 พีพีที ตามลำดับ (ตารางที่ 5-7 และภาพที่ 22-24) โดยความเค็มเฉลี่ยระหว่างบ่อควบคุมและบ่อทดลองแต่ละช่วงอายุกุ้งไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ เนื่องจากบ่อทดลองและบ่อควบคุมอยู่ในฟาร์มเดียวกันและเลี้ยงในช่วงเวลาเดียวกัน ได้รับปริมาณน้ำฝนเท่ากัน โดยความเค็มเฉลี่ยของน้ำทั้งบ่อควบคุมและบ่อทดลองจะค่อยๆ ลดลงเมื่อระยะเวลาการเลี้ยงมากขึ้น เนื่องจากการเติมน้ำจืดเข้าไปทดแทน น้ำส่วนที่ระเหยและรั่วซึมออกไป เพื่อรักษาระดับในบ่อและมีการเปลี่ยนถ่ายน้ำเป็นบางช่วงเวลา โดยเฉพาะในช่วงท้ายๆ ของการเลี้ยง กรมประมง (2547) กล่าวว่ากุ้งขาวแวนนาไม่สามารถเจริญเติบโตได้ดีในน้ำที่มีความเค็มตั้งแต่ 0-35 พีพีที แต่ชโล และพรเลิศ (2547) แนะนำว่าการเลี้ยงกุ้งขาวแวนนาไม่ด้วยน้ำความเค็มต่ำระหว่างการเลี้ยงระดับความเค็มไม่ควรต่ำกว่า 3 พีพีที จะทำให้การเลี้ยงได้ผลผลิตสูงและสามารถเลี้ยงกุ้งได้ขนาดใหญ่ ซึ่งในการศึกษาครั้งนี้ความเค็มตลอดระยะเวลาในการเลี้ยงเหมาะสมสำหรับการเลี้ยงด้วยน้ำความเค็มต่ำ

ตารางที่ 5 ความเค็มในบ่อควบคุมและบ่อทดลองที่ใช้ในตริไฟอิงแบคทีเรียในกุ้งอายุ 30 วัน

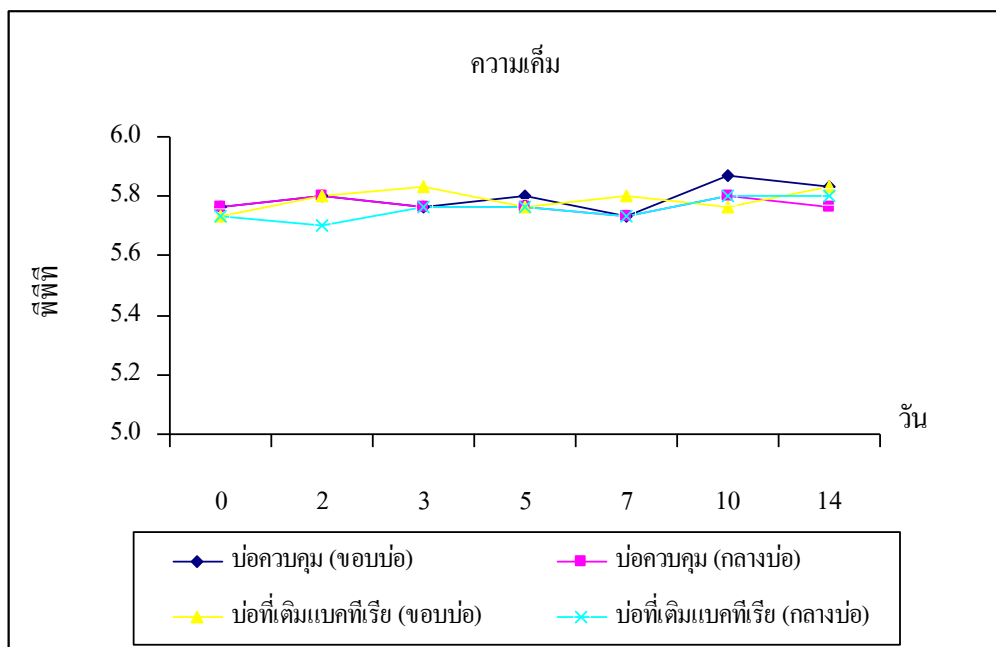
บ่อ วันที่		บ่อควบคุม				บ่อทดลองที่ใช้ในตริไฟอิงแบคทีเรีย			
		1	9	10	เฉลี่ย	7	11	14	เฉลี่ย
0	ขอบบ่อ	7.70	7.90	7.80	7.80±0.10 ^a	7.60	7.80	7.80	7.73±0.12 ^a
	กลางบ่อ	7.70	7.90	7.80	7.80±0.10 ^a	7.50	7.70	7.80	7.67±0.15 ^a
2	ขอบบ่อ	7.80	7.80	7.70	7.77±0.06 ^a	7.50	7.90	7.70	7.70±0.20 ^a
	กลางบ่อ	7.80	7.710	7.70	7.73±0.06 ^a	7.50	7.60	7.80	7.63. ±0.15 ^a
3	ขอบบ่อ	7.70	7.80	7.60	7.70±0.10 ^a	7.40	7.90	7.80	7.70±0.26 ^a
	กลางบ่อ	7.70	7.80	7.70	7.73±0.06 ^a	7.40	7.80	7.80	7.67±0.23 ^a
5	ขอบบ่อ	7.70	7.80	7.50	7.67±0.15 ^a	7.50	7.80	7.90	7.73±0.21 ^a
	กลางบ่อ	7.70	7.70	7.60	7.67±0.06 ^a	7.60	7.70	7.80	7.70±0.10 ^a
7	ขอบบ่อ	7.60	7.80	7.70	7.70±0.10 ^a	7.90	7.90	7.80	7.87±0.06 ^a
	กลางบ่อ	7.70	7.70	7.80	7.73±0.06 ^a	7.80	7.80	7.70	7.77±0.06 ^a
10	ขอบบ่อ	7.70	7.90	7.90	7.83±0.12 ^a	7.80	7.80	7.90	7.83±0.06 ^a
	กลางบ่อ	7.70	7.80	7.80	7.77±0.06 ^a	7.90	7.90	7.80	7.87±0.06 ^a
14	ขอบบ่อ	7.60	7.80	7.70	7.70±0.10 ^a	7.70	7.80	7.80	7.77±0.06 ^a
	กลางบ่อ	7.70	7.90	7.70	7.77±0.12 ^a	7.70	7.80	7.70	7.73±0.06 ^a



ภาพที่ 22 การเปลี่ยนแปลงความเค็มของน้ำในกุ้งอายุ 30 วัน

ตารางที่ 6 ความเค็มในบ่อควบคุมและบ่อทดลองที่ใช้ในครีโไฟอิงแบคทีเรีย ในกุ้งอายุ 85 วัน

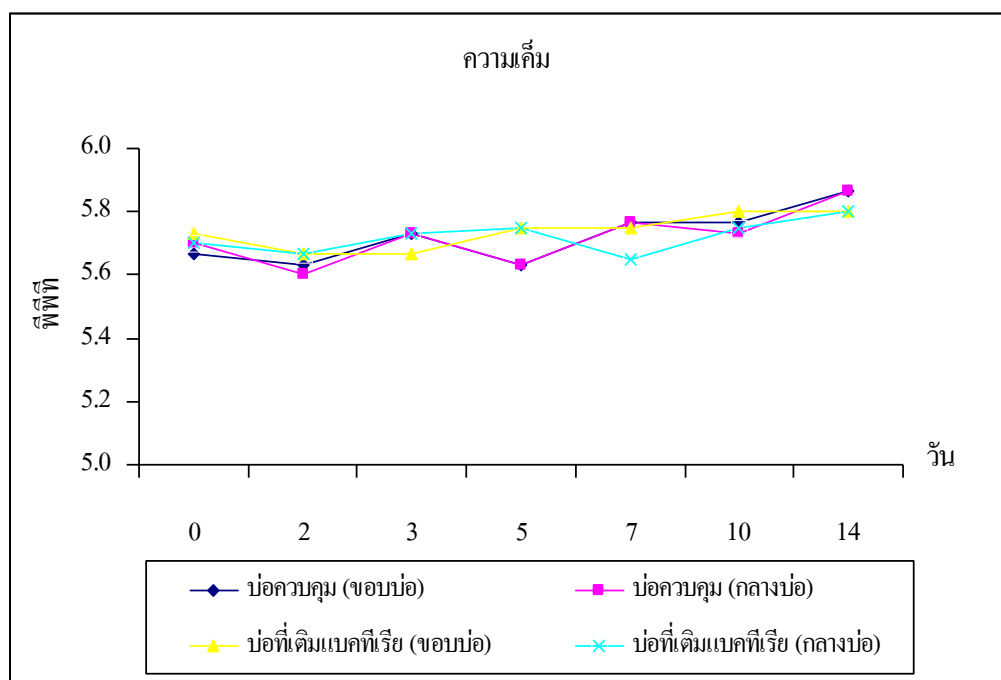
บ่อ วันที่		บ่อควบคุม				บ่อทดลองที่ใช้ในครีโไฟอิงแบคทีเรีย			
		1	9	10	เฉลี่ย	7	11	14	เฉลี่ย
0	ขอบบ่อ	5.70	5.80	5.80	5.77±0.06 ^a	5.70	5.70	5.80	5.73±0.06 ^a
	กลางบ่อ	5.70	5.80	5.80	5.77±0.06 ^a	5.70	5.80	5.70	5.73±0.06 ^a
2	ขอบบ่อ	5.80	5.70	5.90	5.80±0.10 ^a	5.80	5.80	5.90	5.80±0.06 ^a
	กลางบ่อ	5.70	5.80	5.90	5.80±0.10 ^a	5.80	5.70	5.60	5.70±0.10 ^a
3	ขอบบ่อ	5.80	5.70	5.80	5.77±0.06 ^a	5.80	5.80	5.90	5.83±0.06 ^a
	กลางบ่อ	5.80	5.70	5.80	5.77±0.06 ^a	5.80	5.80	5.70	5.77±0.06 ^a
5	ขอบบ่อ	5.70	5.80	5.90	5.80±0.10 ^a	5.80	5.70	5.80	5.77±0.06 ^a
	กลางบ่อ	5.80	5.80	5.70	5.77±0.06 ^a	5.80	5.70	5.80	5.77±0.06 ^a
7	ขอบบ่อ	5.60	5.70	5.90	5.73±0.15 ^a	5.90	5.80	5.70	5.80±0.10 ^a
	กลางบ่อ	5.60	5.70	5.90	5.73±0.15 ^a	5.80	5.70	5.70	5.73±0.06 ^a
10	ขอบบ่อ	5.80	5.80	6.00	5.87±0.12 ^a	5.80	5.70	5.80	5.77±0.06 ^a
	กลางบ่อ	5.80	5.70	5.90	5.80±0.10 ^a	5.90	5.80	5.80	5.83±0.06 ^a
14	ขอบบ่อ	5.80	5.90	5.80	5.83±0.06 ^a	6.00	5.60	5.90	5.83±0.21 ^a
	กลางบ่อ	5.70	5.80	5.80	5.77±0.06 ^a	6.00	5.70	5.70	5.80±0.17 ^a



ภาพที่ 23 การเปลี่ยนแปลงความเค็มของน้ำในกุ้งอายุ 85 วัน

ตารางที่ 7 ความเค็มในบ่อดคลองที่ใช้ในตริไฟอิงแบคทีเรียและบ่อดควบคุมในกึ่งอายุ 110 วัน

บ่อด วันที่		บ่อดควบคุม				บ่อดคลองที่ใช้ในตริไฟอิงแบคทีเรีย			
		1	9	10	เฉลี่ย	7	11	14	เฉลี่ย
0	ขอบบ่อด	5.60	5.70	5.70	5.67±0.06 ^a	5.70	5.80	5.70	5.73±0.06 ^a
	กลางบ่อด	5.80	5.60	5.70	5.70±0.10 ^a	5.70	5.80	5.60	5.70±0.10 ^a
2	ขอบบ่อด	5.70	5.50	5.70	5.63±0.12 ^a	5.60	5.80	5.60	5.67±0.12 ^a
	กลางบ่อด	5.60	5.50	5.70	5.60±0.10 ^a	5.60	5.70	5.70	5.67±0.06 ^a
3	ขอบบ่อด	5.80	5.70	5.70	5.73±0.06 ^a	5.70	5.60	5.70	5.67±0.06 ^a
	กลางบ่อด	5.80	5.70	5.70	5.73±0.06 ^a	5.70	5.80	5.70	5.73±0.06 ^a
5	ขอบบ่อด	5.60	5.60	5.70	5.63±0.06 ^a	5.80	5.70	-	5.75±0.07 ^a
	กลางบ่อด	5.60	5.60	5.70	5.63±0.06 ^a	5.70	5.80	-	5.75±0.07 ^a
7	ขอบบ่อด	5.80	5.70	5.80	5.77±0.06 ^a	5.70	5.80	-	5.75±0.07 ^a
	กลางบ่อด	5.80	5.70	5.80	5.77±0.06 ^a	5.60	5.70	-	5.65±0.07 ^a
10	ขอบบ่อด	5.80	5.70	5.80	5.77±0.06 ^a	5.70	5.90	-	5.80±0.14 ^a
	กลางบ่อด	5.70	5.70	5.80	5.73±0.06 ^a	5.70	5.80	-	5.75±0.07 ^a
14	ขอบบ่อด	5.90	5.80	5.90	5.87±0.06 ^a	-	5.80	-	5.80 ^a
	กลางบ่อด	5.90	5.80	5.90	5.87±0.06 ^a	-	5.80	-	5.80 ^a



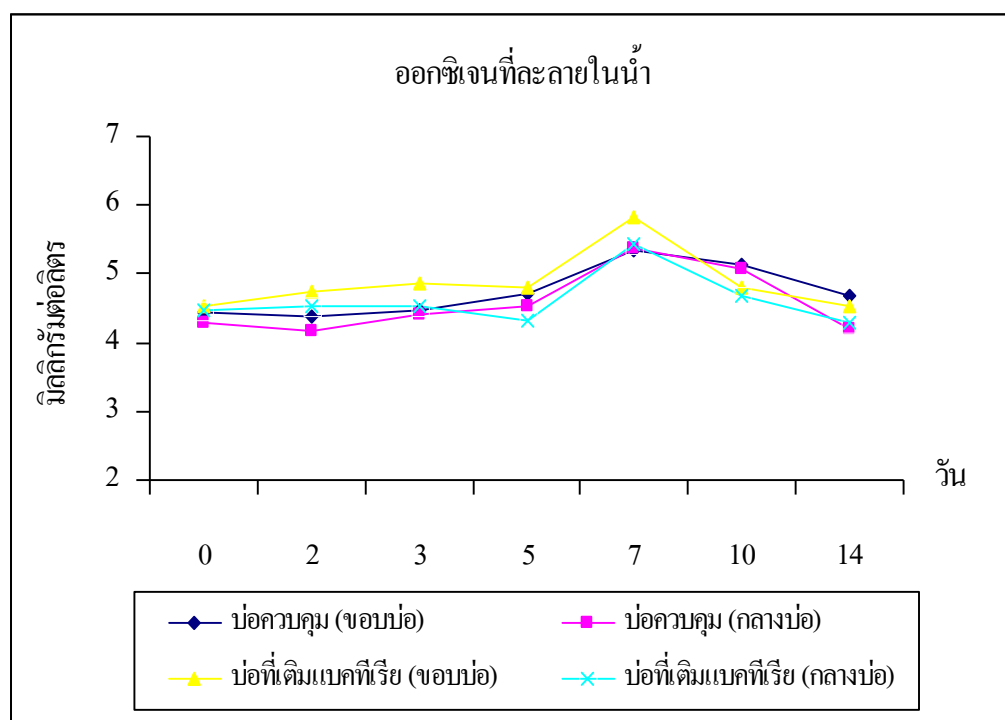
ภาพที่ 24 การเปลี่ยนแปลงความเค็มของน้ำในกึ่งอายุ 110 วัน

1.3 ออกซิเจนที่ละลายน้ำ

ปริมาณออกซิเจนที่ละลายน้ำในบ่อควบคุมที่กึ่งอายุ 30 วัน บริเวณขอบบ่อและกลางบ่อมีค่าระหว่าง 4.37-5.33 และ 4.17-5.07 มิลลิกรัมต่อลิตรตามลำดับ ซึ่งไม่แตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ ($p>0.05$) ส่วนในช่วงเวลาที่กึ่งอายุ 85 วันปริมาณออกซิเจนที่ละลายน้ำในบ่อควบคุมบริเวณขอบบ่อและกลางบ่ออยู่ในช่วง 4.67-5.50 และ 4.60-5.20 มิลลิกรัมต่อลิตร บ่อทดลองมีค่าระหว่าง 4.77-5.43 และ 4.40-5.53 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับซึ่งในวันที่ 10 หลังเติมจุลินทรีย์ ปริมาณออกซิเจนที่ละลายน้ำในบ่อทดลองทั้งบริเวณขอบบ่อและกลางบ่อแตกต่างจากบ่อควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) เมื่อกึ่งอายุ 110 วัน ปริมาณออกซิเจนละลายน้ำของบ่อควบคุมและบ่อทดลองไม่แตกต่างกันทางสถิติ ซึ่งปริมาณออกซิเจนที่ละลายน้ำในบ่อควบคุมบริเวณขอบบ่อและกลางบ่อมีค่าระหว่าง 4.47-6.67 และ 3.83-5.80 มิลลิกรัมต่อลิตร ในบ่อทดลองมีค่าระหว่าง 4.50-6.50 และ 3.57-5.65 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ (ตารางที่ 8-10 และภาพที่ 25-27) โดยปริมาณออกซิเจนที่ละลายน้ำที่เหมาะสมต่อการเลี้ยงกุ้งขาวแวนนาไมไม่ควรต่ำกว่า 3 มิลลิกรัมต่อลิตร (Arrigon *et al.*, 1994; Brock and Main, 1994 ; Patrick, 1997) ดังนั้นตลอดระยะเวลาที่ทำการศึกษาปริมาณออกซิเจนที่ละลายน้ำเหมาะสมต่อการเลี้ยงกุ้งขาวแวนนาไมเนื่องจากมีเครื่องให้อากาศอย่างเพียงพอ

ตารางที่ 8 ปริมาณออกซิเจนที่ละลายน้ำในบ่อควบคุมและบ่อทดลองที่ใช้ในτριไฟอิงแบคทีเรียในกุ้งอายุ 30 วัน

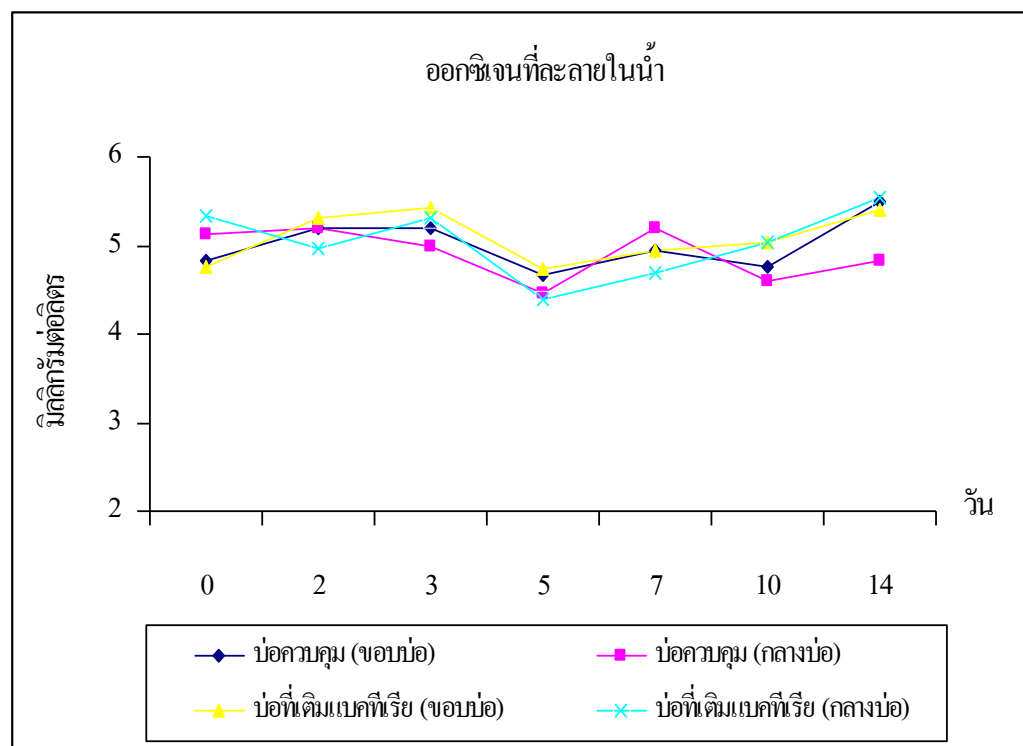
บ่อ วันที่		บ่อควบคุม				บ่อทดลองที่ใช้ในตรีไฟอิงแบคทีเรีย			
		1	9	10	เฉลี่ย	7	11	14	เฉลี่ย
0	ขอบบ่อ	4.90	3.70	4.70	4.43±0.64 ^a	4.50	4.50	4.60	4.53±0.06 ^a
	กลางบ่อ	4.80	3.60	4.50	4.30±0.62 ^a	4.40	4.50	4.50	4.47±0.06 ^a
2	ขอบบ่อ	5.00	3.50	4.60	4.37±0.78 ^a	4.60	4.90	4.70	4.73±0.15 ^a
	กลางบ่อ	4.50	3.40	4.60	4.17±0.67 ^a	4.70	4.30	4.60	4.53±0.21 ^a
3	ขอบบ่อ	4.90	3.80	4.70	4.47±0.59 ^a	4.90	4.90	4.80	4.87±0.06 ^a
	กลางบ่อ	4.70	3.80	4.70	4.40±0.52 ^a	4.70	4.30	4.60	4.53±0.21 ^a
5	ขอบบ่อ	5.00	4.40	4.70	4.70±0.30 ^a	4.60	5.00	4.80	4.80±0.20 ^a
	กลางบ่อ	4.50	4.40	4.70	4.53±0.15 ^a	4.20	4.20	4.60	4.33±0.23 ^a
7	ขอบบ่อ	5.30	5.00	5.70	5.33±0.35 ^a	6.50	5.80	5.20	5.83±0.65 ^a
	กลางบ่อ	5.20	5.10	5.80	5.37±0.38 ^a	5.50	5.80	5.00	5.43±0.40 ^a
10	ขอบบ่อ	5.00	4.70	5.70	5.13±0.51 ^a	4.90	4.60	4.90	4.80±0.17 ^a
	กลางบ่อ	4.80	4.80	5.60	5.07±0.46 ^a	4.70	4.50	4.80	4.67±0.15 ^a
14	ขอบบ่อ	4.50	4.50	5.00	4.67±0.29 ^a	4.60	4.80	4.20	4.53±0.31 ^a
	กลางบ่อ	4.10	4.40	4.10	4.20±0.17 ^a	4.60	4.30	4.00	4.30±0.30 ^a



