

บทที่ 4

ผลการวิจัย

การจัดจำแนกชนิดของแบคทีเรียที่คัดเลือกมาจากดินบ่อกึ่งกลาดำ

เมื่อทำการคัดแยกเชื้อแบคทีเรียจากดินบ่อเลี้ยงกึ่งกลาดำแล้วสามารถคัดเลือกแบคทีเรียได้จำนวน 6 สายพันธุ์ และจะให้แทนด้วยสัญลักษณ์ T1, T6, A2, A4.2, A7.1 และ A16 ซึ่งเมื่อศึกษาลักษณะโคโลนี การย้อมแกรม และการจัดเรียงตัวของเซลล์ภายใต้กล้องจุลทรรศน์ ผลการทดลองดังแสดงในตารางที่ 8

ตารางที่ 8 ลักษณะโคโลนีและการจัดเรียงตัวของเซลล์ภายใต้กล้องจุลทรรศน์ของแบคทีเรียที่คัดแยกจากดินบ่อกึ่งกลาดำ

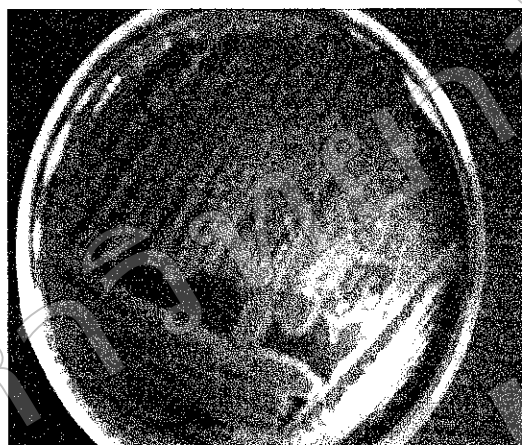
ไอโซเลท	ลักษณะโคโลนี	การติดสี	รูปร่างเซลล์
T1	สีน้ำตาล รูปร่างกลม โปร่งแสง ผิวมัน หนูน ขอบหยัก ขนาดใหญ่	แกรมลบ	ท่อนสั้น (Coccobacilli)
T6	สีครีม รูปร่างรี ผิวด้าน หนูน ขอบหยัก ขนาดเล็ก	แกรมบวก	ท่อนยาว มีสปอร์
A2	สีชมพู ผิวด้าน โคโลนีแผ่กระจาย ขอบหยัก ขนาดใหญ่	แกรมบวก	ท่อนยาว มีสปอร์
A4.2	สีครีม ผิวหน้าขรุขระ ขอบหยัก ขนาดเล็ก	แกรมบวก	ท่อนยาว มีสปอร์
A7.1	สีครีมปนน้ำตาลอ่อน ผิวด้าน ขอบหยัก ขนาดเล็ก	แกรมบวก	ท่อนยาว มีสปอร์
A16	สีชมพู รูปร่างกลม ผิวด้าน หนูน ขอบหยัก ขนาดใหญ่	แกรมบวก	ท่อนยาว มีสปอร์



T1



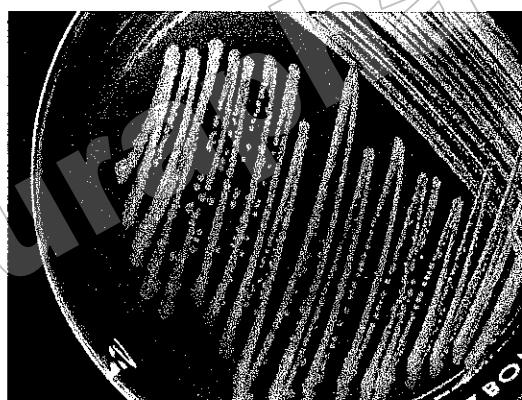
T6



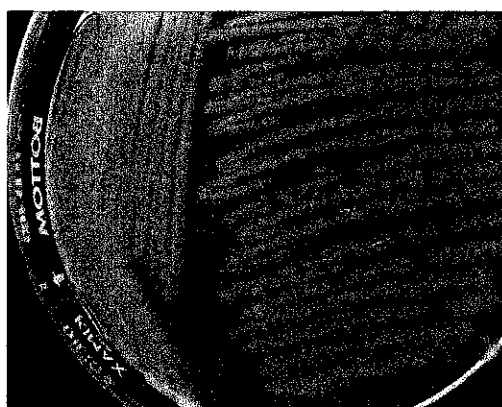
A2



A4.2



A7.1



A16

ภาพที่ 6 ลักษณะโคโลนีของแบคทีเรีย 6 ชนิด โดย T1 คือ *Oceanisphaera* sp.,

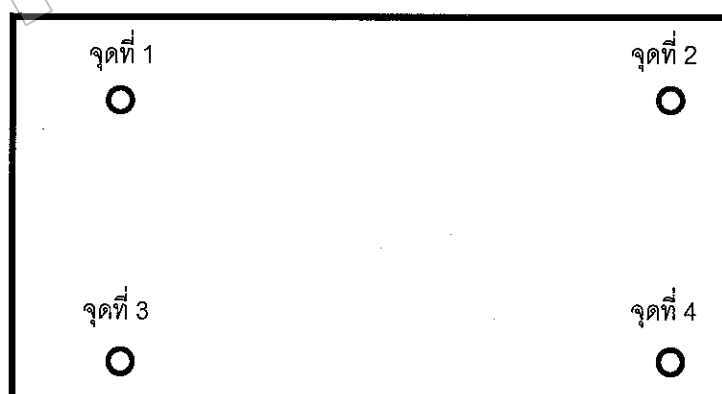
T6 คือ *B. polymyxa*, A2 คือ *Bacillus licheniformis*, A4.2 คือ *B. subtilis*,

A7.1 คือ *B. megaterium*, และ A16 คือ *B. thuringiensis* หรือ *B. cereus*

เมื่อทำการจัดจำแนกสายพันธุ์ของแบคทีเรียทั้งหมดที่ได้คัดแยกมาจากดินบ่อเลี้ยงกุ้งกุลาดำ โดยวิธีการวิเคราะห์ลำดับนิวคลีโอไทด์ จากการนำลำดับเบสในสายนิวคลีโอไทด์ของแบคทีเรีย แต่ละชนิดไปเปรียบเทียบกับลำดับเบสในฐานข้อมูลโดยวิธี BLASTN 2.2.10 (Altschul, Stephen, Madden, Schaffor, Zhang, J., Zhang, Z., Miller & Lipman, 1997) สามารถจัดจำแนกชนิดของแบคทีเรียได้ดังนี้ T1 คือ *Oceanisphaera* sp., T6 คือ *Bacillus polymyxa*, A2 คือ *Bacillus licheniformis*, A4.2 คือ *Bacillus subtilis*, A7.1 คือ *Bacillus megaterium* และ A16 คือ *Bacillus thuringiensis* หรือ *Bacillus cereus* เนื่องจากเมื่อนำลำดับเบสของแบคทีเรีย A16 เข้าไปเปรียบเทียบกับฐานข้อมูลแล้วมีเปอร์เซ็นต์ Identities ของ *Bacillus thuringiensis* และ *Bacillus cereus* เท่ากันคือ 98 เปอร์เซ็นต์

ประสิทธิภาพในการลดไนเตรด ไนไตรต์ แอมโมเนียและฟอสเฟต โดยแบคทีเรียผสม 6 ชนิด ในขวดซีรัมที่มีการใช้น้ำและดินตะกอนจากบ่อเลี้ยงกุ้งกุลาดำ ภายใต้สภาวะที่มีออกซิเจนและไนเตรด

ผลศึกษาประสิทธิภาพในการลดไนเตรด ไนไตรต์ แอมโมเนียและฟอสเฟต โดยแบคทีเรียผสมทั้ง 6 ชนิด ซึ่งได้ทำการทดลอง จากการเก็บตัวอย่างน้ำและดินตะกอนของบ่อเลี้ยงกุ้งกุลาดำ จังหวัดฉะเชิงเทรา ที่เก็บตัวอย่างในวันที่ 9 กรกฎาคม พ.ศ. 2546 เวลา 10.00 น. โดยจุดเก็บตัวอย่างที่ 1, 2, 3 และ 4 แสดงดังภาพที่ 7 และผลการวิเคราะห์คุณภาพน้ำ ดังแสดงในตารางที่ 9



ภาพที่ 7 ตำแหน่งเก็บตัวอย่างน้ำทั้ง 4 จุด ภายในบ่อเลี้ยงกุ้งกุลาดำ

ตารางที่ 9 คุณภาพน้ำทางกายภาพ และทางเคมีจากบ่อกึ่งภูลาดำ จังหวัดฉะเชิงเทรา

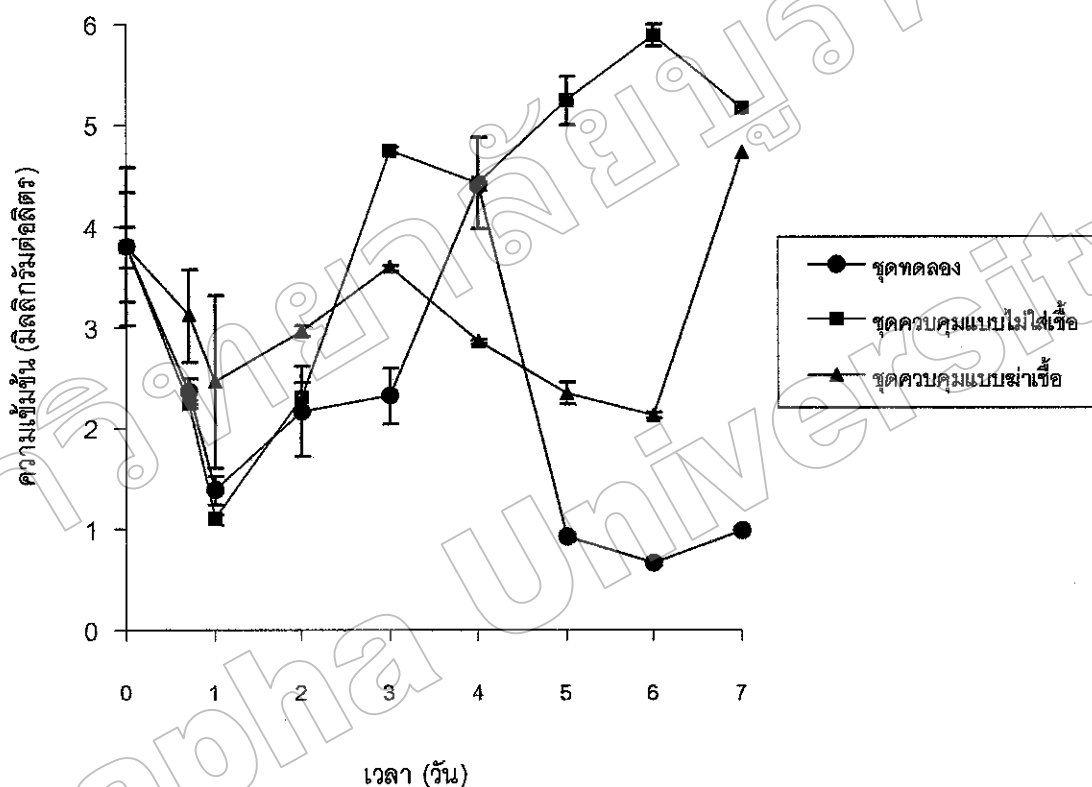
พารามิเตอร์	ตำแหน่งที่วิเคราะห์คุณภาพน้ำ			
	จุดที่ 1	จุดที่ 2	จุดที่ 3	จุดที่ 4
ออกซิเจนละลายน้ำ (มิลลิกรัมต่อลิตร)	6.40	8.02	9.45	8.01
อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	32.20	32.80	32.00	32.90
ความเค็ม (พีพีที)	0.9	0.9	0.9	0.9
พีเอช	8.43	8.45	8.52	9.54
แอมโมเนีย (มิลลิกรัมต่อลิตร)		0.70 ± 0.16		
ไนเตรต (มิลลิกรัมต่อลิตร)		1.55 ± 0.23		
ไนไตรต์ (มิลลิกรัมต่อลิตร)		0.21 ± 0.05		
ฟอสเฟต (มิลลิกรัมต่อลิตร)		0.13 ± 0.02		

จากการนำตัวอย่างน้ำและดินตะกอนจากบ่อเลี้ยงกึ่งภูลาดำมาศึกษาประสิทธิภาพในการลดความเข้มข้นของไนเตรต ไนไตรต์ แอมโมเนียและฟอสเฟต โดยแบคทีเรียผสม 6 ชนิด ซึ่งได้ทำการวัดปริมาณแอมโมเนีย ไนเตรต ไนไตรต์และฟอสเฟตที่ลดลงในช่วงระยะเวลาที่เหมาะสม เปรียบเทียบกันระหว่างชุดทดลอง (Active Bottles) ชุดควบคุมแบบฆ่าเชื้อ (Sterile Bottles) และชุดควบคุมแบบไม่ใส่เชื้อ (Background Bottles) แล้วนำไปหาค่าความเข้มข้นของสารแต่ละชนิดจากกราฟมาตรฐาน (ภาคผนวก ก)

1. ผลทดลองประสิทธิภาพในการลดไนเตรตโดยแบคทีเรียผสม 6 ชนิด

ผลการทดลองไนเตรตจากระดับความเข้มข้นเริ่มต้น (วันแรกของการทดลอง) ที่มีการเติมลงไปเท่ากับ 3.80 มิลลิกรัมต่อลิตร ในทั้งสามชุดการทดลอง เมื่อวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของไนเตรตที่เกิดขึ้นภายในขวดซีรัม ดังแสดงในภาพที่ 8 พบว่าในชุดทดลอง (Active Bottles) ที่มีการเติมแบคทีเรียผสมทั้ง 6 ชนิด ความเข้มข้นไนเตรตจะเกิดการเปลี่ยนแปลงเพิ่มขึ้นเป็น 4.39 มิลลิกรัมต่อลิตร ในวันที่ 4 หลังจากนั้นความเข้มข้นจะลดลงจนถึง 0.97 มิลลิกรัมต่อลิตร ในวันที่ 7 ของการทดลอง และในชุดควบคุมแบบฆ่าเชื้อ (Sterile Bottles) ความเข้มข้นของไนเตรตในระหว่างการทดสอบเกิดการเปลี่ยนแปลงขึ้นลงเพียงเล็กน้อย ซึ่งจะเกิดการสะสมความเข้มข้นสูงสุดในวันที่ 7 มีค่าเท่ากับ 4.73 มิลลิกรัมต่อลิตร ส่วนใน

ชุดควบคุมแบบไม่ใส่เชื้อ (Background Bottles) ความเข้มข้นของไนเตรดจะลดลงจนถึง 1.09 มิลลิกรัมต่อลิตร ในวันที่ 1 แล้วจะเพิ่มขึ้นจนมีค่าถึง 5.89 มิลลิกรัมต่อลิตร ในวันที่ 6 ของ การทดลอง ซึ่งระดับความเข้มข้นของไนเตรดในทั้ง 3 ชุดการทดลองนั้นมีความแตกต่างกันมี นัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$)

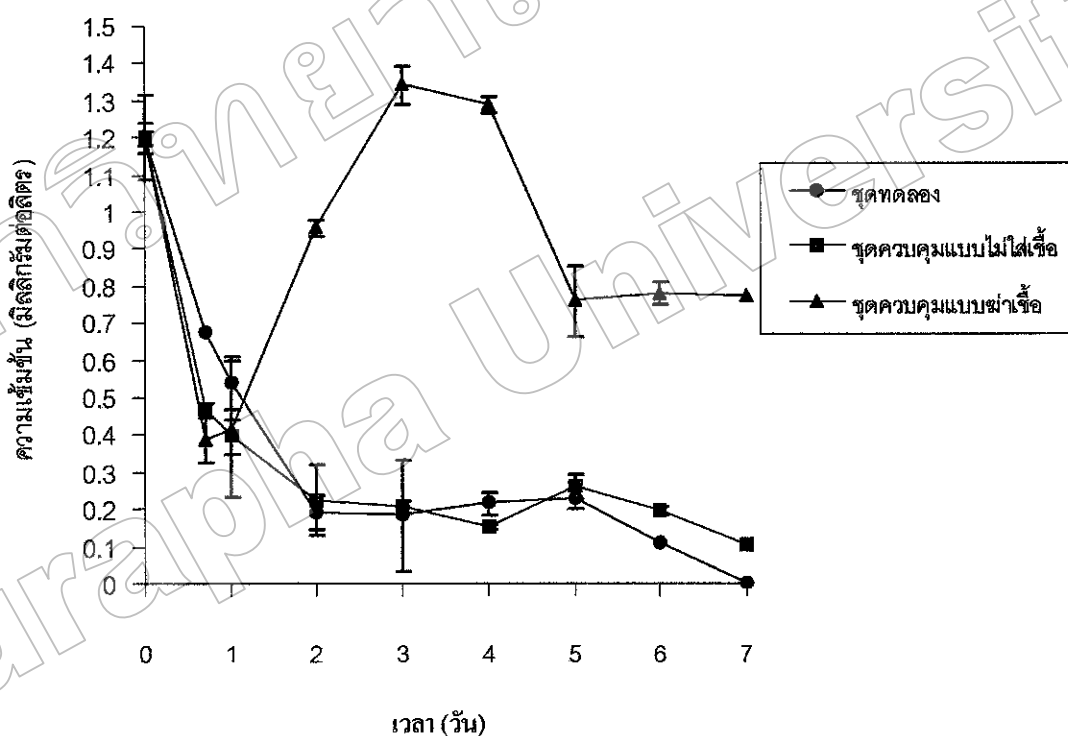


ภาพที่ 8 ประสิทธิภาพในการลดไนเตรดโดยแบคทีเรียผสม 6 ชนิด ในขวดซีรัมที่มีการใช้น้ำและดินตะกอนจากบ่อทุ่งกุลารด้า ภายใต้สภาวะที่มีออกซิเจนและไนเตรด (ค่าเฉลี่ยมาจากค่า 3 ซ้ำ; bar คือค่า SD)

2. ผลทดลองประสิทธิภาพในการลดไนโตรดโดยแบคทีเรียผสม 6 ชนิด

จากการวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของไนโตรด ดังภาพที่ 9 ที่มีการเติมลงไปในวันแรกของการทดลอง (Day 0) มีค่า 1.2 มิลลิกรัมต่อลิตร ภายในขวดซีรัม หลังจากนั้นพบว่าความเข้มข้นไนโตรดจะลดลงอย่างรวดเร็วเป็น 0.18 มิลลิกรัมต่อลิตร ในวันที่ 3 แล้ว

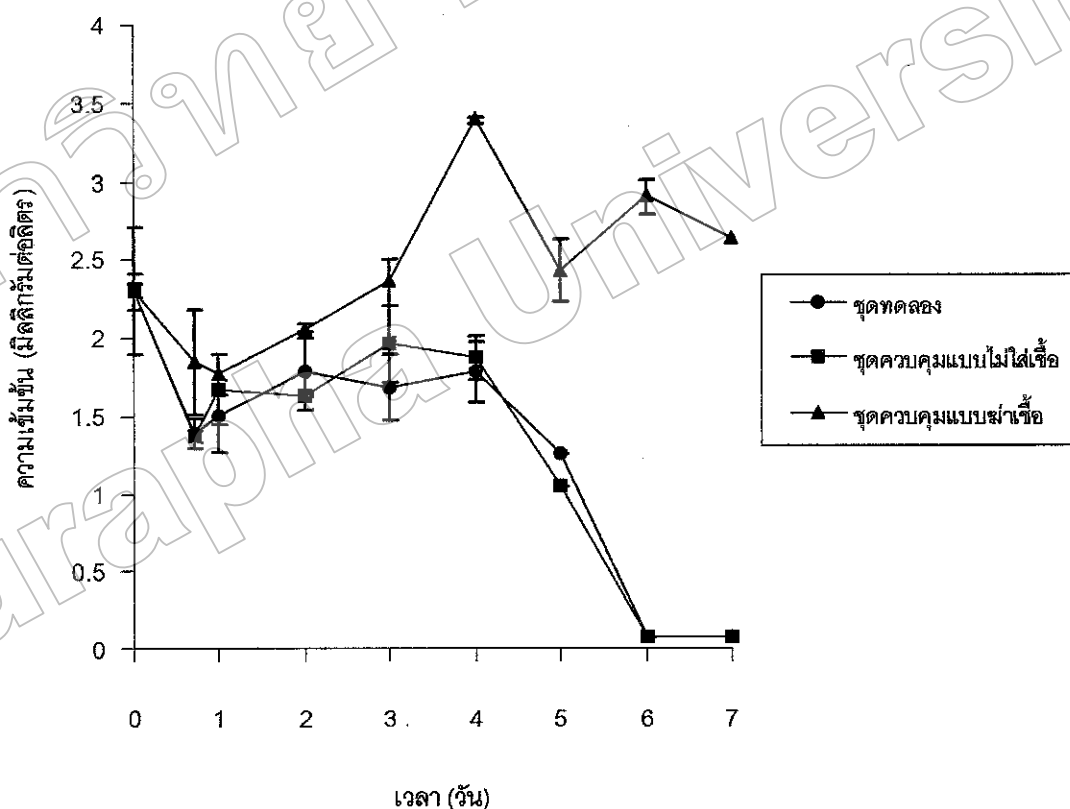
ความเข้มข้นจะเพิ่มขึ้นอีกเล็กน้อยในวันที่ 4 หลังจากนั้นในวันที่ 7 ของการทดลองความเข้มข้นของไนไตรต์ในชุดทดลองจะเหลือเพียง 0.002 มิลลิกรัมต่อลิตร ส่วนในชุดควบคุมแบบฆ่าเชื้อ ความเข้มข้นของไนไตรต์จะลดลงในระยะแรกเป็น 0.39 มิลลิกรัมต่อลิตร จนถึงวันที่ 4 จะมีความเข้มข้นเพิ่มขึ้นเป็น 1.29 มิลลิกรัมต่อลิตร หลังจากนั้นความเข้มข้นของไนไตรต์ค่อนข้างคงที่สำหรับชุดควบคุมแบบไม่ใส่เชื้อความเข้มข้นของไนไตรต์จะค่อย ๆ ลดลงจนถึง 0.15 มิลลิกรัมต่อลิตร ในวันที่ 1 หลังจากนั้นความเข้มข้นจะเพิ่มขึ้นเล็กน้อยและลดลงจนต่ำสุดในวันที่ 7 จนมีค่าเป็น 0.10 มิลลิกรัมต่อลิตร ซึ่งความเข้มข้นของไนไตรต์ในชุดทดลองไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) กับชุดควบคุมแบบไม่ใส่เชื้อและชุดควบคุมแบบฆ่าเชื้อ



ภาพที่ 9 ประสิทธิภาพในการลดไนไตรต์โดยแบคทีเรียผสม 6 ชนิด ในขวดซีรัมที่มีการใช้น้ำและดินตะกอนจากบ่อกึ่งอุตสาหกรรม ภายใต้สภาวะที่มีออกซิเจนและไนเตรต (ค่าเฉลี่ยมาจากค่า 3 ซ้ำ; bar คือค่า SD)

3. ผลทดลองประสิทธิภาพการลดแอมโมเนียโดยแบคทีเรียผสม 6 ชนิด

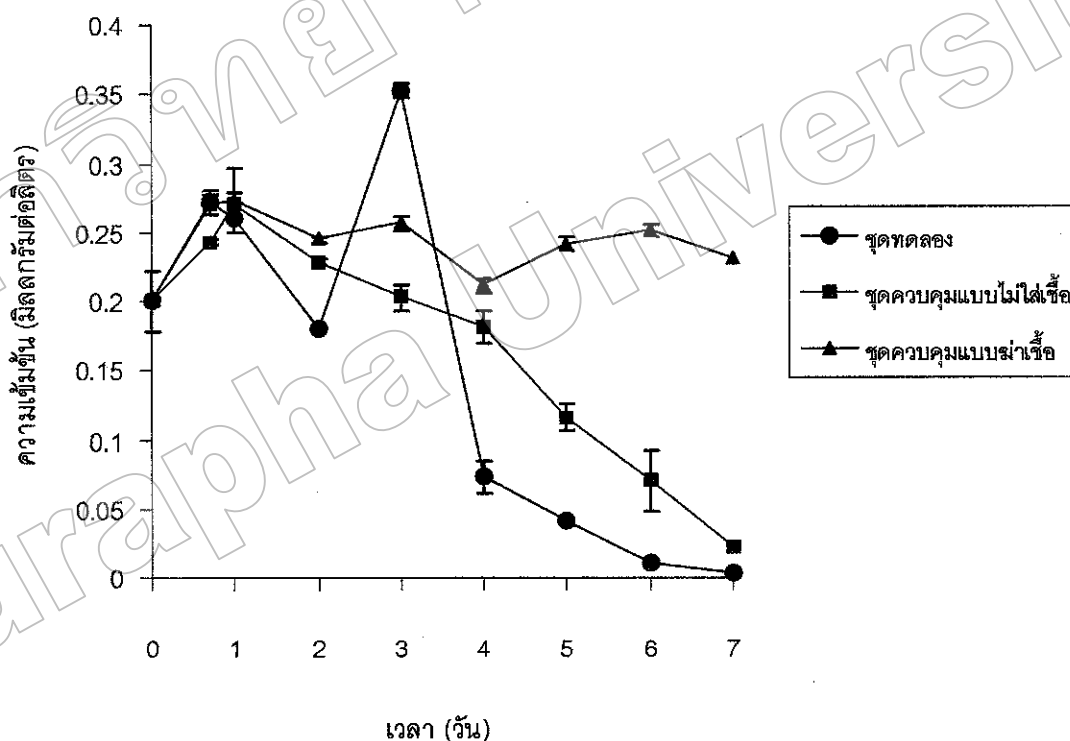
ผลวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของแอมโมเนียด้วยแบคทีเรียผสม 6 ชนิด ที่เกิดขึ้นภายในขวดซีรัม แสดงในภาพที่ 10 ซึ่งเมื่อมีการเติมแอมโมเนียลงไปในวันแรกของการทดลองที่ความเข้มข้นเริ่มต้น 2.30 มิลลิกรัมต่อลิตร หลังจากนั้น พบว่าความเข้มข้นในชุดทดลองจะลดลงเรื่อย ๆ จนเหลือ 0.08 มิลลิกรัมต่อลิตร เช่นเดียวกับความเข้มข้นของแอมโมเนียในชุดควบคุมแบบไม่ใส่เชื้อ ส่วนในชุดควบคุมแบบฆ่าเชื้อความเข้มข้นของแอมโมเนียจะลดลงเป็น 1.77 มิลลิกรัมต่อลิตร ในวันที่ 1 หลังจากนั้นความเข้มข้นของแอมโมเนียจะเกิดการเปลี่ยนแปลงตลอดเวลา ซึ่งความเข้มข้นของแอมโมเนียในชุดทดลองและชุดควบคุมแบบไม่ใส่เชื้อมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) จากชุดควบคุมแบบฆ่าเชื้อ



ภาพที่ 10 ประสิทธิภาพการลดของแอมโมเนียโดยแบคทีเรียผสม 6 ชนิด ในขวดซีรัมที่มีการใช้น้ำและดินตะกอนจากบ่อกึ่งกลาดำ ภายใต้สภาวะที่มีออกซิเจนและไนเตรด (ค่าเฉลี่ยมาจากค่า 3 ซ้ำ; bar คือค่า SD)

4. ผลทดลองประสิทธิภาพการลดฟอสเฟตโดยแบคทีเรียผสม 6 ชนิด

จากการวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของฟอสเฟตโดยแบคทีเรียผสม 6 ชนิด ภายในขวดซีรัมที่มีการเติมฟอสเฟตลงไปในวันแรกของการทดลองเท่ากับ 0.20 มิลลิกรัมต่อลิตร ดังแสดงในภาพที่ 11 พบว่าในชุดทดลองความเข้มข้นของฟอสเฟตในระหว่าง 4 วันจะมีการเปลี่ยนแปลงเพิ่มขึ้นและลดลง จนกระทั่งหลังจากวันที่ 4 ของการทดลองความเข้มข้นจะค่อย ๆ ลดลงเช่นเดียวกับในชุดควบคุมแบบไม่ฆ่าเชื้อ จนมีค่าความเข้มข้นเป็น 0.003 มิลลิกรัมต่อลิตรและ 0.02 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ ส่วนในชุดควบคุมแบบฆ่าเชื้อความเข้มข้นของฟอสเฟตจะเกิดการเปลี่ยนแปลงเพิ่มขึ้นและลดลงเพียงเล็กน้อย ซึ่งความเข้มข้นของฟอสเฟตในทั้ง 3 ชุดการทดลองนี้มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$)



ภาพที่ 11 ประสิทธิภาพการลดของฟอสเฟตโดยแบคทีเรียผสม 6 ชนิด ในขวดซีรัมที่มีการให้น้ำและดินตะกอนจากบ่อกึ่งกลาดำ ภายใต้สภาวะที่มีออกซิเจนและไนเทรต (ค่าเฉลี่ยมาจากค่า 3 ซ้ำ; bar คือค่า SD)

เมื่อนำผลการทดลองมาเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการลดไนเตรด ไนไตรต์ แอมโมเนีย และฟอสเฟตโดยแบบที่เรียงผสม 6 ชนิดในขวดซีรัมที่มีการใช้น้ำและดินตะกอนจาก บ่อกึ่งกลาดำ ภายใต้สภาวะที่มีออกซิเจนและไนเตรด มาคำนวณเป็นเปอร์เซ็นต์การลดลง ดังแสดงในตารางที่ 10 พบว่าไนเตรดมีเปอร์เซ็นต์การลดลงสูงสุดในชุดทดลองเท่ากับ 74.44 เปอร์เซ็นต์ เช่นเดียวกับไนไตรต์ที่มีเปอร์เซ็นต์การลดลงของชุดทดลองสูงสุดเท่ากับ 99.83 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งมากกว่าชุดควบคุมแบบไม่ใส่เชื้อและชุดควบคุมแบบฆ่าเชื้อที่มีเปอร์เซ็นต์การลดลงของความเข้มข้นเท่ากับ 91.42 และ 35.75 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ สำหรับแอมโมเนียในชุดทดลอง และชุดควบคุมแบบไม่ใส่เชื้อจะมีเปอร์เซ็นต์การลดลงเท่ากันคือ 96.65 เปอร์เซ็นต์ และฟอสเฟตมี เปอร์เซ็นต์การลดลงของชุดทดลองและชุดควบคุมแบบไม่ใส่เชื้อเท่ากับ 98.5 เปอร์เซ็นต์ และ 89 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ส่วนในชุดควบคุมแบบฆ่าเชื้อมีเปอร์เซ็นต์การลดลงค่อนข้างน้อยแตกต่าง จากชุดทดลองอย่างชัดเจน

ตารางที่ 10 เปอร์เซ็นต์การลดลงของไนเตรต ไนไตรต์ แอมโมเนีย และฟอสเฟตโดยแบคทีเรียผสม 6 ชนิด ในขวดซีรัมที่มีการใช้น้ำและดินตะกอนจากบ่อกึ่งกลาดำ ภายใต้สภาวะที่มี ออกซิเจนและไนเตรต

สารประกอบ	ความเข้มข้น (มิลลิกรัมต่อลิตร)		เปอร์เซ็นต์การลดลง
	เริ่มต้น (day 0)	สุดท้าย (day 7)	
ไนเตรต			
- ชุดทดลอง	3.8	0.97	74.44
- ชุดควบคุมแบบไม่ใส่เชื้อ	3.8	5.16	- 35.76
- ชุดควบคุมแบบฆ่าเชื้อ	3.8	4.73	- 24.34
ไนไตรต์			
- ชุดทดลอง	1.2	0.002	99.83
- ชุดควบคุมแบบไม่ใส่เชื้อ	1.2	0.10	91.42
- ชุดควบคุมแบบฆ่าเชื้อ	1.2	0.77	35.75
แอมโมเนีย			
- ชุดทดลอง	2.3	0.08	96.65
- ชุดควบคุมแบบไม่ใส่เชื้อ	2.3	0.08	96.65
- ชุดควบคุมแบบฆ่าเชื้อ	2.3	2.64	- 14.61
ฟอสเฟต			
- ชุดทดลอง	0.2	0.003	98.5
- ชุดควบคุมแบบไม่ใส่เชื้อ	0.2	0.02	89.00
- ชุดควบคุมแบบฆ่าเชื้อ	0.2	0.23	- 15.5

**ประสิทธิภาพในการลดไนเตรด ไนไตรต์ แอมโมเนียและฟอสเฟต โดย
แบคทีเรียผสม 2 ชนิด ในขวดซีรั่มที่มีการใช้น้ำและดินตะกอนจากบ่อกึ่งกลาดำ
ภายใต้สภาวะที่มีออกซิเจนและไนเตรด**

จากการทดสอบประสิทธิภาพในการลดสารประกอบทั้ง 4 ชนิด ด้วยแบคทีเรียผสม 6 ชนิดแล้วนำแบคทีเรียดังกล่าวมาจับคู่เป็นแบคทีเรียผสม 2 ชนิด เพื่อทดสอบประสิทธิภาพในการลดสารดังกล่าวระหว่างการใส่แบคทีเรียผสม 6 ชนิดกับการลดจำนวนการใส่แบคทีเรียลงเป็นแบคทีเรียผสม 2 ชนิด คือ T1 กับ A2, T1 กับ A16, T1 กับ A7.1, T1 กับ A4.2, T6 กับ A2, T6 กับ A16, T6 กับ A7.1 และ T6 กับ A4.2 แล้วนำมาวิเคราะห์ความสามารถในการลดความเข้มข้นของสารดังกล่าวในช่วงระยะเวลาการทดลอง 7 วันเท่ากัน โดยเลือกเก็บตัวอย่างในชุดทดลองมาทำการวิเคราะห์ความเข้มข้น โดยเลือกแสดงค่าความเข้มข้นในวันที่ 3 ของการทดลองที่มีระดับความเข้มข้นของสารประกอบทั้ง 4 ชนิดต่ำที่สุด ดังแสดงในตารางที่ 9

ตารางที่ 11 ประสิทธิภาพในการลดไนเตรด ไนไตรต์ แอมโมเนียและฟอสเฟตโดยแบคทีเรียผสม 2 ชนิด ในขวดซีรั่มที่มีการใช้น้ำและดินตะกอนจากบ่อกึ่งกลาดำ ภายใต้สภาวะที่มีออกซิเจนและไนเตรด

แบคทีเรียผสม	ความเข้มข้น (มิลลิกรัมต่อลิตร)			
	ไนเตรด	ไนไตรต์	แอมโมเนีย	ฟอสเฟต
T1 กับ A2	0.007 ± 0.005	0.003 ± 0.001	0.66 ± 0.05	11.43 ± 0.13
T1 กับ A16	0.04 ± 0.02	0.059 ± 0.03	1.31 ± 0.09	10.65 ± 0.11
T1 กับ A7.1	0.005 ± 0.002	0.0045 ± 0.003	0.78 ± 0.08	10.67 ± 0.12
T1 กับ A4.2	0.008 ± 0.002	0.0038 ± 0.002	0.67 ± 0.07	10.79 ± 0.19
T6 กับ A2	0.33 ± 0.02	0.06 ± 0.02	1.46 ± 0.07	11.14 ± 0.12
T6 กับ A16	0.27 ± 0.02	0.08 ± 0.004	0.64 ± 0.06	9.43 ± 0.14
T6 กับ A7.1	0.04 ± 0.021	0.08 ± 0.03	2.24 ± 0.08	18.98 ± 0.23
T6 กับ A4.2	0.07 ± 0.017	0.06 ± 0.02	2.08 ± 0.05	12.21 ± 0.21

ซึ่งผลทดสอบประสิทธิภาพการลดของไนเตรต ไนไตรต์ แอมโมเนียและฟอสเฟตโดยแบคทีเรียผสม 2 ชนิด ทั้ง 8 คู่ เมื่อทำการเปรียบเทียบคู่ของแบคทีเรียที่มีประสิทธิภาพในการลดความเข้มข้นของสารดังกล่าวได้ดีนั้น สามารถคัดเลือกคู่ของแบคทีเรียที่มีความสามารถในการลดความเข้มข้นของสารดังกล่าวได้ดีและมีการสะสมของแอมโมเนียต่ำกว่าเปรียบเทียบกับการใช้แบคทีเรียผสมคู่อื่น ๆ จึงคัดเลือกแบคทีเรียผสมได้ 3 คู่ ได้แก่ T1 กับ A7.1, T1 กับ A4.2 และ T1 กับ A2

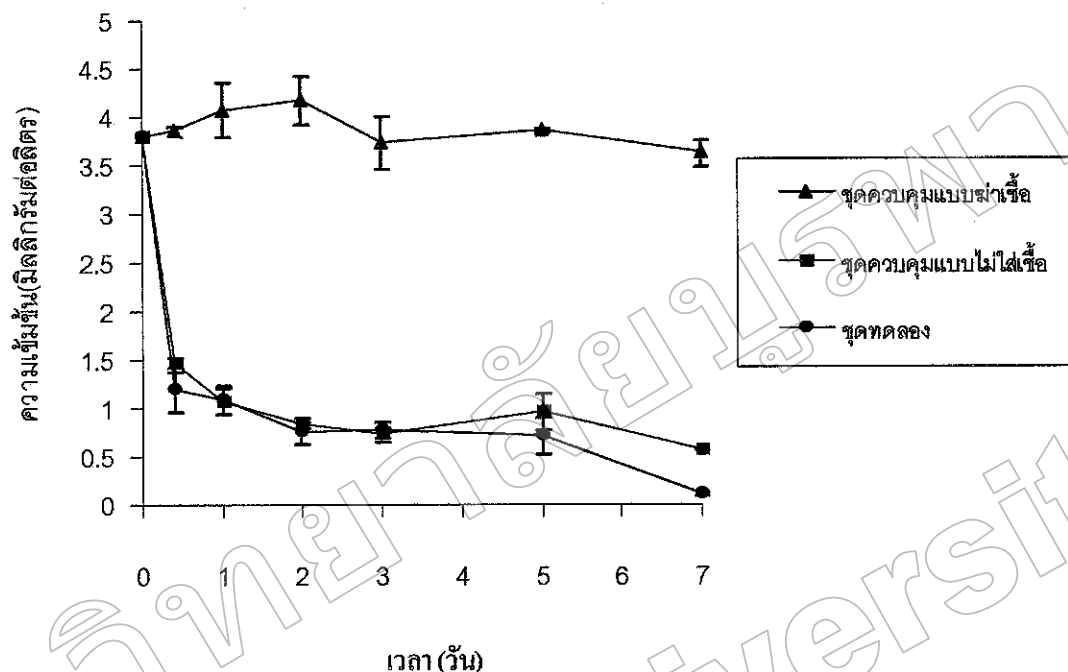
ประสิทธิภาพในการลดไนเตรต ไนไตรต์ แอมโมเนียและฟอสเฟตโดยแบคทีเรียผสม T1 กับ A7.1, T1 กับ A4.2 และ T1 กับ A2 ในขวดซีรัมที่มีการใช้น้ำและดินตะกอนจากบ่อกุ่มกุลาดำ ภายใต้สภาวะที่มีออกซิเจนและไนเตรต

จากการพิจารณาประสิทธิภาพในการลดไนเตรต ไนไตรต์ แอมโมเนียและฟอสเฟตจากแบคทีเรียผสม 2 ชนิด จำนวน 8 คู่ ได้คัดเลือกแบคทีเรียคู่ T1 กับ A7.1, T1 กับ A4.2 และ T1 กับ A2 มาศึกษาถึงประสิทธิภาพการลดสารดังกล่าวต่อ ซึ่งในการทดสอบแต่ละคู่ได้ทำการทดลองภายในขวดซีรัมและแบ่งการทดลองออกเป็น 3 ชุด คือ ชุดทดลอง (Active Bottles) ที่มีการเติมแบคทีเรีย ชุดควบคุมแบบไม่ใส่เชื้อ (Background Bottles) และชุดควบคุมแบบฆ่าเชื้อ (Sterile Bottles) โดยทั้ง 3 ชุดการทดลองจะมีการเติมไนเตรต ไนไตรต์ แอมโมเนียและฟอสเฟตลงไปที่ความเข้มข้นเริ่มต้นในวันแรกของกาทดลอง (Day 0) เท่ากับ 3.80 มิลลิกรัมต่อลิตร, 1.20 มิลลิกรัมต่อลิตร, 2.30 มิลลิกรัมต่อลิตร และ 0.20 มิลลิกรัมต่อลิตรตามลำดับ

1. ประสิทธิภาพการลดไนเตรต ไนไตรต์ แอมโมเนียและฟอสเฟต โดยแบคทีเรียผสม T1 กับ A4.2 ในขวดซีรัมที่มีการใช้น้ำและดินตะกอนจากบ่อกุ่มกุลาดำ ภายใต้สภาวะที่มีออกซิเจนและไนเตรต

1.1 ผลทดลองประสิทธิภาพในการลดไนเตรตโดยแบคทีเรียผสม T1 กับ A4.2

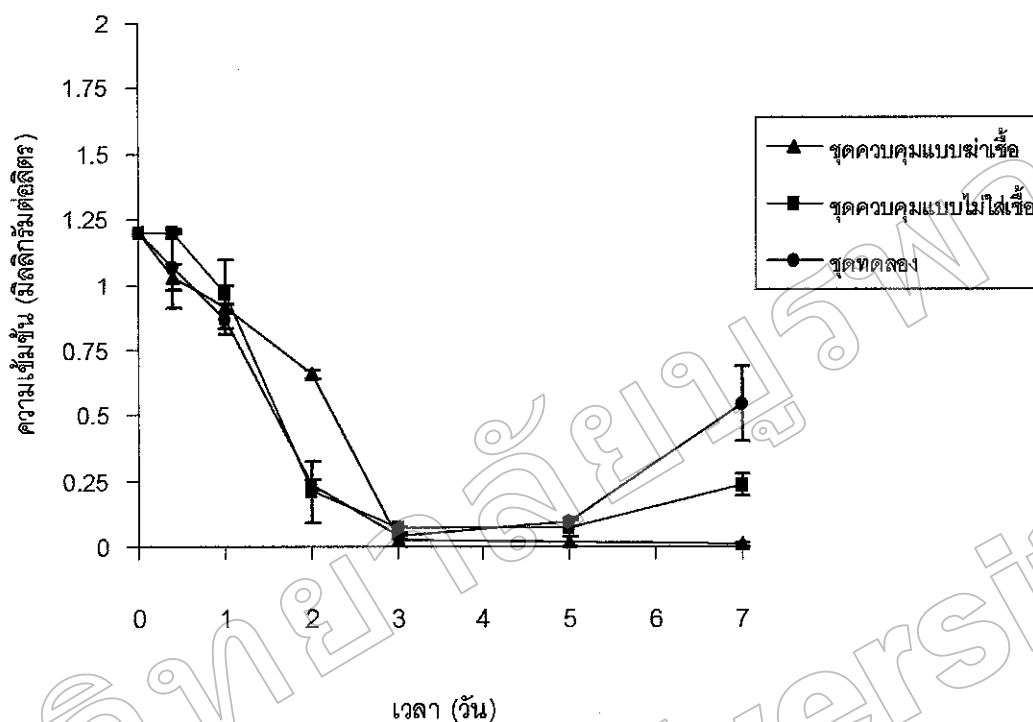
ผลของการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นไนเตรตของทั้ง 3 ชุด ดังแสดงในภาพที่ 12 โดยจะมีความเข้มข้นในวันแรก (Day 0) เท่ากับ 3.80 มิลลิกรัมต่อลิตร หลังจากในวันที่ 1 ความเข้มข้นในชุดทดลองและชุดควบคุมแบบไม่ฆ่าเชื้อลดลงอย่างรวดเร็วจนเหลือ 1.09 มิลลิกรัมต่อลิตร และ 1.07 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ หลังจากนั้นความเข้มข้นจะค่อย ๆ ลดลงจนถึงวันที่ 7 ของการทดลอง ความเข้มข้นของไนเตรตในชุดทดลองลดลงจนเหลือ 0.10 มิลลิกรัมต่อลิตร ซึ่งต่ำกว่าในชุดควบคุมแบบไม่ฆ่าเชื้อที่มีไนเตรตเหลือ 0.56 มิลลิกรัมต่อลิตร ส่วนในชุดควบคุมแบบฆ่าเชื้อตลอดการทดลองมีการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นเล็กน้อย ซึ่งความเข้มข้นของไนเตรตในชุดการทดลองนั้นมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) จากชุดควบคุม



ภาพที่ 12 ประสิทธิภาพในการลดไนเตรดโดยแบคทีเรียผสม T1 กับ A4.2 ในขวดซีรัมที่มีการใช้น้ำและดินตะกอนจากบ่อทุ่งกุลารด้า ภายใต้สภาวะที่มีออกซิเจนและไนเตรด (ค่าเฉลี่ยมาจากค่า 3 ซ้ำ; bar คือค่า SD)

1.2 ผลทดลองประสิทธิภาพในการลดไนไตรต์โดยแบคทีเรียผสม T1 กับ A4.2

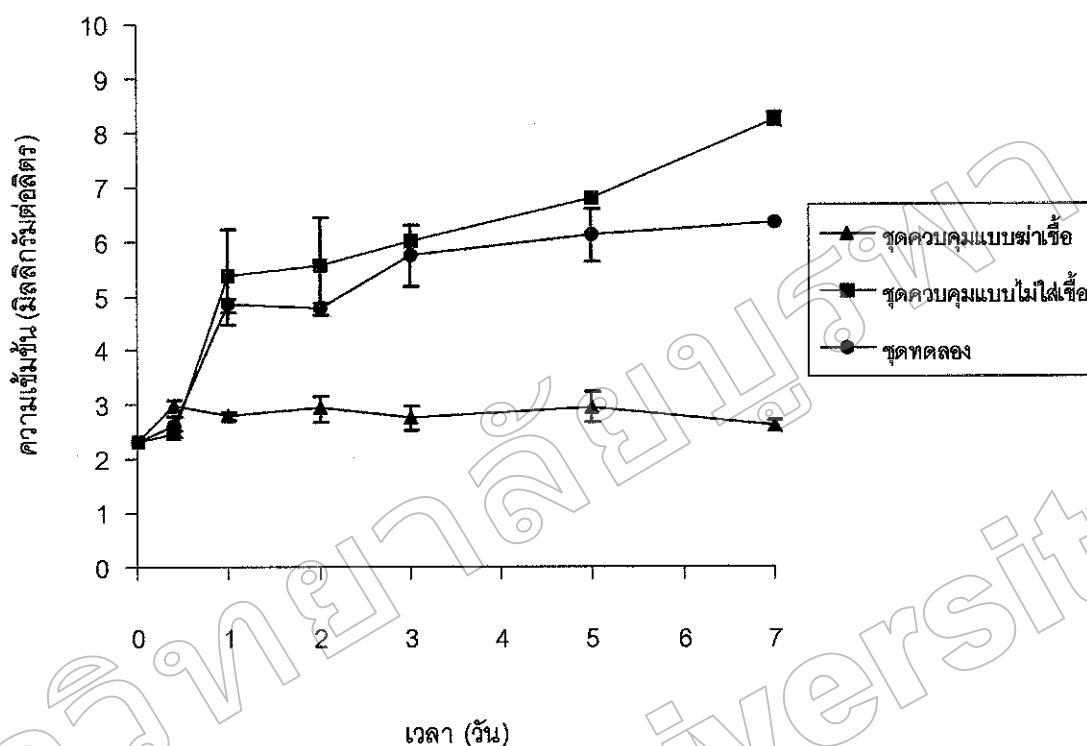
ความสามารถในการลดความเข้มข้นของไนไตรต์ของทั้ง 3 ชุดการทดลอง แสดงในภาพที่ 13 เมื่อความเข้มข้นเริ่มต้นในวันแรกของการทดลองของไนไตรต์เท่ากับ 1.2 มิลลิกรัมต่อลิตร และระยะเวลาผ่านถึงวันที่ 3 นั้นทุกชุดการทดลองความเข้มข้นไนไตรต์จะลดลงต่ำสุด แต่หลังจากนั้นจนถึงวันที่ 7 ของการทดลองความเข้มข้นของไนไตรต์ในชุดทดลองและในชุดควบคุมแบบไม่ใส่เชื้อเพิ่มขึ้นเท่ากับ 0.54 มิลลิกรัมต่อลิตร และ 0.23 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ ซึ่งความเข้มข้นของไนไตรต์ในชุดทดลองไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับชุดควบคุมแบบไม่ใส่เชื้อและชุดควบคุมแบบฆ่าเชื้อ



ภาพที่ 13 ประสิทธิภาพในการลดไนโตรเจนโดยแบคทีเรียผสม T1 กับ A4.2 ในขวดซีรัมที่มีการใช้น้ำและดินตะกอนจากบ่อกังกลาดำ ภายใต้สภาวะที่มีออกซิเจนและไนโตรเจน (ค่าเฉลี่ยมาจากค่า 3 ซ้ำ; bar คือค่า SD)

1.3 ผลทดลองประสิทธิภาพในการลดแอมโมเนียโดยแบคทีเรียผสม T1 กับ A4.2

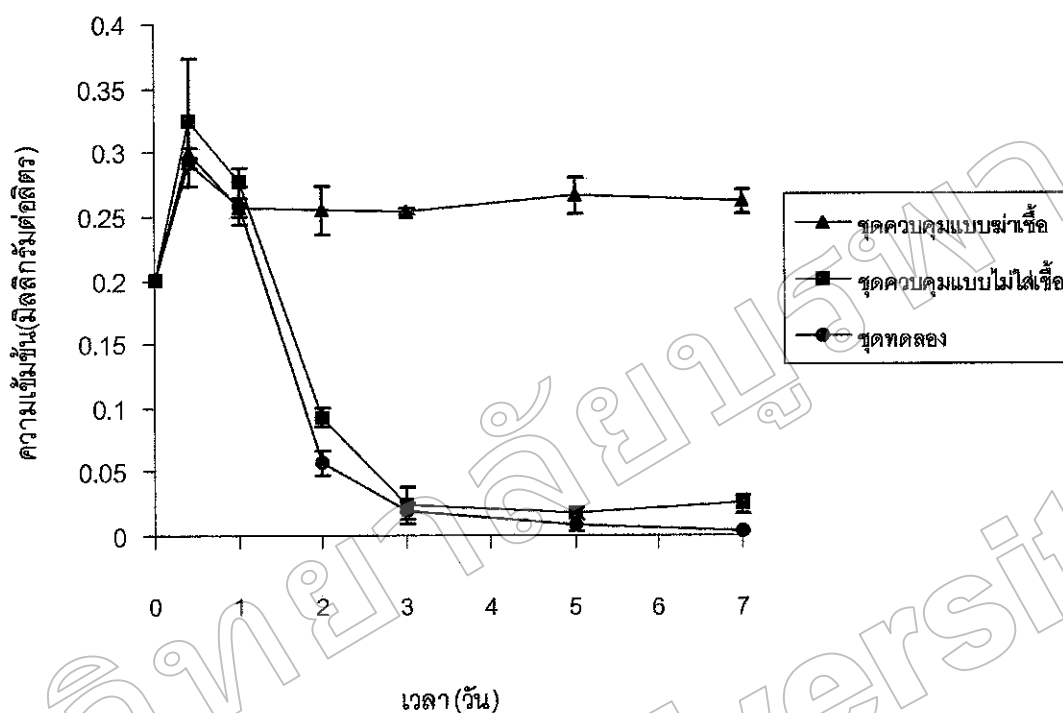
ผลวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นแอมโมเนีย แสดงในภาพที่ 14 โดยในวันแรกของการทดลอง (Day 0) ที่ความเข้มข้นเริ่มต้นเป็น 2.3 มิลลิกรัมต่อลิตร หลังจากนั้นในชุดทดลองและชุดควบคุมแบบไม่ใส่เชื้อความเข้มข้นแอมโมเนียจะเพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ จนกระทั่งวันที่ 7 ของการทดลองจะมีความเข้มข้นเท่ากับ 6.33 มิลลิกรัมต่อลิตร และ 8.23 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ ส่วนในชุดควบคุมความเข้มข้นจะมีการเปลี่ยนแปลงเล็กน้อย โดยที่ความเข้มข้นของแอมโมเนียที่เพิ่มขึ้นในชุดการทดลองมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) กับชุดควบคุมแบบไม่ใส่เชื้อและชุดควบคุมแบบน้ำเชื้อ