ภาพที่ 25 การเปลี่ยนแปลงปริมาณออกซิเจนที่ละลายน้ำในกุ้งอายุ 30 วัน

ตารางที่ 9 ปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำในบ่อควบคุมและบ่อทดลองที่ใช้ในตริไฟอิงแบคทีเรียในกุ้งอายุ 85 วัน

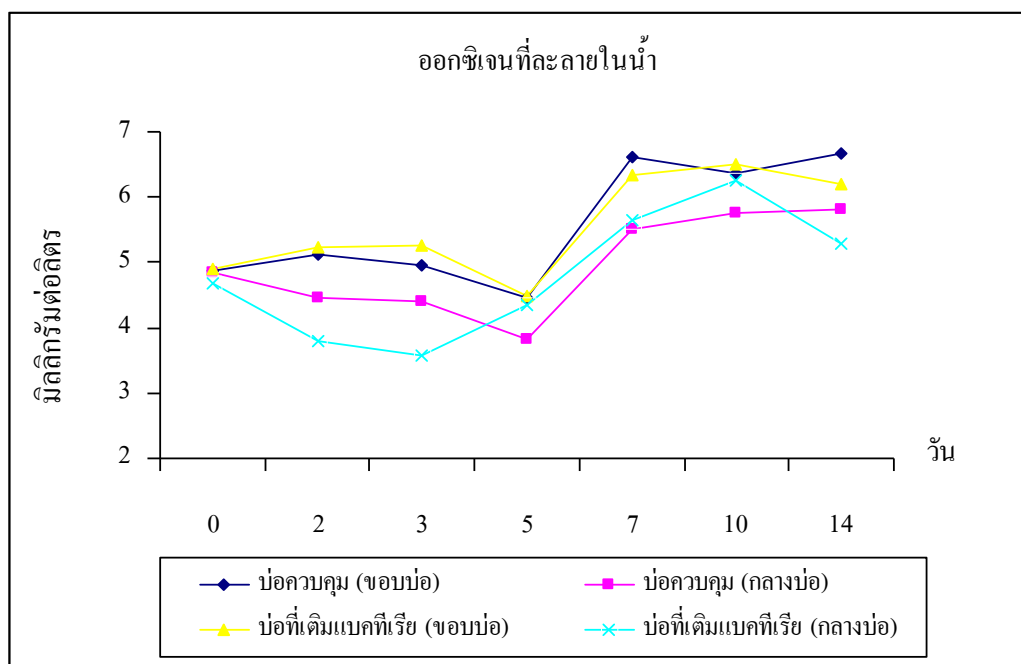
บ่อ วันที่		บ่อควบคุม				บ่อทดลองที่ใช้ในตริไฟอิงแบคทีเรีย			
		1	9	10	เฉลี่ย	7	11	14	เฉลี่ย
0	ขอบบ่อ	4.60	4.80	5.10	4.83±0.25 ^a	4.60	5.10	4.60	4.77±0.29 ^a
	กลางบ่อ	4.90	5.00	5.50	5.13±0.32 ^a	5.60	5.40	5.00	5.33±0.31 ^a
2	ขอบบ่อ	5.10	5.10	5.40	5.20±0.17 ^a	5.50	5.40	5.00	5.30±0.26 ^a
	กลางบ่อ	4.60	5.60	5.40	5.20±0.53 ^a	5.10	5.20	4.60	4.97±0.32 ^a
3	ขอบบ่อ	4.40	5.30	5.90	5.20±0.75 ^a	5.70	5.50	5.10	5.43±0.31 ^a
	กลางบ่อ	4.00	4.20	5.80	5.00±0.92 ^a	5.60	5.30	5.00	5.30±0.30 ^a
5	ขอบบ่อ	4.90	4.30	4.80	4.67±0.32 ^a	4.60	4.70	4.90	4.73±0.15 ^a
	กลางบ่อ	4.70	4.30	4.40	4.47±0.21 ^a	4.00	4.50	4.70	4.40±0.36 ^a
7	ขอบบ่อ	5.10	4.80	4.90	4.93±0.15 ^a	5.50	4.70	4.60	4.93±0.49 ^a
	กลางบ่อ	5.50	5.60	4.50	5.20±0.61 ^a	5.30	4.30	4.50	4.70±0.53 ^a
10	ขอบบ่อ	4.80	4.60	4.90	4.77±0.15 ^b	5.10	5.00	5.00	5.03±0.06 ^a
	กลางบ่อ	4.60	4.50	4.70	4.60±0.10 ^b	5.10	5.00	5.00	5.03±0.06 ^a
14	ขอบบ่อ	4.90	5.20	6.40	5.50±0.79 ^a	5.20	5.30	5.70	5.40±0.26 ^a
	กลางบ่อ	4.30	4.80	5.40	4.83±0.55 ^a	6.70	4.40	5.50	5.53±1.15 ^a



ภาพที่ 26 การเปลี่ยนแปลงปริมาณออกซิเจนที่ละลายน้ำในกุ้งอายุ 85 วัน

ตารางที่ 10 ปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำในบ่อควบคุมและบ่อทดลองที่ใช้ในตรังฟองแบคทีเรียในกุ้งอายุ 110 วัน

บ่อ วันที่		บ่อควบคุม				บ่อทดลองที่ใช้ในตรังฟองแบคทีเรีย			
		1	9	10	เฉลี่ย	7	11	14	เฉลี่ย
0	ขอบบ่อ	4.40	4.90	5.30	4.87±0.45 ^a	5.20	4.70	4.80	4.90±0.26 ^a
	กลางบ่อ	4.70	4.80	5.00	4.83±0.15 ^a	5.00	4.40	4.60	4.67±0.31 ^a
2	ขอบบ่อ	4.30	6.60	4.50	5.13±1.27 ^a	6.60	4.50	4.60	5.23±1.18 ^a
	กลางบ่อ	3.70	6.10	3.60	4.47±1.42 ^a	4.30	4.50	2.60	3.80±1.04 ^a
3	ขอบบ่อ	4.30	5.70	4.90	4.97±0.70 ^a	5.10	5.20	5.50	5.27±0.21 ^a
	กลางบ่อ	4.00	4.90	4.30	4.40±0.46 ^a	3.50	2.60	4.60	3.57±1.00 ^a
5	ขอบบ่อ	4.00	4.60	4.80	4.47±0.42 ^a	4.90	4.10	-	4.50±0.57 ^a
	กลางบ่อ	2.80	4.20	4.50	3.83±0.91 ^a	4.60	4.10	-	4.35±0.35 ^a
7	ขอบบ่อ	6.70	6.90	6.20	6.60±0.36 ^a	6.50	6.20	-	6.35±0.21 ^a
	กลางบ่อ	6.20	4.80	5.50	5.50±0.70 ^a	5.40	5.90	-	5.65±0.35 ^a
10	ขอบบ่อ	4.30	4.70	7.20	6.37±1.80 ^a	6.20	6.80	-	6.50±0.42 ^a
	กลางบ่อ	3.50	6.80	7.00	5.77±1.97 ^a	6.10	6.40	-	6.25±0.21 ^a
14	ขอบบ่อ	7.00	7.00	6.00	6.67±0.58 ^a	-	6.20	-	6.20 ^a
	กลางบ่อ	5.70	6.00	5.70	5.80±0.17 ^a	-	5.30	-	5.30 ^a



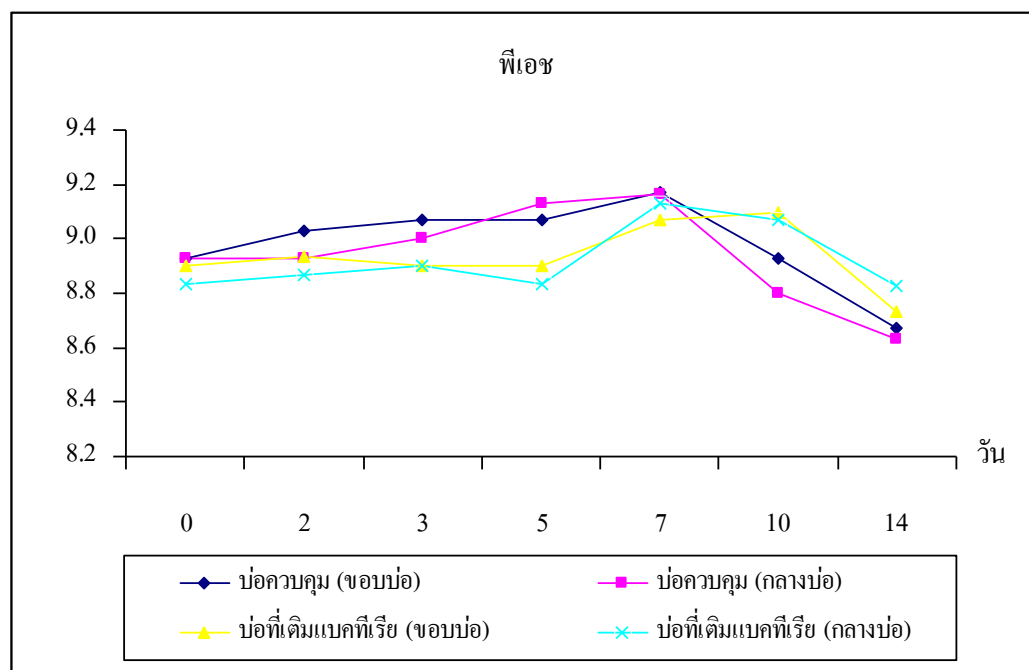
ภาพที่ 27 การเปลี่ยนแปลงปริมาณออกซิเจนที่ละลายน้ำในกุ้งอายุ 110 วัน

1.4 ฟิเอช

ฟิเอชเฉลี่ยบริเวณขอบบ่อของบ่อควบคุมในกุ้งทั้ง 3 ช่วงอายุ คือ 30, 85 และ 110 วัน มีค่าอยู่ 8.67-9.17, 8.73-9.03 และ 8.60-9.07 บริเวณกลางบ่อมีค่าระหว่าง 8.63-9.17, 8.70-8.97 และ 8.80-8.93 ตามลำดับ ส่วนในบ่อทดลองที่บริเวณขอบบ่อฟิเอชมีค่า 8.73-9.10, 8.63-8.90 และ 8.67-9.00 บริเวณกลางบ่อมีค่าระหว่าง 8.73-9.13, 8.60-8.83 และ 8.60-8.93 ตามลำดับ (ตารางที่ 11-13 และภาพที่ 28-30) โดยกุ้งอายุ 30 วัน ในวันที่ 5 หลังเติมจุลินทรีย์ พบว่าค่าเฉลี่ยฟิเอชบริเวณกลางบ่อของบ่อทดลองลดลงแตกต่างจากบ่อควบคุมอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) การเปลี่ยนแปลงของค่าฟิเอชในบ่อเลี้ยงกุ้งจะถูกควบคุมโดยปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์และปริมาณออกซิเจนที่มีอยู่ในน้ำ โดยการเปลี่ยนแปลงของฟิเอชในบ่อเลี้ยงกุ้งในตอนกลางวันแพลงก์ตอนพืชจะใช้คาร์บอนไดออกไซด์ ซึ่งได้จากการหายใจของสิ่งมีชีวิตและไบคาร์บอเนตในน้ำเพื่อการสังเคราะห์แสงทำให้ค่าฟิเอชสูงขึ้น ส่วนในตอนกลางคืนคาร์บอนไดออกไซด์จะถูกปล่อยออกมาจากการหายใจของแพลงก์ตอน และสิ่งมีชีวิตในน้ำทำให้คาร์บอนไดออกไซด์สะสมเพิ่มขึ้นและมากที่สุดในตอนเช้ามืดทำให้ฟิเอชลดลง (Boyd, 1982) โดยแหล่งน้ำที่มีความเหมาะสมต่อการดำรงชีวิตของกุ้งไม่ควรมีการเปลี่ยนแปลงของฟิเอชเกินกว่า 0.5 หน่วยในรอบวัน (ชโล, 2543) นอกจากนี้กระบวนการไนตริฟิเคชันโดยไนตริไฟอิงแบคทีเรียจะใช้คาร์บอนไดออกไซด์เป็นแหล่งพลังงาน โดยคาร์บอนไดออกไซด์นี้ส่วนหนึ่งมาจากการแตกตัวของไบคาร์บอเนต ทำให้มีส่วนของไฮโดรเจนออกไซด์สะสมมากส่งผลให้กลุ่มที่เดิมแบคทีเรียมีฟิเอชลดต่ำลง ซึ่งฟิเอชของน้ำที่เหมาะสมต่อการเลี้ยงกุ้งขาวแวนนาไมควรอยู่ระหว่าง 7.0-9.0 (Brock and Main, 1994)

ตารางที่ 11 พีเอชในบ่อควบคุมและบ่อทดลองที่ใช้ในกรณีไฟอิงแบคทีเรีย ในกุ่มอายุ 30 วัน

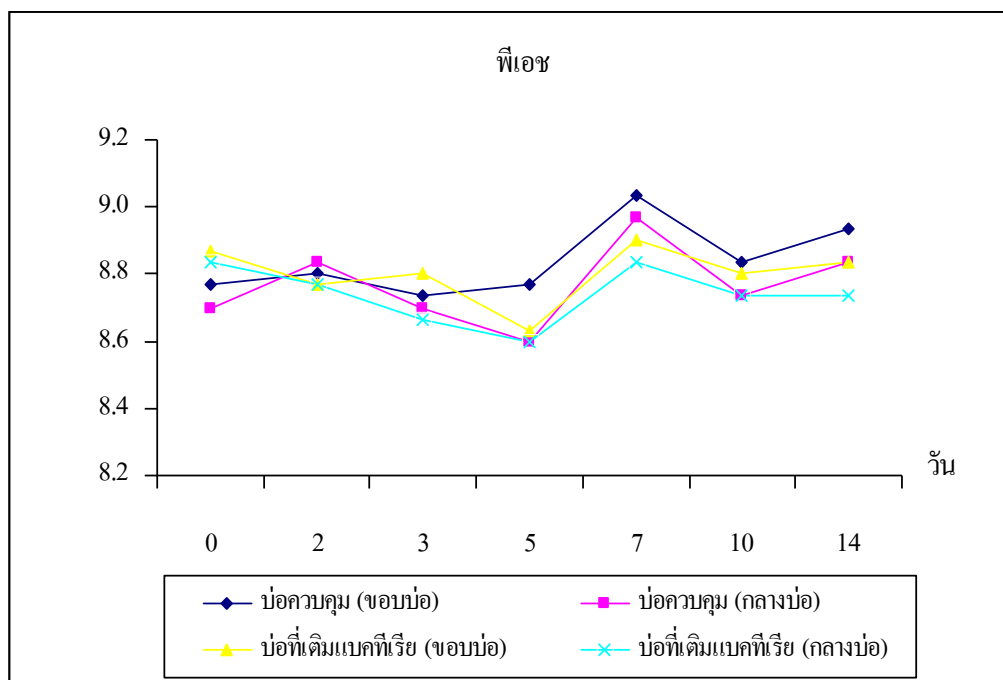
บ่อ วันที่		บ่อควบคุม				บ่อทดลองที่ใช้ในกรณีไฟอิงแบคทีเรีย			
		1	9	10	เฉลี่ย	7	11	14	เฉลี่ย
0	ขอบบ่อ	8.90	8.90	9.00	8.93±0.06 ^a	8.80	8.90	9.00	8.90±0.10 ^a
	กลางบ่อ	8.90	8.90	9.00	8.93±0.06 ^a	8.70	8.80	9.00	8.83±0.15 ^a
2	ขอบบ่อ	9.00	9.10	9.00	9.03±0.06 ^a	8.90	9.00	8.90	8.93±0.06 ^a
	กลางบ่อ	9.00	8.90	8.90	8.93±0.06 ^a	8.70	9.00	8.90	8.87±0.15 ^a
3	ขอบบ่อ	9.10	9.00	9.10	9.07±0.06 ^a	9.00	8.80	8.90	8.90±0.10 ^a
	กลางบ่อ	9.00	8.90	9.10	9.00±0.10 ^a	9.00	8.80	8.90	8.90±0.10 ^a
5	ขอบบ่อ	8.80	8.80	8.90	8.83±0.06 ^a	8.90	8.80	9.00	8.90±0.10 ^a
	กลางบ่อ	9.00	9.20	9.20	9.13±0.12 ^a	9.00	9.20	9.00	9.07±0.12 ^a
7	ขอบบ่อ	9.00	9.50	9.00	9.17±0.29 ^a	9.10	9.00	9.10	9.07±0.06 ^a
	กลางบ่อ	9.10	9.40	9.00	9.17±0.21 ^a	9.20	9.00	9.20	9.13±0.12 ^a
10	ขอบบ่อ	8.90	9.10	8.80	8.93±0.15 ^a	8.90	9.00	9.40	9.10±0.26 ^a
	กลางบ่อ	8.80	9.00	8.60	8.80±0.20 ^a	8.80	9.10	9.30	9.07±0.25 ^a
14	ขอบบ่อ	8.70	8.70	8.60	8.67±0.06 ^a	8.50	8.80	8.90	8.73±0.21 ^a
	กลางบ่อ	8.60	8.70	8.60	8.63±0.06 ^a	8.50	8.80	8.90	8.73±0.21 ^a



ภาพที่ 28 การเปลี่ยนแปลงพีเอชของน้ำในกุ่มอายุ 30 วัน

ตารางที่ 12 พีเอชในบ่อควบคุมและบ่อทดลองที่ใช้ในครีฟอิงแบคทีเรียในกุ้งอายุ 85 วัน

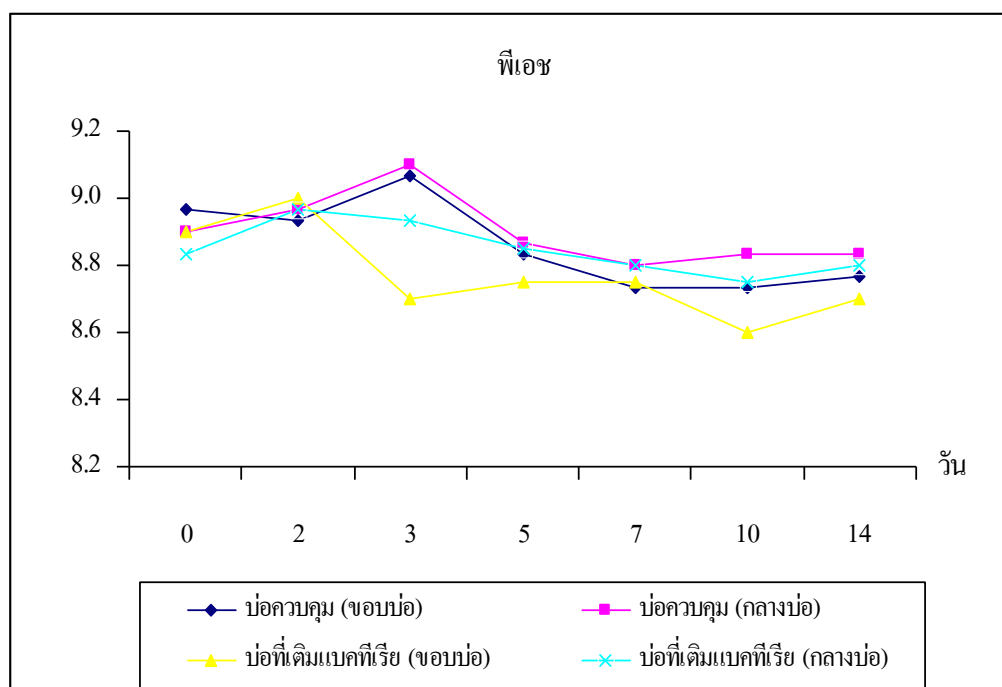
บ่อ วันที่		บ่อควบคุม				บ่อทดลองที่ใช้ในครีฟอิงแบคทีเรีย			
		1	9	10	เฉลี่ย	7	11	14	เฉลี่ย
0	ขอบบ่อ	8.60	9.00	8.80	8.77±0.20 ^a	8.60	8.90	9.10	8.87±0.25 ^a
	กลางบ่อ	8.40	9.00	8.70	8.70±0.30 ^a	8.60	9.00	8.90	8.83±0.21 ^a
2	ขอบบ่อ	8.80	8.90	8.80	8.80±0.06 ^a	8.60	8.80	8.90	8.77±0.15 ^a
	กลางบ่อ	8.80	8.90	8.80	8.83±0.06 ^a	8.50	8.90	8.90	8.77±0.23 ^a
3	ขอบบ่อ	8.80	8.80	8.70	8.73±0.06 ^a	8.60	8.90	8.90	8.80±0.17 ^a
	กลางบ่อ	8.80	8.70	8.70	8.73±0.06 ^a	8.30	8.90	8.80	8.67±0.32 ^a
5	ขอบบ่อ	8.60	8.70	8.60	8.77±0.06 ^a	8.40	8.70	8.80	8.63±0.21 ^a
	กลางบ่อ	8.50	8.70	8.60	8.60±0.10 ^a	8.20	8.80	8.80	8.60±0.35 ^a
7	ขอบบ่อ	9.00	9.10	9.20	9.03±0.10 ^a	8.60	9.10	9.00	8.90±0.26 ^a
	กลางบ่อ	8.70	9.10	9.10	8.97±0.23 ^a	8.50	9.00	9.00	8.83±0.29 ^a
10	ขอบบ่อ	8.70	8.90	8.90	8.83±0.12 ^a	8.40	9.00	9.00	8.80±0.35 ^a
	กลางบ่อ	8.50	8.90	8.80	8.73±0.21 ^a	8.20	9.00	9.00	8.73±0.46 ^a
14	ขอบบ่อ	9.00	8.90	8.90	8.93±0.06 ^a	8.70	8.80	9.00	8.83±0.15 ^a
	กลางบ่อ	8.90	8.80	8.80	8.83±0.06 ^a	8.50	8.70	9.00	8.73±0.25 ^a



ภาพที่ 29 การเปลี่ยนแปลงพีเอชของน้ำในกุ้งอายุ 85 วัน

ตารางที่ 13 พีเอชในบ่อควบคุมและบ่อทดลองที่ใช้ในกรณีไฟอิงแบคทีเรียในกุ้งอายุ 110 วัน

บ่อ วันที่		บ่อควบคุม				บ่อทดลองที่ใช้ในกรณีไฟอิงแบคทีเรีย			
		1	9	10	เฉลี่ย	7	11	14	เฉลี่ย
0	ขอบบ่อ	9.00	9.00	8.90	8.97 ± 0.06^a	8.70	9.00	9.00	8.90 ± 0.17^a
	กลางบ่อ	8.90	9.00	8.80	8.90 ± 0.10^a	8.50	9.00	9.00	8.83 ± 0.29^a
2	ขอบบ่อ	8.90	8.90	9.00	8.93 ± 0.06^a	8.80	9.20	9.00	9.00 ± 0.20^a
	กลางบ่อ	8.90	9.00	9.00	8.97 ± 0.06^a	8.70	9.20	9.00	8.97 ± 0.25^a
3	ขอบบ่อ	9.10	9.10	9.00	9.07 ± 0.06^a	8.20	8.90	9.00	8.70 ± 0.44^a
	กลางบ่อ	9.10	9.20	9.00	9.10 ± 0.10^a	8.70	9.10	9.00	8.93 ± 0.21^a
5	ขอบบ่อ	8.90	8.80	8.80	8.83 ± 0.06^a	8.70	8.80	-	8.75 ± 0.07^a
	กลางบ่อ	8.90	8.80	8.90	8.87 ± 0.06^a	8.90	8.80	-	8.85 ± 0.07^a
7	ขอบบ่อ	8.80	8.70	8.70	8.73 ± 0.06^a	8.80	8.70	-	8.75 ± 0.07^a
	กลางบ่อ	8.90	8.70	8.80	8.80 ± 0.10^a	8.90	8.70	-	8.80 ± 0.14^a
10	ขอบบ่อ	8.70	8.50	9.00	8.73 ± 0.25^a	8.70	8.50	-	8.60 ± 0.14^a
	กลางบ่อ	8.80	8.70	9.00	8.83 ± 0.15^a	8.80	8.70	-	8.75 ± 0.07^a
14	ขอบบ่อ	8.70	8.80	8.80	8.77 ± 0.06^a	-	8.70	-	8.70^a
	กลางบ่อ	8.90	8.80	8.80	8.83 ± 0.06^a	-	8.80	-	8.80^a



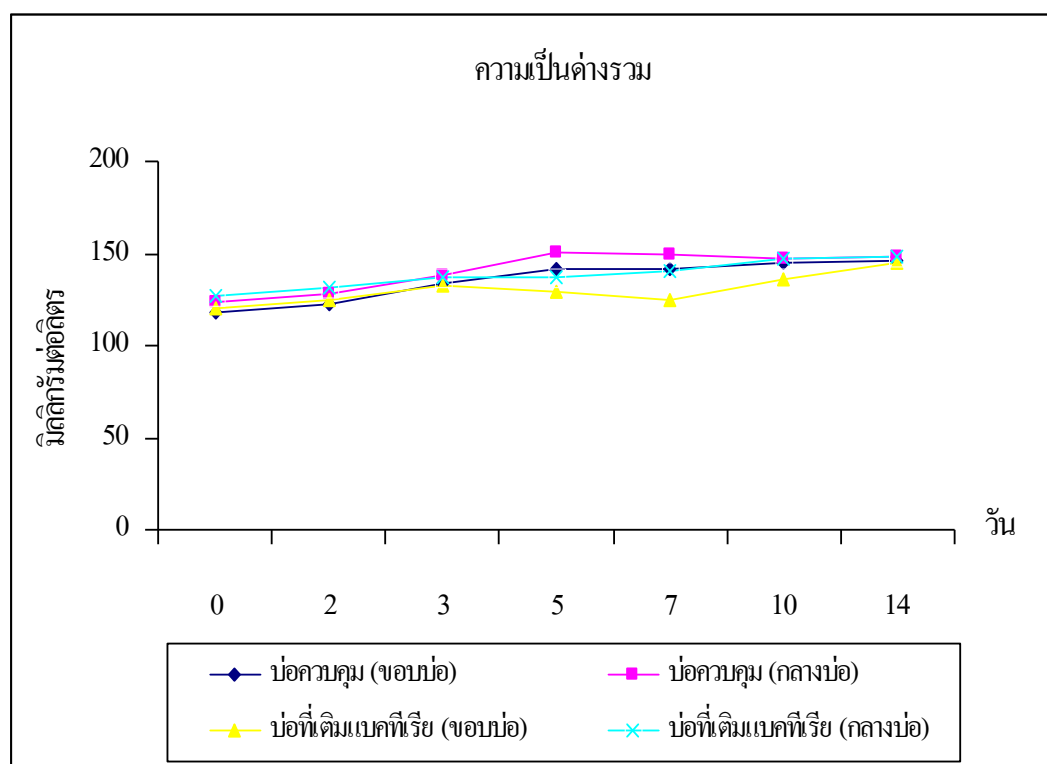
ภาพที่ 30 การเปลี่ยนแปลงพีเอชของน้ำในกุ้งอายุ 110 วัน

1.5 ความเป็นค่ารวม

ความเป็นค่ารวมเฉลี่ยบริเวณขอบบ่อของบ่อควบคุมและบ่อทดลองในกุ้งอายุ 30 วัน มีค่าระหว่าง 117.55-146.11 และ 119.77-145.22 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ ในบริเวณกลางบ่อมีค่าระหว่าง 123.89-150.67 และ 127.22-148.67 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ โดยค่าความเป็นค่ารวมของบ่อทดลองลดลงแตกต่างจากบ่อควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) ทั้งบริเวณขอบบ่อและกลางบ่อในวันที่ 5 หลังเติมจุลินทรีย์ ส่วนในกุ้งอายุ 85 วัน ความเป็นค่ารวมเฉลี่ยบริเวณขอบบ่อของบ่อควบคุมและบ่อทดลองมีค่าระหว่าง 223.11-236.44 และ 224.44-227.33 มิลลิกรัมต่อลิตร บริเวณกลางบ่อมีค่าระหว่าง 225.33-239.78 และ 223.67-232.44 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ ค่าความเป็นค่ารวมบริเวณขอบบ่อของบ่อทดลองลดลงแตกต่างจากบ่อควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) ในวันที่ 3 หลังเติมจุลินทรีย์ ในกุ้งอายุ 110 วัน ค่าความเป็นค่ารวมบริเวณขอบบ่อในบ่อควบคุมและบ่อทดลองมีค่าระหว่าง 229.11-242.44 และ 215.78-230.00 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ บริเวณกลางบ่อมีค่าระหว่าง 232.00-246.22 และ 223.33-233.33 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ ค่าความเป็นค่ารวมบริเวณขอบบ่อและกลางบ่อของบ่อทดลองลดลงแตกต่างจากบ่อควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) ในวันที่ 2 หลังเติมจุลินทรีย์ (ตารางที่ 14-16 และภาพที่ 31-33) เนื่องจากไนโตริฟิอิงแบคทีเรียใช้คาร์บอนไดออกไซด์เป็นแหล่งคาร์บอน (chemolithotrophs) ในกระบวนการทำงานทำให้ค่าความเป็นค่ารวมในช่วงเวลาดังกล่าวมีค่าลดลง (Yanagita, 1990; Bitton, 1994) ค่าความเป็นค่ารวมตลอดระยะเวลาการเลี้ยงกุ้งขาวแวนนาไมทั้งบ่อควบคุมและบ่อทดลอง มีแนวโน้มสูงขึ้นตามระยะเวลาการเลี้ยง เนื่องจากปริมาณของเสียในบ่อและปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์สูงขึ้น (ไมตรี และจารุวรรณ, 2528) ซึ่งค่าความเป็นค่ารวมมีความสัมพันธ์กับอัตราการรอดและการเจริญเติบโตของกุ้งทะเลทุกชนิด (ชลอ และพรเลิศ, 2547) อย่างไรก็ตามค่าความเป็นค่ารวมของบ่อควบคุมและบ่อทดลองในช่วงอายุ 85 และ 110 วัน มีค่าสูงทั้งนี้เนื่องจากการเติมวัสดุปูนในระหว่างการเลี้ยง โดยระดับความเป็นค่ารวมที่เหมาะสมกับการเลี้ยงกุ้งขาวแวนนาไมอยู่ในช่วง 120-180 มิลลิกรัมต่อลิตร (สุรศักดิ์, 2546)

ตารางที่ 14 ความเป็นค่ารวมในบ่อควบคุมและบ่อทดลองที่ใช้ในτριฟองแบคทีเรีย ในกุ่มอายุ 30 วัน

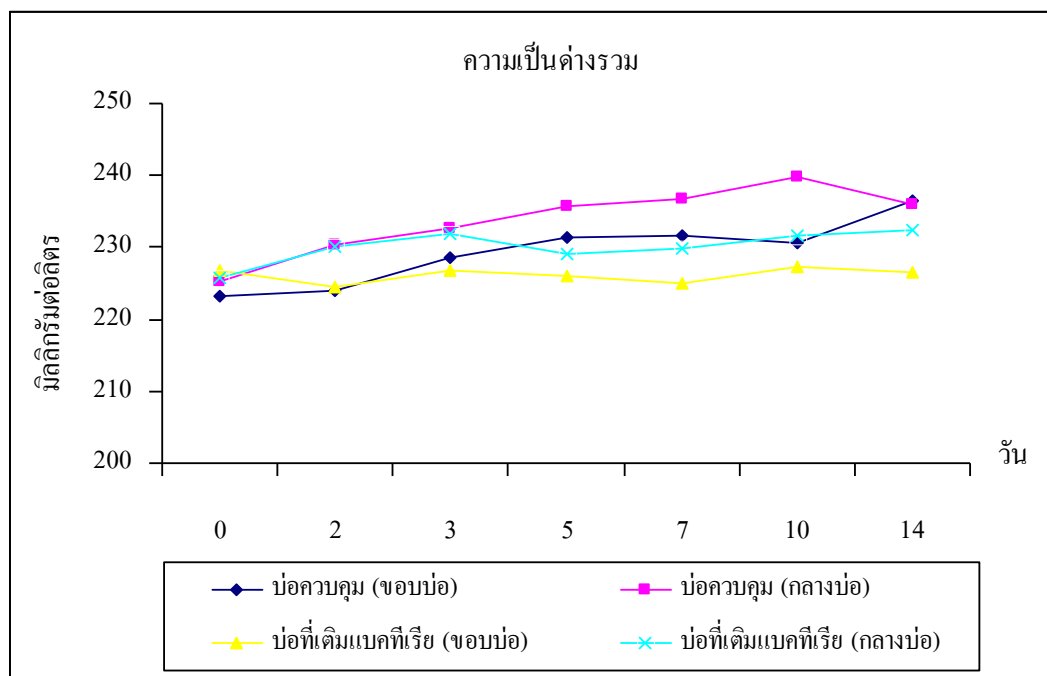
บ่อ วันที่		บ่อควบคุม				บ่อทดลองที่ใช้ในτριฟองแบคทีเรีย			
		1	9	10	เฉลี่ย	7	11	14	เฉลี่ย
0	ขอบบ่อ	120.00	119.33	113.33	117.55±3.67 ^a	125.33	115.33	118.67	119.77±5.07 ^a
	กลางบ่อ	128.70	120.67	122.33	123.89±4.22 ^a	129.67	125.33	126.67	127.22±2.22 ^a
2	ขอบบ่อ	124.67	126.00	115.30	122.00±5.81 ^a	128.67	120.67	124.00	124.45±4.02 ^a
	กลางบ่อ	134.67	127.33	123.33	128.43±5.75 ^a	135.33	129.33	130.67	131.55±3.29 ^a
3	ขอบบ่อ	13.333	134.67	127.00	133.78±6.05 ^a	132.00	134.67	131.33	132.66±1.78 ^a
	กลางบ่อ	143.33	140.67	130.67	138.22±6.68 ^a	139.00	139.33	134.00	137.43±2.98 ^a
5	ขอบบ่อ	146.00	127.33	138.67	141.56±3.91 ^b	131.00	124.67	130.33	128.67±3.48 ^a
	กลางบ่อ	150.67	154.00	147.33	150.67±3.3 ^b	140.00	137.00	132.67	136.56±3.69 ^a
7	ขอบบ่อ	146.70	140.00	136.67	141.78±5.00 ^b	130.67	120.00	122.00	124.22±5.67 ^a
	กลางบ่อ	150.33	149.67	148.00	149.33±1.20 ^b	142.00	138.67	140.00	140.22±1.68 ^a
10	ขอบบ่อ	148.67	142.00	138.00	144.89±5.98 ^a	139.67	137.33	130.00	135.67±5.05 ^a
	กลางบ่อ	150.00	148.67	143.00	147.23±3.72 ^a	149.33	148.00	143.67	147.00±2.96 ^a
14	ขอบบ่อ	147.00	148.00	142.00	146.11±3.75 ^a	149.00	146.67	140.00	145.22±4.67 ^a
	กลางบ่อ	150.33	147.00	146.00	147.78±2.27 ^a	152.00	148.33	145.67	148.67±3.18 ^a



ภาพที่ 31 การเปลี่ยนแปลงความเป็นค่ารวมของน้ำในกุ่มอายุ 30 วัน

ตารางที่ 15 ความเป็นค่ารวมในบ่อควบคุมและบ่อทดลองที่ใช้ในตริไฟอิงแบคทีเรีย อายุ 85 วัน

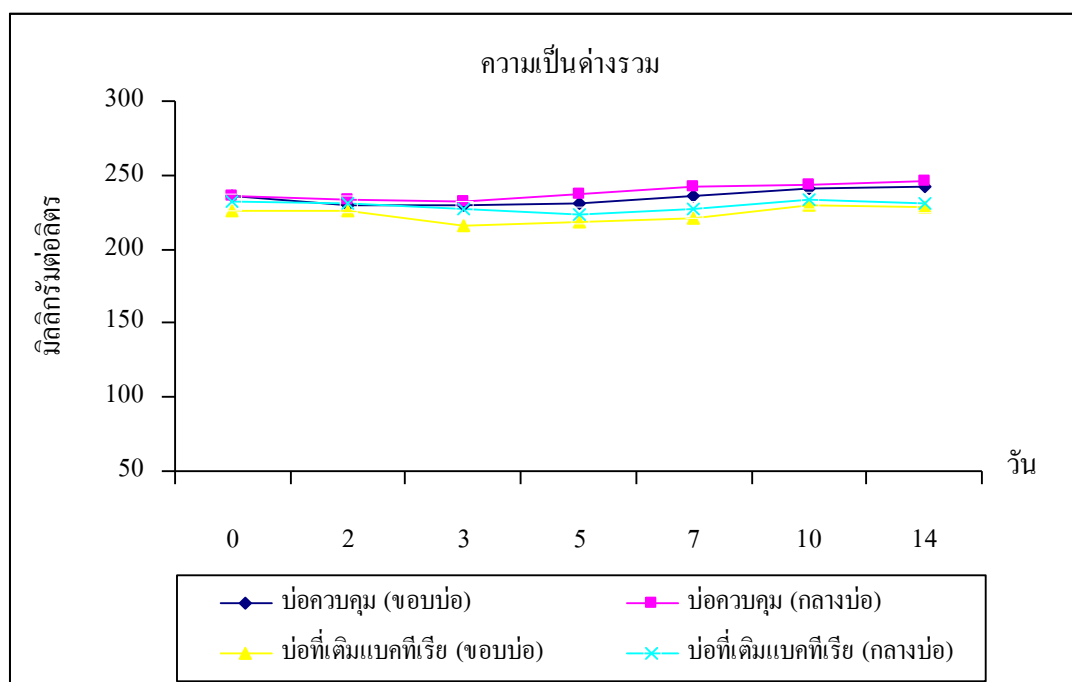
บ่อ วันที่		บ่อควบคุม				บ่อทดลองที่ใช้ในตริไฟอิงแบคทีเรีย			
		1	9	10	เฉลี่ย	7	11	14	เฉลี่ย
0	ขอบบ่อ	223.33	221.33	224.67	223.11±1.68 ^a	226.00	228.00	226.67	226.89±1.02 ^a
	กลางบ่อ	226.00	221.33	228.67	225.33±3.71 ^a	230.00	220.00	227.33	225.78±5.18 ^a
2	ขอบบ่อ	222.67	224.00	225.33	224.00±1.33 ^a	227.33	224.67	221.33	224.44±3.01 ^a
	กลางบ่อ	234.00	228.00	229.00	230.33±3.21 ^a	227.00	234.00	229.00	230.00±3.61
3	ขอบบ่อ	227.33	228.67	230.00	228.67±1.33 ^a	227.33	227.33	226.00	226.89±0.77 ^a
	กลางบ่อ	234.00	230.00	234.00	232.67±2.31 ^a	232.00	233.33	230.67	232.00±1.33 ^a
5	ขอบบ่อ	231.33	229.33	233.33	231.33±2.00 ^b	225.33	227.33	225.33	226.00±1.15 ^a
	กลางบ่อ	236.00	232.00	239.33	235.78±3.67 ^b	230.00	229.33	228.00	229.11±1.02 ^a
7	ขอบบ่อ	233.33	230.00	231.33	231.56±1.68 ^b	226.00	223.33	225.33	224.89±1.39 ^a
	กลางบ่อ	236.00	236.67	237.33	236.67±0.67 ^b	231.33	230.00	228.00	229.78±1.68 ^a
10	ขอบบ่อ	232.67	229.33	230.00	230.67±1.76 ^a	224.00	230.67	227.33	227.33±3.33 ^a
	กลางบ่อ	238.67	239.33	241.33	239.78±1.39 ^b	229.33	234.00	231.33	231.56±2.34 ^a
14	ขอบบ่อ	230.00	232.67	246.67	236.44±8.95 ^a	226.00	229.33	224.00	226.44±2.69 ^a
	กลางบ่อ	235.33	238.00	234.67	236.00±1.76 ^a	235.33	225.33	236.67	232.44±6.19 ^a



ภาพที่ 32 การเปลี่ยนแปลงความเป็นค่ารวมของน้ำในกุ่มอายุ 85 วัน

ตารางที่ 16 ความเป็นค่ารวมในบ่อควบคุมและบ่อทดลองที่ใช้ในตริฟองแบคทีเรีย ในกึ่งอายุ 110 วัน

บ่อ วันที่		บ่อควบคุม				บ่อทดลองที่ใช้ในตริฟองแบคทีเรีย			
		1	9	10	เฉลี่ย	7	11	14	เฉลี่ย
0	ขอบบ่อ	230.00	232.67	246.67	236.44±8.95 ^a	226.00	229.33	224.00	226.44±2.69 ^a
	กลางบ่อ	235.33	238.00	234.67	236.00±1.76 ^a	235.33	225.33	236.67	232.44±6.19 ^a
2	ขอบบ่อ	228.00	230.67	228.67	229.11±1.39 ^a	229.00	227.00	222.00	226.00±3.61
	กลางบ่อ	231.33	234.67	234.00	233.33±1.76 ^a	230.67	228.67	232.00	230.44±1.68 ^a
3	ขอบบ่อ	226.00	229.33	232.67	229.33±3.33 ^a	224.67	205.33	217.33	215.78±9.76 ^a
	กลางบ่อ	230.67	230.67	234.67	232.00±2.31 ^a	229.33	225.00	228.00	227.44±2.22 ^a
5	ขอบบ่อ	223.33	233.33	236.00	230.89±6.68 ^b	222.00	214.67	-	218.33±5.19 ^a
	กลางบ่อ	235.33	238.00	238.00	237.11±1.54 ^b	228.00	219.33	-	223.67±6.13 ^a
7	ขอบบ่อ	233.33	232.67	243.33	236.44±5.98 ^b	224.00	218.67	-	221.33±3.77 ^a
	กลางบ่อ	239.33	239.33	248.00	242.22±5.00 ^b	228.00	226.67	-	227.33±0.94 ^a
10	ขอบบ่อ	238.00	240.00	246.00	241.33±4.16 ^b	230.67	229.33	-	230.00±0.94 ^a
	กลางบ่อ	244.67	237.33	247.33	243.11±5.18 ^b	232.67	234.00	-	233.33±0.94 ^a
14	ขอบบ่อ	240.00	240.00	247.33	242.44±4.23 ^b	-	228.67	-	228.67 ^a
	กลางบ่อ	243.33	244.00	251.33	246.22±4.44 ^b	-	231.33	-	231.33 ^a