ภาพที่ 14 ประสิทธิภาพในการลดแอมโมเนียโดยแบคทีเรียผสม T1 กับ A4.2 ในขวดซีรัมที่มีการให้น้ำและดินตะกอนจากบ่อกึ่งกลาดำ ภายใต้สภาวะที่มีออกซิเจนและไนเทรต (ค่าเฉลี่ยมาจากค่า 3 ซ้ำ; bar คือค่า SD)

1.4 ผลทดลองประสิทธิภาพการลดฟอสเฟตโดยแบคทีเรียผสม T1 กับ A4.2

ผลวิเคราะห์ประสิทธิภาพการลดฟอสเฟต จากความเข้มข้นเริ่มต้นในวันแรกของการทดลองเท่ากับ 0.2 มิลลิกรัมต่อลิตร ดังแสดงในภาพที่ 15 พบว่าหลังจากวันแรกของการทดลองความเข้มข้นฟอสเฟตในชุดทดลองและชุดควบคุมแบบไม่ใส่เชื้อจะลดลงเรื่อย ๆ ในระดับความเข้มข้นที่ใกล้เคียงกัน จนถึงวันที่ 7 ความเข้มข้นของฟอสเฟตในชุดควบคุมแบบไม่ใส่เชื้อเท่ากับ 0.025 มิลลิกรัมต่อลิตร ซึ่งสูงกว่าในชุดทดลองที่เหลือเท่ากับ 0.0034 มิลลิกรัมต่อลิตร ส่วนในชุดควบคุมแบบฆ่าเชื้อความเข้มข้นจะเปลี่ยนแปลงเล็กน้อย หลังจากวันที่ 1 ก็ค่อนข้างคงที่ โดยความเข้มข้นของฟอสเฟตในชุดการทดลองนั้นไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับชุดควบคุมแบบไม่ใส่เชื้อและชุดควบคุมแบบฆ่าเชื้อ



ภาพที่ 15 ประสิทธิภาพการลดฟอสเฟตแบบที่เรียวผสม T1 กับ A4.2 ในขวดซีรัมที่มีการใช้น้ำและดินตะกอนจากบ่อทุ่งกุลาดำ ภายใต้สภาวะที่มีออกซิเจนและไนโตรเจน (ค่าเฉลี่ยมาจากค่า 3 ซ้ำ; bar คือค่า SD)

จากผลการทดลองเมื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการลดไนโตรเจน ไนไตรต์ แอมโมเนีย และฟอสเฟตโดยแบคทีเรียผสม T1 และ A4.2 ในขวดซีรัมที่มีการใช้น้ำและดินตะกอนจากบ่อทุ่งกุลาดำ ภายใต้สภาวะที่มีออกซิเจนและไนโตรเจน มาคำนวณเป็นเปอร์เซ็นต์การลดลง ดังแสดงในตารางที่ 12 พบว่าเปอร์เซ็นต์การลดลงของไนโตรเจนสูงสุดในชุดทดลองและชุดควบคุมแบบไม่ใส่เชื้อมีการลดลงเท่ากับ 97.26 เปอร์เซ็นต์ และ 85.38 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ในขณะที่ไนไตรต์ มีเปอร์เซ็นต์การลดลงของชุดทดลองเพียง 54.78 เปอร์เซ็นต์ แต่ในชุดควบคุมแบบหมักเชื้อสูงถึง 99.44 เปอร์เซ็นต์ สำหรับแอมโมเนียในทุกชุดการทดลองความเข้มข้นไม่มีการลดลงแต่กลับเพิ่มขึ้น ส่วนฟอสเฟตเปอร์เซ็นต์การลดลงสูงสุดในชุดทดลองเท่ากับ 98.3 เปอร์เซ็นต์ รองลงมาคือชุดควบคุมแบบไม่ใส่เชื้อเท่ากับ 87.45 เปอร์เซ็นต์

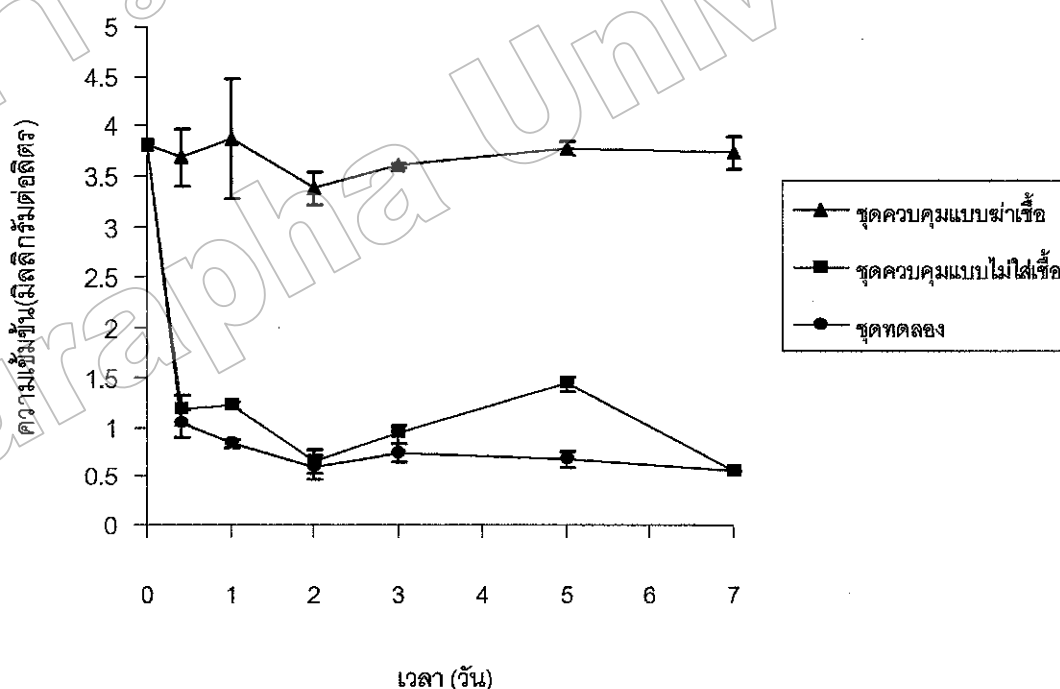
ตารางที่ 12 เปอร์เซ็นต์การลดลงของไนเตรด ไนไตรต์ แอมโมเนีย และฟอสเฟตโดยแบคทีเรีย
ผสม T1 กับ A4.2 ในขวดซีรัมที่มีการใช้น้ำและดินตะกอนจากบ่อกึ่งกลาดำ
ภายใต้สภาวะที่มีออกซิเจนและไนเตรด

สารประกอบ	ความเข้มข้น (มิลลิกรัมต่อลิตร)		เปอร์เซ็นต์การลดลง
	เริ่มต้น (day 0)	สุดท้าย (day 7)	
ไนเตรต			
- ชุดทดลอง	3.8	0.10	97.26
- ชุดควบคุมแบบไม่ใส่เชื้อ	3.8	0.56	85.38
- ชุดควบคุมแบบฆ่าเชื้อ	3.8	3.62	4.83
ไนไตรต์			
- ชุดทดลอง	1.2	0.54	54.78
- ชุดควบคุมแบบไม่ใส่เชื้อ	1.2	0.23	80.48
- ชุดควบคุมแบบฆ่าเชื้อ	1.2	0.007	99.44
แอมโมเนีย			
- ชุดทดลอง	2.3	6.33	- 175.05
- ชุดควบคุมแบบไม่ใส่เชื้อ	2.3	8.23	- 257.92
- ชุดควบคุมแบบฆ่าเชื้อ	2.3	2.60	- 12.97
ฟอสเฟต			
- ชุดทดลอง	0.2	0.003	98.3
- ชุดควบคุมแบบไม่ใส่เชื้อ	0.2	0.025	87.45
- ชุดควบคุมแบบฆ่าเชื้อ	0.2	0.26	- 30.75

2. ประสิทธิภาพในการลดไนเตรด ไนไตรต์ แอมโมเนียและฟอสเฟต โดยแบคทีเรียผสม T1 กับ A7.1 ในขวดซีรัมที่มีการใช้น้ำและดินตะกอนจากบ่อทุ่งกุลาลำดำ ภายใต้สภาวะที่มีออกซิเจนและไนเตรด

2.1 ผลทดลองประสิทธิภาพในการลดไนเตรดโดยแบคทีเรียผสม T1 กับ A7.1

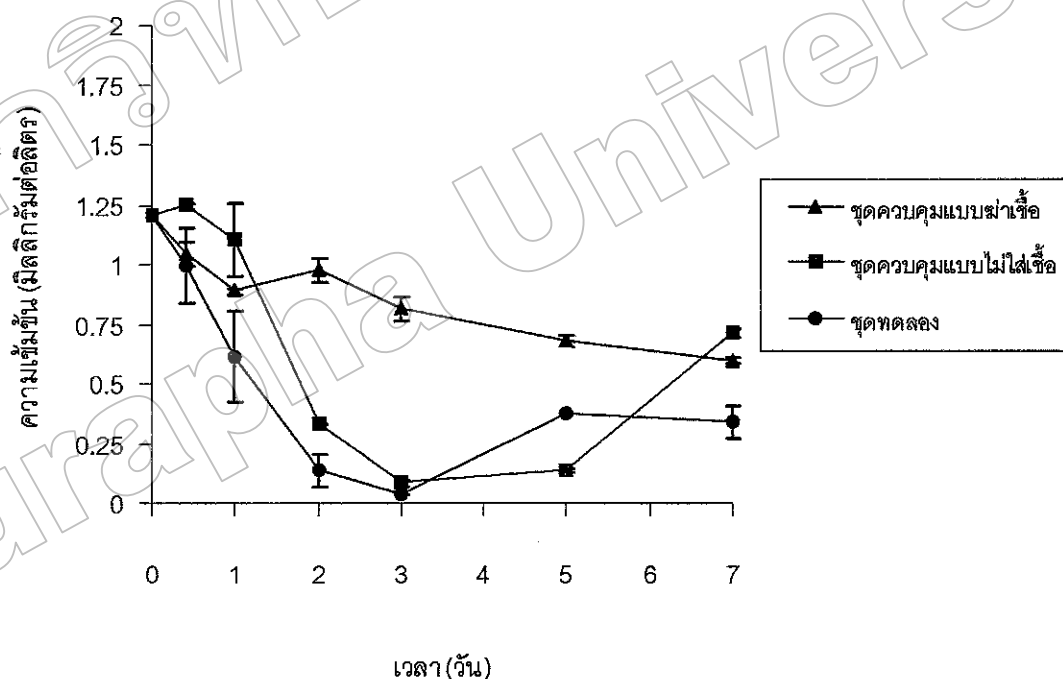
ผลของการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นไนเตรดของทั้ง 3 ชุด ดังแสดงในภาพที่ 16 โดยที่ความเข้มข้นในวันแรก (Day 0) เท่ากับ 3.80 มิลลิกรัมต่อลิตร พบว่าในวันที่ 1 ความเข้มข้นในชุดทดลอง และชุดควบคุมแบบไม่ใส่เชื้อลดลงอย่างรวดเร็วจนเหลือ 0.83 มิลลิกรัมต่อลิตร และ 1.21 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ หลังจากนั้นความเข้มข้นในชุดทดลองจะลดลงเล็กน้อยแล้วค่อนข้างคงที่จนถึงวันที่ 7 ความเข้มข้นของไนเตรดเท่ากับ 0.56 มิลลิกรัมต่อลิตร ส่วนในชุดควบคุมแบบไม่ใส่เชื้อความเข้มข้นไนเตรดจะเพิ่มขึ้นแล้วลดลงเหลือเท่ากับชุดทดลอง และในชุดควบคุมแบบใส่เชื้อตลอดการทดลองมีการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นเล็กน้อย ซึ่งความเข้มข้นของไนเตรดในชุดการทดลองนั้นไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับชุดควบคุม



ภาพที่ 16 ประสิทธิภาพในการลดไนเตรดโดยแบคทีเรียผสม T1 กับ A7.1 ในขวดซีรัมที่มีการใช้น้ำและดินตะกอนจากบ่อทุ่งกุลาลำดำ ภายใต้สภาวะที่มีออกซิเจนและไนเตรด (ค่าเฉลี่ยมาจากค่า 3 ซ้ำ; bar คือค่า SD)

2.2 ผลทดลองประสิทธิภาพในการลดไนโตรเจนโดยแบคทีเรียผสม T1 กับ A7.1

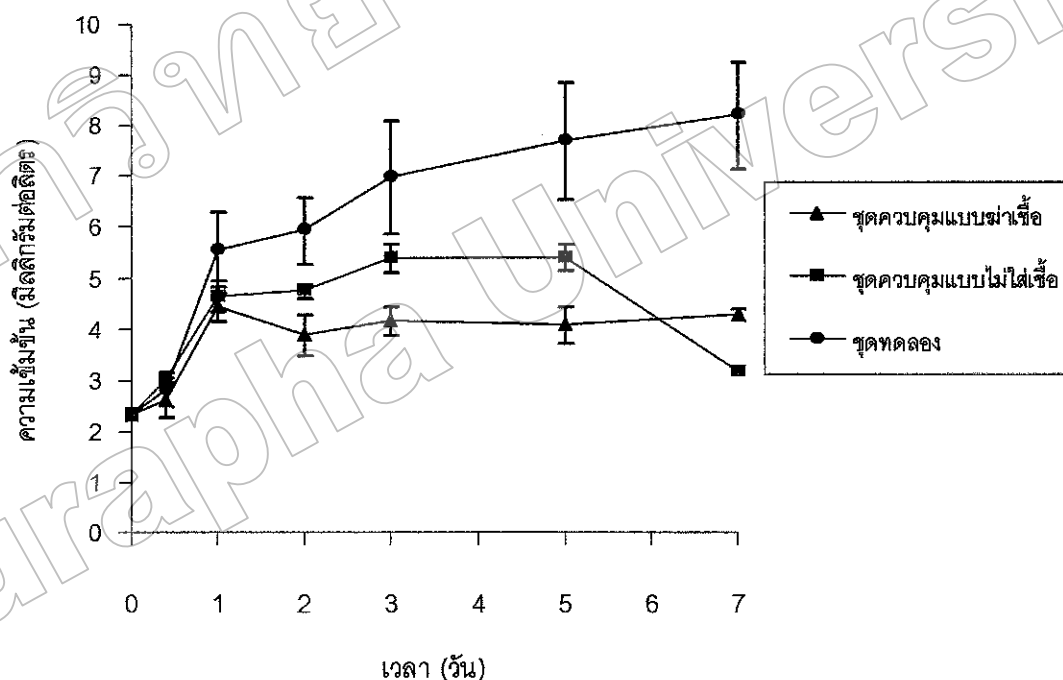
ประสิทธิภาพการลดความเข้มข้นของไนโตรเจนในทั้ง 3 ชุดการทดลอง แสดงในภาพที่ 17 เมื่อความเข้มข้นเริ่มต้นในวันแรกของการทดลองของไนโตรเจนเท่ากับ 1.20 มิลลิกรัมต่อลิตร และระยะเวลาผ่านไปจนถึงวันที่ 3 ในชุดทดลองและชุดควบคุมแบบไม่ใส่เชื้อความเข้มข้นไนโตรเจนจะลดลงต่ำสุดเท่ากับ 0.04 มิลลิกรัมต่อลิตร และ 0.08 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ แต่หลังจากนั้นความเข้มข้นของทั้งสองชุดการทดลองจะเพิ่มขึ้นจนกระทั่งในวันที่ 7 ความเข้มข้นของไนโตรเจนในชุดทดลองเท่ากับ 0.34 มิลลิกรัมต่อลิตร ซึ่งต่ำกว่าในชุดควบคุมแบบไม่ใส่เชื้อที่มีความเข้มข้น 0.71 มิลลิกรัมต่อลิตร ส่วนในชุดควบคุมแบบใส่เชื้อนั้นความเข้มข้นไนโตรเจนจะลดลงเช่นกันจนเหลือ 0.60 มิลลิกรัมต่อลิตร ซึ่งความเข้มข้นของไนโตรเจนในชุดทดลองมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) กับชุดควบคุมแบบไม่ใส่เชื้อและชุดควบคุมแบบใส่เชื้อ



ภาพที่ 17 ประสิทธิภาพในการไนโตรเจนโดยแบคทีเรียผสม T1 กับ A7.1 ในขวดซีรัมที่มีการใช้น้ำและดินตะกอนจากบ่อทุ่งกุลารด้า ภายใต้สภาวะที่มีออกซิเจนและไนโตรเจน (ค่าเฉลี่ยมาจากค่า 3 ซ้ำ; bar คือค่า SD)

2.3 ผลทดลองประสิทธิภาพในการลดแอมโมเนียโดยแบคทีเรียผสม T1 กับ A7.1

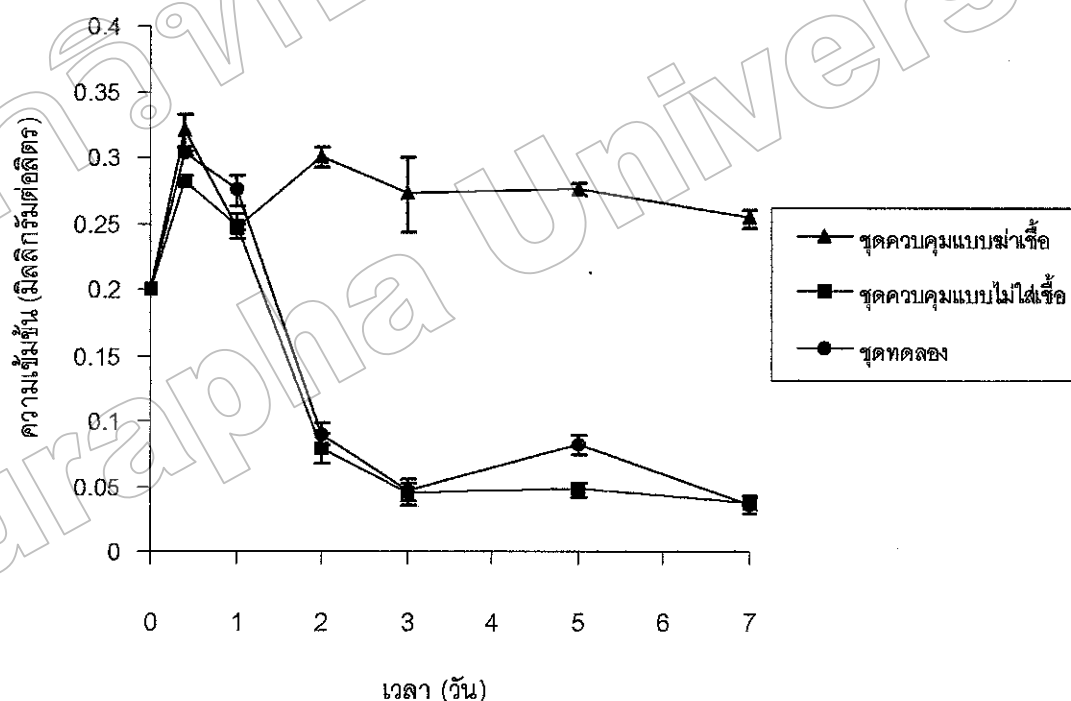
ผลวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นแอมโมเนีย แสดงในภาพที่ 18 โดยในวันแรกของการทดลอง (Day 0) มีความเข้มข้นเป็น 2.3 มิลลิกรัมต่อลิตร ซึ่งหลังจากนั้นในชุดทดลองจะเพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ จนกระทั่งวันที่ 7 ของการทดลองจะมีความเข้มข้นเท่ากับ 8.20 มิลลิกรัมต่อลิตร และในชุดควบคุมแบบไม่ใส่เชื้อความเข้มข้นจะเพิ่มขึ้นเล็กน้อยจนถึงวันที่ 5 ของการทดลองจะลดลงจนเหลือ 3.13 มิลลิกรัมต่อลิตร ส่วนในชุดควบคุมแบบฆ่าเชื้อความเข้มข้นจะเพิ่มขึ้นเล็กน้อยในวันแรกของการทดลองแล้วหลังจากนั้นจะค่อนข้างคงที่ โดยความเข้มข้นที่เพิ่มขึ้นของแอมโมเนียในชุดการทดลองจะมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) กับชุดควบคุมแบบไม่ใส่เชื้อและชุดควบคุมแบบฆ่าเชื้อ



ภาพที่ 18 ประสิทธิภาพในการลดแอมโมเนียโดยแบคทีเรียผสม T1 กับ A7.1 ในขวดซีรัมที่มีการให้น้ำและดินตะกอนจากบ่อกึ่งอุตสาหกรรม ภายใต้สภาวะที่มีออกซิเจนและไนโตรเจน (ค่าเฉลี่ยมาจากค่า 3 ซ้ำ; bar คือค่า SD)

2.4 ผลทดลองประสิทธิภาพในการฟอสเฟตโดยแบคทีเรียผสม T1 กับ A7.1

ผลวิเคราะห์ประสิทธิภาพในการลดฟอสเฟต โดยความเข้มข้นเริ่มต้นในวันแรกของการทดลองเท่ากับ 0.2 มิลลิกรัมต่อลิตร ดังแสดงในภาพที่ 19 พบว่าหลังจากวันแรกของการทดลองความเข้มข้นฟอสเฟตในทุกชุดการทดลองจะเพิ่มขึ้นเล็กน้อย ซึ่งจะมีการลดลงหลังจากวันที่ 1 โดยความเข้มข้นในชุดควบคุมแบบฆ่าเชื้อจะค่อนข้างคงที่ แต่ในชุดทดลองและชุดควบคุมแบบไม่ใส่เชื้อจะลดลงเรื่อย ๆ ในระดับความเข้มข้นที่ใกล้เคียงกัน จนถึงวันที่ 7 ความเข้มข้นของฟอสเฟตในชุดทดลองและชุดควบคุมแบบไม่ใส่เชื้อจะเหลือเท่ากัน คือ 0.04 มิลลิกรัมต่อลิตร ส่วนชุดควบคุมแบบฆ่าเชื้อมีความเข้มข้นเหลือ 0.25 มิลลิกรัมต่อลิตร โดยที่ความเข้มข้นของฟอสเฟตในชุดทดลองนั้นไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับชุดควบคุมแบบไม่ใส่เชื้อ



ภาพที่ 19 ประสิทธิภาพในการลดฟอสเฟตโดยแบคทีเรียผสม T1 กับ A7.1 ในขวดซีรัมที่มีการใช้น้ำและดินตะกอนจากบ่อทุ่งกุลารด้า ภายใต้สภาวะที่มีออกซิเจนและไนโตรเจน (ค่าเฉลี่ยมาจากค่า 3 ซ้ำ; bar คือค่า SD)

จากผลการทดลองเมื่อนำเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการลดความเข้มข้นของไนเตรดไนโตรเจน แอมโมเนีย และฟอสเฟตโดยแบคทีเรียผสม T1 และ A7.1 โดยคำนวณเป็นเปอร์เซ็นต์การลดลง ดังแสดงในตารางที่ 13 พบว่าเปอร์เซ็นต์การลดลงของไนเตรดไนโตรเจนและฟอสเฟตในชุดควบคุมแบบไม่ใส่เชื้อมีการลดลงเท่ากับ 85.38 เปอร์เซ็นต์ ส่วนในชุดควบคุมแบบใส่เชื้อมีการลดลงของความเข้มข้นเพียง 1.99 เปอร์เซ็นต์ ส่วนไนโตรเจนมีเปอร์เซ็นต์การลดลงสูงสุดในชุดทดลองเท่ากับ 71.78 เปอร์เซ็นต์ รองลงมา คือชุดควบคุมแบบใส่เชื้อและชุดควบคุมแบบไม่ใส่เชื้อมีเปอร์เซ็นต์การลดลงเท่ากับ 50.28 เปอร์เซ็นต์ และ 40.49 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ สำหรับแอมโมเนียในทุกชุดการทดลองความเข้มข้นไม่มีการลดลงแต่กลับเพิ่มขึ้น และฟอสเฟตมีเปอร์เซ็นต์การลดลงของชุดทดลองและชุดควบคุมแบบไม่ใส่เชื้อใกล้เคียงกันคือ 82.1 เปอร์เซ็นต์ และ 81.55 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ

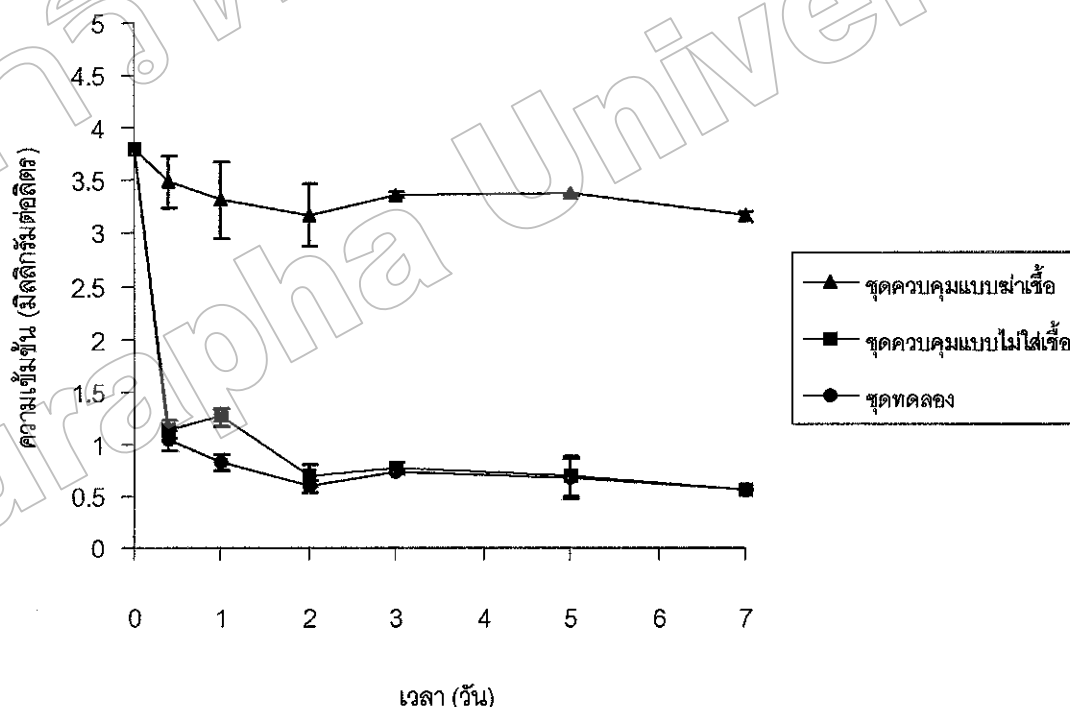
ตารางที่ 13 เปอร์เซ็นต์การลดลงของไนเตรต ไนไตรต์ แอมโมเนีย และฟอสเฟต โดยแบคทีเรีย
ผสม T1 กับ A7.1 ในขวดซีรัมที่มีการใช้น้ำและดินตะกอนจากบ่อกึ่งกลาดำ
ภายใต้สภาวะที่มีออกซิเจนและไนเตรต