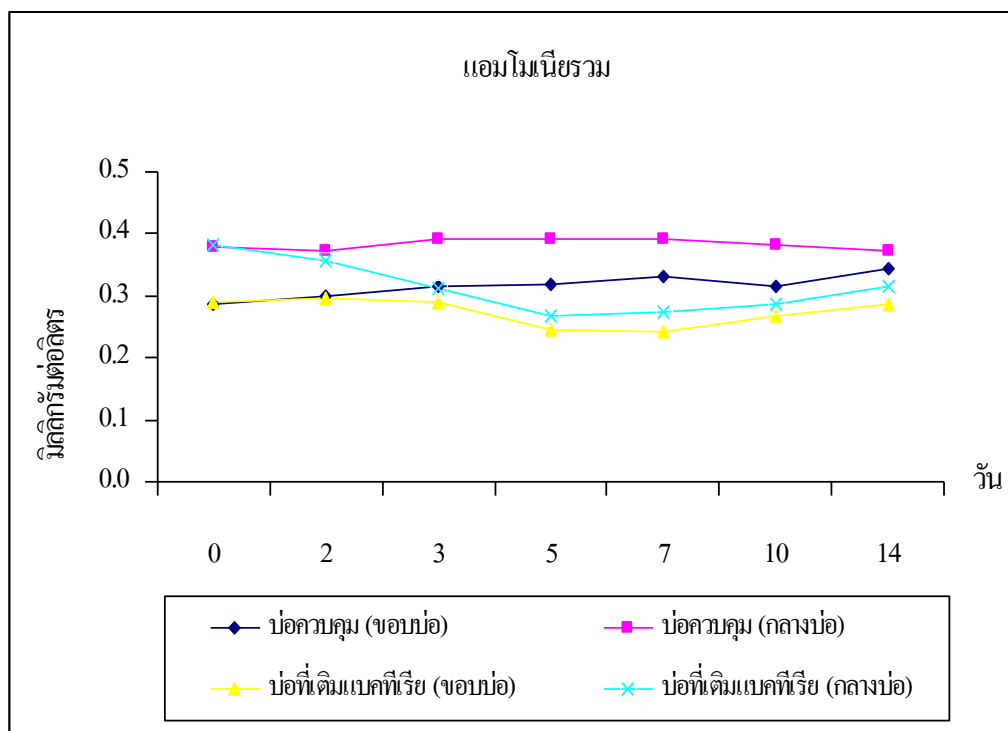
ภาพที่ 33 การเปลี่ยนแปลงความเป็นค่ารวมของน้ำในกึ่งอายุ 110 วัน

1.6 แอมโมเนียรวม

ปริมาณแอมโมเนียรวมบริเวณขอบบ่อของบ่อควบคุมและบ่อทดลองในกึ่งอายุ 30 วัน มีค่าอยู่ระหว่าง 0.29-0.34 และ 0.24-0.30 มิลลิกรัมต่อลิตร ส่วนกลางบ่อมีค่าอยู่ระหว่าง 0.37-0.39 และ 0.27-0.38 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ ซึ่งปริมาณแอมโมเนียรวมบริเวณขอบบ่อและกลางบ่อ ในบ่อทดลองลดลงแตกต่างจากบ่อควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ในวันที่ 5 หลังเติมจุลินทรีย์ ในกึ่งอายุ 85 วัน มีปริมาณแอมโมเนียบริเวณขอบบ่อของบ่อควบคุมและทดลองอยู่ระหว่าง 0.40-0.87 และ 0.40-0.70 มิลลิกรัมต่อลิตร ส่วนบริเวณกลางบ่อมีค่าระหว่าง 0.47-1.08 และ 0.46-0.87 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ ในกึ่งอายุ 110 วัน ปริมาณแอมโมเนียบริเวณขอบบ่อของบ่อควบคุม และบ่อทดลอง มีค่าระหว่าง 0.88-1.46 และ 0.65-1.23 มิลลิกรัมต่อลิตร ซึ่งปริมาณแอมโมเนียของ กุ้งทั้ง 2 ช่วงอายุ คือ 85 และ 110 วัน ในกลุ่มทดลองบริเวณขอบบ่อและกลางบ่อลดลงแตกต่างจาก กลุ่มควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) ในวันที่ 3 หลังเติมจุลินทรีย์ (ตารางที่ 17-19 และ ภาพที่ 34-36) จากการศึกษาประสิทธิภาพการลดแอมโมเนียโดยไนตริไฟอิงแบคทีเรียภายในบ่อ เลี้ยงกุ้งจะเห็นว่าบ่อที่เติมแบคทีเรียลงไปในช่วง 3 ช่วงอายุ กุ้งคือ 30, 85 และ 110 วัน ปริมาณ แอมโมเนียมีค่าลดลงในวันที่ 5 หลังเติมแบคทีเรีย เนื่องจากไนตริไฟอิงแบคทีเรียมีประสิทธิภาพ ในการย่อยสลายสารอินทรีย์ไนโตรเจนผ่านปฏิกิริยาแอมโมนิฟิเคชัน ซึ่งแบคทีเรียที่มีอยู่ใน ธรรมชาติอาจจะไม่มีประสิทธิภาพเพียงพอในการลดความเข้มข้นของแอมโมเนีย ในสภาวะที่มี ออกซิเจนค่อนข้างมากประกอบกับแบคทีเรียที่เติมลงไปมีความสามารถในการเกิดปฏิกิริยา แอมโมเนียออกซิเดชัน (ammonia oxidation) ได้ดี ทำให้ปริมาณแอมโมเนียลดลง แต่ในการ ทดลองครั้งนี้ปริมาณแอมโมเนียมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาการเลี้ยงกุ้ง เนื่องจากกุ้งมีขนาด ใหญ่ขึ้นปริมาณอาหารที่ให้ในแต่ละวันจะมากขึ้นด้วย จึงทำให้ของเสียที่ขับออกมา จากกุ้งและเศษ อาหารที่เหลือสูงขึ้นตามไปด้วย รวมทั้งปริมาณแพลงก์ตอนที่เพิ่มมากขึ้น และบางส่วนที่ตายจะ เพิ่มแอมโมเนีย ในการศึกษาครั้งนี้ พบว่าปริมาณแอมโมเนียเมื่อกุ้งอายุ 110 วัน ของบ่อควบคุมมี ปริมาณสูงเกิน 1 มิลลิกรัมต่อลิตร ซึ่ง Brock and Main (1994) กล่าวว่า ปริมาณแอมโมเนียรวมที่ เหมาะสมต่อการเลี้ยงกุ้งขาวแวนนาไมไม่ควรเกิน 1 มิลลิกรัมต่อลิตร

ตารางที่ 17 แอมโมเนียรวมในบ่อควบคุมและบ่อทดลองที่ใช้ไนตริไฟอิงแบคทีเรีย ในกุ่มอายุ 30 วัน

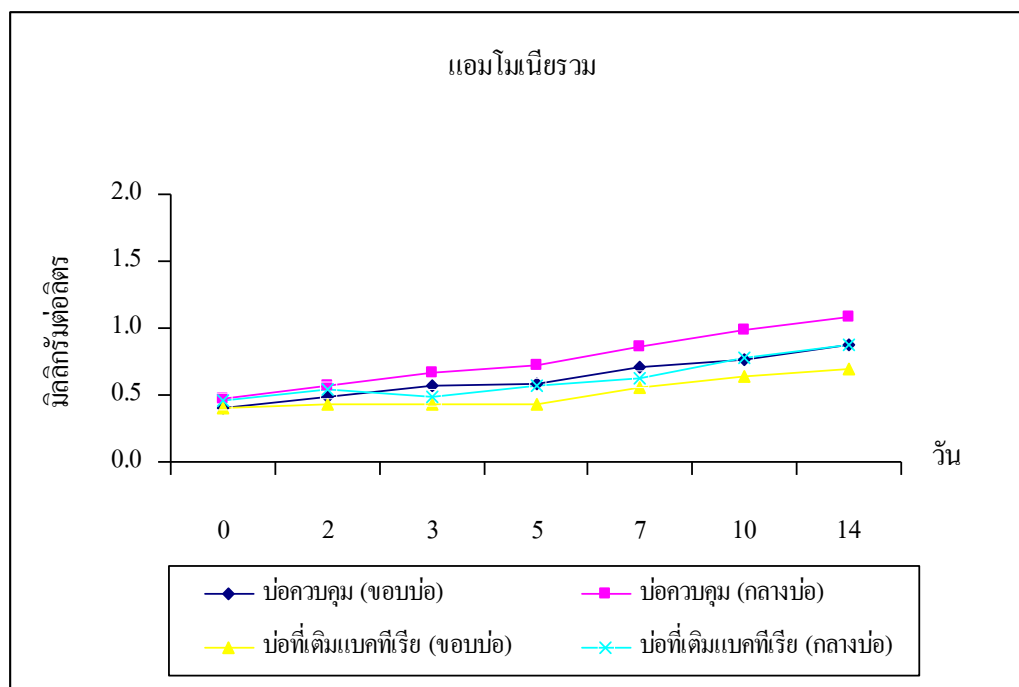
บ่อ วันที่		บ่อควบคุม				บ่อทดลองที่ใช้ไนตริไฟอิงแบคทีเรีย			
		1	9	10	เฉลี่ย	7	11	14	เฉลี่ย
0	ขอบบ่อ	0.26	0.27	0.33	0.29±0.04 ^a	0.28	0.32	0.27	0.29±0.03 ^a
	กลางบ่อ	0.37	0.36	0.41	0.38±0.03 ^a	0.38	0.42	0.34	0.38±0.04 ^a
2	ขอบบ่อ	0.27	0.29	0.34	0.30±0.04 ^a	0.28	0.33	0.28	0.30±0.03 ^a
	กลางบ่อ	0.34	0.37	0.41	0.37±0.03 ^a	0.33	0.40	0.33	0.36±0.04 ^a
3	ขอบบ่อ	0.27	0.33	0.34	0.31±0.04 ^a	0.27	0.33	0.27	0.29±0.04 ^a
	กลางบ่อ	0.37	0.38	0.43	0.39±0.04 ^a	0.30	0.36	0.28	0.31±0.04 ^a
5	ขอบบ่อ	0.28	0.32	0.36	0.32±0.04 ^b	0.24	0.26	0.23	0.24±0.01 ^a
	กลางบ่อ	0.38	0.39	0.41	0.39±0.02 ^b	0.26	0.30	0.24	0.27±0.03 ^a
7	ขอบบ่อ	0.30	0.32	0.37	0.33±0.03 ^b	0.24	0.23	0.24	0.24±0.01 ^a
	กลางบ่อ	0.37	0.40	0.41	0.39±0.02 ^b	0.28	0.29	0.26	0.27±0.02 ^a
10	ขอบบ่อ	0.29	0.32	0.33	0.31±0.02 ^b	0.26	0.27	0.28	0.27±0.01 ^a
	กลางบ่อ	0.36	0.38	0.41	0.38±0.03 ^b	0.27	0.30	0.29	0.29±0.02 ^a
14	ขอบบ่อ	0.31	0.36	0.37	0.34±0.03 ^b	0.27	0.30	0.29	0.29±0.02 ^a
	กลางบ่อ	0.34	0.38	0.40	0.37±0.03 ^a	0.29	0.36	0.30	0.29±0.04 ^a



ภาพที่ 34 การเปลี่ยนแปลงปริมาณแอมโมเนียรวมของน้ำในกุ่มอายุ 30 วัน

ตารางที่ 18 แอมโมเนียรวมในบ่อควบคุมและบ่อทดลองที่ใช้ในศรีฟองแบคทีเรีย ในกึ่งอายุ 85 วัน

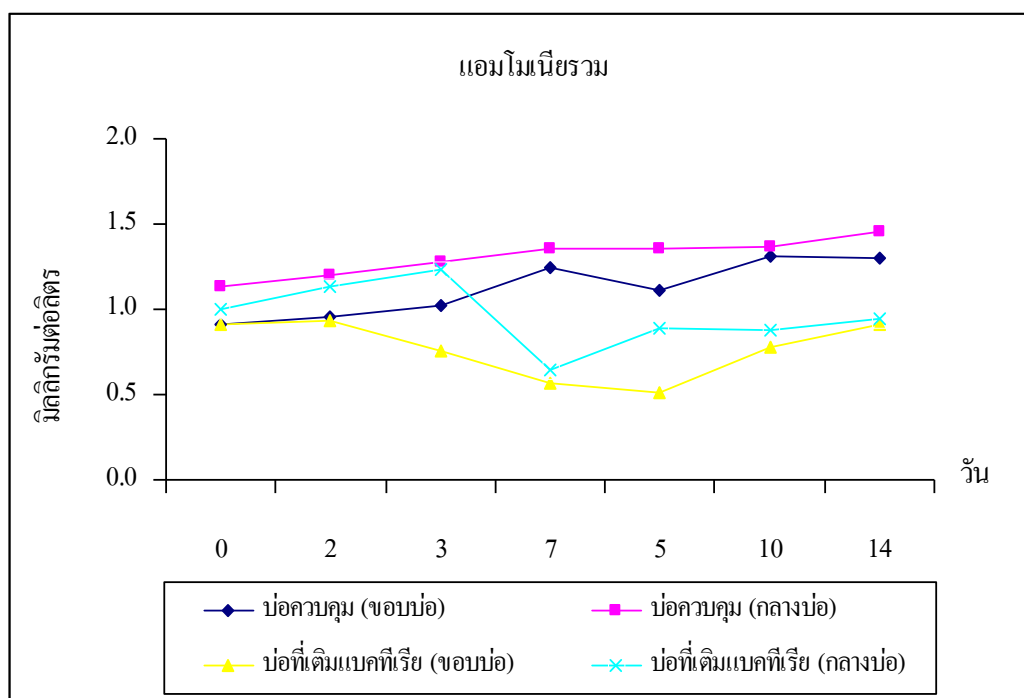
บ่อ วันที่		บ่อควบคุม				บ่อทดลองที่ใช้ในศรีฟองแบคทีเรีย			
		1	9	10	เฉลี่ย	7	11	14	เฉลี่ย
0	ขอบบ่อ	0.37	0.40	0.42	0.40 ± 0.03^a	0.39	0.41	0.41	0.40 ± 0.01^a
	กลางบ่อ	0.47	0.49	0.47	0.47 ± 0.01^a	0.46	0.48	0.46	0.46 ± 0.01^a
2	ขอบบ่อ	0.41	0.49	0.56	0.49 ± 0.07^a	0.44	0.43	0.43	0.44 ± 0.01^a
	กลางบ่อ	0.56	0.57	0.58	0.57 ± 0.01^a	0.54	0.56	0.53	0.54 ± 0.01^a
3	ขอบบ่อ	0.52	0.58	0.62	0.57 ± 0.05^b	0.48	0.40	0.42	0.43 ± 0.04^a
	กลางบ่อ	0.60	0.72	0.69	0.67 ± 0.06^b	0.50	0.43	0.54	0.49 ± 0.06^a
5	ขอบบ่อ	0.58	0.60	0.58	0.59 ± 0.01^b	0.44	0.43	0.41	0.43 ± 0.02^a
	กลางบ่อ	0.69	0.74	0.73	0.72 ± 0.03^b	0.59	0.58	0.53	0.57 ± 0.03^a
7	ขอบบ่อ	0.77	0.71	0.66	0.71 ± 0.06^b	0.59	0.57	0.52	0.56 ± 0.04^a
	กลางบ่อ	0.93	0.90	0.73	0.86 ± 0.11^b	0.64	0.63	0.57	0.62 ± 0.04^a
10	ขอบบ่อ	0.73	0.73	0.76	0.76 ± 0.03^b	0.68	0.63	0.60	0.64 ± 0.04^a
	กลางบ่อ	1.09	1.00	0.89	0.99 ± 0.10^a	0.80	0.82	0.72	0.78 ± 0.05^a
14	ขอบบ่อ	0.86	0.91	0.84	0.87 ± 0.04^b	0.70	0.73	0.68	0.70 ± 0.03^a
	กลางบ่อ	1.16	1.09	1.01	1.08 ± 0.07^b	0.83	0.90	0.87	0.87 ± 0.04^a



ภาพที่ 35 การเปลี่ยนแปลงปริมาณแอมโมเนียรวมของน้ำในกึ่งอายุ 85 วัน

ตารางที่ 19 แอมโมเนียรวมในบ่อควบคุมและบ่อทดลองที่ใช้ในτριฟองแบคทีเรียในกุ้งอายุ 110 วัน

บ่อ วันที่		บ่อควบคุม				บ่อทดลองที่ใช้ในτριฟองแบคทีเรีย			
		1	9	10	เฉลี่ย	7	11	14	เฉลี่ย
0	ขอบบ่อ	0.96	0.84	0.92	0.91 ± 0.11^a	0.84	0.91	0.97	0.91 ± 0.07^a
	กลางบ่อ	1.15	1.07	1.17	1.13 ± 0.05^a	0.92	1.30	1.03	1.00 ± 0.31^a
2	ขอบบ่อ	0.99	0.91	0.97	0.96 ± 0.04^a	0.96	0.91	0.93	0.93 ± 0.03^a
	กลางบ่อ	1.22	1.13	1.24	1.20 ± 0.06^a	1.02	1.33	1.04	1.13 ± 0.17^a
3	ขอบบ่อ	1.11	0.92	1.04	1.02 ± 0.10^b	0.67	0.76	0.84	0.76 ± 0.09^a
	กลางบ่อ	1.14	1.21	1.38	1.28 ± 0.09^a	1.01	1.52	1.16	1.23 ± 0.26^a
5	ขอบบ่อ	1.27	0.97	1.10	1.11 ± 0.15^b	0.54	0.48	-	0.51 ± 0.34^a
	กลางบ่อ	1.33	1.32	1.43	1.36 ± 0.06^b	0.92	0.86	-	0.89 ± 0.04^a
7	ขอบบ่อ	1.46	1.18	1.08	1.24 ± 0.20^b	0.51	0.63	-	0.57 ± 0.08^a
	กลางบ่อ	1.49	1.43	1.15	1.36 ± 0.18^b	0.58	0.62	-	0.65 ± 0.04^a
10	ขอบบ่อ	1.34	1.38	1.20	1.31 ± 0.09^b	0.80	0.75	-	0.78 ± 0.04^a
	กลางบ่อ	1.52	1.31	1.28	1.37 ± 0.13^b	0.83	0.92	-	0.88 ± 0.06^a
14	ขอบบ่อ	1.52	1.20	1.17	1.30 ± 0.19^b	-	0.91	-	0.91^a
	กลางบ่อ	1.62	1.44	1.31	1.46 ± 0.16^b	-	0.94	-	0.94^a



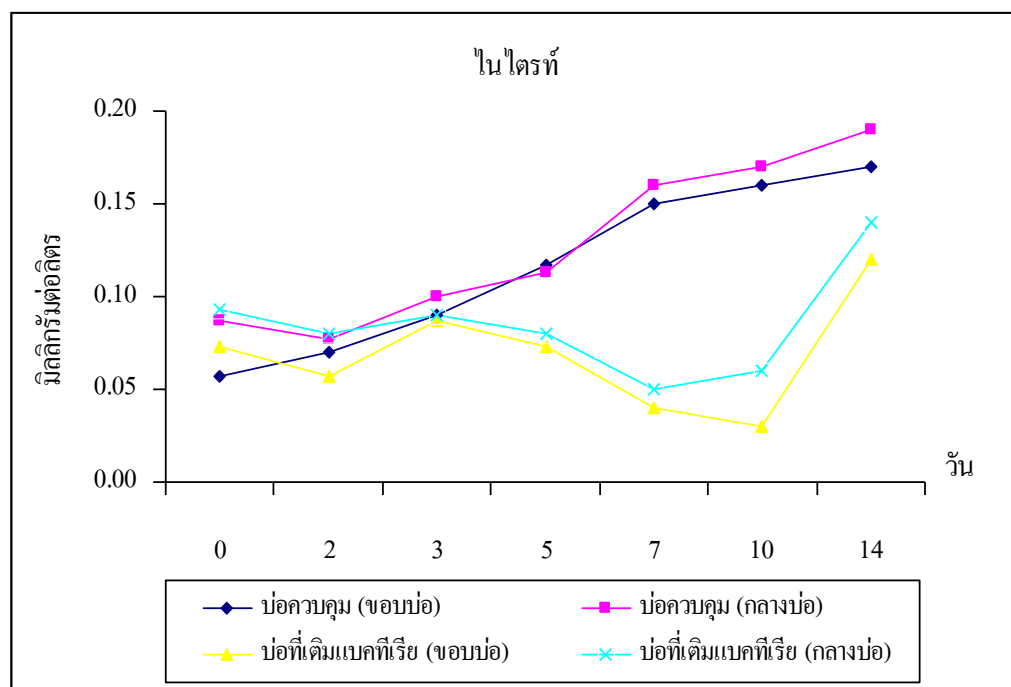
ภาพที่ 36 การเปลี่ยนแปลงปริมาณแอมโมเนียรวมของน้ำในกุ้งอายุ 110 วัน

1.7 ไนโตร

ปริมาณไนโตรที่บริเวณขอบบ่อของบ่อควบคุมและบ่อทดลอง ในกึ่งอายุ 30 วัน มีค่าอยู่ระหว่าง 0.06-0.19 และ 0.03-0.12 มิลลิกรัมต่อลิตร ส่วนบริเวณกลางบ่อมีค่าอยู่ระหว่าง 0.09-0.17 และ 0.05-0.14 มิลลิกรัมต่อลิตรตามลำดับ โดยปริมาณไนโตรที่ในกลุ่มทดลองทั้งบริเวณขอบบ่อและกลางบ่อลดลงแตกต่างจากกลุ่มควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) ภายในวันที่ 7 หลังเติมจุลินทรีย์ ส่วนในกึ่งอายุ 85 วัน ปริมาณไนโตรที่ลดลงในวันที่ 7 เช่นเดียวกัน แต่ลดลงเฉพาะบริเวณขอบบ่อ ซึ่งบริเวณ ขอบบ่อของบ่อควบคุมและบ่อทดลองมีค่าระหว่าง 3.27-3.73 และ 3.22-3.75 มิลลิกรัมต่อลิตร บริเวณกลางบ่อมีค่าระหว่าง 4.42-4.96 และ 4.34-4.83 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ แนวโน้มของไนโตรที่เพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องจนกึ่งอายุ 110 วัน โดยปริมาณไนโตรที่บริเวณขอบบ่อในบ่อควบคุมและบ่อทดลองมีค่าระหว่าง 4.46-7.33 และ 4.73-7.40 มิลลิกรัมต่อลิตร ในบริเวณกลางบ่อมีค่าระหว่าง 5.44-7.81 และ 5.43-7.89 มิลลิกรัมต่อลิตรตามลำดับ ซึ่งปริมาณไนโตรที่ในบ่อทดลองบริเวณขอบบ่อลดลงแตกต่างบ่อควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) ในวันที่ 7 (ตารางที่ 20-22 และภาพที่ 37-39) เนื่องจากการเติมไนโตรไฟอิงแบคทีเรียซึ่งมีความสามารถในการออกซิไดซ์แอมโมเนียให้เป็นไนโตร และไนเตรตามลำดับ โดยกระบวนการเปลี่ยนแอมโมเนียเป็นไนโตรและไนเตร ท เรียกว่ากระบวนการไนตริฟิเคชันจากนั้นไนโตรและไนเตรทจะเข้าสู่กระบวนการดีไนตริฟิเคชัน (denitrification) โดยไนเตรทจะถูกรีดิวซ์กลายเป็นไนโตรเจน (N_2) หรือไนตรัสออกไซด์ (NO_2) ออกสู่บรรยากาศ (Yanagita, 1990; Bitton, 1994) กระบวนการไนตริฟิเคชันของแบคทีเรียในกลุ่มไนตริไฟอิงแบคทีเรีย ได้แก่ *Nitrosomonas* sp. และ *Nitrobacter* sp. จะเกิดอย่างสมบูรณ์ในสภาวะที่มีออกซิเจนเพียงพอ แต่เนื่องจากปริมาณไนโตรและแอมโมเนียในการทดลองมีค่าเกินมาตรฐาน อาจเกิดจากการให้อาหารในปริมาณมากเกินไปเกินความต้องการของกุ้ง ทำให้เกิดอาหารสะสมในปริมาณมากส่งผลต่อกระบวนการไนตริฟิเคชันที่ไม่สมบูรณ์ ทำให้เกิดการสะสมของแอมโมเนียและไนโตรที่ในบ่อขึ้นได้ (ชลอ และพรเลิศ, 2547; Boyd, 1982) หรือการเปลี่ยนถ่ายน้ำไม่เพียงพอ จากปัญหาดังกล่าวทำให้กระบวนการไนตริฟิเคชันของจุลินทรีย์ถูกลดประสิทธิภาพลง ดังนั้นปริมาณแอมโมเนียและไนโตรส่วนใหญ่ในช่วงท้ายของการทดลองระหว่างบ่อควบคุมและบ่อทดลองจึงไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ซึ่งปริมาณไนโตรที่เหมาะสมต่อการเลี้ยงกุ้งขาวแวนนาไมควรต่ำกว่า 0.01 มิลลิกรัมต่อลิตร (ชลอ และพรเลิศ, 2547) แม้ว่าปริมาณไนโตรที่อยู่ในระดับที่สูงมากเกินไปเกินระดับมาตรฐานที่กำหนดไว้ แต่ กุ้งก็ยังไม่น่าป่วยเป็นโรค แสดงว่าถ้าปริมาณไนโตรที่ค่อยๆ เพิ่มขึ้น ตามระยะเวลาในการเลี้ยงและมีปริมาณออกซิเจนที่ละลายน้ำอยู่ในระดับที่สูง กุ้งสามารถปรับตัวให้ทนทานต่อไนโตรที่ได้สูงมากแต่ก็มีผลต่อการเจริญเติบโตได้

ตารางที่ 20 ไนไตรท์ในบ่อควบคุมและบ่อทดลองที่ใช้ไนโตรไฟอิงแบคทีเรียในกุ้งอายุ 30 วัน

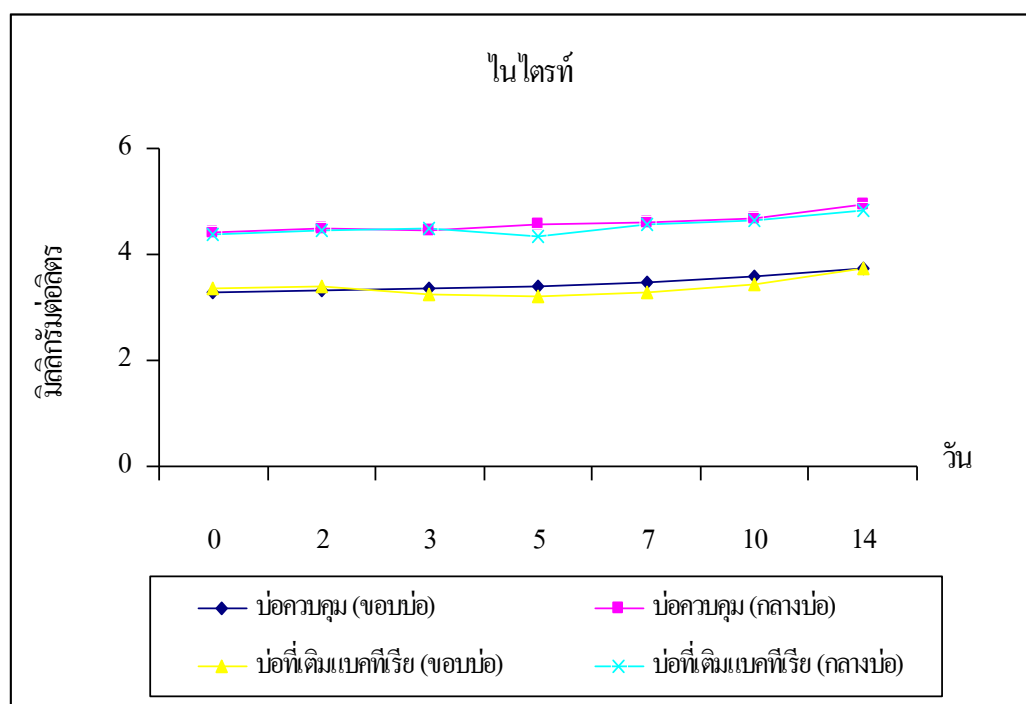
บ่อ วันที่		บ่อควบคุม				บ่อทดลองที่ใช้ไนโตรไฟอิงแบคทีเรีย			
		1	9	10	เฉลี่ย	7	11	14	เฉลี่ย
0	ขอบบ่อ	0.07	0.06	0.04	0.06 ± 0.02^a	0.08	0.07	0.07	0.07 ± 0.01^a
	กลางบ่อ	0.13	0.07	0.06	0.09 ± 0.04^a	0.04	0.10	0.14	0.09 ± 0.05^a
2	ขอบบ่อ	0.08	0.07	0.06	0.07 ± 0.01^a	0.08	0.08	0.01	0.06 ± 0.04^a
	กลางบ่อ	0.08	0.08	0.07	0.08 ± 0.01^a	0.07	0.08	0.09	0.08 ± 0.01^a
3	ขอบบ่อ	0.13	0.08	0.06	0.09 ± 0.04^a	0.09	0.09	0.08	0.09 ± 0.01^a
	กลางบ่อ	0.12	0.10	0.08	0.10 ± 0.02^a	0.08	0.09	0.10	0.09 ± 0.01^a
5	ขอบบ่อ	0.15	0.12	0.08	0.12 ± 0.04^a	0.12	0.05	0.05	0.07 ± 0.04^a
	กลางบ่อ	0.13	0.13	0.08	0.11 ± 0.03^a	0.10	0.06	0.08	0.08 ± 0.02^a
7	ขอบบ่อ	0.13	0.21	0.11	0.15 ± 0.05^b	0.06	0.03	0.02	0.04 ± 0.02^a
	กลางบ่อ	0.015	0.19	0.13	0.16 ± 0.03^b	0.07	0.02	0.05	0.05 ± 0.03^a
10	ขอบบ่อ	0.13	0.23	0.12	0.16 ± 0.06^b	0.03	0.03	0.02	0.03 ± 0.01^a
	กลางบ่อ	0.17	0.21	0.14	0.17 ± 0.04^a	0.09	0.02	0.07	0.06 ± 0.04^a
14	ขอบบ่อ	0.15	0.23	0.14	0.17 ± 0.05^a	0.18	0.17	0.02	0.12 ± 0.09^a
	กลางบ่อ	0.20	0.22	0.15	0.19 ± 0.04^a	0.19	0.08	0.08	0.14 ± 0.06^a



ภาพที่ 37 การเปลี่ยนแปลงปริมาณไนไตรท์ของน้ำในกุ้งอายุ 30 วัน

ตารางที่ 21 ไนไตรท์ในบ่อควบคุมและบ่อทดลองที่ใช้ไนโตรไฟอิงแบคทีเรีย ในกุ่มอายุ 85 วัน

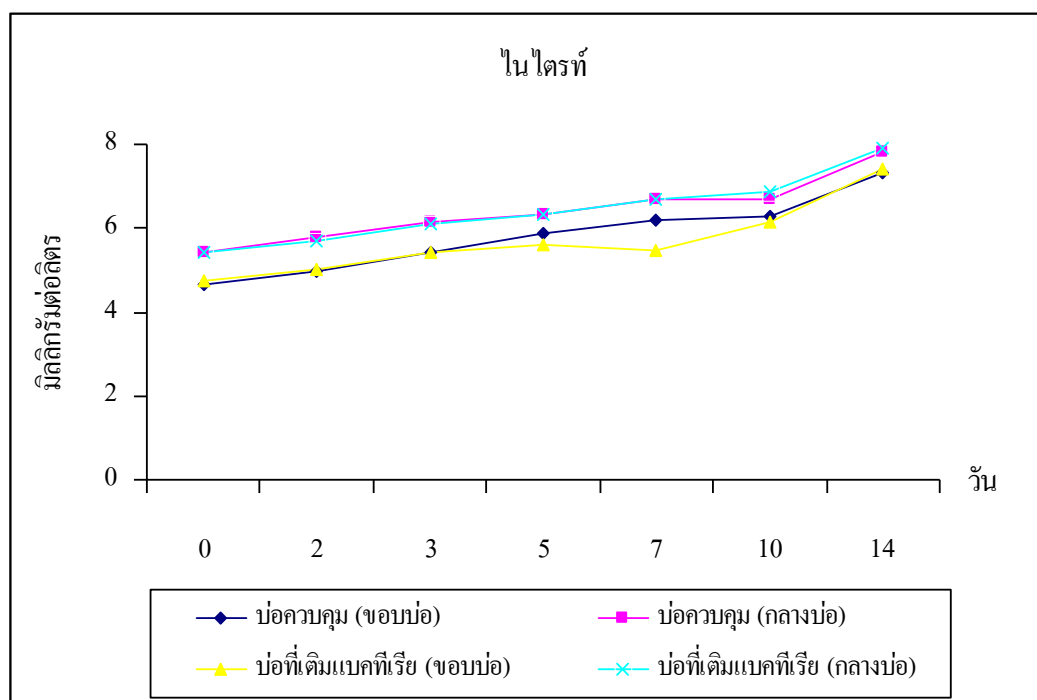
บ่อ วันที่		บ่อควบคุม				บ่อทดลองที่ใช้ไนโตรไฟอิงแบคทีเรีย			
		1	9	10	เฉลี่ย	7	11	14	เฉลี่ย
0	ขอบบ่อ	3.26	3.25	3.31	3.27±0.03 ^a	3.39	3.31	3.42	3.37±0.06 ^a
	กลางบ่อ	4.43	4.37	4.46	4.42±0.04 ^a	4.35	4.48	4.34	4.36±0.03 ^a
2	ขอบบ่อ	3.28	3.28	3.36	3.30±0.05 ^a	3.32	3.42	3.43	3.39±0.06 ^a
	กลางบ่อ	4.48	4.49	4.47	4.48±0.01 ^a	4.44	4.59	4.46	4.46±0.02 ^a
3	ขอบบ่อ	3.36	3.32	3.42	3.37±0.05 ^a	3.21	3.21	3.35	3.26±0.08 ^a
	กลางบ่อ	4.43	4.49	4.46	4.46±0.03 ^a	4.43	4.59	4.46	4.49±0.08 ^a
5	ขอบบ่อ	3.36	3.43	3.43	3.41±0.04 ^a	3.11	3.21	3.34	3.22±0.12 ^a
	กลางบ่อ	4.47	4.59	4.67	4.58±0.10 ^a	4.30	4.47	4.26	4.34±0.11 ^a
7	ขอบบ่อ	3.43	3.45	3.51	3.46±0.05 ^b	3.29	3.32	3.29	3.30±0.02 ^a
	กลางบ่อ	4.58	4.55	4.68	4.60±0.07 ^a	4.55	4.73	4.47	4.58±0.13 ^a
10	ขอบบ่อ	3.56	3.60	3.64	3.60±0.04 ^b	3.43	3.42	3.46	3.44±0.02 ^a
	กลางบ่อ	4.67	4.65	4.73	4.68±0.04 ^a	4.62	4.72	4.55	4.63±0.08 ^a
14	ขอบบ่อ	3.61	3.72	3.84	3.73±0.12 ^a	3.69	3.86	3.69	3.75±0.10 ^a
	กลางบ่อ	4.86	5.03	4.98	4.96±0.18 ^a	4.79	5.02	4.67	4.83±0.18 ^a



ภาพที่ 38 การเปลี่ยนแปลงปริมาณไนไตรท์ของน้ำในกุ่มอายุ 85 วัน

ตารางที่ 22 ไนไตรท์ในบ่อควบคุมและบ่อทดลองที่ใช้ไนโตรไฟอิงแบคทีเรียในกุ้งอายุ 110 วัน

บ่อ วันที่		บ่อควบคุม				บ่อทดลองที่ใช้ไนโตรไฟอิงแบคทีเรีย			
		1	9	10	เฉลี่ย	7	11	14	เฉลี่ย
0	ขอบบ่อ	4.48	4.89	4.54	4.46 ± 0.22^a	4.73	4.53	4.96	4.73 ± 0.20^a
	กลางบ่อ	5.51	5.38	5.42	5.44 ± 0.06^a	5.40	5.43	5.46	5.43 ± 0.03^a
2	ขอบบ่อ	4.80	5.06	5.03	4.96 ± 0.14^a	4.98	5.08	4.95	5.00 ± 0.07^a
	กลางบ่อ	5.63	5.73	5.97	5.78 ± 0.17^a	5.66	5.80	5.65	5.71 ± 0.08^a
3	ขอบบ่อ	5.51	5.39	5.43	5.44 ± 0.06^a	5.43	5.37	5.42	5.41 ± 0.04^a
	กลางบ่อ	6.19	6.06	6.16	6.14 ± 0.06^a	6.11	6.04	6.11	6.09 ± 0.04^a
5	ขอบบ่อ	5.88	5.89	5.82	5.86 ± 0.03^b	5.53	5.71	-	5.62 ± 0.12^a
	กลางบ่อ	6.47	6.39	6.15	6.33 ± 0.16^a	6.30	6.35	-	6.33 ± 0.03^a
7	ขอบบ่อ	6.01	6.23	6.38	6.21 ± 0.19^b	5.21	5.71	-	5.46 ± 0.36^a
	กลางบ่อ	6.65	6.71	6.67	6.68 ± 0.03^a	6.90	6.49	-	6.69 ± 0.28^a
10	ขอบบ่อ	6.30	6.21	6.34	6.28 ± 0.07^b	6.18	6.15	-	6.17 ± 0.02^a
	กลางบ่อ	6.60	6.84	6.67	6.70 ± 0.13^a	6.82	6.96	-	6.89 ± 0.10^a
14	ขอบบ่อ	7.32	7.31	7.36	7.33 ± 0.02^b	-	7.40	-	7.40^a
	กลางบ่อ	7.84	7.86	7.72	7.81 ± 0.08^a	-	7.89	-	7.89^a



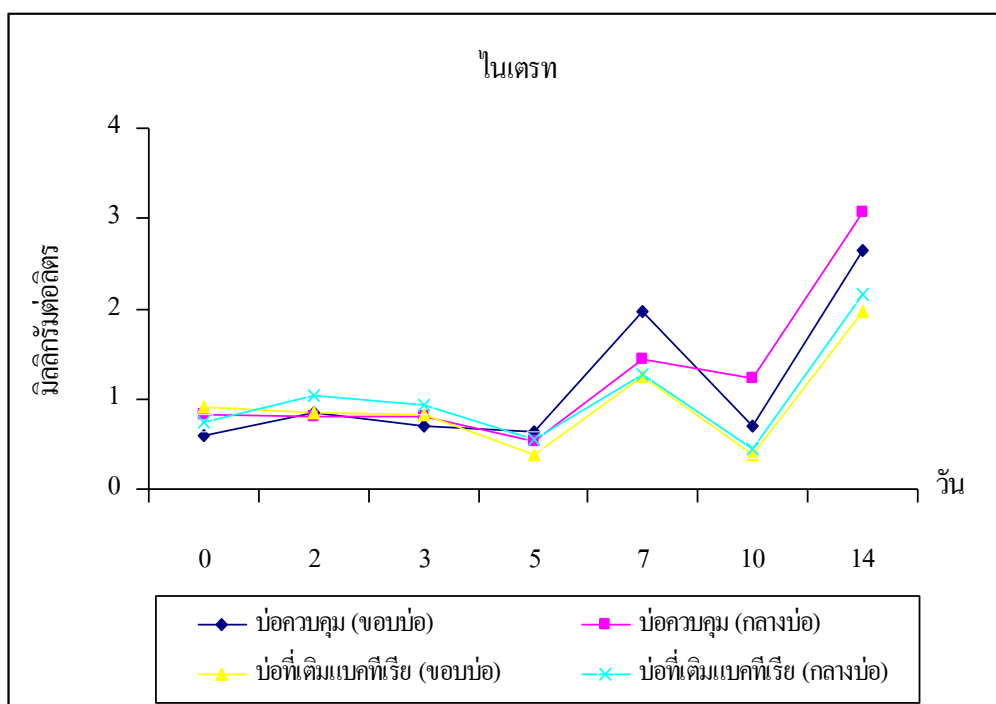
ภาพที่ 39 การเปลี่ยนแปลงปริมาณไนไตรท์ของน้ำในกุ้งอายุ 110 วัน

1.8 ไนเตรท

ปริมาณไนเตรทเฉลี่ยของบ่อควบคุมและบ่อทดลองในกึ่งอายุ 30 วันไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) โดยบริเวณขอบบ่อของบ่อควบคุมและบ่อทดลองมีค่าระหว่าง 0.59-2.64 และ 0.37-1.96 มิลลิกรัมต่อลิตร บริเวณกลางบ่อมีค่าระหว่าง 0.54-3.08 และ 0.45-2.17 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ ในกึ่งอายุ 85 วัน ปริมาณไนเตรทบริเวณขอบบ่อของบ่อควบคุมและบ่อทดลองมีค่าระหว่าง 4.75-4.81 และ 4.74-4.85 มิลลิกรัมต่อลิตร บริเวณกลางบ่อมีค่าระหว่าง 5.30-5.44 และ 5.34-5.64 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ ปริมาณไนเตรทบริเวณขอบบ่อและกลางบ่อในกลุ่มทดลองลดลงแตกต่างจากกลุ่มควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) ในวันที่ 5 หลังเติมจุลินทรีย์ ส่วนในกึ่งอายุ 110 วัน ปริมาณไนเตรทของบ่อควบคุมและบ่อทดลองไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p>0.05$) ปริมาณไนเตรทบริเวณขอบบ่อของบ่อควบคุมและบ่อทดลองมีค่าระหว่าง 5.44-7.17 และ 5.44-7.16 มิลลิกรัมต่อลิตร บริเวณกลางบ่อมีค่าระหว่าง 5.89-8.12 และ 5.72-8.13 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ (ตารางที่ 23-25 และภาพที่ 40-42) ในบ่อเลี้ยงสัตว์น้ำที่มีการสะสม และการเน่าสลายของสารอินทรีย์มากและมีระบบการให้อากาศที่ดีมีออกซิเจนในระดับสูง แอมโมเนียที่เกิดจากการเน่าสลายสารอินทรีย์จะถูกออกซิไดซ์เป็นไนไตรท์ จากนั้นไนไตรท์ถูกออกซิไดซ์ต่อไปเป็นไนเตรทสะสมอยู่ในบ่อ (ยงค์, 2530) ไนเตรทจะถูกใช้เป็นตัวรับอิเล็กตรอนในสภาวะขาดออกซิเจนซึ่งจากรายงานของ Menasveta *et al.* (2001) กล่าวว่าขณะเกิดปฏิกิริยาอะตอมของออกซิเจนจะถูกกำจัดออกจากไนเตรทที่สะสมตัวเกิดเป็นไนไตรท์ แต่ถ้าอยู่ในสภาวะที่มีสารอินทรีย์ (ตัวให้อิเล็กตรอน) ที่มากเกินไปจะทำให้ไนไตรท์ถูกเปลี่ยนแปลงไปเป็นไนไตรออกไซด์ และไนตรัสออกไซด์โดยทันทีแล้วถูกเปลี่ยนเป็นแก๊สไนโตรเจนอย่างรวดเร็วในช่วงท้ายของการเลี้ยงปริมาณไนเตรททั้งในบ่อทดลองและในบ่อควบคุม จึงมีแนวโน้มสูงขึ้นเนื่องจากกระบวนการไนตริฟิเคชัน โดยแบคทีเรียกลุ่มไนตริไฟอิงแบคทีเรียเปลี่ยนแอมโมเนียเป็นไนไตรท์ก่อนที่จะเปลี่ยนเป็นไนเตรท