สารประกอบ	ความเข้มข้น (มิลลิกรัมต่อลิตร)		เปอร์เซ็นต์การลดลง
	เริ่มต้น (day 0)	สุดท้าย (day 7)	
ไนเตรต			
- ชุดทดลอง	3.8	0.56	85.38
- ชุดควบคุมแบบไม่ใส่เชื้อ	3.8	0.56	85.38
- ชุดควบคุมแบบฆ่าเชื้อ	3.8	3.72	1.99
ไนไตรต์			
- ชุดทดลอง	1.2	0.34	71.78
- ชุดควบคุมแบบไม่ใส่เชื้อ	1.2	0.71	40.49
- ชุดควบคุมแบบฆ่าเชื้อ	1.2	0.60	50.28
แอมโมเนีย			
- ชุดทดลอง	2.3	8.20	- 256.65
- ชุดควบคุมแบบไม่ใส่เชื้อ	2.3	3.13	- 36.05
- ชุดควบคุมแบบฆ่าเชื้อ	2.3	4.26	- 85.37
ฟอสเฟต			
- ชุดทดลอง	0.2	0.036	82.1
- ชุดควบคุมแบบไม่ใส่เชื้อ	0.2	0.037	81.55
- ชุดควบคุมแบบฆ่าเชื้อ	0.2	0.25	- 26.65

3. ประสิทธิภาพในการลดไนเตรด ไนไตรต์ แอมโมเนียและฟอสเฟต โดยแบคทีเรียผสม T1 กับ A2 ในขวดซีรัมที่มีการใช้น้ำและดินตะกอนจากบ่อกึ่งกลาดำ ภายใต้สภาวะที่มีออกซิเจนและไนเตรด

3.1 ผลทดลองประสิทธิภาพในการลดไนเตรด โดยแบคทีเรียผสม T1 กับ A2

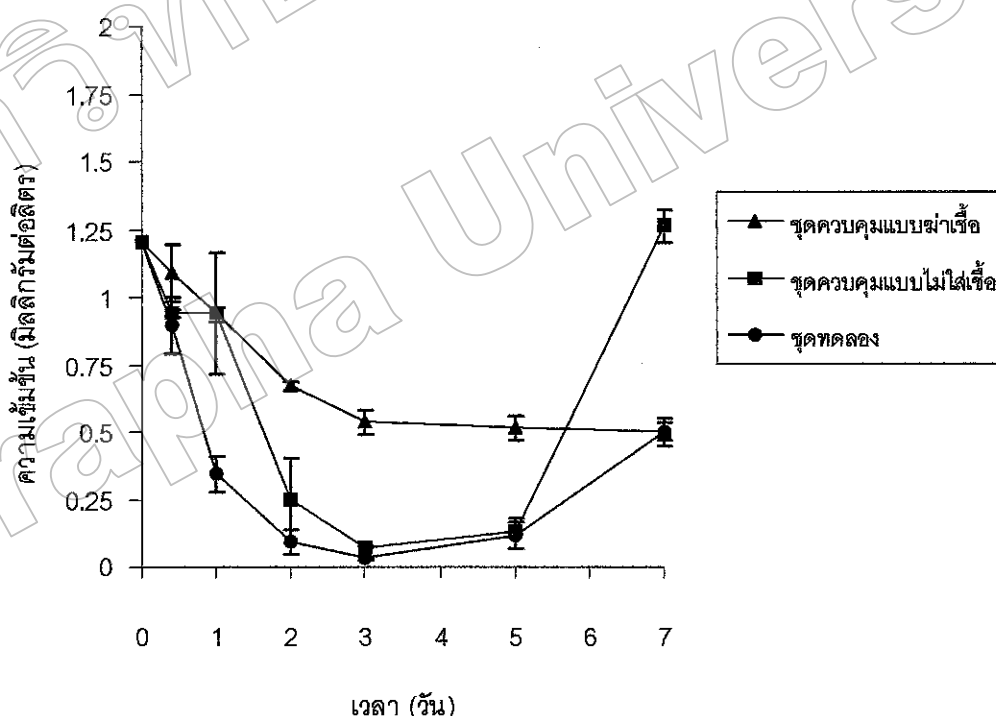
ผลของการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นไนเตรดของทั้ง 3 ชุด ดังแสดงในภาพที่ 20 โดยจะมีความเข้มข้นในวันแรก (Day0) เท่ากับ 3.80 มิลลิกรัมต่อลิตร ซึ่งในช่วงระยะเวลาวันที่ 1 ความเข้มข้นไนเตรดในชุดทดลองและชุดควบคุมแบบไม่ใส่เชื้อลดลงอย่างรวดเร็ว แต่หลังจากนั้น จนถึงวันที่ 7 จะมีการลดลงอีกเล็กน้อยจนเหลือ 0.56 มิลลิกรัมต่อลิตร ในทั้ง 2 ชุดการทดลอง ส่วนชุดควบคุมแบบใส่เชื้อตลอดระยะเวลาการทดลองมีการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นเล็กน้อย ซึ่งความเข้มข้นของไนเตรดในชุดการทดลองนั้นไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับชุดควบคุมแบบไม่ใส่เชื้อ



ภาพที่ 20 ประสิทธิภาพในการลดไนเตรดโดยแบคทีเรียผสม T1 กับ A2 ในขวดซีรัมที่มีการใช้น้ำและดินตะกอนจากบ่อกึ่งกลาดำ ภายใต้สภาวะที่มีออกซิเจนและไนเตรด (ค่าเฉลี่ยมาจากค่า 3 ซ้ำ; bar คือค่า SD)

3.2 ผลทดลองประสิทธิภาพในการลดไนโตรเจน โดยแบคทีเรียผสม T1 กับ A2

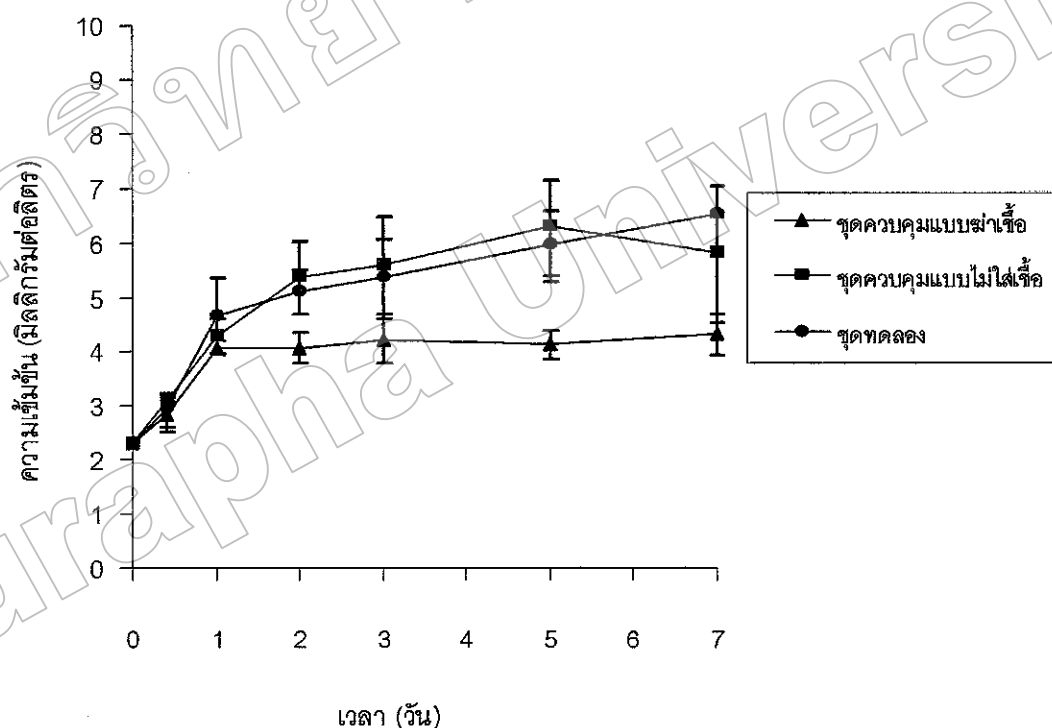
การเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของไนโตรเจนในทั้ง 3 ชุดการทดลอง แสดงในภาพที่ 21 เมื่อความเข้มข้นไนโตรเจนเริ่มต้นในวันแรกของการทดลองเท่ากับ 1.2 มิลลิกรัมต่อลิตร และเมื่อระยะเวลาผ่านไปถึงวันที่ 3 ในชุดทดลองและชุดควบคุมแบบไม่ใส่เชื้อความเข้มข้นไนโตรเจนจะลดลงต่ำสุดเท่ากับ 0.03 มิลลิกรัมต่อลิตร และ 0.07 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ แต่หลังจากนั้นความเข้มข้นของทั้ง 2 ชุดการทดลองจะเพิ่มขึ้นจนกระทั่งวันที่ 7 ความเข้มข้นของไนโตรเจนในชุดทดลองเท่ากับ 0.50 มิลลิกรัมต่อลิตร ซึ่งต่ำกว่าในชุดควบคุมแบบไม่ใส่เชื้อที่มีความเข้มข้น 1.26 มิลลิกรัมต่อลิตร ส่วนในชุดควบคุมแบบฆ่าเชื้อนั้นความเข้มข้นไนโตรเจนจะลดลงจนเหลือ 0.50 มิลลิกรัมต่อลิตร โดยความเข้มข้นของไนโตรเจนในชุดการทดลองนั้นไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับชุดควบคุมแบบไม่ใส่เชื้อและชุดควบคุมแบบฆ่าเชื้อ



ภาพที่ 21 ประสิทธิภาพในการลดไนโตรเจนโดยแบคทีเรียผสม T1 กับ A2 ในขวดซีรัมที่มีการใช้น้ำและดินตะกอนจากบ่อกังกุลดำ ภายใต้สภาวะที่มีออกซิเจนและไนเตรด (ค่าเฉลี่ยมาจากค่า 3 ซ้ำ; bar คือค่า SD)

3.3 ผลทดลองประสิทธิภาพในการลดแอมโมเนีย โดยแบคทีเรียผสม T1 กับ A2

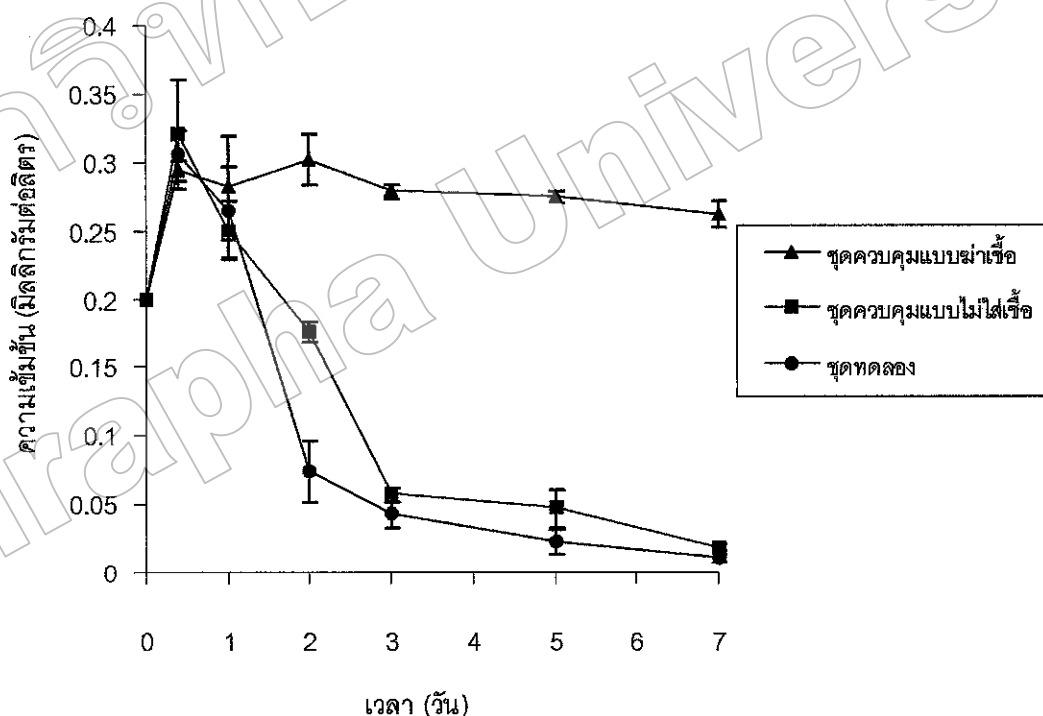
ผลวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นแอมโมเนีย แสดงในภาพที่ 22 โดยในวันแรกของการทดลอง (Day 0) ความเข้มข้นเท่ากับ 2.3 มิลลิกรัมต่อลิตร ซึ่งหลังจากนั้นในทุกชุดการทดลองจะมีความเข้มข้นเพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ ยกเว้นในชุดควบคุมแบบฆ่าเชื้อที่หลังจากวันที่ 1 ความเข้มข้นจะไม่มีการเปลี่ยนแปลงเพิ่มขึ้นอีก และเมื่อถึงวันที่ 7 ความเข้มข้นของแอมโมเนียในชุดทดลองและชุดควบคุมแบบไม่ใส่เชื้อจะเหลือเท่ากับ 6.51 มิลลิกรัมต่อลิตร และ 5.79 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ ส่วนในชุดควบคุมแบบฆ่าเชื้อเท่ากับ 4.31 มิลลิกรัมต่อลิตร โดยความเข้มข้นของแอมโมเนียที่เพิ่มขึ้นในชุดทดลองจะมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) กับชุดควบคุมแบบไม่ใส่เชื้อและชุดควบคุมแบบฆ่าเชื้อ



ภาพที่ 22 ประสิทธิภาพในการลดแอมโมเนียโดยแบคทีเรียผสม T1 กับ A2 ในขวดซีรัมที่มีการใช้น้ำและดินตะกอนจากบ่อทุ่งกุลาดำ ภายใต้สภาวะที่มีออกซิเจนและไนโตรเจน
(ค่าเฉลี่ยมาจากค่า 3 ซ้ำ; bar คือค่า SD)

3.4 ผลทดลองประสิทธิภาพในการลดฟอสเฟต โดยแบคทีเรียผสม T1 กับ A2

ผลวิเคราะห์ประสิทธิภาพในการลดความเข้มข้นของฟอสเฟต โดยมีความเข้มข้นเริ่มต้นในวันแรกของการทดลองเท่ากับ 0.2 มิลลิกรัมต่อลิตร ดังแสดงในภาพที่ 23 พบว่าหลังจากวันแรกของการทดลองความเข้มข้นฟอสเฟตในทุกชุดการทดลองจะเพิ่มขึ้นเล็กน้อย แล้วจะมีการลดลงหลังจากวันที่ 1 โดยความเข้มข้นในชุดควบคุมแบบฆ่าเชื้อจะค่อนข้างคงที่ แต่ในชุดทดลองและชุดควบคุมแบบไม่ใส่เชื้อจะลดลงเรื่อย ๆ ในระดับความเข้มข้นที่ใกล้เคียงกัน จนถึงวันที่ 7 ของการทดลองความเข้มข้นของฟอสเฟตในชุดทดลองและชุดควบคุมแบบไม่ใส่เชื้อจะเหลือเท่ากับ 0.01 มิลลิกรัมต่อลิตร และ 0.02 มิลลิกรัมต่อลิตร ส่วนชุดควบคุมแบบฆ่าเชื้อมีความเข้มข้นเหลือ 0.26 มิลลิกรัมต่อลิตร โดยที่ความเข้มข้นของฟอสเฟตในชุดทดลองนั้นไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับชุดควบคุมแบบไม่ใส่เชื้อและชุดควบคุมแบบฆ่าเชื้อ



ภาพที่ 23 ประสิทธิภาพในการลดฟอสเฟตโดยแบคทีเรียผสม T1 กับ A2 ในขวดซีรั่มที่มีการใช้น้ำและดินตะกอนจากบ่อกังกุลลาดำ ภายใต้สภาวะที่มีออกซิเจนและไนเทรต (ค่าเฉลี่ยมาจากค่า 3 ซ้ำ; bar คือค่า SD)

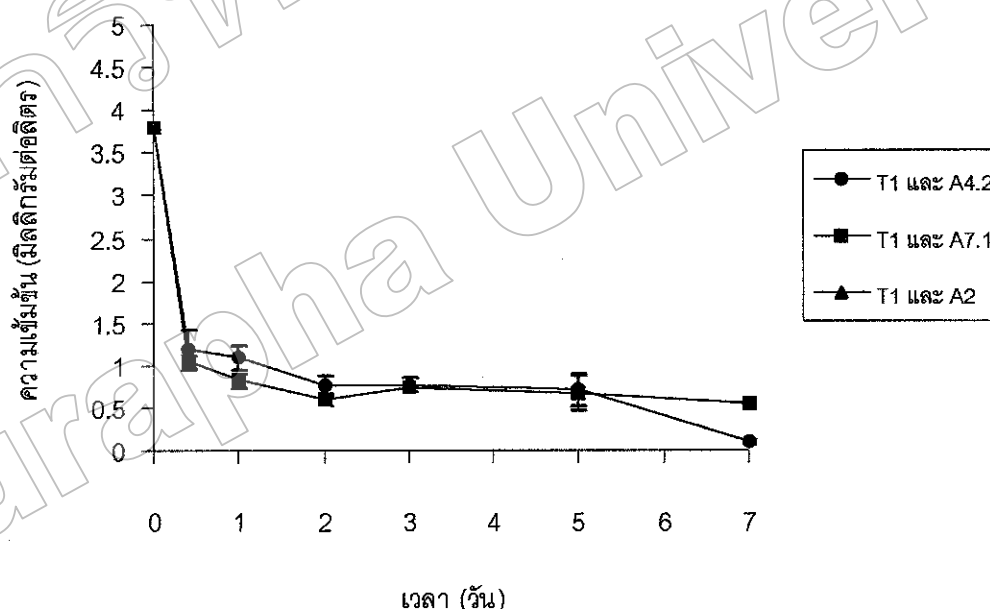
จากผลการทดลองเมื่อนำมาเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการลดความเข้มข้นของไนโตรเจน ไนไตรต์ แอมโมเนียและฟอสเฟตโดยแบคทีเรียผสม T1 กับ A2 โดยนำมาคำนวณเป็นเปอร์เซ็นต์การลดลง ดังแสดงในตารางที่ 14 พบว่าเปอร์เซ็นต์การลดลงของไนโตรเจนในชุดทดลองและชุดควบคุมแบบไม่ใส่เชื้อมีการลดลงเท่ากันคือ 85.38 เปอร์เซ็นต์ ส่วนในชุดควบคุมแบบใส่เชื้อมีการลดลงของความเข้มข้นเพียง 16.99 เปอร์เซ็นต์ ส่วนไนไตรต์มีเปอร์เซ็นต์การลดลงในชุดทดลองและชุดควบคุมแบบใส่เชื้อเท่ากันคือ 58.33 เปอร์เซ็นต์ แต่ในชุดควบคุมแบบไม่ใส่เชื้อความเข้มข้นของไนไตรต์นั้นเพิ่มขึ้น สำหรับแอมโมเนียในทุกชุดการทดลองไม่มีการลดลงของความเข้มข้นแต่กลับเพิ่มขึ้น และฟอสเฟตมีเปอร์เซ็นต์การลดลงสูงสุดในชุดทดลองเท่ากับ 94.95 เปอร์เซ็นต์ รองลงมาคือชุดควบคุมแบบไม่ใส่เชื้อเท่ากับ 90.8 เปอร์เซ็นต์ แต่ในชุดควบคุมแบบใส่เชื้อความเข้มข้นของฟอสเฟตนั้นเพิ่มขึ้น

ตารางที่ 14 เปอร์เซ็นต์การลดลงของไนเตรต ไนไตรต์ แอมโมเนีย และฟอสเฟต โดยแบคทีเรีย
ผสม T1 กับ A2 ในขบวนการที่มีการใช้น้ำและดินตะกอนจากบ่อกักกูลาดำ ภายใต้
สภาวะที่มีออกซิเจนและไนเตรต

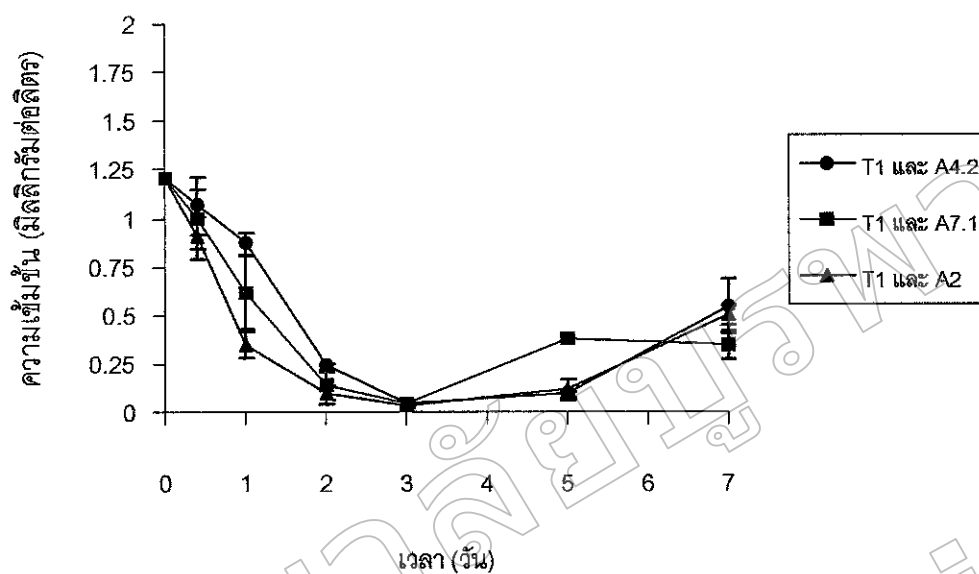
สารประกอบ	ความเข้มข้น (มิลลิกรัมต่อลิตร)		เปอร์เซ็นต์การลดลง
	เริ่มต้น (day 0)	สุดท้าย (day 7)	
ไนเตรต			
- ชุดทดลอง	3.8	0.56	85.38
- ชุดควบคุมแบบไม่ใส่เชื้อ	3.8	0.56	85.38
- ชุดควบคุมแบบฆ่าเชื้อ	3.8	3.15	16.99
ไนไตรต์			
- ชุดทดลอง	1.2	0.50	58.33
- ชุดควบคุมแบบไม่ใส่เชื้อ	1.2	1.26	- 5.08
- ชุดควบคุมแบบฆ่าเชื้อ	1.2	0.50	58.33
แอมโมเนีย			
- ชุดทดลอง	2.3	6.51	- 182.91
- ชุดควบคุมแบบไม่ใส่เชื้อ	2.3	5.79	- 151.8
- ชุดควบคุมแบบฆ่าเชื้อ	2.3	4.31	- 87.37
ฟอสเฟต			
- ชุดทดลอง	0.2	0.01	94.95
- ชุดควบคุมแบบไม่ใส่เชื้อ	0.2	0.018	90.8
- ชุดควบคุมแบบฆ่าเชื้อ	0.2	0.26	- 30.75

4. การเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการลดไนเตรด ไนไตรต์ แอมโมเนีย และฟอสเฟตระหว่างแบคทีเรียผสม T1 กับ A4.2 , T1 กับ A7.1 และ T1 กับ A2

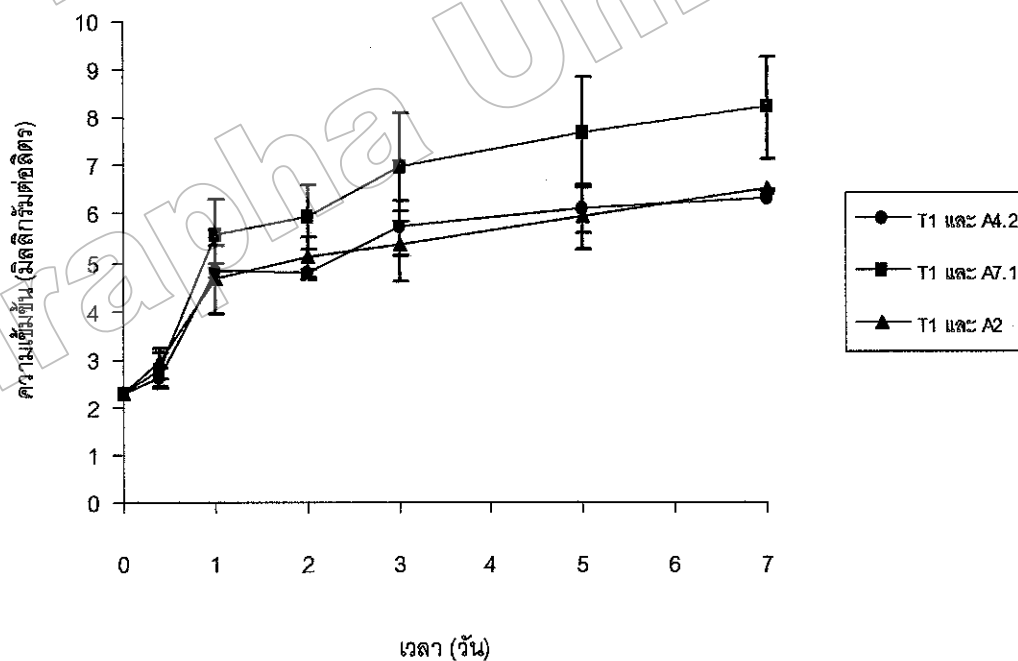
จากผลการทดลองศึกษาประสิทธิภาพในการลดไนเตรด ไนไตรต์ แอมโมเนียและฟอสเฟต ระหว่างการใช้แบคทีเรียผสมทั้ง 3 คู่ เมื่อทำการเปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของสารประกอบดังกล่าว ดังแสดงในภาพที่ 24 – 27 พบว่าความเข้มข้นในชุดทดลองของแบคทีเรียผสม 3 คู่ นั้น มีเพียงความเข้มข้นของแอมโมเนียที่มีความแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ ($P < 0.05$) ดังแสดงในภาพที่ 26 แต่เป็นความเข้มข้นที่เพิ่มขึ้นจากความเข้มข้นเริ่มต้น จึงถือว่าการสะสมของแอมโมเนียเกิดขึ้น ส่วนความเข้มข้นของไนเตรด ไนไตรต์ และฟอสเฟตจากการย่อยสลายโดยแบคทีเรียผสมทั้ง 3 คู่ นั้น แสดงในภาพที่ 24, 25 และ 27 จะมีความเข้มข้นลดลงในชุดทดลองของแบคทีเรียผสมทั้ง 3 คู่ แต่ความเข้มข้นที่ลดลงโดยแบคทีเรีย T1 กับ A4.2, T1 กับ A7.1 และ T1 กับ A2 นั้นไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ



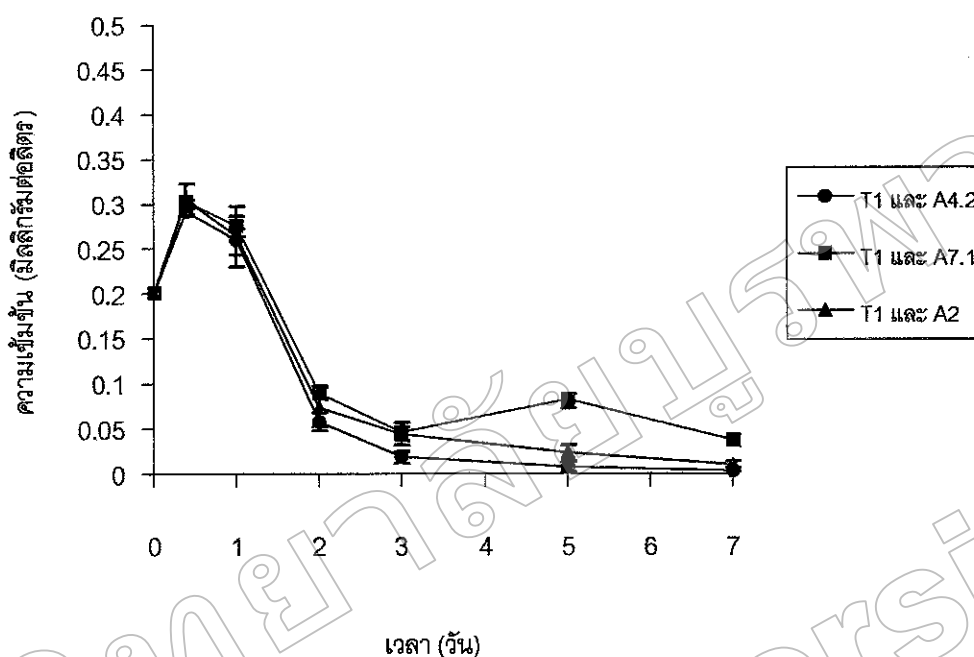
ภาพที่ 24 เปรียบเทียบประสิทธิภาพในการลดไนเตรดระหว่างแบคทีเรียผสม T1 กับ A4.2, T1 กับ A7.1 และ T1 กับ A2 (ค่าเฉลี่ยมาจากค่า 3 ซ้ำ; bar คือค่า SD)



ภาพที่ 25 เปรียบเทียบประสิทธิภาพในการลดไนโตรเจนระหว่างแบคทีเรียผสม T1 กับ A4.2, T1 กับ A7.1 และ T1 กับ A2 (ค่าเฉลี่ยมาจากค่า 3 ซ้ำ; bar คือค่า SD)



ภาพที่ 26 เปรียบเทียบประสิทธิภาพในการลดแอมโมเนียระหว่างแบคทีเรียผสม T1 กับ A4.2, T1 กับ A7.1 และ T1 กับ A2 (ค่าเฉลี่ยมาจากค่า 3 ซ้ำ; bar คือค่า SD)



ภาพที่ 27 เปรียบเทียบประสิทธิภาพในการลดฟอสเฟตระหว่างแบคทีเรียผสม T1 กับ A4.2, T1 กับ A7.1 และ T1 กับ A2 (ค่าเฉลี่ยมาจากค่า 3 ซ้ำ; bar คือค่า SD)

ประสิทธิภาพในการลดไนเตรต ไนไตรต์ แอมโมเนียและฟอสเฟต โดยแบคทีเรียผสม 6 ชนิด ภายในบ่อกึ่งกูลาดำจำลองที่มีการใช้น้ำและดินตะกอนจากบ่อกึ่งกูลาดำ

จากการศึกษาประสิทธิภาพในการลดไนเตรต ไนไตรต์ แอมโมเนียและฟอสเฟตโดยการใช้แบคทีเรียผสม 6 ชนิด และการใช้แบคทีเรียผสม 2 ชนิด เมื่อพิจารณาการเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการลดความเข้มข้นของสารดังกล่าว จึงเลือกใช้แบคทีเรียผสม 6 ชนิดมาศึกษาประสิทธิภาพในการลดสารทั้ง 4 ชนิด ภายในบ่อเลี้ยงกึ่งกูลาดำจำลองต่อไป เนื่องจากมีความสามารถในการลดความเข้มข้นของไนเตรต ไนไตรต์ แอมโมเนียและฟอสเฟตได้ดีกว่า ประกอบกับมีความหลากหลายของแบคทีเรียมากกว่าที่อาจจะมีประโยชน์ต่อการลดความเข้มข้นของสารดังกล่าว แต่เมื่อทดลองโดยการใช้แบคทีเรียผสมทั้ง 3 คู่ ในการลดความเข้มข้นของไนเตรต ไนไตรต์ แอมโมเนียและฟอสเฟตนั้น พบว่าเมื่อถึงวันสุดท้ายของการทดลองจะก่อให้เกิดการสะสมของไนไตรต์และแอมโมเนีย ซึ่งเป็นสารที่มีความเป็นพิษต่อกึ่งกูลาดำ

การศึกษาประสิทธิภาพการลดไนเตรต ไนไตรต์ แอมโมเนียและฟอสเฟต ภายในบ่อเลี้ยงกุ้งกุลาดำจำลอง โดยแบคทีเรียผสม 6 ชนิด คือ T1, T6, A2, A4.2, A7.1 และ A16 ที่มีการใช้ดิน ดินตะกอนและน้ำจากบ่อเลี้ยงกุ้งกุลาดำที่ อำเภอราชสาส์น จังหวัดฉะเชิงเทรา ที่มีอายุการเลี้ยงกุ้งประมาณ 3 เดือน โดยมีผลการวิเคราะห์คุณภาพ ณ จุดเก็บตัวอย่าง ดังแสดงในตารางที่ 15 ซึ่งได้จัดการทดลองภายในบ่อเลี้ยงกุ้งกุลาดำจำลอง แบ่งการทดลองออกเป็น 2 ชุด ชุดละ 3 บ่อ คือ ชุดควบคุม (Control) และชุดทดลอง (Active) ที่มีการเติมแบคทีเรียผสมจำนวน 2.13×10^{10} cfu/ml (10.29 Log cfu/ml) ในปริมาตร 10, 20 และ 30 มิลลิลิตร ในวันแรก วันที่ 7 และวันที่ 21 ของการทดลองตามลำดับ ซึ่งในวันเดียวกันนี้จะมีการเติมไนเตรต ไนไตรต์ แอมโมเนียและฟอสเฟตลงในทั้งสองชุดการทดลอง โดยในวันแรกจะเติมในระดับความเข้มข้นเท่ากับ 3.80 มิลลิกรัมต่อลิตร, 1.20 มิลลิกรัมต่อลิตร, 2.30 มิลลิกรัมต่อลิตร และ 0.20 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ หลังจากนั้นในวันที่ 7 และวันที่ 21 ของการทดลอง จะมีการเพิ่มความเข้มข้นของสารดังกล่าวเป็น 10 มิลลิกรัมต่อลิตร และ 20 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ

ตารางที่ 15 คุณภาพน้ำทางกายภาพและทางเคมี ณ จุดเก็บตัวอย่างน้ำและดินตะกอนจากบ่อเลี้ยงกุ้งกุลาดำ อำเภอราชสาส์น จังหวัดฉะเชิงเทรา

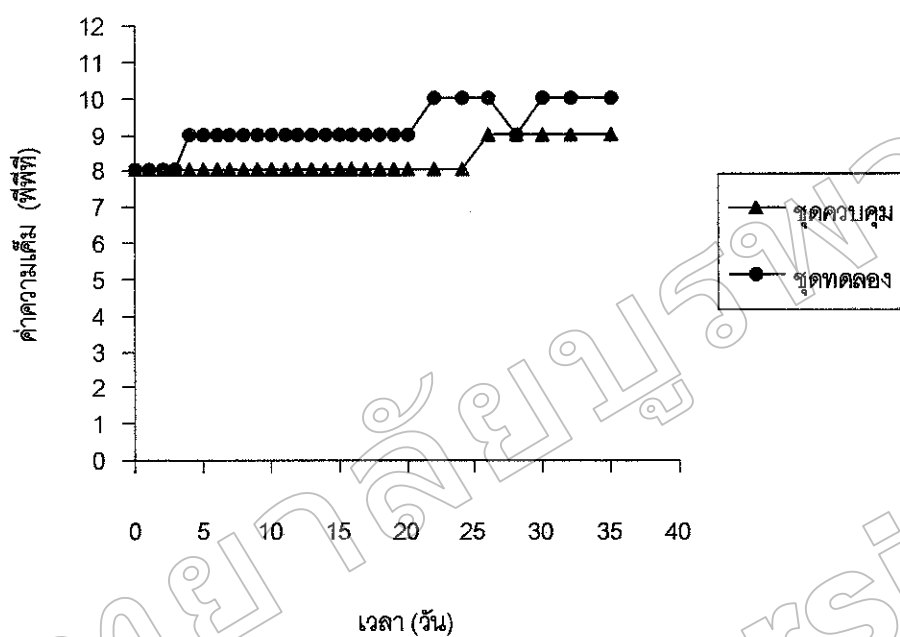
พารามิเตอร์	ตำแหน่งที่วิเคราะห์คุณภาพน้ำ			
	จุดที่ 1	จุดที่ 2	จุดที่ 3	จุดที่ 4
ค่าออกซิเจนละลายน้ำ (มิลลิกรัมต่อลิตร)	8.47	8.53	8.55	8.47
อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	29.26	30.12	30.24	29.33
ความเค็ม (พีพีที)	7	7	7	7
พีเอช	7.19	7.20	7.19	7.19
แอมโมเนีย (มิลลิกรัมต่อลิตร)	0.734	0.681	0.672	0.725
ไนเตรต (มิลลิกรัมต่อลิตร)	1.672	1.537	1.672	1.554
ไนไตรต์ (มิลลิกรัมต่อลิตร)	0.231	0.205	0.203	0.221
ฟอสเฟต (มิลลิกรัมต่อลิตร)	0.155	0.145	0.152	0.143

1. คุณภาพน้ำทางกายภาพภายในบ่อกึ่งลาดำจำลอง

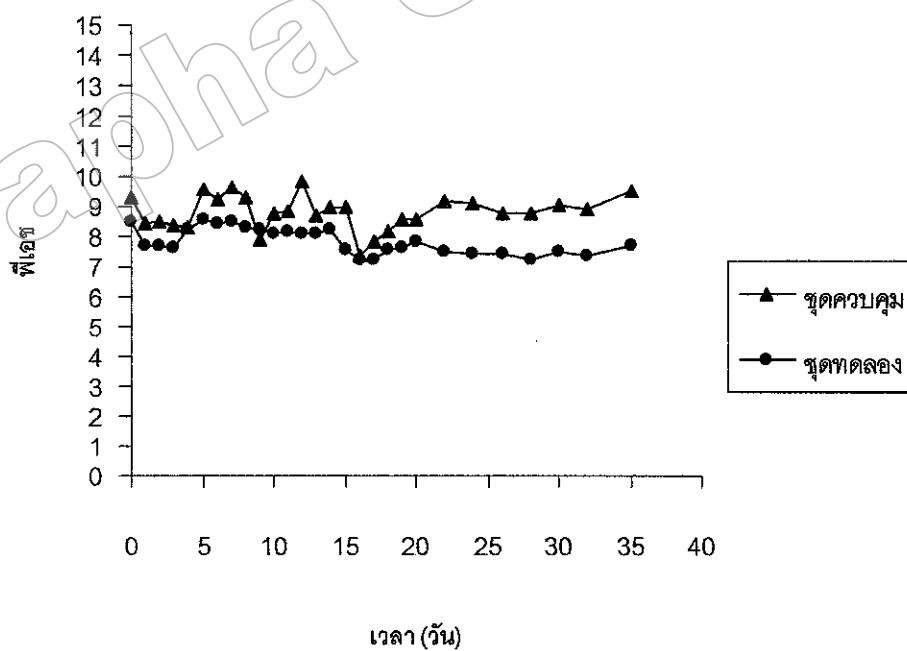
ตลอดระยะเวลาที่ได้ศึกษาการย่อยสลายไนเตรด ไนไตรต์ แอมโมเนียและฟอสเฟต โดยแบคทีเรียผสม 6 ชนิด ภายในบ่อเลี้ยงกึ่งกลาดำจำลองเป็นเวลา 35 วัน ได้ทำการตรวจวัด คุณภาพน้ำทางด้านกายภาพ ซึ่งผลการตรวจวัดคุณภาพน้ำในชุดทดลองและชุดควบคุม ดังแสดง ในตารางที่ 16 พบว่าตลอดระยะเวลาที่ทำการทดลองอุณหภูมิของน้ำอยู่ในช่วงอุณหภูมิที่เหมาะสมต่อการเลี้ยงกุ้ง ส่วนความเค็มของน้ำนั้นจะเพิ่มขึ้นในชุดทดลองและชุดควบคุมนั้นมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) จากความเค็มของน้ำที่เก็บตัวอย่างมา คือ 7 พีพีที ซึ่งเมื่อถึงวันที่ 35 ความเค็มเพิ่มขึ้นเป็น 9 พีพีที และ 10 พีพีที ในชุดควบคุมและชุดทดลองตามลำดับ ส่วนค่าพีเอชภายในบ่อเลี้ยงกึ่งกลาดำจำลองนั้นจะเห็นว่าในทั้ง 2 ชุดการทดลองมีความแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ ($P < 0.05$) โดยในชุดควบคุมจะมีค่าพีเอชสูงถึง 9.81 แต่ในชุดทดลองมีค่าอยู่ระหว่าง 7.22 – 8.52 ซึ่งค่าพีเอชที่เหมาะสมต่อการเลี้ยงกุ้งคือ 6.5 – 9 สำหรับปริมาณออกซิเจนที่ละลายน้ำ จากตารางที่ 16 จะเห็นว่าทั้งในชุดควบคุมและชุดทดลองมีปริมาณออกซิเจนละลายน้ำค่อนข้างสูงถึง 10.3 มิลลิกรัมต่อลิตร และ 11 มิลลิกรัมต่อลิตรตามลำดับ โดยที่ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ เนื่องจากถ้ามีออกซิเจนอยู่ในช่วง 5.1 – 11.9 นั้นจะก่อให้เกิดผลกระทบต่อกุ้ง คือจะทำให้มีปริมาณแพลงค์ตอนพืชสูง ซึ่งอาจจะส่งผลต่อสุขภาพกุ้งและทำให้มีปริมาณสารอินทรีย์ในบ่อเพาะเลี้ยงมาก

ตารางที่ 16 การวิเคราะห์คุณภาพน้ำทางกายภาพจากบ่อกึ่งกลาดำจำลอง

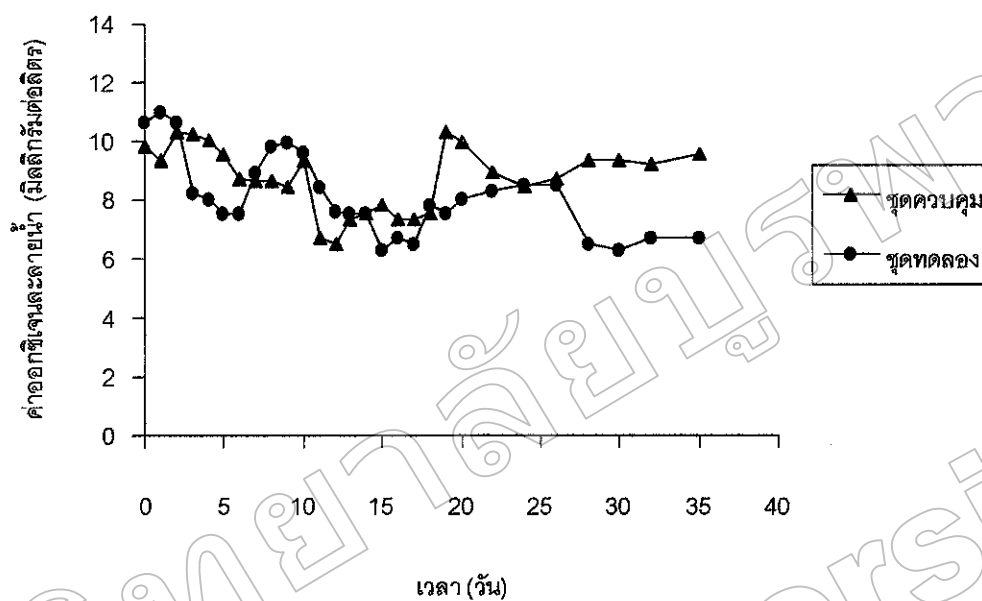
พารามิเตอร์	ชุดควบคุม	ชุดทดลอง
อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	28.5 – 29.8	28.7 – 30.1
ความเค็ม (พีพีที)	8 - 9	8 – 10
พีเอช	7.34 – 9.81	7.22 – 8.52
ค่าออกซิเจนละลายน้ำ (มิลลิกรัมต่อลิตร)	6.5 – 10.3	6.3 – 11
ความขุ่น (NTU)	35 - 240	22 – 113.3



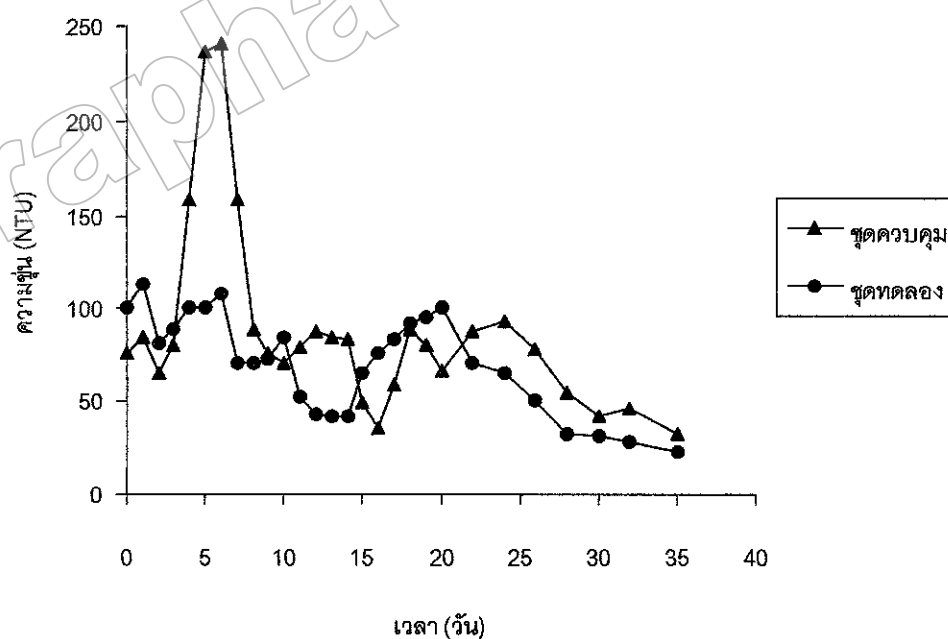
ภาพที่ 28 ค่าความเค็มของน้ำภายในบ่อกึ่งกลาดำจำลองที่ทดสอบประสิทธิภาพในการลดไนเตรต ไนไตรต์ แอมโมเนียและฟอสเฟตโดยแบคทีเรียผสม 6 ชนิด



ภาพที่ 29 ค่าพีเอชของน้ำภายในบ่อกึ่งกลาดำจำลองที่ทดสอบประสิทธิภาพในการลดไนเตรต ไนไตรต์ แอมโมเนียและฟอสเฟตโดยแบคทีเรียผสม 6 ชนิด



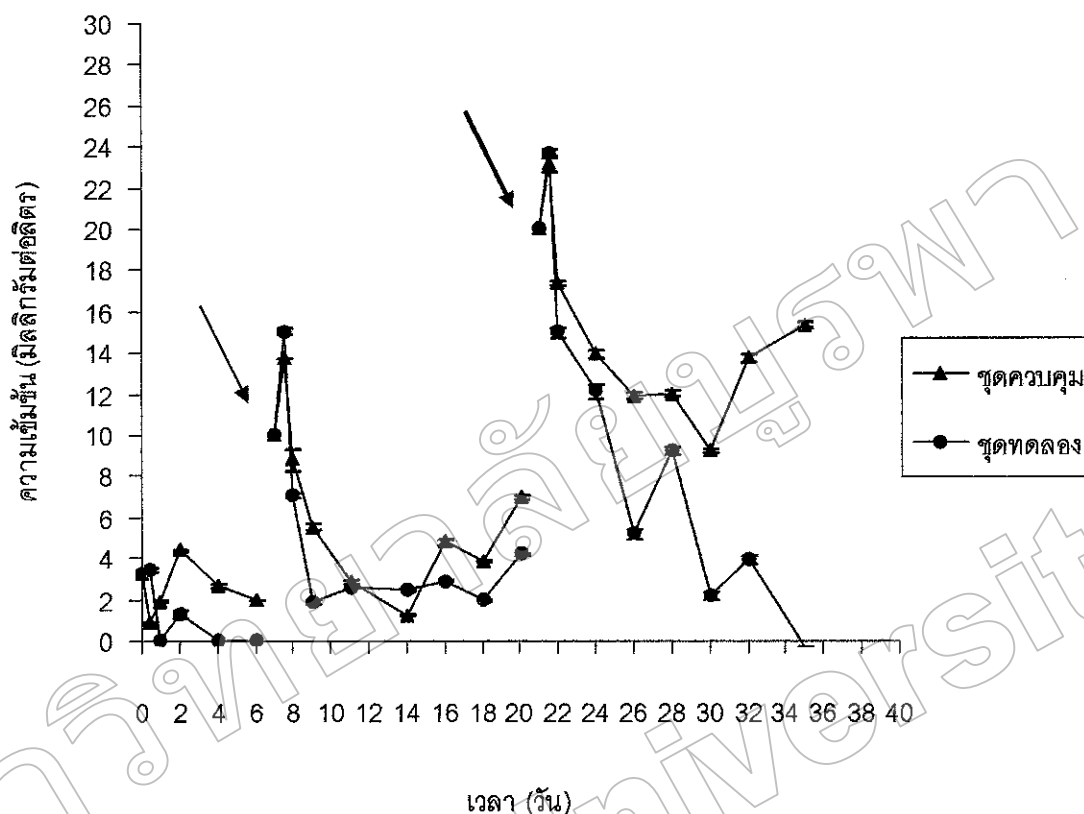
ภาพที่ 30 ค่าออกซิเจนละลายน้ำภายในบ่อกึ่งกลาดำจำลองที่ทดสอบประสิทธิภาพในการลดไนเตรต ไนไตรต์ แอมโมเนียและฟอสเฟตโดยแบคทีเรียผสม 6 ชนิด



ภาพที่ 31 ค่าความขุ่นของน้ำภายในบ่อกึ่งกลาดำจำลองที่ทดสอบประสิทธิภาพในการลดไนเตรต ไนไตรต์ แอมโมเนียและฟอสเฟตโดยแบคทีเรียผสม 6 ชนิด

2. ประสิทธิภาพในการลดไนเตรดโดยแบคทีเรียผสม 6 ชนิด ภายในบ่อ กักกลาดำจำลอง

ผลวิเคราะห์ประสิทธิภาพในการลดความเข้มข้นของไนเตรด ดังแสดงในภาพที่ 32 พบว่าเมื่อมีการเติมไนเตรดลงไปครั้งแรกที่ความเข้มข้น 3.80 มิลลิกรัมต่อลิตร ในชุดทดลองที่มีการเติมแบคทีเรียผสมลงไปความเข้มข้นจะลดลงเหลือเพียง 0.005 มิลลิกรัมต่อลิตร ในวันที่ 6 ของการทดลอง ขณะที่ในชุดควบคุมนั้นยังคงมีไนเตรดเหลืออยู่ถึง 1.99 มิลลิกรัมต่อลิตร ซึ่งต่อมาเมื่อเพิ่มความเข้มข้นเป็น 10 มิลลิกรัมต่อลิตร ในวันที่ 7 ของการทดลอง ทั้ง 2 ชุดการทดลอง จะมีการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นขึ้นลง ซึ่งในชุดทดลองไนเตรดจะลดลงต่ำสุดเท่ากับ 1.84 มิลลิกรัมต่อลิตร ในวันที่ 9 ส่วนชุดควบคุมจะมีความเข้มข้นไนเตรดเหลือ 1.22 มิลลิกรัมต่อลิตร ในวันที่ 14 ของการทดลอง ซึ่งหลังจากนั้นทั้ง 2 ชุดการทดลองจะมีความเข้มข้นเพิ่มขึ้นจนกระทั่งในวันที่ 21 มีไนเตรดสะสมอยู่ในชุดทดลองและชุดควบคุมเท่ากับ 4.19 มิลลิกรัมต่อลิตร และ 6.97 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ และเมื่อมีการเพิ่มความเข้มข้นเป็น 20 มิลลิกรัมต่อลิตร ในวันที่ 21 ของการทดลอง จะเห็นว่าความเข้มข้นของไนเตรดในชุดทดลองมีการลดลงอย่างรวดเร็วแตกต่างจากชุดควบคุมอย่างชัดเจนซึ่งความเข้มข้นจะเหลือ 5.17 มิลลิกรัมต่อลิตร ในวันที่ 26 แล้วจะมีการเปลี่ยนแปลงเพิ่มขึ้นอีกครั้งแล้วความเข้มข้นลดลงเหลือ 0.003 มิลลิกรัมต่อลิตร ในวันที่ 35 ในขณะที่ชุดควบคุมมีการสะสมของไนเตรดเหลืออยู่ถึง 15.33 มิลลิกรัมต่อลิตร ตลอดระยะเวลาการทดลองความเข้มข้นไนเตรดในชุดทดลองนั้นมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) กับชุดควบคุม