ตารางที่ 23 ไนเตรทในบ่อควบคุมและบ่อทดลองที่ใช้ไนโตรฟองแบคทีเรีย ในกุ่มอายุ 30 วัน

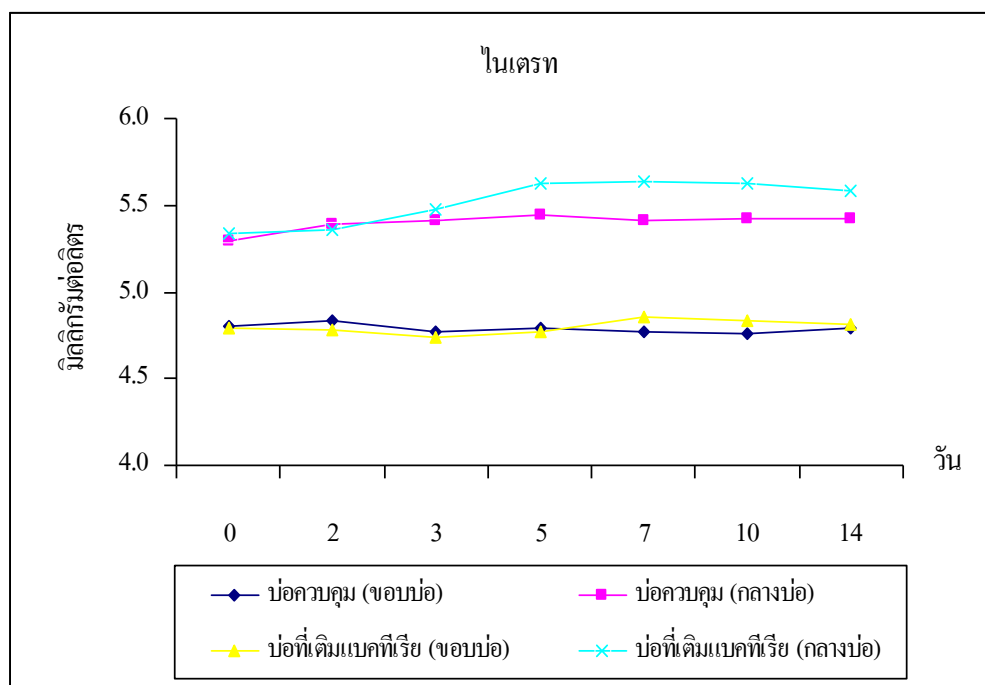
บ่อ วันที่		บ่อควบคุม				บ่อทดลองที่ใช้ไนโตรฟองแบคทีเรีย			
		1	9	10	เฉลี่ย	7	11	14	เฉลี่ย
0	ขอบบ่อ	0.77	0.51	0.50	0.59±0.15 ^a	0.61	0.96	1.13	0.90±0.27 ^a
	กลางบ่อ	1.03	0.86	0.58	0.82±0.23 ^a	0.66	1.09	0.45	0.73±0.33 ^a
2	ขอบบ่อ	1.09	0.71	0.76	0.85±0.21 ^a	0.76	1.18	0.57	0.84±0.31 ^a
	กลางบ่อ	0.89	0.65	0.86	0.80±0.13 ^a	0.73	1.04	1.37	1.05±0.32 ^a
3	ขอบบ่อ	0.88	0.65	0.59	0.71±0.15 ^a	0.75	0.93	0.79	0.82±0.09 ^a
	กลางบ่อ	1.00	0.77	0.65	0.81±0.18 ^a	0.67	0.87	1.27	0.94±0.31 ^a
5	ขอบบ่อ	0.58	0.77	0.57	0.64±0.11 ^a	0.62	0.20	0.34	0.39±0.21 ^a
	กลางบ่อ	0.24	0.81	0.56	0.54±0.29 ^a	0.60	0.19	0.85	0.55±0.33 ^a
7	ขอบบ่อ	2.23	2.13	1.57	1.98±0.36 ^a	1.31	1.61	0.83	1.25±0.39 ^a
	กลางบ่อ	1.28	1.81	1.25	1.45±0.32 ^a	1.09	1.30	1.41	1.27±0.16 ^a
10	ขอบบ่อ	0.49	1.23	0.37	0.70±0.47 ^a	0.67	0.29	0.16	0.37±0.27 ^a
	กลางบ่อ	2.17	1.19	0.32	1.23±0.93 ^a	0.51	0.23	0.61	0.45±0.20 ^a
14	ขอบบ่อ	2.57	3.28	2.08	2.64±0.60 ^a	1.37	1.76	2.75	1.96±0.71 ^a
	กลางบ่อ	3.34	3.41	2.48	3.08±0.52 ^a	1.51	1.72	3.27	2.17±0.96 ^a



ภาพที่ 40 การเปลี่ยนแปลงปริมาณไนเตรทของน้ำในกุ่มอายุ 30 วัน

ตารางที่ 24 ไนเตรทในบ่อควบคุมและบ่อทดลองที่ใช้ไนโตรไฟอิงแบคทีเรียในกึ่งอายุ 85 วัน

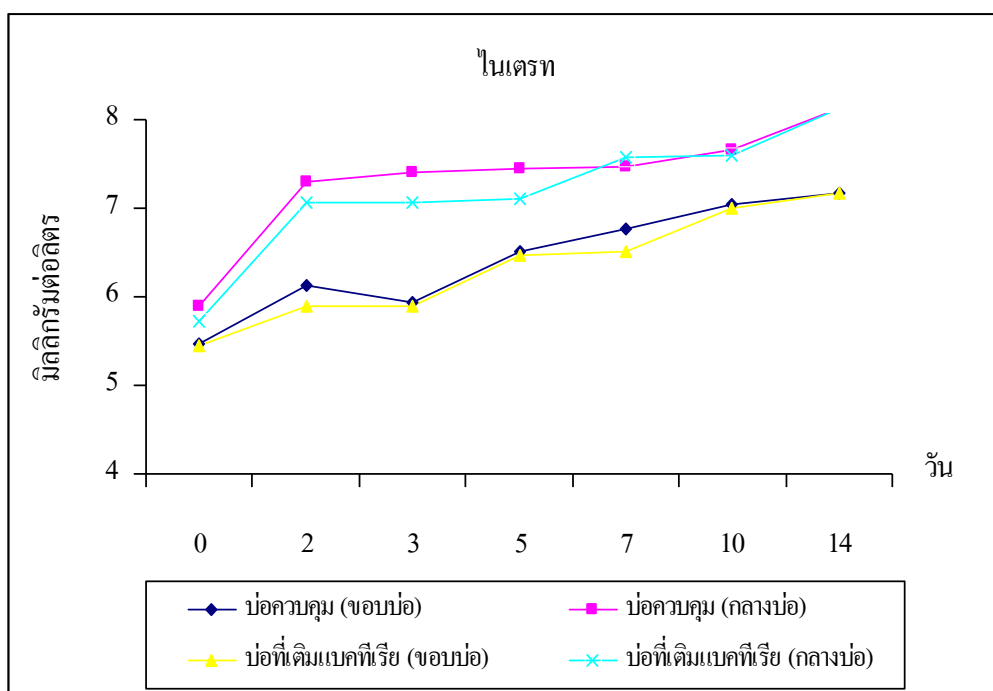
บ่อ วันที่		บ่อควบคุม				บ่อทดลองที่ใช้ไนโตรไฟอิงแบคทีเรีย			
		1	9	10	เฉลี่ย	7	11	14	เฉลี่ย
0	ขอบบ่อ	4.77	4.86	4.79	4.81±0.05 ^a	7.74	4.83	4.79	4.79±0.04 ^a
	กลางบ่อ	5.22	5.32	5.36	5.30±0.07 ^a	5.30	5.26	5.45	5.34±0.10 ^a
2	ขอบบ่อ	4.75	4.89	4.86	4.83±0.07 ^a	4.74	4.87	4.72	4.78±0.08 ^a
	กลางบ่อ	5.32	5.47	5.38	5.39±0.08 ^a	5.33	5.43	5.33	5.36±0.06 ^a
3	ขอบบ่อ	4.77	4.80	4.74	4.77±0.03 ^a	4.60	4.78	4.79	4.74±0.07 ^a
	กลางบ่อ	5.32	5.47	5.45	5.41±0.08 ^a	5.36	5.53	5.53	5.47±0.06 ^a
5	ขอบบ่อ	4.84	4.84	4.68	4.79±0.09 ^a	4.80	4.73	4.79	4.77±0.04 ^a
	กลางบ่อ	5.36	5.53	5.43	5.44±0.08 ^b	5.60	5.65	5.63	5.63±0.02 ^a
7	ขอบบ่อ	4.78	4.73	4.80	4.77±0.04 ^a	4.86	4.89	4.81	4.85±0.04 ^a
	กลางบ่อ	5.30	5.45	5.49	5.41±0.10 ^b	5.61	5.69	5.61	5.64±0.04 ^a
10	ขอบบ่อ	4.78	4.75	4.73	4.75±0.02 ^a	4.87	4.89	4.74	4.83±0.08 ^a
	กลางบ่อ	5.36	5.45	5.46	5.42±0.05 ^b	5.65	5.54	5.70	5.63±0.08 ^a
14	ขอบบ่อ	4.83	4.77	4.79	4.79±0.03 ^a	4.83	4.81	4.80	4.81±0.01 ^a
	กลางบ่อ	5.34	5.49	5.45	5.43±0.08 ^a	5.61	5.51	5.61	5.58±0.06 ^a



ภาพที่ 41 การเปลี่ยนแปลงปริมาณไนเตรทของน้ำในกึ่งอายุ 85 วัน

ตารางที่ 25 ไนเตรทในบ่อควบคุมและบ่อทดลองที่ใช้ในครีฟอิงแบคทีเรีย ในกึ่งอายุ 110 วัน

บ่อ วันที่		บ่อควบคุม				บ่อทดลองที่ใช้ในครีฟอิงแบคทีเรีย			
		1	9	10	เฉลี่ย	7	11	14	เฉลี่ย
0	ขอบบ่อ	5.69	5.41	5.33	5.48±0.19 ^a	5.66	5.46	5.21	5.44±0.23 ^a
	กลางบ่อ	5.94	5.71	6.02	5.89±0.16 ^a	6.00	5.77	5.40	5.72±0.30 ^a
2	ขอบบ่อ	6.10	5.69	6.59	6.13±0.45 ^a	5.86	6.27	5.53	5.89±0.37 ^a
	กลางบ่อ	7.28	6.93	7.69	7.30±0.38 ^a	7.05	7.14	7.00	7.06±0.07 ^a
3	ขอบบ่อ	6.10	5.98	5.75	5.94±0.18 ^a	5.94	5.93	5.81	5.89±0.08 ^a
	กลางบ่อ	7.27	7.02	7.92	7.40±0.46 ^a	7.14	7.01	7.05	7.07±0.07 ^a
5	ขอบบ่อ	6.68	6.81	6.03	6.51±0.42 ^a	6.13	6.80	-	6.46±0.47 ^a
	กลางบ่อ	7.69	7.10	7.55	7.45±0.31 ^a	6.67	7.56	-	7.11±0.62 ^a
7	ขอบบ่อ	7.08	6.96	6.24	6.76±0.46 ^a	6.21	6.80	-	6.50±0.42 ^a
	กลางบ่อ	7.69	7.10	7.59	7.46±0.32 ^a	7.48	7.66	-	7.57±0.13 ^a
10	ขอบบ่อ	7.09	7.02	6.99	7.03±0.05 ^a	7.11	6.88	-	7.00±0.16 ^a
	กลางบ่อ	7.69	7.47	7.83	7.66±0.18 ^a	7.62	7.57	-	7.60±0.04 ^a
14	ขอบบ่อ	7.15	7.14	7.21	7.17±0.04 ^a	-	7.16	-	7.16 ^a
	กลางบ่อ	8.11	8.11	8.13	8.12±0.01 ^a	-	8.13	-	8.13 ^a



ภาพที่ 42 การเปลี่ยนแปลงปริมาณไนเตรทของน้ำในกึ่งอายุ 110 วัน

3. การศึกษาผลของไนโตรไฟอิงแบคทีเรียต่อผลผลิตของกุ้งขาวแวนนาไมในบ่อเลี้ยง

ผลการเลี้ยงกุ้งขาวแวนนาไมในบ่อทดลองที่มีการใช้ไนโตรไฟอิงแบคทีเรียและบ่อควบคุม (ตารางที่ 26) ตลอดระยะเวลาการเลี้ยงไม่พบกุ้งป่วยเป็นโรคหรือแสดงอาการผิดปกติ เนื่องจากกุ้งขาวแวนนาไมที่นำมาใช้ศึกษาในครั้งนี้ได้ผ่านการตรวจด้วยเทคนิคพีซีอาร์ว่าปลอดเชื้อไวรัสดวงขาว ไวรัสหัวเหลือง ไวรัสทอรา และไวรัสตัวพิการหรือโรคกระแกร็น ผลการศึกษาพบว่าบ่อทดลองที่ใช้ไนโตรไฟอิงแบคทีเรียให้ผลผลิตเฉลี่ย $1,211.00 \pm 190.15$ กิโลกรัมต่อไร่ กุ้งมีน้ำหนักเฉลี่ย 15.61 ± 1.21 กรัม อัตราการรอดตาย 60.37 ± 1.98 เปอร์เซ็นต์ และอัตราการแลกเนื้อ 1.75 ± 0.14 ส่วน บ่อควบคุมให้ผลผลิตเฉลี่ย $1,182.53 \pm 264.96$ กิโลกรัมต่อไร่ กุ้งมีน้ำหนักเฉลี่ย 14.26 ± 1.97 กรัม อัตราการรอดตาย 62.27 ± 4.60 เปอร์เซ็นต์ และอัตราการแลกเนื้อ 1.83 ± 0.08 เมื่อนำค่าเฉลี่ยทั้งหมดนี้มาทดสอบทางสถิติ พบว่าไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($P > 0.05$) เนื่องจากในบ่อควบคุมและบ่อทดลองมีปริมาณแอมโมเนียและไนไตรท์ที่สูงตลอดการเลี้ยง ทั้งนี้เกิดจากการให้อาหารในปริมาณที่มากเกินไปเกินความต้องการของกุ้ง สังเกตได้จากค่าอัตราการแลกเนื้อที่สูงมากทำให้เกิดการย่อยสลายของอาหารที่เหลือภายในบ่อ ปริมาณแอมโมเนียและไนไตรท์ในน้ำเป็นปัจจัยสำคัญในการเลี้ยงกุ้ง โดยปริมาณแอมโมเนียในน้ำที่เพิ่มขึ้นทำให้การขับถ่ายแอมโมเนียของกุ้งลดลงเกิดการสะสมแอมโมเนียในเลือดและเนื้อเยื่ออื่นๆ ซึ่งส่งผลให้พีเอชของเลือดเพิ่มสูงขึ้นและมีผลต่อการทำงานในระบบต่างๆ ของร่างกาย นอกจากนี้แอมโมเนียยังเป็นสาเหตุให้น้ำเสียใช้ออกซิเจนเพิ่มมากขึ้นและลดความสามารถของเลือดในการขนถ่ายออกซิเจน ซึ่งส่งผลต่ออัตราการเจริญเติบโตและอัตราการรอดของกุ้ง (Boyd and Fast, 1992)

ตารางที่ 26 การเปรียบเทียบข้อมูลผลผลิตกุ้งขาวแวนนาไมในบ่อทดลองที่ใช้ไนตริไฟอิงแบคทีเรีย และบ่อควบคุม

บ่อ	ขนาด บ่อ (ไร่)	ระยะเวลา ที่เลี้ยง (วัน)	น้ำหนัก เฉลี่ย (กรัม)	อัตราการ รอดตาย (เปอร์เซ็นต์)	อัตราการ แลกเนื้อ	ผลผลิต (กิโลกรัม/ไร่)
บ่อทดลอง (เติมไนตริไฟอิงแบคทีเรีย)						
1	5	123	16.67	62.00	1.62	1398.60
2	5	130	14.29	60.93	1.72	1216.00
3	5	114	15.87	58.17	1.90	1018.40
เฉลี่ย	5	122.33±8.02 ^a	15.61±1.21 ^a	60.37±1.98 ^a	1.75±0.14 ^a	1,211.00±190.15 ^a
บ่อควบคุม (ไม่เติมไนตริไฟอิงแบคทีเรีย)						
4	5	128	13.89	65.47	1.82	1252.20
5	5	125	16.39	57.00	1.91	890.00
6	5	128	12.50	64.33	1.76	1406.40
เฉลี่ย	5	127.00±1.73 ^a	14.26±1.97 ^a	62.27±4.60 ^a	1.83±0.08 ^a	1,183±265.09 ^a

หมายเหตุ 1 ไร่ เท่ากับ 1,600 ตารางเมตร

ค่าเฉลี่ย±ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานในแนวตั้งที่กำกับด้วยอักษรที่เหมือนกันไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ ($p>0.05$)

4. การศึกษาเปรียบเทียบต้นทุนและผลตอบแทน ของบ่อเลี้ยงกุ้งขาวแวนนาไมในไตรฟองแบคทีเรียและบ่อควบคุม

จากการศึกษาเปรียบเทียบต้นทุนการผลิตและผลตอบแทนจากการเลี้ยงกุ้งขาวแวนนาไมในบ่อทดลองที่ใช้ในไตรฟองแบคทีเรียและบ่อควบคุม (ตารางที่ 27) พบว่าบ่อทดลองที่ใช้ในไตรฟองแบคทีเรียมีต้นทุนการผลิตเฉลี่ย 103,516 บาทต่อไร่ รายได้เฉลี่ย 150,164 บาทต่อไร่ ส่วนบ่อควบคุมมีต้นทุนการผลิตเฉลี่ยเท่ากับ 101,376 บาทต่อไร่ รายได้เฉลี่ยเท่ากับ 137,228 บาทต่อไร่ การเลี้ยงกุ้งขาวแวนนาไมในบ่อทดลองที่ใช้ในไตรฟองแบคทีเรีย จะให้ผลตอบแทนที่ดีกว่าบ่อควบคุม ซึ่งมีกำไร 46,648 และ 35,852 บาทต่อไร่ ตามลำดับ เนื่องจากในไตรฟองแบคทีเรียที่ใช้ในบ่อทดลองมีประสิทธิภาพในการลดปริมาณแอมโมเนีย และไนไตรท์ได้ ซึ่งเป็นการปรับปรุงคุณสมบัติของน้ำและทำให้สภาพบ่อดีกว่าบ่อควบคุม กุ้งจึงมีอัตราการเจริญเติบโตดีกว่าทำให้กุ้งมีขนาดโตกว่าและมีอัตราการแลกเนื้อที่ต่ำกว่าบ่อควบคุม

ตารางที่ 27 การเปรียบเทียบต้นทุนและผลตอบแทน ของบ่อเลี้ยงกุ้งขาวแวนนาไมที่ในศรีโพธิ์
แบคทีเรียและบ่อควบคุม

ต้นทุนและรายได้		บ่อทดลอง	บ่อควบคุม
ต้นทุน	ค่าแบคทีเรีย	18,000	-
	ค่าลูกพันธุ์กุ้งขาวแวนนาไม	35,000	35,000
	ค่าน้ำมัน	12,000	12,000
	ค่าน้ำเค็ม	14,600	14,600
	ค่าแรงงาน	30,000	30,000
	ค่าอาหาร	339,080	346,382
	ค่าสารเคมี	7,200	7,200
	ค่าไฟฟ้า	53,000	53,000
	ค่าใช้จ่ายอื่นๆ	8,700	8,700
	รวมต้นทุนทั้งหมด (บาท)	517,580	506,882
	รวมต้นทุน(บาทต่อไร่)	103,516	101,376
	รวมต้นทุน(บาทต่อกิโลกรัม)	85	86
รายได้	ผลผลิตทั้งหมด (กิโลกรัม)	6,055	5,915
	ผลผลิตทั้งหมด (กิโลกรัมต่อไร่)	1,211	1,183
	รายได้ทั้งหมด (บาท)	750,820	686,140
	รายได้ (บาทต่อไร่)	150,164	137,228
	รายได้ (บาทต่อกิโลกรัม)	124	116
ผลตอบแทน	กำไรทั้งหมด	233,240	179,258
	กำไรสุทธิ (บาทต่อไร่)	46,648	35,852
	กำไรสุทธิ (บาทต่อกิโลกรัม)	39	30

หมายเหตุ ราคากุ้งขาวแวนนาไม ณ วันที่ 29 สิงหาคม พ.ศ. 2551
 ราคากุ้งขนาด 70 ตัวต่อกิโลกรัม กิโลกรัมละ 116 บาท
 ราคากุ้งขนาด 60 ตัวต่อกิโลกรัม กิโลกรัมละ 124 บาท

สรุปและข้อเสนอแนะ

สรุป

1. การเติมไนตริไฟอิงแบคทีเรียสามารถลดปริมาณแอมโมเนียและไนไตรท์ที่เกิดจากการผสมเลนพื้นบ่อกุ้งและอาหารได้ อย่างไรก็ตามแบคทีเรียดังกล่าวจำเป็นต้องมีปริมาณออกซิเจนเพียงพอตลอดการทดลอง จึงจะทำให้กระบวนการทำงานของแบคทีเรียเกิดขึ้นอย่างต่อเนื่องและควรมีการเติมแบคทีเรียเป็นระยะๆ โดยเฉพาะในช่วงเวลาที่ปริมาณแอมโมเนียและไนไตรท์อยู่ในระดับที่สูง
2. คุณภาพน้ำทั้ง 3 ช่วงอายุกุ้งที่ทำการศึกษาในบ่อที่ใช้ไนตริไฟอิงแบคทีเรียมีปริมาณแอมโมเนีย ไนไตรท์ ไนเตรท ฟิเอช และความเป็นด่างต่ำกว่าบ่อควบคุม แต่มีปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำสูงกว่า โดยการเติมแบคทีเรียมีประสิทธิภาพในการควบคุมคุณภาพน้ำได้ระยะหนึ่งเท่านั้น จึงจำเป็นต้องมีการเติมแบคทีเรียเป็นระยะๆ ประมาณ 5-6 วันต่อครั้ง เพื่อป้องกันการเพิ่มขึ้นของแอมโมเนียและไนไตรท์
3. บ่อเลี้ยงกุ้งขาวแวนนาไมที่ใช้ไนตริไฟอิงแบคทีเรียตลอดระยะเวลาการเลี้ยงได้ผลผลิต 1,211 กิโลกรัมต่อไร่ มีอัตราการรอดตาย 60 เปอร์เซ็นต์ น้ำหนักเฉลี่ย 16 กรัม และอัตราการเนื้อ 1.75 ซึ่งให้ผลดีกว่าบ่อควบคุมซึ่งให้ผลผลิต 1,183 กิโลกรัมต่อไร่ มีอัตราการรอดตาย 62 เปอร์เซ็นต์ น้ำหนักเฉลี่ย 14 กรัม และอัตราการแลกเนื้อ 1.83
4. บ่อทดลองที่มีการใช้ไนตริไฟอิงแบคทีเรียในระหว่างการเลี้ยงให้มีค่าไรเฉลี่ย 46,648 ในขณะที่บ่อควบคุมมีค่าไรเฉลี่ย 35,852 บาทต่อไร่

ข้อเสนอแนะ

1. การใช้ไนตริไฟอิงแบคทีเรียในการลดปริมาณแอมโมเนียและไนไตรท์ในบ่อเลี้ยงกุ้งจะได้ผลดีเมื่อในบ่อมีปริมาณสารอินทรีย์ไม่มากเกินไป หากในบ่อมี สารอินทรีย์มากประสิทธิภาพการทำงานของแบคทีเรียจะลดลง การควบคุมปริมาณการให้อาหารที่เหมาะสมจะทำให้การใช้แบคทีเรียกลุ่มนี้ได้ผลชัดเจนขึ้น และควรมีเครื่องให้อากาศอย่างเพียงพอ
2. หากในบ่อเลี้ยงกุ้งมีระดับแอมโมเนียและไนไตรท์ไม่เพิ่มสูงขึ้นอย่างต่อเนื่องอาจเติมแบคทีเรียในช่วงที่ห่างกันมากกว่า 6 วันก็ได้ โดยเฉพาะในระยะแรกๆ ของการเลี้ยงอาจเติมในช่วงที่เว้นระยะห่างกันได้มากกว่าในช่วงเดือนสุดท้ายของการเลี้ยงหรือช่วงเวลาที่ปริมาณแพลงก์ตอนหนาแน่น สีนํ้าเข้มจัด และมีการเปลี่ยนถ่ายนํ้าบ่อย
3. ควรเก็บไนตริไฟอิงแบคทีเรียไว้ในภาชนะบรรจุที่ปิดสนิท เก็บไว้ในบริเวณแห้งและเย็น ห่างจากแสงแดด ความร้อน นอกจากนั้น ผู้ที่นำไปใช้หรือผู้ที่เกี่ยวข้องควรหลีกเลี่ยงการหายใจเอาแบคทีเรียเข้าไป
4. ควรมีการศึกษาผลของการใช้ไนตริไฟอิงแบคทีเรียที่เลี้ยงในนํ้าความเค็มปกติ ระหว่าง 25-35 พีพีที

เอกสารและสิ่งอ้างอิง

กรรณิการ์ อธิราช. 2543. การใช้แบคทีเรียและซีโอไลต์ในการลดปริมาณแอมโมเนียและไนโตรเจนในบ่อเลี้ยงกุ้งกุลาดำ (*Penaeus monodon* Fabricius). วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

กระทรวงพาณิชย์. 2551. อนาคตกุ้งไทยกับมาตรการการค้าระหว่างประเทศ. แหล่งที่มา:
<http://www.Pandintong.com>, 13 มีนาคม 2551.

กรมประมง. 2530. เกณฑ์คุณภาพน้ำเพื่อการคุ้มครองทรัพยากรสัตว์น้ำจืด ฉบับที่ 75/2530.
สถาบันประมงน้ำจืดแห่งประเทศไทย, กรุงเทพฯ.

_____. 2547. โครงการประเมินผลกระทบการนำกุ้งขาว (*Penaeus vannamei*) เข้าประเทศไทย.
หน่วยวิจัยเพื่อความเป็นเลิศเทคโนโลยีชีวภาพกุ้ง, คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล.

กรมศุลกากร. 2548. กลุ่มวิเคราะห์การค้าสินค้าประมงระหว่างประเทศ กองประมงต่างประเทศ
กรมประมง, กรุงเทพฯ.

คณิต ไชยคำ และ ยงยุทธ ปรีดาลัมพะบุตร. 2537. แนวทางการป้องกันเพื่อลดผลกระทบที่มีต่อ
สิ่งแวดล้อมจากการพัฒนาการเลี้ยงกุ้งกุลาดำแบบพัฒนา. สถาบันวิจัยการเพาะเลี้ยงสัตว์
น้ำชายฝั่ง, สงขลา.

จักรกฤษ พรหมชนะ. 2547. การวิเคราะห์ต้นทุนและผลตอบแทนทางการเงินของการเลี้ยงกุ้งขาว
ในจังหวัดฉะเชิงเทรา. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

เจนจิรา สุกรพันธ์. 2548. ประสิทธิภาพในการลดไนเตรท ไนไตรต์ แอมโมเนียและฟอสเฟต ในบ่อ
เลี้ยงกุ้งกุลาดำระบบปิด โดยแบคทีเรียผสม. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยบูรพา.

ชลอ ลิมสุวรรณ. 2534. คัมภีร์การเลี้ยงกุ้งกุลาดำ. สำนักพิมพ์ฐานเศรษฐกิจ, กรุงเทพฯ.

ชลอ ลิมสุวรรณ. 2543. กุ้งไทย 2000 คู่ความยั่งยืน และเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม. เจริญการพิมพ์, กรุงเทพฯ.

_____ และ พรเลิศ จันทรรักษ์กุล. 2547. อุตสาหกรรมการเพาะเลี้ยงกุ้งในประเทศไทย. บริษัท เมจิก ฟับบลิเคชัน จำกัด, กรุงเทพฯ.

ชลิต โนระดี. 2535. ผลของแบคทีเรียต่อการย่อยสลายสารอินทรีย์ในบ่อซีเมนต์เลี้ยงกุ้งกุลาดำที่พื้นเป็นดินเหนียว. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

ดวงพร กันธโชติ. 2545. นิเวศวิทยาของจุลินทรีย์. สำนักพิมพ์ โอเดียนสโตร์, กรุงเทพฯ.

ดีพร้อม ไชยวงศเกียรติ. 2531. ระบบน้ำและของเสียในบ่อกุ้ง. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ

ดุสิต ต้นวิไลย, คณิต ไชยคำ, ยงยุทธ ปริดาลัมพะบุตร และ เข้าว ศรีวิชัย. 2537. การตรวจและติดตามคุณภาพน้ำและดินจากฟาร์มเลี้ยงกุ้งกุลาดำ จังหวัดปัตตานี. เอกสารวิชาการฉบับที่ 5/2537. สถาบันวิจัยการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำชายฝั่งจังหวัดสงขลา กรมประมง, กรุงเทพฯ.

นิวุฒิ หวังชัย. 2534. การสะสมและการสลายตัวของสารอินทรีย์ในดินพื้นบ่อเลี้ยงกุ้งกุลาดำที่เลี้ยงแบบหนาแน่น. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

ปรมินทร์ สันใจ. 2548. การคัดแยกและคัดเลือกแบคทีเรียที่มีความสามารถในการกำจัดแอมโมเนียและไนไตรท์. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

ประวิทย์ โด้วฉนะ และ พิภพ ปราบณรงค์. 2539. การสะสมตัวและการเคลื่อนที่ของไอออนจากน้ำทะเลที่ใช้เลี้ยงกุ้งในหน้าดินตื้นที่มีผลกระทบต่อสภาพแวดล้อมและทรัพยากรดินในอำเภอร่อนฉะ จังหวัดสงขลา. ว. สงขลานครินทร์. 18(1): 113-127.

เปรมสุดา สมาน. 2539. จุลินทรีย์สำหรับน้ำเสียที่เกิดจากการเลี้ยงกุ้งทะเล. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต, สาขาเทคโนโลยีชีวภาพ บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

เปี่ยมศักดิ์ เมนะเสวต. 2525. แหล่งน้ำกับปัญหามลภาวะ. สำนักพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, กรุงเทพฯ.

พุทธ ส่องแสงจินดา, ถักขณา ละอองศิริวงศ์ และ ชัชวาล อินทรมนตรี. 2543. **ฟลักซ์ของสารประกอบไนโตรเจนที่สัมผัสของน้ำ-ตะกอนดินในบ่อเลี้ยงกุ้งทะเล**. สงขลา: ศูนย์วิจัยและพัฒนาการเพาะเลี้ยงกุ้งทะเลฝั่งอ่าวไทย.

_____. 2545. **การจัดการสารประกอบไนโตรเจนในฟาร์มเลี้ยงกุ้งระบบปิด**. กลุ่มวิจัยวิศวกรรมเพาะเลี้ยงและสิ่งแวดล้อม, ศูนย์วิจัยและพัฒนาการเพาะเลี้ยงกุ้งทะเลฝั่งอ่าวไทย, กรมประมง. แหล่งที่มา:
http://www.kungthai.com/KungThai/con_detail.php?id=32, 20 เมษายน 2551.

_____. 2546. **การจัดการสารประกอบไนโตรเจนในฟาร์มเลี้ยงกุ้งระบบปิด**. แหล่งที่มา:
<http://www.sittogroup.com/t-shrimp007.html>, 15 เมษายน 2551.

พัฒนา มูลพฤกษ์. 2539. อนามัยสิ่งแวดล้อม. กรุงเทพฯ : สำนักพิมพ์โอเคเียนสโตร์

ไมตรี ดวงสวัสดิ์ และ จารุวรรณ สมศิริ. 2528. **คุณสมบัติของน้ำและวิธีการวิเคราะห์สำหรับวิจัยทางการประมง**. สถาบันประมงน้ำจืดแห่งชาติ, กรมประมง, กรุงเทพฯ.

ยนต์ มุสิก. 2530. **กำลังผลิตทางชีวภาพในบ่อเลี้ยงปลา II. เอกสารประกอบการสอนวิชาเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ 551**. คณะประมง, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

_____. และ พรพันธ์ ยุทธรักษานุกูล. 2534. อัตราการตกตะกอน คุณสมบัติของดินตะกอนและดินพื้นบ่อในบ่อพักน้ำและบ่อเลี้ยงปลาในระบบการเลี้ยงกุ้งแบบหนาแน่นบริเวณกันอ่าวไทย. วารสารวิทยาศาสตร์การประมง 1(1): 47-55.

ศศิวิมล ไชยพรวัฒนา. 2544. **การวิเคราะห์ต้นทุนและผลตอบแทนทางการเงินในการผลิตกุ้งก้ามกรามในจังหวัดสุพรรณบุรีปี 2543**. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

ศิริวรรณ คัดประเสริฐ. 2538. การใช้สาหร่ายทะเลลดปริมาณสารประกอบไนโตรเจนในน้ำทิ้งจากการเลี้ยงกุ้ง. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

ศิริเพ็ญ ตรีชัยยาพร. 2543. การวิเคราะห์คุณภาพน้ำ. ภาควิชาจุลชีววิทยา, คณะวิทยาศาสตร์, มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.

ศุภชัย นิลวานิช. 2540. กุ้งกุลาดำ ทางเลือก-ทางรอด. กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์มติชน.

สาธิตี ผลมาตย์. 2546. การย่อยสลายของเสียบางชนิดในบ่อเลี้ยงกุ้งกุลาดำแบบพัฒนาโดยกลุ่มแบคทีเรีย. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยบูรพา.

สิริ ทุกษ์วินาศ. 2527. ผลของ Nitrite-Nitrogen และ Ammonia-Nitrogen ต่ออัตราการตายของลูกกุ้งกุลาดำ (*Penaeus monodon*) วัยอ่อนและลูกปลากะพงขาว (*Lates calcarifer*) วัยอ่อน. เอกสารวิชาการฉบับที่ 6/2537, สถาบันเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำชายฝั่ง, กรมประมง, สงขลา.

สุชาดา ขางเอน. 2546. การกำจัดแอมโมเนียในน้ำเสียจากตู้ปลาโดยการกรองด้วยหินภูเขาไฟ. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

สุธี เกื้อเกตุ. 2543. การสะสมและการกระจายของไอออนจากน้ำทะเลในแหล่งเลี้ยงกุ้งกุลาดำ เขตน้ำจืด: กรณีศึกษาที่อำเภอบ้านสร้าง จังหวัดปราจีนบุรี. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

สุรศักดิ์ ดิลกเกียรติ. 2546. กุ้งไทย ก้าวใหม่. กรุงเทพฯ.

สุริยะ จันทรแก้ว. 2540. ผลของแอมโมเนียและความเค็มที่มีผลต่อการเจริญเติบโต ระยะเวลาการลอกคราบ และปริมาณแคลเซียมในเปลือกของกุ้งกุลาดำ. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

สุวนิช ชัยนาค. 2540. การเปลี่ยนแปลงสมบัติของดินพื้นบ่อเลี้ยงกุ้งกุลาดำบริเวณอำเภอไทยตอนใน .
วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

สไบทิพย์ อมรจารุชิต, พัชรดา เหมมัน, สิริ ทุกข์วินาศ และ รังสิไชย ทับแก้ว. 2543. การศึกษา
ความผันแปรของคุณภาพน้ำและดินในบ่อเลี้ยงกุ้งกุลาดำ (*Penaeus monodon*) ในเขตพื้นที่
น้ำจืด จังหวัดราชบุรี. เอกสารวิชาการฉบับที่ 10/2543. กรมประมงสถาบันวิจัยและ
พัฒนาการเลี้ยงกุ้งทะเล.

อนันต์ ต้นสุตะพานิช. 2539. ศึกษาแนวทางฟื้นฟูการเลี้ยงกุ้งกุลาดำระบบปิด (การบำบัดเลนและ
น้ำทิ้งจากการเลี้ยงกุ้งรุ่นที่ 2 กลับมาใช้ในการเลี้ยงกุ้ง รุ่นที่ 3. เอกสารเผยแพร่วิชาการ.
กรมประมง.

อำพน กันธิยะ, 2540. การควบคุมการผลิตไฮโดรเจนซัลไฟด์โดยวิธีจุลชีววิทยา. วิทยานิพนธ์
ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

Allan, G.L., G.B. Maquire and S.J. Hopkins. 1990 . Acute and chronic toxicity of ammonia to
juvenile *Metapenaeus macleayi* and *Penaeus monodon* and the influence of low
dissolved oxygen levels. **Aquaculture** 91: 265-280.

APHA, AWWA and WEF A. 1995. **Standard Method for the Examination of Water and
Wastewater**. 20th ed. United Book Press, Maryland.

Armstrong, D.A., M.J. Stephenson and A.W. Knight. 1976. Acute toxicity of nitrite to larvae
of the giant Malaysian prawn *Macrobrachium rosenbergi*. **Aquaculture** 9: 39-46.

Arrignon, J.V.C., J.V. Huner, P. J.Laurent, J.M. Griessinger, D. Lacroix, P. Gonduin and M.
Autrand. 1994. **Warm-Water Crustaceans**. The Macmillan Press Ltd. London and
Basingstoke.

- Barnes, R.S.K. and R.N. Hughes. 1982. **An Introduction to Marine Ecology**. Blackwell Scientific Publ., Oxford, London.
- Bitton, G. 1994. **Wastewater Microbiology**. Wiley-Liss, Inc. USA.
- Bouldin, D.R. 1974. Losses of inorganic nitrogen from aquatic systems. **J. Environ. Qual** . 3
- Boyd, C.E. 1982. **Water Quality in Management for Fish Pond Culture** . Elsevier Scientific Publishing Co., Amsterdam, Netherlands.
- _____. 1987. **Evaluation of Water Quality and Water Quality Management Techniques for Brackishwater Aquaculture in Ponds in Thailand** . Report for the Asian Development Bank, Manila, Philippines.
- _____. 1989. **Water Quality Management and Aeration in Shrimp Farming** . Fisheries and Allied Aquaculture Departmental Series No. 2. Alabama Agricultural Experiment Station, Auburn University, Alabama.
- _____. 1990. **Water Quality in Pond for Aquaculture** Alabama Agricultural Experiment Station, Auburn University.
- _____. 1992. Shrimp pond bottom soil and sediment management, pp. 16-181. *In* **Proceeding of the Special Session on Shrimp Farming** . World Aquaculture Society Baton Rouge Louisiana, USA.
- _____. 1995. **Bottom Soils, Sediment and Pond Aquaculture** Alabama Agricultural Experiment Station, Auburn University , Alabama, USA.
- _____. 2002. Dissolved salt in water for inland low -salinity shrimp culture. **Glob. Aquac. Advocate**. 5: 40-50.

- Boyd, C.E. and A.W. Fast. 1992. Pond monitoring and management, pp. 497 -513. *In* A. W. Fast and L. J. Lester, eds. **Marine Shrimp Culture: Principles and Practices**. Elsevier Science B. V., Amsterdam.
- _____ and C.S. Tucker. 1998. **Pond Aquaculture Water Quality Management**. Kluwer Academic Publishers, Boston.
- Bratvold, D. and C.L. Browdy. 2001. Effect of sand sediment and vertical surfaces on production, water quality and microbial ecology in intensive *Litopenaeus vannamei* culture system. **Aquaculture** 195: 81-94.
- Brawn, T.E., A.W. Morley., N.T. Sanderson and R.D. Tait. 1983. Report of a large fish kill resulting from natural acid water condition in Austrawa. **J. Fish. Biol.** 22 (1): 43-47.
- Bray, W.A., A.L. Lawrence and J.R. Leung -Trujillo. 1994. The effect of salinity on growth and survival of *Penaeus vannamei* with observations on the interaction of IHHN virus and salinity. **Aquaculture** 122: 133-146.
- Brock, J.A. and K. Main. 1994. **A Guide to the Common Problems and Diseases of Cultured *Penaeus vannamei***. Publ. by the Oceanic Institute, Makapu Point, Honolulu, HI, USA.
- Brown, A.C. and A. McLachlan. 1990. **Ecology of Sandy Shores**. Elsevier Sciences Publishers B. V., Amsterdam.
- Burford, M.A., P.J. Thompson, R.P. McIntosh, R.H. Bauman and D.C. Pearson. 2003. Nutrient and microbial dynamics in high-intensity, zero-exchange shrimp ponds in Belize. **Aquaculture** 219 : 393-411.

- Casillas-Hernández, R., F. Magallón-Barajas, G. Portillo-Clarck and F. Páez-Osuna. 2006. Nutrient mass balances in semi-intensive shrimp ponds from Sonora, Mexico using two feeding strategies: Tray and mechanical dispersal. **Aquaculture** 258: 289-298.
- Chen, J.C., P.C. Liu and C. K. Lee. 1988. Super intensive culture of red -tailed shrimp *Penaeus penicillatus*. **J. World Aquac. Soc.** 19: 127-131.
- _____, J.C., P.C. Liu and S.C. Lei. 1990. Toxicities of ammonia and nitrite to *Penaeus monodon* adolescents. **Aquaculture** 89: 127-137.
- Colwell, R. R. and R.Y. Morita. 1974. **Effect of Ocean Environment on Microbial Activities**. University Park Press, Baltimore.
- Devaraja, T.N., F.M. Yusoff and M. Shariff. 2002. Changes in bacterial production in ponds treated with commercial products. **Aquaculture** 206: 245-256.
- Douderoff, P., G. Ledue and C.R. Schneider. 1966 . Acute toxicity of solution containing complex metal cyanides in relationship to concentrations of molecular hydrocyanic Acid. **Trans. Am. Fish. Soc.** 95: 6-22.
- Durborow, R.M., D.M. Crosby and M.W. Brunson. 1997 . **Nitrite in Fish Pond. Southern Regional Aquaculture Center**.
- Ehrlich, K.F., M.C. Centin and F.L. Horsfall. 1989. Bioagumental: biotechnology for improved aquacultural production and environment protection. **Aquac. Eng.** 111: 329-341.
- FAO. 1994. **Aquaculture Production 1986-1992**. FAO Fisheries Circular 815 (Rev. 6). FAO, Rome.