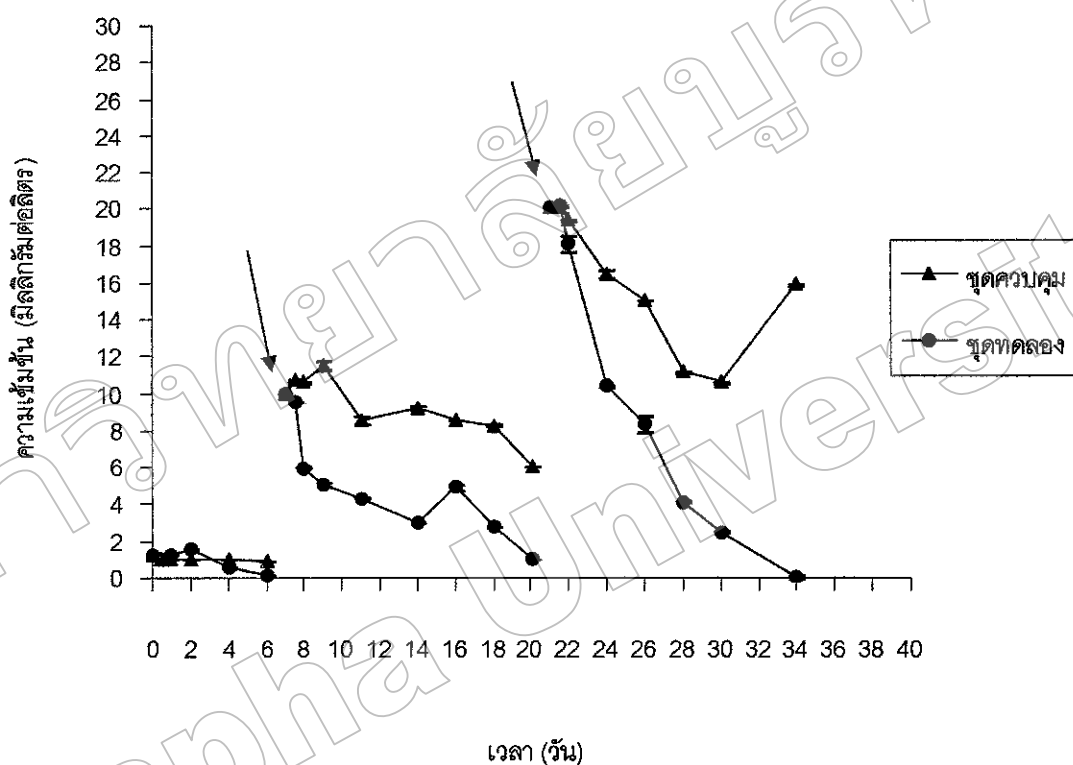


ภาพที่ 32 ประสิทธิภาพในการลดไนเตรดโดยแบคทีเรียผสม 6 ชนิด ภายในบ่อกึ่งกลาดำจำลอง (ลูกศร คือ วันที่มีการเติมไนเตรดและแบคทีเรียผสมลงไป, ค่าเฉลี่ยมาจากค่า 3 ซ้ำ; bar คือค่า SD)

3. ประสิทธิภาพในการลดไนไตรต์โดยแบคทีเรียผสม 6 ชนิด ภายในบ่อกึ่งกลาดำจำลอง

ผลวิเคราะห์ประสิทธิภาพในการลดความเข้มข้นของไนไตรต์ ดังแสดงในภาพที่ 33 พบว่าเมื่อเติมไนไตรต์ลงไปครั้งแรกที่ความเข้มข้น 1.20 มิลลิกรัมต่อลิตร หลังจากระยะเวลาผ่านไปจนถึงวันที่ 6 ความเข้มข้นไนไตรต์ในชุดทดลองจะลดลงจนเหลือ 0.15 มิลลิกรัมต่อลิตร ส่วนในชุดควบคุมมีไนไตรต์เหลืออยู่ที่ 0.86 มิลลิกรัมต่อลิตร หลังจากนั้นในวันที่ 7 และวันที่ 21 ได้มีการเติมความเข้มข้นไนไตรต์เพิ่มขึ้นเป็น 10 มิลลิกรัมต่อลิตร ร่วมกับแบคทีเรียผสม 20 มิลลิตร และไนไตรต์ 20 มิลลิกรัมต่อลิตร ร่วมกับแบคทีเรียผสม 30 มิลลิตร ตามลำดับ จากกราฟจะเห็นว่าเมื่อมีการเพิ่มความเข้มข้นไนไตรต์ในชุดทดลองที่มีการเติมแบคทีเรียผสมลงไปจะมีความสามารถในการลดความเข้มข้นของไนไตรต์ได้ดีและทำให้ความเข้มข้นของไนไตรต์ลดลง

อย่างรวดเร็วกว่าในชุดควบคุมที่มีการสะสมของไนโตรเจนในวันสุดท้ายของการทดลอง (วันที่ 34) เหลืออยู่ถึง 15.86 มิลลิกรัมต่อลิตร ในขณะที่ในชุดทดลองมีไนโตรเจนอยู่เพียง 0.0016 มิลลิกรัมต่อลิตร ซึ่งตลอดระยะเวลาการทดลองความเข้มข้นของไนโตรเจนในชุดทดลองนั้นมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) จากชุดควบคุม

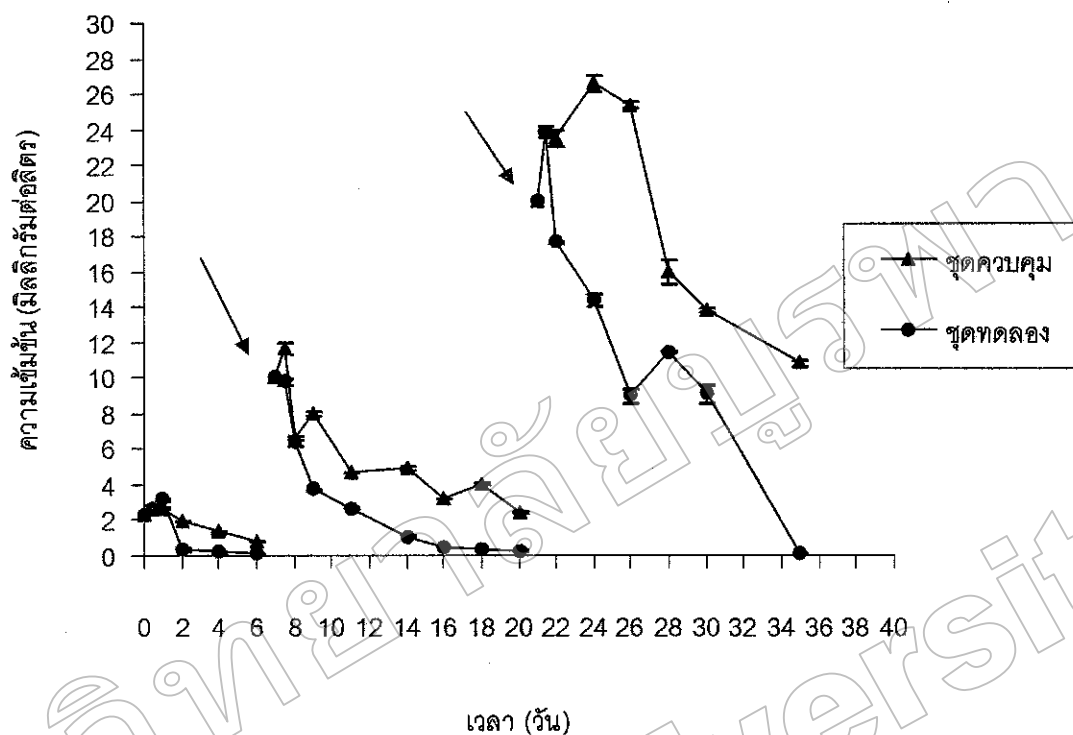


ภาพที่ 33 ประสิทธิภาพในการลดไนโตรเจน โดยแบคทีเรียผสม 6 ชนิด ภายในบ่อกึ่งกูลาดำจำลอง (ลูกศร คือ วันที่มีการเติมไนโตรเจนและแบคทีเรียผสมลงไป, ค่าเฉลี่ยมาจากค่า 3 ซ้ำ; bar คือค่า SD)

4. ประสิทธิภาพในการลดแอมโมเนียโดยแบคทีเรียผสม 6 ชนิด ภายในบ่อกึ่งกูลาดำจำลอง

ผลวิเคราะห์ประสิทธิภาพในการลดความเข้มข้นของแอมโมเนีย ดังแสดงในภาพที่ 34 พบว่าในการเติมแอมโมเนียลงไปครั้งแรกที่ความเข้มข้น 2.30 มิลลิกรัมต่อลิตร หลังจากระยะเวลาผ่านไปจนถึงวันที่ 6 ความเข้มข้นแอมโมเนียในชุดทดลองจะลดลงจนเหลือ 0.11 มิลลิกรัมต่อลิตร ส่วนชุดควบคุมมีแอมโมเนียเหลืออยู่ 0.81 มิลลิกรัมต่อลิตร และเมื่อมีการเพิ่ม

ต่อลิตร ส่วนชุดควบคุมมีแอมโมเนียเหลืออยู่ 0.81 มิลลิกรัมต่อลิตร และเมื่อมีการเพิ่มความเข้มข้นแอมโมเนียในวันที่ 7 และวันที่ 21 เป็น 10 มิลลิกรัมต่อลิตร ร่วมกับแบคทีเรียผสม 20 มิลลิตร และแอมโมเนีย 20 มิลลิกรัมต่อลิตร ร่วมกับแบคทีเรียผสม 30 มิลลิตร ตามลำดับ จากผลการทดลองจะเห็นว่าที่ความเข้มข้น 10 มิลลิกรัมต่อลิตร ถึงแม้ว่าความสามารถในการลดความเข้มข้นของแอมโมเนียในชุดทดลองและชุดควบคุมจะมีการลดลงมาควบคู่กันก็ตาม แต่เมื่อถึงวันที่ 20 ความเข้มข้นในชุดทดลองจะเหลือเพียง 0.26 มิลลิกรัมต่อลิตร ซึ่งมีการสะสมในปริมาณที่ต่ำกว่าในชุดควบคุมที่มีแอมโมเนียเหลืออยู่ 2.43 มิลลิกรัมต่อลิตร สำหรับการเพิ่มความเข้มข้นแอมโมเนียในครั้งที่ 3 เท่ากับ 20 มิลลิกรัมต่อลิตร การย่อยสลายแอมโมเนียในชุดทดลองและชุดควบคุมนั้นจากกราฟจะสังเกตได้ว่าในชุดทดลองจะมีการลดลงของแอมโมเนียอย่างรวดเร็ว แตกต่างจากชุดควบคุม โดยในวันสุดท้ายของการทดลอง (วันที่ 35) ในชุดควบคุมมีการสะสมของแอมโมเนียอยู่ถึง 10.78 มิลลิกรัมต่อลิตร ในขณะที่ในชุดทดลองมีแอมโมเนียเหลืออยู่เพียง 0.09 มิลลิกรัมต่อลิตร ซึ่งความเข้มข้นของแอมโมเนียในชุดทดลองตลอดระยะเวลาการทดลองนั้นมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) จากชุดควบคุม

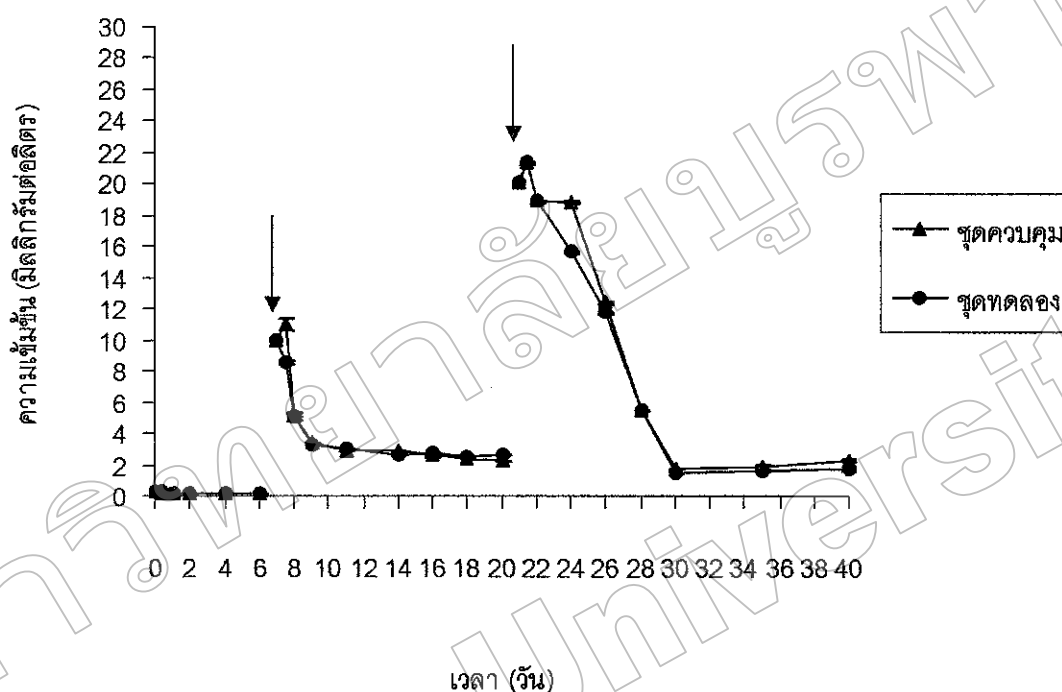


ภาพที่ 34 ประสิทธิภาพในการลดแอมโมเนียโดยแบคทีเรียผสม 6 ชนิด ภายในบ่อกึ่งกลาดำจำลอง (ลูกศร คือวันที่มีการเติมแอมโมเนียและแบคทีเรียผสมลงไป, ค่าเฉลี่ยมาจากค่า 3 ซ้ำ; bar คือค่า SD)

5. ประสิทธิภาพในการลดฟอสเฟตโดยแบคทีเรียผสม 6 ชนิด ภายในบ่อกึ่งกลาดำจำลอง

ผลวิเคราะห์ประสิทธิภาพในการลดความเข้มข้นของฟอสเฟต ดังแสดงในภาพที่ 35 พบว่า ในการเติมฟอสเฟตลงไปครั้งแรก (วันแรกของการทดลอง) ที่ความเข้มข้น 0.20 มิลลิกรัมต่อลิตร หลังจากระยะเวลาผ่านไปจนถึงวันที่ 6 ความเข้มข้นของฟอสเฟตที่ลดลงในชุดทดลอง และชุดควบคุมจะไม่แตกต่างกันคือ เหลืออยู่ 0.07 มิลลิกรัมต่อลิตร และ 0.09 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ และในวันที่ 7 และวันที่ 21 ที่มีการเพิ่มความเข้มข้นของฟอสเฟตเพิ่มเป็น 10 มิลลิกรัมต่อลิตร ร่วมกับแบคทีเรียผสม 20 มิลลิลิตร และฟอสเฟต 20 มิลลิกรัมต่อลิตร ร่วมกับแบคทีเรียผสม 30 มิลลิลิตร ตามลำดับ จะสังเกตได้ว่าความเข้มข้นของฟอสเฟตในชุดทดลองและชุดทดลองจะลดลงควบคู่กันไปจนถึงวันที่ 35 จะเห็นว่าจะมีการสะสมของฟอสเฟตอยู่ที่ระดับความเข้มข้นเท่าเดิม ซึ่งในวันที่ 40 ในชุดทดลองและชุดควบคุมมีฟอสเฟตเหลืออยู่ 1.63 มิลลิกรัม

ต่อลิตร และ 2.23 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ โดยที่ประสิทธิภาพการลดความเข้มข้นของ ฟอสเฟตในชุดทดลองนั้นไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับชุดควบคุม



ภาพที่ 35 ประสิทธิภาพในการลดฟอสเฟตโดยแบคทีเรียผสม 6 ชนิด ภายในปอุ้งกุลาดำจำลอง (ลูกศร คือวันที่มีการเติมฟอสเฟตและแบคทีเรียผสมลงไป, ค่าเฉลี่ยมาจากค่า 3 ซ้ำ; bar คือค่า SD)

จากผลการทดลองเมื่อนำเปรียบเทียบประสิทธิภาพการลดไนเตรต ไนไตรต์ แอมโมเนีย และฟอสเฟตในปอเลี้ยงกุ้งกุลาดำจำลองโดยแบคทีเรียผสม 6 ชนิด โดยคำนวณเป็นเปอร์เซ็นต์ การลดลง ดังแสดงในตารางที่ 17 พบว่าเปอร์เซ็นต์การลดลงของไนเตรตในชุดทดลองเท่ากับ 99.84 เปอร์เซ็นต์ ส่วนในชุดควบคุมมีเพียง 37.64 เปอร์เซ็นต์ ส่วนไนไตรต์มีเปอร์เซ็นต์การลดลง ในชุดทดลองและชุดควบคุมเท่ากับ 87.84 เปอร์เซ็นต์ และ 28.30 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ สำหรับ แอมโมเนียในชุดทดลองและชุดควบคุมมีเปอร์เซ็นต์การลดลงเท่ากับ 95.26 เปอร์เซ็นต์ และ 64.61 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ และฟอสเฟตมีเปอร์เซ็นต์การลดลงของชุดทดลองและชุดควบคุมเท่ากับ 65.05 เปอร์เซ็นต์ และ 54.05 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ

เมื่อมีการเพิ่มความเข้มข้นของไนเตรต ไนไตรต์ แอมโมเนีย และฟอสเฟตในบ่อเลี้ยง กุ้งกุลาดำจำลองเป็น 10 มิลลิกรัมต่อลิตร ในวันที่ 7 ของการทดลอง จะสามารถคำนวณเปอร์เซ็นต์ การลดลง ดังแสดงในตารางที่ 18 พบว่าเปอร์เซ็นต์การลดลงของไนเตรตในชุดทดลองและ ชุดควบคุมเท่ากับ 58.12 เปอร์เซ็นต์และ 37.77 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ส่วนไนไตรต์มีเปอร์เซ็นต์ การลดลงในชุดทดลองเท่ากับ 90.54 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งมากกว่าในชุดควบคุมที่มีเพียง 44.38 เปอร์เซ็นต์ สำหรับแอมโมเนียในชุดทดลองและชุดควบคุมมีเปอร์เซ็นต์การลดลงเท่ากับ 97.43 เปอร์เซ็นต์ และ 77.52 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ ส่วนฟอสเฟตมีเปอร์เซ็นต์การลดลงของชุดควบคุมจะ สูงกว่าชุดทดลองเล็กน้อยคือเท่ากับ 74.58 เปอร์เซ็นต์ และ 77.80 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ

หลังจากวันที่ 20 ของการทดลอง ได้ทำการเพิ่มความเข้มข้นของไนเตรต ไนไตรต์ แอมโมเนีย และฟอสเฟตในบ่อเลี้ยงกุ้งกุลาดำจำลองเป็น 20 มิลลิกรัมต่อลิตร ซึ่งสามารถคำนวณ เปอร์เซ็นต์การลดลง ดังแสดงในตารางที่ 19 พบว่าเปอร์เซ็นต์การลดลงของไนเตรตและไนไตรต์ ในชุดทดลองมากกว่าชุดควบคุมซึ่งแตกต่างกันอย่างชัดเจน โดยเปอร์เซ็นต์การลดลงของไนเตรต ในชุดทดลองและชุดควบคุมเท่ากับ 99.98 เปอร์เซ็นต์ และ 43.16 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ส่วน ไนไตรต์มีเปอร์เซ็นต์การลดลงในชุดทดลองเท่ากับ 99.99 เปอร์เซ็นต์ แต่ในชุดควบคุมมีเปอร์เซ็นต์ การลดลงน้อยกว่าเพียง 39.10 เปอร์เซ็นต์ สำหรับเปอร์เซ็นต์การลดลงของแอมโมเนียใน ชุดทดลองนั้นมากกว่าชุดควบคุมเท่ากับ 99.56 เปอร์เซ็นต์ และ 51.94 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ เช่นเดียวกับฟอสเฟตที่มีเปอร์เซ็นต์การลดลงของชุดทดลองสูงกว่าชุดควบคุมเท่ากับ 92.77 เปอร์เซ็นต์ และ 89.97 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ

ตารางที่ 17 เปอร์เซ็นต์การลดลงของไนเตรต ไนไตรต์ แอมโมเนีย และฟอสเฟตโดยแบคทีเรีย
ผสม 6 ชนิด ภายในปอ์กั๊งกุลาดำจำลอง

สารประกอบ	ความเข้มข้น (มิลลิกรัมต่อลิตร)		เปอร์เซ็นต์การลดลง
	เริ่มต้น (day 0)	สุดท้าย (day 6)	
ไนเตรต			
- ชุดทดลอง	3.8	0.005	99.84
- ชุดควบคุม	3.8	1.20	37.64
ไนไตรต์			
- ชุดทดลอง	1.2	0.15	87.84
- ชุดควบคุม	1.2	0.86	28.30
แอมโมเนีย			
- ชุดทดลอง	2.3	0.11	95.26
- ชุดควบคุม	2.3	0.81	64.61
ฟอสเฟต			
- ชุดทดลอง	0.2	0.07	65.05
- ชุดควบคุม	0.2	0.09	54.05

ตารางที่ 18 เปอร์เซ็นต์การลดลงของไนเตรต ไนไตรต์ แอมโมเนีย และฟอสเฟตที่เติมความเข้มข้น 10 มิลลิกรัมต่อลิตร โดยแบคทีเรียผสม 6 ชนิด ภายในบ่อเลี้ยงกุ้งกุลาดำจำลอง

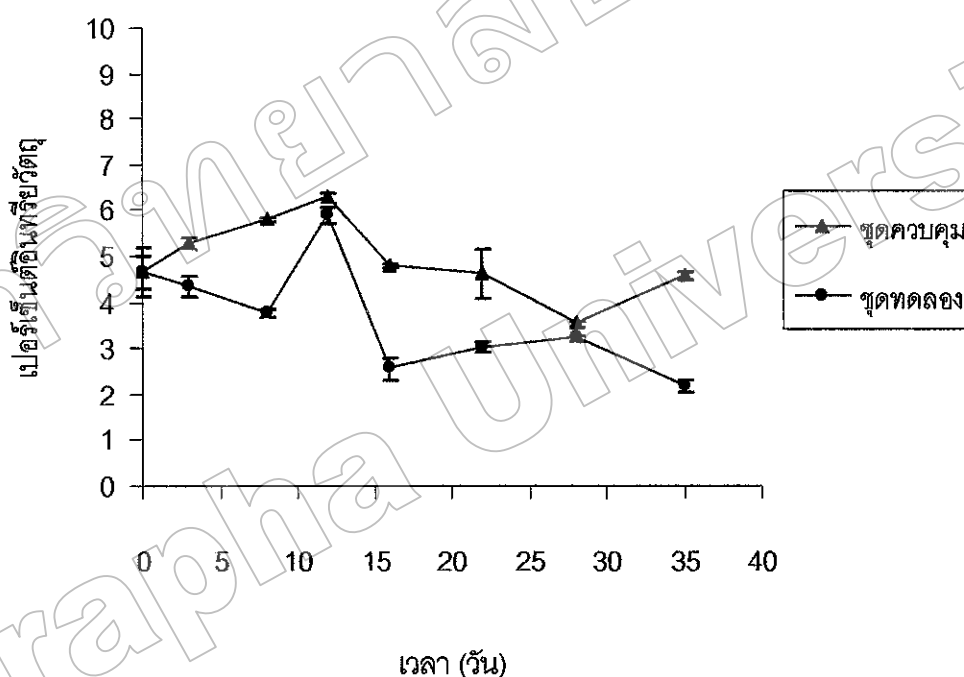
สารประกอบ	ความเข้มข้น (มิลลิกรัมต่อลิตร)		เปอร์เซ็นต์การลดลง
	เริ่มต้น (day 7)	สุดท้าย (day 20)	
ไนเตรต			
- ชุดทดลอง	10.005	4.19	58.12
- ชุดควบคุม	1011.20	6.97	37.77
ไนไตรต์			
- ชุดทดลอง	10.15	0.96	90.54
- ชุดควบคุม	10.86	6.04	44.38
แอมโมเนีย			
- ชุดทดลอง	10.11	0.26	97.43
- ชุดควบคุม	10.81	2.43	77.52
ฟอสเฟต			
- ชุดทดลอง	10.07	2.56	74.58
- ชุดควบคุม	10.09	2.24	77.80

ตารางที่ 19 เปอร์เซ็นต์การลดลงของไนเตรต ไนไตรต์ แอมโมเนีย และฟอสเฟตที่เพิ่มความเข้มข้น 20 มิลลิกรัมต่อลิตร โดยแบคทีเรียผสม 6 ชนิด ภายในปอเลี้ยงกุ้งกุลาดำจำลอง