- Fenchel, T. and T.H. Blackburn. 1979. **Bacteria and Mineral Cycling**. Academic Press, London.
- Focht, D.D. and W. Verstraete. 1977. Biochemical ecology of nitrification and denitrification. **Adv. Microb. Ecol.** 1: 135–211.
- Fromm, P.O. and J.R. Gillette. 1968. **Effect of Ambient Ammonia on Blood Ammonia and Nitrogen Excretion of Rainbow Trout (*Salmo gairdneri*)**. Elsevier, Amsterdam, Netherland.
- Gong, Z., S. Liu, F. Yang, H. Yang, H. Bao and K. Furukawa. 2008. Charaterization of functional microbial community in a membrane -aerated biofilm reactor operated for completely autotrophic nitrogen nitro gen removal . **Bio. Tech.** 99: 2749-2756.
- Grega,M.D.L., P.L. Buckingham and J.C. 1984. **Hazardous waste management**. McGraw-Hill. USA.
- Guy, D. 1992. **The Ecology of the Fish Pond System**. Institute of Animal Ecology, University of Ghent, Belgium.
- Hajek, B.B. and C.E. Boyd. 1994. Rating soil and water information for a quaculture. **Aquac. Eng.** 13: 115-128.
- Hansen, J.I., K. Henriksen and T.H. Blackburn. 1981. Seasonal distribution of nitrifying bacteria and rates of nitrification in coastal ma rine sediments. **Microb. Ecol.** 7: 297–304.
- Hargreaves, J.A. 1997. A simulation model of ammonia dynamics in commercial catfish ponds in the southeastern United States. **Aquac. Eng.** 16: 27–43.
- _____. 1998. Nitrogen biogeochemistry of aquaculture pond. **Aquaculture** 166: 181-212.

- Hargreaves, J.A. and C.S. Tucker. 2004. Managing ammonia in fish pond. **SRAC**. 4603: 1-7.
- Hopkins, J.S., P.A. Sandifer and C.L. Browdy. 1994. Sludge management in intensive pond culture of shrimp: effect of management regime on water quality, sludge characteristics, nitrogen excretion, and shrimp production. **Aquac. Eng.** 13: 11-30.
- Koshio, S., S. Teshima., A. Kanasawa and T. Watase. 1993. The effect of dietary protein content and growth, digestion efficiency and nitrogen excretion of juvenile kuruma prawn, *Penaeus japonicus*. **Aquaculture** 113: 101-114.
- Knud-Hansen, C.F., C.D. McNabb and T.R. Batterson. 1991. Application of limnology for efficient nutrient utilization in tropical pond Aquaculture **Verh. Internat. Verein. Imnol.** 24: 2541-2543.
- Kungwankij, P. and T.E. Chen. 1986. **Shrimp Culture Design Operation and Management**. Aquaculture Department, Southeast Asian Fisheries Development Center, Network of Aquaculture Center. In Asia (NACA), Region Lead Center in Philippines (RLCP). Iloilo, Philippines.
- Lester, L.J. and J.R. Pante. 1991. Penaeid temperature and salinity response, pp. 515 -534. In A.W. Fast and L. J. Lester, eds. **Marine Shrimp Culture Principle and Practices**. Elsevier Amsterdam.
- Limsuwan, C. 1999. Shrimp culture in Thailand toward year 2000. **AAHRI Newsletter**. 8(1): 5-8.
- Lorenzen, K., J. Struve and V.J. Cowan. 1997. Impact of farming intensity and water management on nitrogendynamics in intensive pond culture: a mathematical model applied to Thai commercial shrimp farms. **Aquaculture** 28: 493-507.

- Ma, Y., L.Wang and L.Qian. 2008. Community structure of β -Proteobacterial ammonia-oxidizing bacteria in prawn farm sediment . **Progr. Nat. Sci.** 18: 679-684.
- Mairs, D.F. 1966. A total alkalinity atlas for marine lake water. **Limnol. Oceanogr.** 11: 68-72.
- Masuda, K. and C.E. Boyd. 1994. Phosphorus fraction in soil and water of aquaculture ponds built on Clayey, Ultisols at Auburn, Alabama. **J. World Aquac. Soc.** 25: 379-395.
- Matida, Y. 1966. The role of soil in fish pond productivity in Asia and the Far East, pp. 1 -10. *In* **Proceedings of the World Symposium on Warm Water Pond Fish Culture.** FAO, United Nation Fish, Rep., Rome.
- Matsuzaka, E., N. Nobura, T. Nakajima-Kambe, N. Okada and T. Nakahara. 2003. A simple screening procedure for heterotrophic nitrifying bacteria with oxygen -tolerant denitrification activity. **J. Biosci. and Bioeng.** 95(4): 409-411.
- Menasveta, P., T. Panritdam., P. Sihanonth, S. Powtongsook, S. Chuntapa and P. Lee. 2001. Design and function of a closed, recirculating seawater system with denitrification for the culture of black tiger shrimp broodstock. **Aquac. Eng.** 25: 35-49.
- Moyle, J.B. 1945. Some chemical factors. Influencing the distribution of aquatic plants in minnesota. **Am. Midl. Natur.** 34: 402-420.
- Munsiri, P., C.E. Boyd, and B.J. Hajek. 1995. Physical and chemical characteristics of bottom soil profiles in ponds at Auburn, Alabama, USA, and a proposed method for describing pond soil horizons. **J. World Aquac. Soc.** 26: 346-377.
- Nixon, S.W. and E.Q. Pilson. 1983. Nitrogen in estuarine and coastal marine ecosystems, pp.598-612. *In* E. J. Carpenter, and D.G. Capone, eds. **Nitrogen in the Marine Environment.** Academic Press, New York.

- Ogilvie, B.G., M. Rutter and D.B. Nedwell. 1997. Selection by temperature of nitrate -reducing bacteria from estuarine sediment: species composition and competition for nitrate. **FEMS Microb. Ecol.** 23: 11-22.
- Patrick, R. 1977. Ecology of freshwater diatoms -diatom communities, pp. 284-332. *In* D. Werener, eds. **The Biology of Diatoms**. University of California Press, Berkeley.
- Payne, W.J. 1973. Reduction of nitrogenous oxides by microorganisms. **Bacteriol. Rev.** 37: 409-452.
- Piedrahita, R.H. 1991. Simulation of short-term management actions to prevent oxygen depletions in ponds. **J. World Aqua. Soc.** 22: 157-166.
- Ponce-Palafox, J., C.A. Martinez-Palacios and L.G. Ross. 1997. The effects of salinity and temperature on the growth and survival rates of juvenile white shrimp, *Penaeus vannamei*, Boone, 1931. **Aquaculture** 157: 107-115.
- Racotta, I.S. and R. Hernández-Herrera. 2000. Metabolic responses of the white shrimp, *Penaeus vannamei*, to ambient ammonia. **CBP**. 125: 437-443.
- 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.
- Roddy, K.R. and W.H. Patrick. 1984. Nitrogen transformations and loss in flooded soils and sediment. **CRC Crit. Rev. Env. Ctrl.** 13: 273-309.
- Revsbech, N.P., J. Sørensen, T.H. Blackburn and J.P. Lomholt. 1980. Distribution of oxygen in marine sediments measured with microelectrodes. **Limnol. Oceanogr.** 25: 403-411.
- Rosenberry, R. 1993. **World Shrimp Farming 1993**. Aquaculture Digest, December 1993.

- Russo, R.C., C.E. Smith and R.V. Thurston. 1974. Acute toxicity of nitrite to rainbow trout. **J. Fish. Res.** 31: 1653-1655.
- Rysgaard, S., N. Risgaard-Petersen, N.P. Sloth, K. Jensen and L.P. Nielsen. 1994. Oxygen regulation of nitrification and denitrification in sediments. **Limnol. Oceanogr.** 39: 1643-1652.
- Samocha, T.M., A.D. Davis, A.L. Lawrence, C.R. Collins and P. Van Wyk. 2001. **Intensive and Super-intensive Production of the Pacific White Shrimp *Litopenaeus vannamei* in Greenhouse-enclosed Raceway Systems.** Book of Abstracts, Aquaculture 2001.
- Santry, I.W. 1966. Hydrogen sulfide odor control measures. **Wat. Pollut. Control Fed.** 38(3): 459-463.
- Sawyer, N.G. and P.L. McCarty. 1967. **Chemistry of Sanitary Engineers.** McGraw-Hill Book Company, New York.
- Schroeder, G.L., A. Alkon and M. Laher. 1991. Nutrient flow in pond aquaculture systems. pp 489-505. In D.E. Brune, J. R. Tomasso., **Aquaculture and Water Quality.** World Aquaculture Society. Baton Rouge, LA,
- Smith, J.M., A.N. Masse, W.A. Feige and L.J. Kamphake. 1972. Nitrogen removal from municipal waste by column denitrification. **Environ. Sci. Tech.** 6(3): 260-267.
- Steel, R.G.D. and J.H. Torrie. 1980. **Principles and Procedures of Statistics: A Biometrical Approach.** 2nd ed. McGraw-Hill Publishing Co., New York, U.S.A.
- Thakur, D.P. and C.K. Lin. 2003. Water quality and nutrient budget in closed shrimp (*Penaeus monodon*) culture systems. **Aquac. Eng.** 27: 159-176.

- Thimmalaapura, N.D., F.M. Yusoff and M. Shariff. 2002. Changes in bacterial populations and shrimp production in ponds treated with commercial microbial products. **Aquaculture** 206: 245-256.
- Thompson, F.L., P.C. Abreu and W. Wasielesky. 2002. Importance of biofilm for water quality and nourishment in intensive shrimp culture. **Aquaculture** 125: 437-443.
- Todd, D.K. 1959. **Ground Water Hydrology**. John Wiley & Sons. Inc., New York.
- Tucker, C.S. and C.E. Boyd. 1985. Water quality, pp. 135 -227. In C. S. Tucker, ed. **Channel Catfish Culture**. Elsevier Scientific Publishing Co., Amsterdam, Netherlands.
- _____ and M. van der Ploeg. 1993. Seasonal changes in water quality in commercial channel catfish ponds in Mississippi. **J. World Aqua. Soc.** 24: 473-481.
- Visscher, P.T. and E.O. Duerr. 1991. Water quality and microbial dynamics in shrimp ponds receiving bagasse-based feed. **J. World Aqua. Soc.** 22: 65-76.
- Whitfield, M. 1974. The hydrolysis of ammonia ions in sea water. A theoretical study. **J. Mar. Biol. Assoc. U.K.** 58: 781-787.
- Whitson, J., P. Turk and P. Lee. 1993. **Biological Denitrification in Closed Recirculating Marine Culture System**. Aquacultural Engineering Conf. Spokane, WA (USA), 21 -23 June 1993.
- Wickins, J.F. 1976. Prawn culture biology and culture. **Ocean. Mar. Biol. Ann. Rev.** 14: 435-507.
- Wickins, J.F. and D.O.C. Lee. 2002. **Crustacean Farming Ranching and Culture**. Blackwell Science Ltd, UK.

World Health Organization. 1986. Environmental health criteria 54 Ammonia. Available Source : <http://www.Inchem.org/documents/ehc/ehc54.html> , 28 march 2008.

Wu, G., M. Rodgers and X. Zhan. 2008. Nitrification in sequencing reactors with and without glucose addition at 11 °C. **Biochem. Eng.** 40: 373-378.

Yanagita, T. 1990. **Nature Microbiology Communities: Ecological and Physiological Features.** Tokyo Japan Scientific Societies Press, Japan.

ภาคผนวก

ตารางผนวกที่ 1 ผลการวิเคราะห์ทางสถิติของผลผลิตในบ่อทดลองที่ใช้ในตริไฟอิงแบคทีเรียและบ่อควบคุม

	ค่าเฉลี่ย				
	บ่อทดลองที่ใช้ในตริไฟอิง				
	แบคทีเรีย	บ่อควบคุม	t	df	P
ผลผลิตเฉลี่ย (กิโลกรัมต่อไร่)	1211.00±190.15	1182±264.96	-1.011	4	>0.05
น้ำหนักเฉลี่ย (กรัม)	15.61±1.21	14.26±1.97	0.658	4	>0.05
อัตราการรอดตาย (เปอร์เซ็นต์)	60.37±1.98	62.27±4.60	0.898	4	>0.05
อัตราการแลกเนื้อ	1.75±0.14	1.83±0.08	-0.149	4	>0.05

ตารางผนวกที่ 2 ผลการวิเคราะห์ทางสถิติของคุณสมบัติของน้ำในบ่อดคลองที่ใช้ในไตรฟองแบคทีเรีย และบ่อควบคุมบริเวณขอบบ่อ ในกึ่งอายุ 30 วัน

ค่าเฉลี่ย	บ่อดคลอง	บ่อควบคุม	t	df	P
อุณหภูมิ ^๖ น้ำ (องศาเซลเซียส)	30.99±1.27	31.23±1.20	0.618	40	>0.05
ความเค็ม (พีพีที)	7.74±0.06	7.74±0.07	-0.601	40	>0.05
ออกซิเจนที่ละลายในน้ำ (มิลลิกรัมต่อลิตร)	4.87±0.44	4.73±0.37	-0.879	40	>0.05
พีเอช	8.93±0.12	8.98±0.16	0.856	40	>0.05
ความเป็นด่างรวม (มิลลิกรัมต่อลิตร)	130.09±8.58	135.38±11.43	1.653	40	>0.05
แอมโมเนียรวม (มิลลิกรัมต่อลิตร)	0.27±0.02	0.32±0.02	4.280	40	>0.05
ไนโตร ^๖ (มิลลิกรัมต่อลิตร)	0.07±0.03	0.12±0.05	3.409	40	>0.05
ไนเตรท (มิลลิกรัมต่อลิตร)	0.93±0.55	1.16±0.81	1.014	40	>0.05

ตารางผนวกที่ 3 ผลการวิเคราะห์ทางสถิติของคุณสมบัติของน้ำในบ่อดคลองที่ใช้ในไตรฟองแบคทีเรีย และบ่อควบคุมบริเวณกลางบ่อ ในกุ่มอายุ 30 วัน

ค่าเฉลี่ย	บ่อดคลอง	บ่อควบคุม	t	df	P
อุณหภูมิ ^๖ น้ำ (องศาเซลเซียส)	30.59±1.21	30.76±1.08	0.475	40	>0.05
ความเค็ม (พีพีที)	7.74±0.04	7.72±0.08	0.716	40	>0.05
ออกซิเจนที่ละลายในน้ำ (มิลลิกรัมต่อลิตร)	4.61±0.38	4.58±0.46	-0.212	40	>0.05
พีเอช	8.92±0.12	8.94±0.19	0.312	40	>0.05
ความเป็นด่างรวม (มิลลิกรัมต่อลิตร)	138.38±7.73	140.79±10.85	0.828	40	<0.05
แอมโมเนียรวม (มิลลิกรัมต่อลิตร)	0.31±0.04	0.38±0.01	6.018	40	<0.05
ไนโตรท์ (มิลลิกรัมต่อลิตร)	0.08±0.03	0.13±0.04	2.711	40	>0.05
ไนเตรท (มิลลิกรัมต่อลิตร)	1.02±0.67	1.25±0.86	0.918	40	>0.05

ตารางผนวกที่ 4 ผลการวิเคราะห์ทางสถิติของคุณสมบัติของน้ำในบ่อทดลองที่ใช้ในไตรฟองแบคทีเรีย และบ่อควบคุมบริเวณขอบบ่อ ในกึ่งอายุ 85 วัน

ค่าเฉลี่ย	บ่อทดลอง	บ่อควบคุม	t	df	P
อุณหภูมิ ^๖ น้ำ (องศาเซลเซียส)	28.62±0.18	28.60±0.35	-0.168	40	>0.05
ความเค็ม (พีพีที)	5.80±0.09	5.80±0.09	0	40	>0.05
ออกซิเจนที่ละลายในน้ำ (มิลลิกรัมต่อลิตร)	5.09±0.37	5.01±0.47	-0.546	40	>0.05
พีเอช	8.84±0.16	8.80±0.21	-0.739	40	>0.05
ความเป็นด่างรวม (มิลลิกรัมต่อลิตร)	226.13±1.09	229.40±4.63	0.112	40	>0.05
แอมโมเนียรวม (มิลลิกรัมต่อลิตร)	0.51±0.12	0.63±0.16	2.302	40	>0.05
ไนโตรท์ (มิลลิกรัมต่อลิตร)	3.39±0.18	3.45±0.16	1.138	40	>0.05
ไนเตรท (มิลลิกรัมต่อลิตร)	4.80±0.04	4.79±0.03	-0.521	40	>0.05

ตารางผนวกที่ 5 ผลการวิเคราะห์ทางสถิติของคุณสมบัติของน้ำในบ่อดคลองที่ใช้ไนโตรฟองแบคทีเรีย และบ่อควบคุมบริเวณกลางบ่อ ในกุ้งอายุ 85 วัน

ค่าเฉลี่ย	บ่อดคลอง	บ่อควบคุม	t	df	P
อุณหภูมิน้ำ (องศาเซลเซียส)	28.58±0.37	28.51±0.29	-0.600	40	>0.05
ความเค็ม (พีพีที)	5.76±0.09	5.77±0.08	0.374	40	>0.05
ออกซิเจนที่ละลายในน้ำ (มิลลิกรัมต่อลิตร)	5.04±0.58	4.92±0.52	-0.696	40	>0.05
พีเอช	8.77±0.18	8.74±0.27	-0.399	40	<0.05
ความเป็นด่างรวม (มิลลิกรัมต่อลิตร)	230.10±2.27	233.79±4.79	3.978	40	>0.05
แอมโมเนียรวม (มิลลิกรัมต่อลิตร)	0.62±0.15	0.77±0.22	2.221	40	>0.05
ไนไตรท์ (มิลลิกรัมต่อลิตร)	4.53±0.17	4.60±0.18	1.222	40	<0.05
ไนเตรท (มิลลิกรัมต่อลิตร)	5.52±0.13	5.40±0.05	-3.460	40	>0.05

ตารางผนวกที่ 6 ผลการวิเคราะห์ทางสถิติของคุณสมบัติของน้ำในบ่อทดลองที่ใช้ในไตรฟองแบคทีเรีย และบ่อควบคุมบริเวณขอบบ่อ ในกึ่งอายุ 110 วัน

ค่าเฉลี่ย	บ่อทดลอง	บ่อควบคุม	t	df	P
อุณหภูมิน้ำ (องศาเซลเซียส)	29.91±0.51	30.23±0.60	0.404	40	>0.05
ความเค็ม (พีพีที)	5.74±0.06	5.72±0.09	1.092	40	>0.05
ออกซิเจนที่ละลายในน้ำ (มิลลิกรัมต่อลิตร)	4.94±0.76	5.58±0.93	0.052	40	<0.05
พีเอช	8.77±0.13	8.86±0.13	-1.100	40	>0.05
ความเป็นด่างรวม (มิลลิกรัมต่อลิตร)	223.79±5.39	235.14±5.53	5.590	40	>0.05
แอมโมเนียรวม (มิลลิกรัมต่อลิตร)	0.77±0.17	1.14±0.21	6.408	40	>0.05
ไนโตรท์ (มิลลิกรัมต่อลิตร)	5.68±0.88	5.82±0.91	0.510	40	>0.05
ไนเตรท (มิลลิกรัมต่อลิตร)	6.34±0.63	6.43±0.61	0.489	40	>0.05

ตารางผนวกที่ 7 ผลการวิเคราะห์ทางสถิติของคุณสมบัติของน้ำในบ่อดคลองที่ใช้ในครัวฟองแบคทีเรีย และบ่อควบคุมบริเวณกลางบ่อ ในกุ้งอายุ 110 วัน

ค่าเฉลี่ย	บ่อดคลอง	บ่อควบคุม	t	df	P
อุณหภูมิ ^๖ น้ำ (องศาเซลเซียส)	29.47±0.42	29.44±0.40	0.673	40	>0.05
ความเค็ม (พีพีที)	5.72±0.05	5.72±0.09	1.576	40	>0.05
ออกซิเจนที่ละลายในน้ำ (มิลลิกรัมต่อลิตร)	4.80±0.98	5.56±0.78	0.432	40	>0.05
พีเอช	8.85±0.08	8.90±0.10	-1.533	40	<0.05
ความเป็นด่างรวม (มิลลิกรัมต่อลิตร)	229.43±3.43	238.57±5.35	5.726	40	>0.05
แอมโมเนียรวม (มิลลิกรัมต่อลิตร)	0.96±0.19	1.31±0.11	5.874	40	>0.05
ไนไตรท์ (มิลลิกรัมต่อลิตร)	6.43±0.82	6.41±0.77	-0.089	40	>0.05
ไนเตรท (มิลลิกรัมต่อลิตร)	7.18±0.75	7.33±0.69	0.657	40	>0.05

ประวัติการศึกษา และการทำงาน

ชื่อ	นางสาวกัญญาณัฐ ขุนดี
เกิดวันที่	13 มีนาคม 2528
สถานที่เกิด	อำเภอหนองเสือ จังหวัดปทุมธานี
ประวัติการศึกษา	วท.บ. (ประมง) มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
ตำแหน่งปัจจุบัน	-
สถานที่ทำงานปัจจุบัน	คณะประมง มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
ผลงานดีเด่นและ/หรือรางวัลทางวิชาการ	-
ทุนการศึกษาที่ได้รับ	-