สารประกอบ	ความเข้มข้น (มิลลิกรัมต่อลิตร)		เปอร์เซ็นต์การลดลง
	เริ่มต้น (day 21)	สุดท้าย (day 40)	
ไนเตรต			
- ชุดทดลอง	24.19	0.003	99.98
- ชุดควบคุม	26.97	15.33	43.16
ไนไตรต์			
- ชุดทดลอง	20.96	0.001	99.99
- ชุดควบคุม	26.04	15.86	39.10
แอมโมเนีย			
- ชุดทดลอง	20.26	0.09	99.56
- ชุดควบคุม	22.43	10.78	51.94
ฟอสเฟต			
- ชุดทดลอง	22.56	1.63	92.77
- ชุดควบคุม	22.24	2.23	89.97

6. ปริมาณอินทรีย์วัตถุจากตัวอย่างดินตะกอนภายในบ่อกึ่งกลาดำจำลอง

ผลการทดลองการเปลี่ยนแปลงปริมาณอินทรีย์วัตถุระหว่างชุดควบคุมและชุดทดลองนั้นมีความแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ ($P < 0.05$) ดังแสดงในภาพที่ 36 พบว่าในทดลองนั้นมีความแนวโน้มที่จะมีการสะสมของปริมาณสารอินทรีย์เพิ่มขึ้น จนถึงวันที่ 12 ซึ่งหลังจากนั้นในทั้ง 2 ชุดการทดลองจะมีปริมาณลดลง จนกระทั่งวันที่ 35 ของการทดลอง จะมีปริมาณอินทรีย์วัตถุคงเหลืออยู่ในชุดควบคุมและชุดทดลองเท่ากับ 4.55 เปอร์เซ็นต์ และ 2.18 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ



ภาพที่ 36 การเปลี่ยนแปลงปริมาณอินทรีย์วัตถุจากตัวอย่างดินตะกอนภายในบ่อกึ่งกลาดำจำลอง (ค่าเฉลี่ยมาจากค่า 3 ซ้ำ; bar คือค่า SD)

การเปลี่ยนแปลงจำนวนแบคทีเรียกลุ่มต่างๆ ภายในบ่อกึ่งกลาดำจำลอง

1. การเปลี่ยนแปลงจำนวนแบคทีเรียทั้งหมด (Total Plate Count)

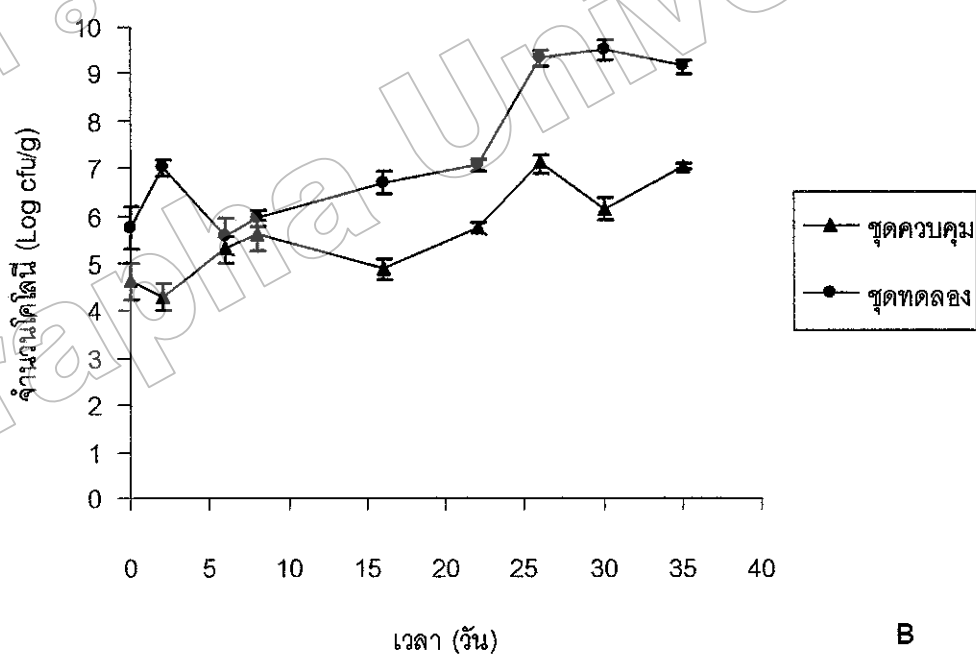
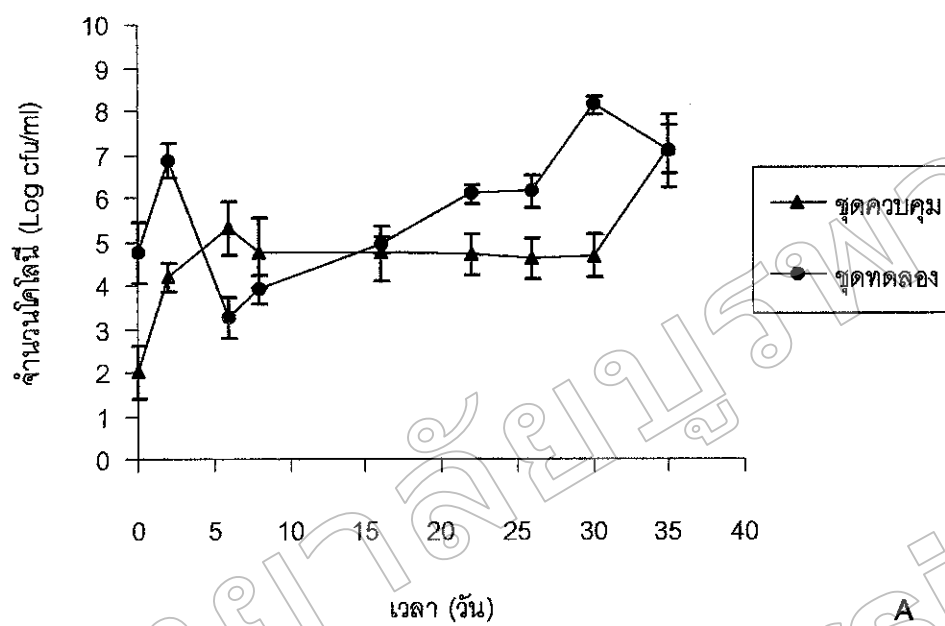
การตรวจสอบการเปลี่ยนแปลงจำนวนแบคทีเรียในกลุ่มเฮเทอโรโทรปในตัวอย่างน้ำและดินตะกอน แสดงดังตารางที่ 20 โดยในน้ำดังภาพที่ 37 (A) หลังจากวันแรกของการทดลองในชุดควบคุมและชุดทดลองแบคทีเรียจะมีการเจริญเพิ่มขึ้นและลดลงในวันที่ 6 หลังจากนั้นในชุดทดลองจะมีจำนวนแบคทีเรียเพิ่มขึ้น แต่ในชุดควบคุมนั้นจำนวนแบคทีเรียค่อนข้างจะคงที่ซึ่งจำนวนแบคทีเรียในทั้ง 2 ชุดการทดลองไม่มีความแตกต่างทางสถิติ ส่วนในบริเวณดินตะกอนแสดงในภาพที่ 37 (B) ปริมาณแบคทีเรียในชุดทดลองจะเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ และมีจำนวนมากกว่าในชุดควบคุมตลอดระยะเวลาการทดลอง ซึ่งจำนวนแบคทีเรียทั้งหมดในชุดทดลองนั้นมีความแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ ($P < 0.05$) กับชุดควบคุม

ตารางที่ 20 จำนวนแบคทีเรียทั้งหมดจากตัวอย่างน้ำและดินตะกอน ภายในบ่อกึ่งกลาดำจำลอง

ระยะเวลา (วัน)	น้ำ (Log cfu/ml)		ดินตะกอน (Log cfu/g)	
	ชุดควบคุม	ชุดทดลอง	ชุดควบคุม	ชุดทดลอง
0	2.00 ± 0.62	4.74 ± 0.68	4.61 ± 0.37	5.75 ± 0.44
2	4.18 ± 0.32	6.86 ± 0.41	4.29 ± 0.28	7.01 ± 0.16
6	5.31 ± 0.61	3.25 ± 0.46	5.29 ± 0.27	5.56 ± 0.38
8	4.75 ± 0.78	3.92 ± 0.33	5.59 ± 0.32	5.95 ± 0.18
16	4.73 ± 0.62	4.93 ± 0.20	4.86 ± 0.22	6.69 ± 0.22
22	4.70 ± 0.46	6.07 ± 0.22	5.74 ± 0.13	7.06 ± 0.13
26	4.61 ± 0.46	6.13 ± 0.37	7.08 ± 0.19	9.32 ± 0.16
30	4.66 ± 0.49	8.12 ± 0.20	6.13 ± 0.23	9.48 ± 0.22
35	7.12 ± 0.54	7.07 ± 0.85	7.02 ± 0.06	9.13 ± 0.13

หมายเหตุ: ชุดทดลอง คือบ่อกึ่งกลาดำจำลองที่มีการเติมแบคทีเรียผสม 6 ชนิด

ชุดควบคุม คือบ่อกึ่งกลาดำจำลองที่ไม่มีการเติมแบคทีเรียผสม 6 ชนิด



ภาพที่ 37 การเปลี่ยนแปลงจำนวนแบคทีเรียทั้งหมดจากตัวอย่างน้ำ (A) และดินตะกอน (B) ภายในปอุ้งกุฎลาดำจำลอง (ค่าเฉลี่ยมาจากค่า 3 ซ้ำ; bar คือค่า SD)

2. การเปลี่ยนแปลงจำนวนแบคทีเรียในกลุ่ม *Pseudomonas* spp.

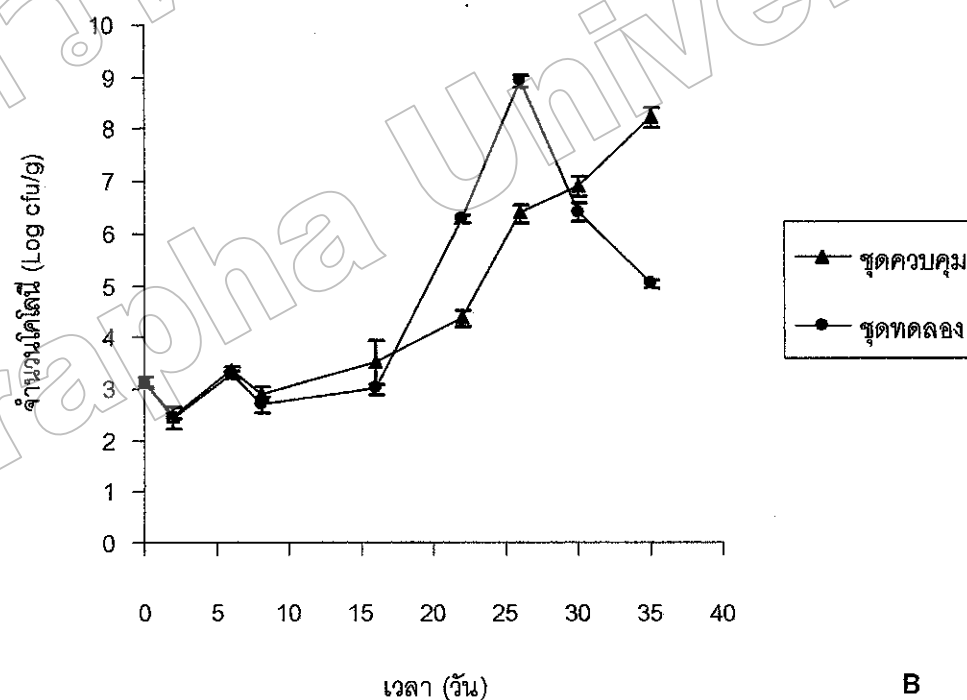
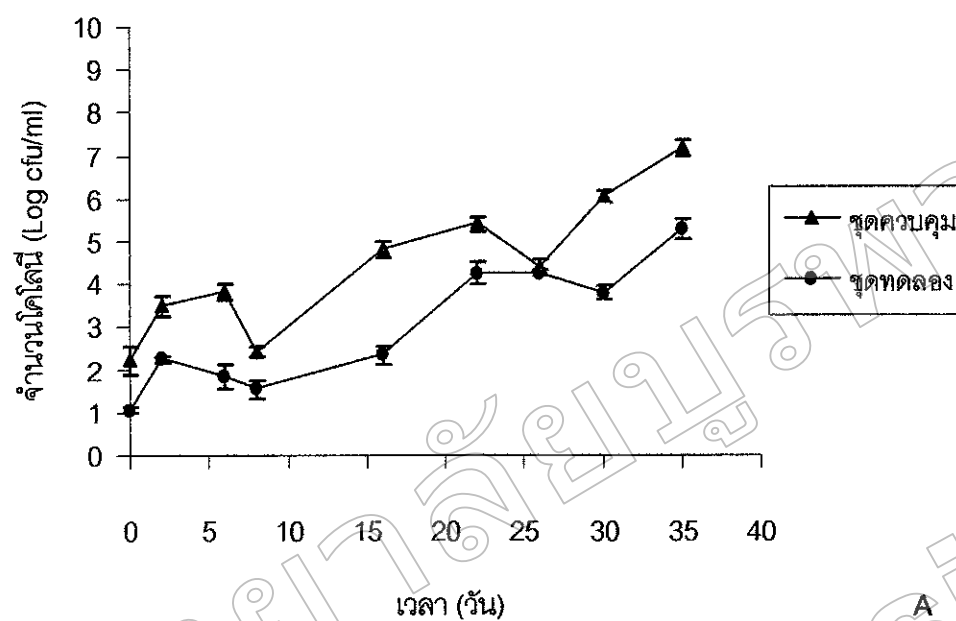
การเปลี่ยนแปลงจำนวนของแบคทีเรียกลุ่ม *Pseudomonas* spp. ในตัวอย่างน้ำ ดังแสดงในตารางที่ 21 และภาพที่ 38 (A) พบว่าชุดควบคุมและชุดทดลองจะมีจำนวนเพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ ซึ่งในชุดควบคุมจะมีปริมาณที่มากกว่าในชุดทดลองตลอดระยะเวลาการทดลอง จนถึงวันที่ 35 มี *Pseudomonas* spp. เท่ากับ 7.18 Log cfu/ml และ 5.27 Log cfu/g ในชุดควบคุม และชุดทดลองตามลำดับ ส่วนในตัวอย่างดินตะกอน ดังแสดงในภาพที่ 38 (B) ทั้ง 2 ชุด การทดลองก็จะมีจำนวน *Pseudomonas* spp. เพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ แต่ในชุดทดลองจะมีจำนวนมากกว่าชุดควบคุมซึ่งสูงถึง 8.9 Log cfu/g ในวันที่ 26 แล้วหลังจากนั้นจะลดลงเหลือ 5.02 Log cfu/g ในวันที่ 35 ส่วนในชุดควบคุมยังคงเพิ่มขึ้นจนถึง 8.20 Log cfu/g โดยจำนวนของ *Pseudomonas* spp. ในตัวอย่างน้ำและดินตะกอนทั้งชุดควบคุมและชุดทดลองนั้นไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

ตารางที่ 21 จำนวนแบคทีเรียในกลุ่ม *Pseudomonas* spp. จากตัวอย่างน้ำและดินตะกอน ภายในบ่อกึ่งกลาดำจำลอง

ระยะเวลา (วัน)	น้ำ (Log cfu/ml)		ดินตะกอน (Log cfu/g)	
	ชุดควบคุม	ชุดทดลอง	ชุดควบคุม	ชุดทดลอง
0	2.24 ± 0.33	1.06 ± 0.05	3.12 ± 0.11	3.13 ± 0.11
2	3.50 ± 0.24	2.25 ± 0.09	2.46 ± 0.06	2.42 ± 0.21
6	3.81 ± 0.19	1.85 ± 0.30	3.33 ± 0.09	3.27 ± 0.08
8	2.42 ± 0.11	1.54 ± 0.20	2.87 ± 0.15	2.69 ± 0.15
16	4.82 ± 0.20	2.34 ± 0.21	3.49 ± 0.43	2.98 ± 0.10
22	5.41 ± 0.16	4.27 ± 0.24	4.36 ± 0.17	6.25 ± 0.08
26	4.39 ± 0.17	4.26 ± 0.07	6.37 ± 0.17	8.9 ± 0.12
30	6.03 ± 0.14	3.79 ± 0.18	6.89 ± 0.18	6.39 ± 0.17
35	7.18 ± 0.20	5.27 ± 0.24	8.20 ± 0.20	5.02 ± 0.06

หมายเหตุ: ชุดทดลอง คือบ่อกึ่งกลาดำจำลองที่มีการเติมแบคทีเรียผสม 6 ชนิด

ชุดควบคุม คือบ่อกึ่งกลาดำจำลองที่ไม่มีการเติมแบคทีเรียผสม 6 ชนิด



ภาพที่ 38 การเปลี่ยนแปลงจำนวนแบคทีเรียในกลุ่ม *Pseudomonas* spp. จากตัวอย่างน้ำ (A) และดินตะกอน (B) ภายในบ่อกึ่งกลาดำจำลอง (ค่าเฉลี่ยมาจากค่า 3 ซ้ำ; bar คือค่า SD)

3. การเปลี่ยนแปลงจำนวนแบคทีเรียก่อโรคในกลุ่ม *Vibrio* spp.

ผลการวิเคราะห์จำนวนแบคทีเรียก่อโรคในกลุ่ม *Vibrio* sp. จากตัวอย่างน้ำ ดังแสดงในตารางที่ 22 และภาพที่ 39 (A) พบว่าในระหว่างที่มีการทดลองจะมีจำนวน *Vibrio* spp. เพิ่มขึ้นแต่ในชุดควบคุมจะมีปริมาณมากกว่าในชุดทดลอง จนถึงวันที่ 35 ของการทดลองมีจำนวน 6.79 Log cfu/ml และ 4.33 Log cfu/ml ในชุดควบคุมและชุดทดลองตามลำดับ โดยในทั้ง 2 ชุดการทดลองมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) สำหรับในตัวอย่างดินตะกอน ดังแสดงในภาพที่ 39 (B) จะมีการเปลี่ยนแปลงจำนวนของ *Vibrio* spp. เพิ่มขึ้นและลดลงตลอดการทดลอง โดยหลังจากวันที่ 26 จำนวน *Vibrio* spp. ในชุดทดลองลดลงจนเหลือ 3.93 Log cfu/g แต่ในชุดควบคุมจะมีจำนวนเพิ่มขึ้นสูงถึง 9.04 Log cfu/g ซึ่งจำนวนแบคทีเรียก่อโรคกลุ่ม *Vibrio* spp. ของตัวอย่างดินตะกอนในชุดควบคุมและชุดทดลองนั้นไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

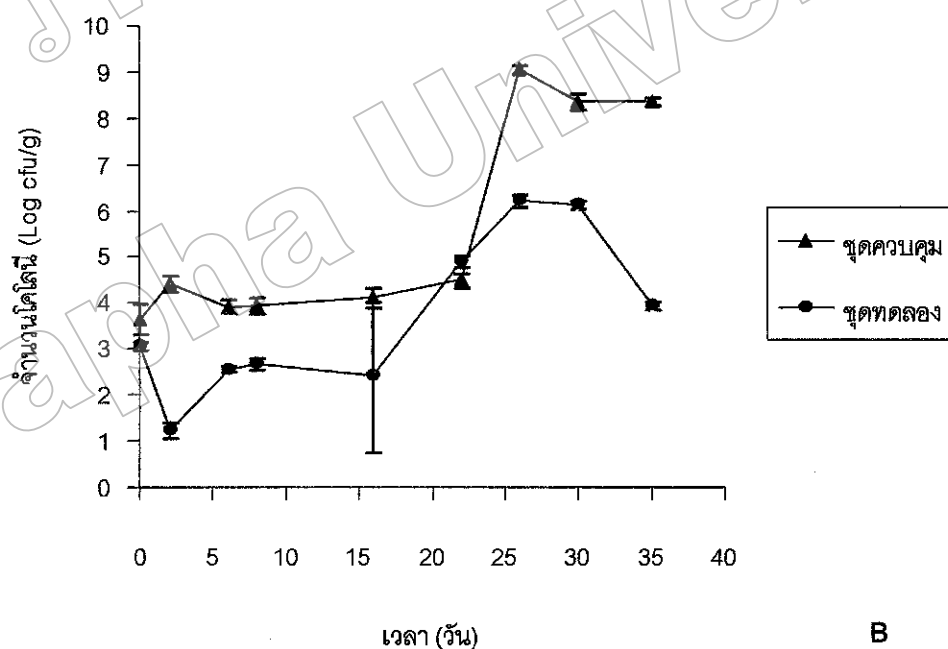
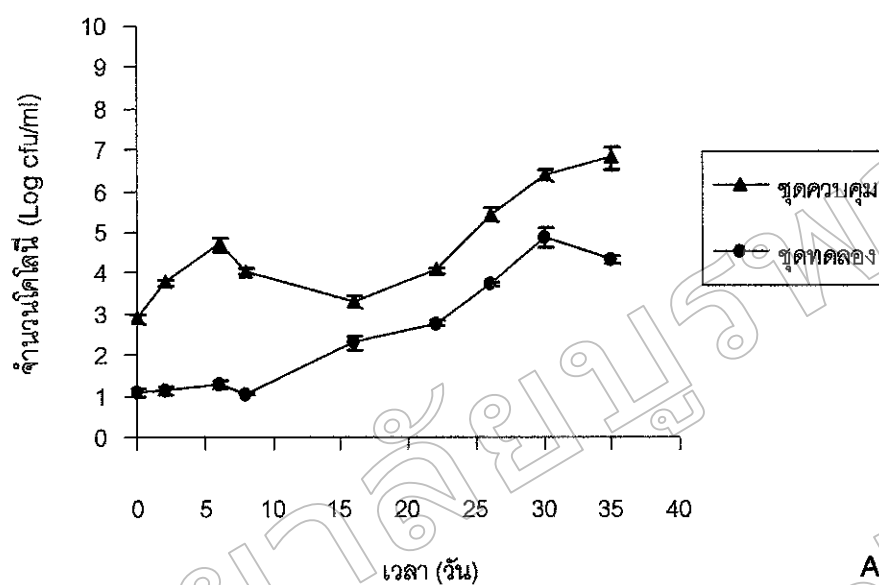
ตารางที่ 22 จำนวนแบคทีเรียก่อโรคในกลุ่ม *Vibrio* spp. จากตัวอย่างน้ำและดินตะกอน

ภายในบ่อกึ่งกลาดำจำลอง

ระยะเวลา (วัน)	น้ำ (Log cfu/ml)		ดินตะกอน (Log cfu/g)	
	ชุดควบคุม	ชุดทดลอง	ชุดควบคุม	ชุดทดลอง
0	2.88 ± 0.13	1.09 ± 0.10	3.64 ± 0.33	3.07 ± 0.08
2	3.76 ± 0.07	1.12 ± 0.09	4.41 ± 0.18	1.24 ± 0.17
6	4.69 ± 0.16	1.27 ± 0.10	3.90 ± 0.15	2.54 ± 0.06
8	4.03 ± 0.08	1.05 ± 0.01	3.92 ± 0.16	2.66 ± 0.14
16	3.29 ± 0.16	2.29 ± 0.16	4.10 ± 0.20	2.39 ± 1.64
22	4.05 ± 0.06	2.76 ± 0.09	4.49 ± 0.16	4.89 ± 0.12
26	5.40 ± 0.17	3.72 ± 0.04	9.04 ± 0.09	6.20 ± 0.12
30	6.38 ± 0.16	4.85 ± 0.23	8.33 ± 0.18	6.13 ± 0.09
35	6.79 ± 0.28	4.33 ± 0.09	8.35 ± 0.09	3.93 ± 0.08

หมายเหตุ: ชุดทดลอง คือบ่อกึ่งกลาดำจำลองที่มีการเติมแบคทีเรียผสม 6 ชนิด

ชุดควบคุม คือบ่อกึ่งกลาดำจำลองที่ไม่มีการเติมแบคทีเรียผสม 6 ชนิด



ภาพที่ 39 การเปลี่ยนแปลงจำนวนแบคทีเรียในกลุ่ม *Vibrio* spp. จากตัวอย่างน้ำ (A) และ ดินตะกอน (B) ภายในปอทุ้งกุลาดำจำลอง (ค่าเฉลี่ยมาจากค่า 3 ซ้ำ; bar คือค่า SD)

4. การเปลี่ยนแปลงจำนวนแอคติโนมายซีส (Actinomycetes)

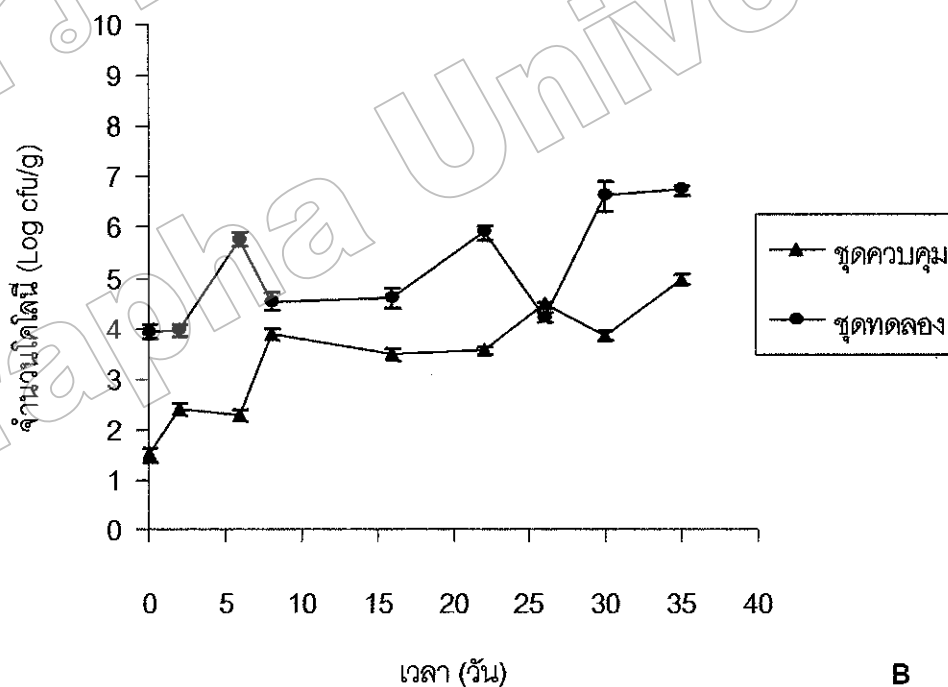
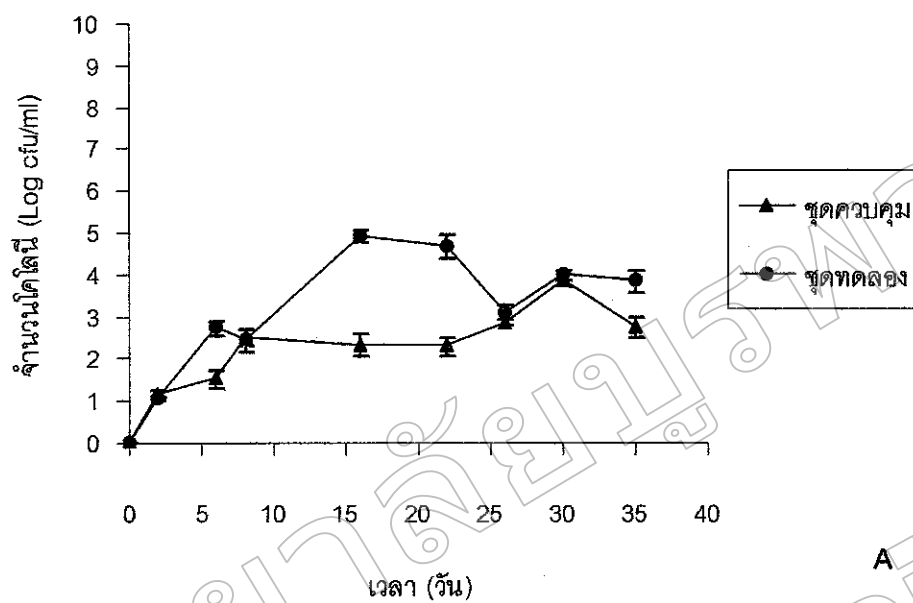
ผลการวิเคราะห์จำนวนแอคติโนมายซีสจากตัวอย่างน้ำ ดังแสดงในตารางที่ 23 และภาพที่ 40 (A) พบว่าในชุดทดลองจะมีจำนวนเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วจนถึง 4.91 Log cfu/ml ในวันที่ 16 ของการทดลอง แล้วจะลดลงจนเหลือ 3.82 Log cfu/ml ในวันที่ 35 ส่วนในชุดควบคุมจะค่อย ๆ เพิ่มขึ้น โดยที่จำนวนแอคติโนมายซีสในทั้ง 2 ชุดการทดลองนั้นไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ส่วนในตัวอย่างดินตะกอน ดังแสดงในภาพที่ 40 (B) นั้นจะมีการเปลี่ยนแปลงจำนวนของแอคติโนมายซีสเพิ่มขึ้นและลดลงตลอดการทดลอง โดยที่ชุดทดลองจะมีจำนวนมากกว่าและมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) จากชุดควบคุม

ตารางที่ 23 จำนวนแอคติโนมายซีสจากตัวอย่างน้ำและดินตะกอนภายในบ่อกังกุลลาดำจำลอง

ระยะเวลา (วัน)	น้ำ (Log cfu/ml)		ดินตะกอน (Log cfu/g)	
	ชุดควบคุม	ชุดทดลอง	ชุดควบคุม	ชุดทดลอง
0	0	0	1.51 ± 0.14	3.92 ± 0.15
2	1.14 ± 0.11	1.06 ± 0.05	2.41 ± 0.12	3.93 ± 0.12
6	1.52 ± 0.21	2.72 ± 0.15	2.27 ± 0.11	5.74 ± 0.13
8	2.49 ± 0.21	2.44 ± 0.27	3.88 ± 0.12	4.51 ± 0.18
16	2.32 ± 0.26	4.91 ± 0.14	3.48 ± 0.13	4.59 ± 0.19
22	2.29 ± 0.22	4.66 ± 0.27	3.55 ± 0.07	5.88 ± 0.15
26	2.85 ± 0.07	3.08 ± 0.17	4.46 ± 0.06	4.19 ± 0.10
30	3.86 ± 0.15	3.99 ± 0.12	3.83 ± 0.10	6.60 ± 0.29
35	2.73 ± 0.22	3.82 ± 0.27	4.96 ± 0.09	6.71 ± 0.09

หมายเหตุ: ชุดทดลอง คือบ่อกังกุลลาดำจำลองที่มีการเติมแบคทีเรียผสม 6 ชนิด

ชุดควบคุม คือบ่อกังกุลลาดำจำลองที่ไม่มีการเติมแบคทีเรียผสม 6 ชนิด



ภาพที่ 40 การเปลี่ยนแปลงจำนวนแอคติโนมายซีสจากตัวอย่างน้ำ (A) และดินตะกอน (B) ภายในบ่อกึ่งกลาดำจำลอง (ค่าเฉลี่ยมาจากค่า 3 ซ้ำ; bar คือค่า SD)

5. การเปลี่ยนแปลงจำนวนแบคทีเรียในกลุ่ม Ammonia Oxidizers

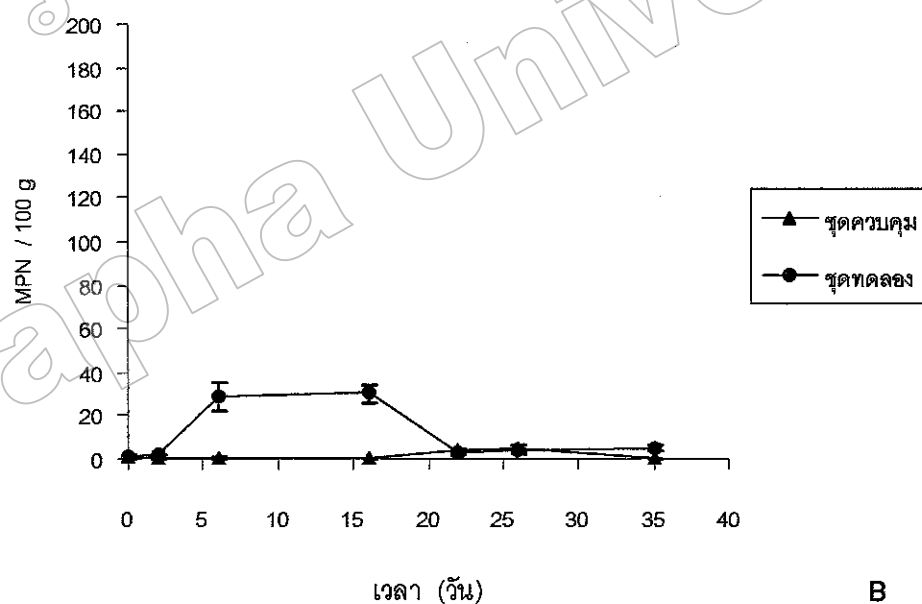
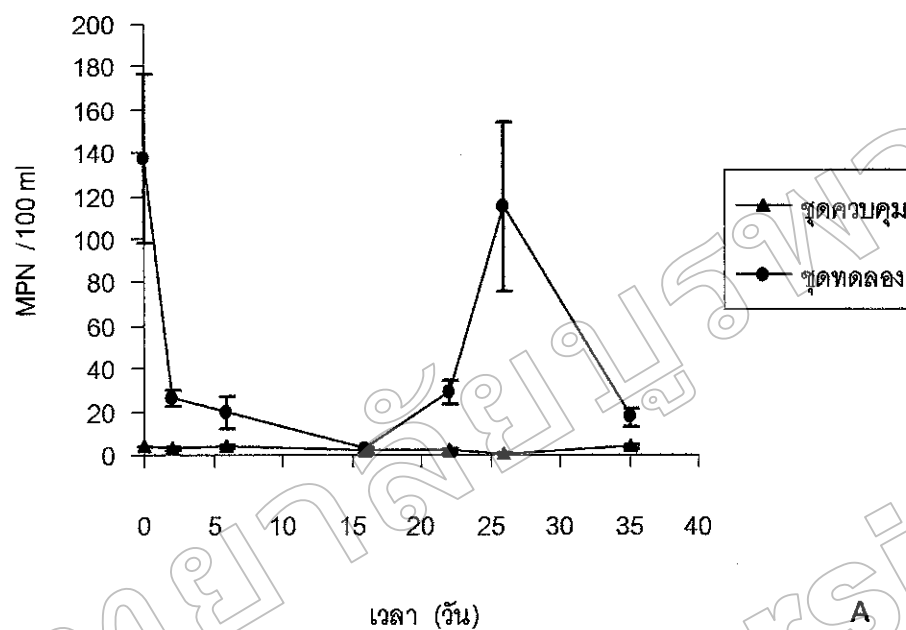
ผลการตรวจสอบจำนวนแบคทีเรียกลุ่ม Ammonia Oxidizers จากตัวอย่างน้ำและดินตะกอนในบ่อเลี้ยงกุ้งกุลาดำจำลอง ดังแสดงในตารางที่ 24 พบว่าในตัวอย่างน้ำจากภาพที่ 41 (A) นั้น ชุดควบคุมมีจำนวนแบคทีเรียน้อยและค่อนข้างคงที่ตลอดการทดลองมีค่าเท่ากับ 0.40 ± 0.20 ถึง 3.90 ± 0.87 MPN/100ml ซึ่งมีความแตกต่างจากชุดทดลองอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) ที่มีจำนวนแบคทีเรียกลุ่ม Ammonia Oxidizers สูงในวันแรกของการทดลองและลดลงในวันที่ 16 แล้วมีการเพิ่มขึ้นอีกครั้ง โดยตลอดการทดลองมีค่าเท่ากับ 3.07 ± 0.40 ถึง 137.33 ± 39.25 MPN/100ml ส่วนจำนวนแบคทีเรียกลุ่ม Ammonia Oxidizers ในตัวอย่างดินตะกอน ดังแสดงในภาพที่ 41 (B) ชุดทดลองจะมีจำนวนเพิ่มขึ้นจนถึง 30.33 ± 4.04 MPN/100g ในวันที่ 16 หลังจากนั้นลดลง ส่วนในชุดควบคุมจะมีจำนวนแบคทีเรียดำลงไปจนถึงวันที่ 22 จะมีจำนวนเพิ่มขึ้นเป็น 4.90 ± 1.97 MPN/100g ซึ่งตลอดการทดลองจำนวนแบคทีเรียบริเวณดินตะกอนของชุดทดลองและชุดควบคุมนั้นไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

ตารางที่ 24 จำนวนแบคทีเรียในกลุ่ม Ammonia Oxidizers จากตัวอย่างน้ำและดินตะกอนภายในบ่อเลี้ยงกุ้งกุลาดำจำลอง

ระยะเวลา (วัน)	น้ำ (MPN/ 100ml)		ดินตะกอน (MPN/100g)	
	ชุดควบคุม	ชุดทดลอง	ชุดควบคุม	ชุดทดลอง
0	3.37 ± 0.06	137.33 ± 39.25	0.67 ± 0.25	1.17 ± 0.46
2	2.77 ± 0.57	26.00 ± 3.46	0.20 ± 0.00	2.00 ± 0.26
6	3.90 ± 0.87	19.67 ± 7.37	0.37 ± 0.29	28.33 ± 6.51
16	2.17 ± 1.08	3.07 ± 0.40	0.40 ± 0.00	30.33 ± 4.04
22	1.90 ± 0.62	29.00 ± 5.57	0.33 ± 1.13	2.80 ± 0.46
26	0.40 ± 0.20	114.67 ± 39.26	4.90 ± 1.97	3.50 ± 1.31
35	3.63 ± 1.19	17.33 ± 4.51	0.33 ± 0.12	4.97 ± 1.19

หมายเหตุ: ชุดทดลอง คือบ่อเลี้ยงกุ้งกุลาดำจำลองที่มีการเติมแบคทีเรียผสม 6 ชนิด

ชุดควบคุม คือบ่อเลี้ยงกุ้งกุลาดำจำลองที่ไม่มีการเติมแบคทีเรียผสม 6 ชนิด



ภาพที่ 41 การเปลี่ยนแปลงจำนวนแบคทีเรียในกลุ่ม Ammonia Oxidizers จากตัวอย่างน้ำ (A) และดินตะกอน (B) ภายในบ่อเลี้ยงกุ้งกุลาดำจำลอง (ค่าเฉลี่ยมาจากค่า 3 ซ้ำ; bar คือค่า SD)

6. การเปลี่ยนแปลงจำนวนแบคทีเรียในกลุ่ม Nitrite Oxidizers

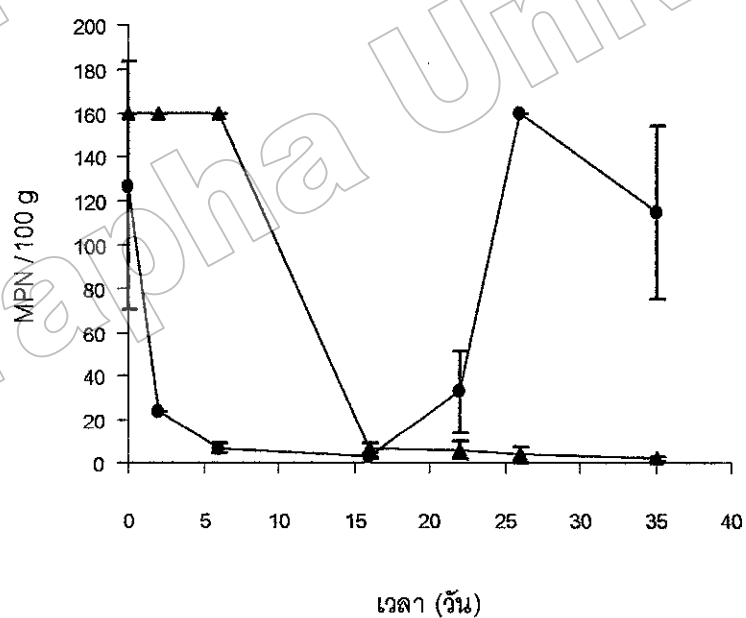
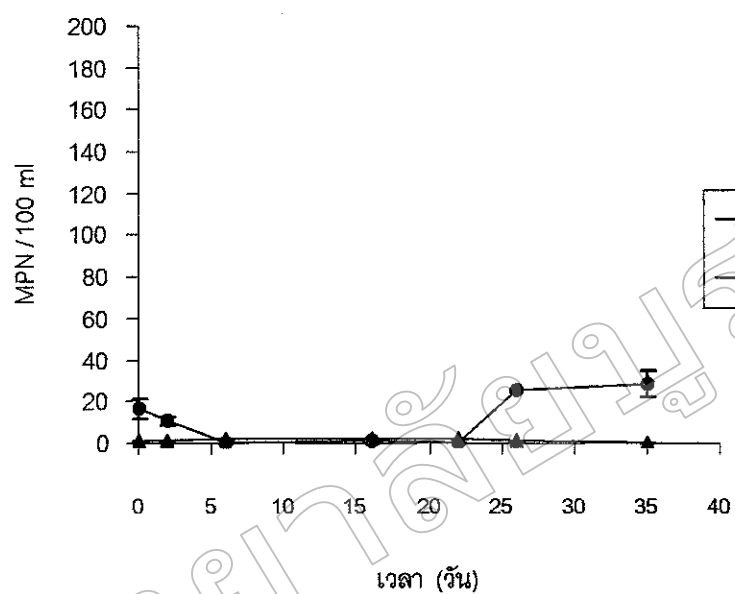
ผลการตรวจสอบจำนวนแบคทีเรียกลุ่ม Nitrite Oxidizers จากตัวอย่างน้ำและดินตะกอนในบ่อเลี้ยงกุ้งกุลาดำจำลอง ดังแสดงในตารางที่ 25 พบว่าจำนวนแบคทีเรียในตัวอย่างน้ำจากภาพที่ 42 (A) นั้นชุดควบคุมมีจำนวนแบคทีเรียน้อยและค่อนข้างคงที่ตลอดการทดลอง ซึ่งแตกต่างจากชุดทดลองอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) ที่มีจำนวนแบคทีเรียกลุ่ม Nitrite Oxidizers เท่ากับ 16.67 ± 4.62 MPN/100ml ในวันแรกของการทดลองและลดลงเหลือ 0.33 ± 0.12 MPN/100ml ในวันที่ 22 หลังจากนั้นจำนวนเพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ จนวันที่ 35 มีค่าเท่ากับ 28.33 ± 6.51 MPN/100ml ส่วนจำนวนแบคทีเรียกลุ่ม Nitrite oxidizers ในตัวอย่างดินตะกอน ดังแสดงในภาพที่ 42 (B) ซึ่งจำนวนแบคทีเรียในดินตะกอนของทั้ง 2 ชุดการทดลองไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยในวันแรกของการทดลองทั้งชุดควบคุมและชุดทดลองจะมีจำนวนแบคทีเรียสูงเท่ากับ 160 ± 0.00 MPN/100g และ 127.33 ± 56.58 MPN/100g ตามลำดับ หลังจากนั้นในชุดควบคุมจะมีจำนวนแบคทีเรียลดลงเรื่อย ๆ ส่วนในชุดทดลองหลังจากวันที่ 16 จำนวนแบคทีเรียจะเพิ่มขึ้นเป็น 114.67 ± 39.26 MPN/100g

ตารางที่ 25 จำนวนแบคทีเรียในกลุ่ม Nitrite Oxidizers จากตัวอย่างน้ำและดินตะกอนภายในบ่อเลี้ยงกุ้งกุลาดำจำลอง

ระยะเวลา (วัน)	น้ำ (MPN/ 100ml)		ดินตะกอน (MPN/ 100g)	
	ชุดควบคุม	ชุดทดลอง	ชุดควบคุม	ชุดทดลอง
0	0.90 ± 0.00	16.67 ± 4.62	160 ± 0.00	127.33 ± 56.58
2	1.03 ± 0.32	10.60 ± 2.08	160 ± 0.00	24.00 ± 0.00
6	1.50 ± 0.17	0.33 ± 0.12	160 ± 0.00	6.57 ± 2.31
16	1.60 ± 0.17	1.40 ± 0.30	6.67 ± 2.19	2.63 ± 0.58
22	2.03 ± 0.29	0.33 ± 0.12	5.83 ± 4.27	32.67 ± 18.48
26	0.90 ± 0.00	24.67 ± 12.34	3.57 ± 3.75	160 ± 0.00
35	0.20 ± 0.00	28.33 ± 6.51	2.23 ± 0.9	114.67 ± 39.26

หมายเหตุ: ชุดทดลอง คือบ่อเลี้ยงกุ้งกุลาดำจำลองที่มีการเติมแบคทีเรียผสม 6 ชนิด

ชุดควบคุม คือบ่อเลี้ยงกุ้งกุลาดำจำลองที่ไม่มีการเติมแบคทีเรียผสม 6 ชนิด



ภาพที่ 42 การเปลี่ยนแปลงจำนวนแบคทีเรียในกลุ่ม Nitrite Oxidizers จากตัวอย่างน้ำ (A) และดินตะกอน (B) ภายในบ่อกึ่งกลาดำจำลอง (ค่าเฉลี่ยมาจากค่า 3 ซ้ำ; bar คือค่า SD)

7. การเปลี่ยนแปลงจำนวนแบคทีเรียในกลุ่ม Sulfide Oxidizers

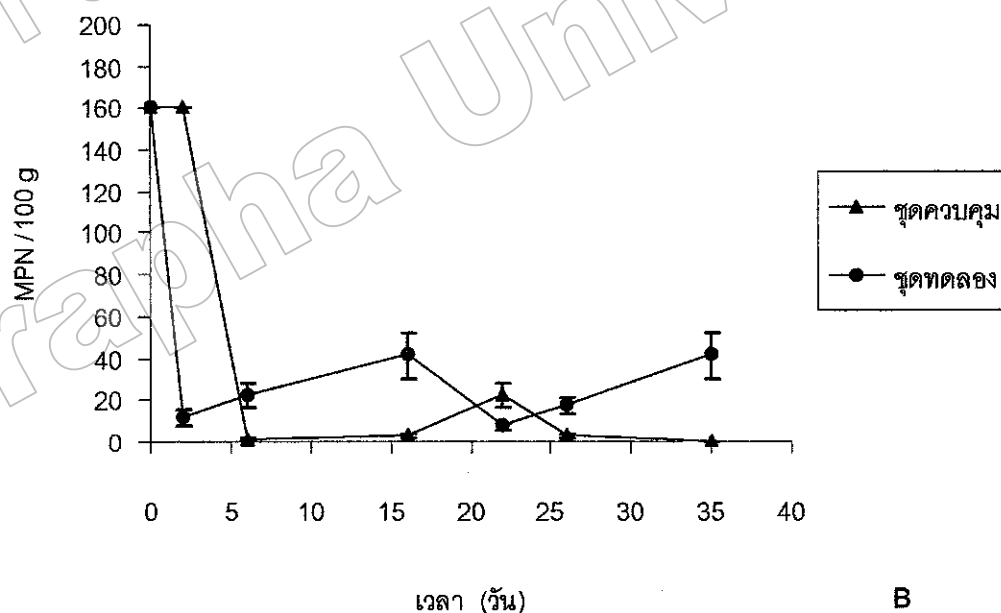
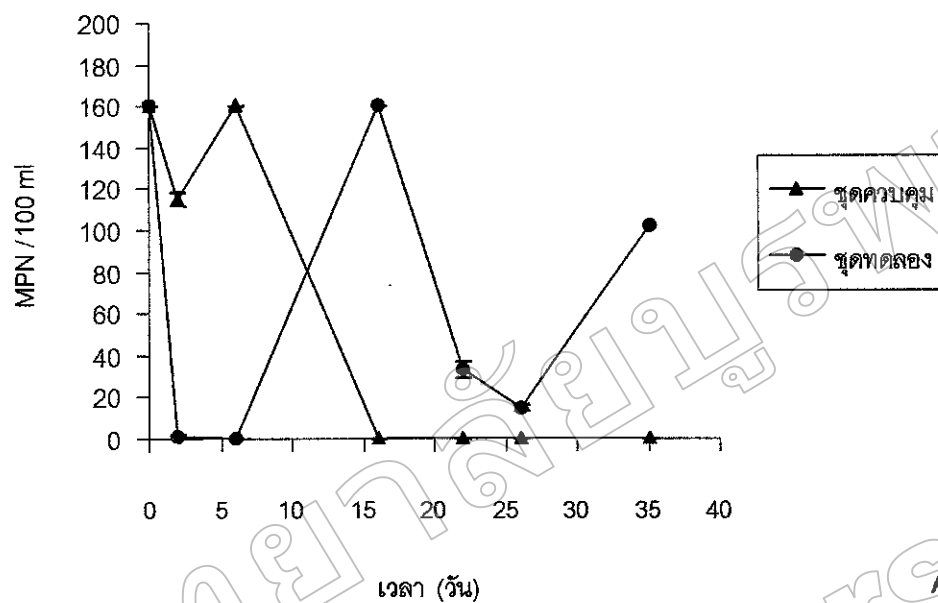
ผลการตรวจสอบจำนวนแบคทีเรียกลุ่ม Sulfide Oxidizers จากตัวอย่างน้ำและดินตะกอนในบ่อเลี้ยงกุ้งกุลาดำจำลอง ดังแสดงในตารางที่ 26 พบว่าจำนวนแบคทีเรียในชุดควบคุมและชุดทดลองจากทั้งตัวอย่างน้ำและดินตะกอนไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ดังแสดงในภาพที่ 43 (A) และ 43 (B) โดยในตัวอย่างน้ำของชุดการทดลองจำนวนแบคทีเรียมีการเปลี่ยนแปลงเพิ่มขึ้นและลดลงตลอดระยะเวลาการทดลอง ส่วนในชุดควบคุมจะลดลงต่ำสุดในวันที่ 16 จนมีค่าเท่ากับ 0.20 ± 0.00 MPN/100ml ไปตลอดการทดลอง ส่วนจำนวนแบคทีเรีย Sulfide Oxidizers ในตัวอย่างดินตะกอน ดังแสดงในภาพที่ 43 (B) ในวันแรกของการทดลองทั้งชุดควบคุมและชุดทดลองจะมีจำนวนแบคทีเรียสูงเท่ากัน คือ 160 ± 0.00 MPN/100g หลังจากนั้นในทั้ง 2 ชุดการทดลองจะมีการเปลี่ยนแปลงจำนวนแบคทีเรียลดลงและเพิ่มขึ้นไปตลอดระยะเวลาการทดลอง

ตารางที่ 26 จำนวนแบคทีเรียในกลุ่ม Sulfide Oxidizers จากตัวอย่างน้ำและดินตะกอนภายในบ่อเลี้ยงกุ้งกุลาดำจำลอง

ระยะเวลา (วัน)	น้ำ (MPN/100ml)		ดินตะกอน (MPN/100g)	
	ชุดควบคุม	ชุดทดลอง	ชุดควบคุม	ชุดทดลอง
0	160 ± 0.00	160 ± 0.00	160 ± 0.00	160 ± 0.00
2	115 ± 3.25	1.37 ± 0.31	160 ± 0.00	11.5 ± 3.93
6	160 ± 0.00	0.20 ± 0.00	1.40 ± 0.30	22.33 ± 5.51
16	0.20 ± 0.00	160 ± 0.00	2.90 ± 0.52	41.33 ± 10.97
22	0.20 ± 0.00	32.67 ± 4.04	22.33 ± 5.51	7.33 ± 1.79
26	0.20 ± 0.00	15.00 ± 1.73	2.60 ± 0.85	17.67 ± 4.04
35	0.20 ± 0.00	102 ± 53.70	0.20 ± 0.00	41.33 ± 10.97

หมายเหตุ: ชุดทดลอง คือบ่อเลี้ยงกุ้งกุลาดำจำลองที่มีการเติมแบคทีเรียผสม 6 ชนิด

ชุดควบคุม คือบ่อเลี้ยงกุ้งกุลาดำจำลองที่ไม่มีการเติมแบคทีเรียผสม 6 ชนิด



ภาพที่ 43 การเปลี่ยนแปลงจำนวนแบคทีเรียในกลุ่ม Sulfide Oxidizers จากตัวอย่างน้ำ (A) และดินตะกอน (B) ภายในบ่อกึ่งกลาดำจำลอง (ค่าเฉลี่ยมาจากค่า 3 ซ้ำ; bar คือค่า SD)