

สารบัญ

	หน้า
สารบัญ	(8)
รายการตาราง	(10)
รายการภาพ	(16)
สัญลักษณ์ คำย่อและตัวย่อ	(19)
บทที่	
1 บทนำ	1
บทนำต้นเรื่อง	1
การตรวจเอกสาร	4
1.1 คุณภาพน้ำในตู้ทดลองเลี้ยงสัตว์ทะเล	4
1.1.1 ปัจจัยทางเคมี	4
1.1.2 ปัจจัยทางกายภาพ	11
1.1.3 ปัจจัยทางชีวภาพ	12
1.2 การกำจัดสารประกอบไนโตรเจนในตู้เลี้ยงสัตว์ทะเลระบบปิด	13
1.2.1 กระบวนการทางกายภาพ	13
1.2.2 กระบวนการทางชีวภาพ	15
1.2.3 ปัจจัยที่มีผลต่อกระบวนการกำจัดสารประกอบไนโตรเจนด้วยชีวภาพ	19
1.3 การเพิ่มประสิทธิภาพการกำจัดสารประกอบไนโตรเจนด้วยชีวภาพ	21
1.3.1 การตรึงจุลินทรีย์	21
1.3.2 การควบคุมอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน	24
วัตถุประสงค์	27
2 วัสดุ สารเคมี และอุปกรณ์	28
2.1 วัสดุและสารเคมี	28
2.2 อุปกรณ์	29

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
3 การศึกษาการเปลี่ยนแปลงระดับสารประกอบไนโตรเจนที่เป็นพิษในตู้เลี้ยงสัตว์ทะเลระบบปิดที่ใช้สำหรับงานทดลอง เปรียบเทียบระหว่างระบบที่ไม่ใช้และใช้วัสดุตรึงจุลินทรีย์	30
3.1 แผนการทดลอง	30
3.2 วิธีการทดลอง	31
3.3 ผลการทดลองและวิจารณ์	35
4 การศึกษาอัตราส่วนของคาร์บอนต่อไนโตรเจน (C/N ratio) ที่เหมาะสมในการลดระดับสารประกอบไนโตรเจนที่เป็นพิษด้วยชีวภาพในตู้ทดลองเลี้ยงสัตว์ทะเล เปรียบเทียบระหว่างระบบที่ใช้และไม่ใช้วัสดุตรึงจุลินทรีย์	48
4.1 แผนการทดลอง	48
4.2 วิธีการทดลอง	49
4.3 ผลการทดลองและวิจารณ์	50
5 การศึกษาผลของการควบคุมอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนต่อการเปลี่ยนแปลงระดับไนโตรเจนที่เป็นพิษในตู้เลี้ยงสัตว์ทะเลระบบระบบปิดที่ใช้สำหรับงานทดลอง เปรียบเทียบระหว่างระบบที่ไม่ใช้และใช้วัสดุตรึงจุลินทรีย์	68
5.1 แผนการทดลอง	68
5.2 วิธีการทดลอง	69
5.3 ผลการทดลองและวิจารณ์	70
6 สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ	84
บรรณานุกรม	87
ภาคผนวก	92
ก	93
ข	118
ประวัติผู้เขียน	126

รายการตาราง

ตารางที่	หน้า
1. ความสัมพันธ์ของความเค็มและอุณหภูมิของน้ำต่อปริมาณออกซิเจนละลาย	6
2. ความสัมพันธ์ของค่า pH และอุณหภูมิต่อเปอร์เซ็นต์แอมโมเนียรูปไม่แตกตัวที่ละลายในน้ำทะเล	9
3. ชื่อสารเคมีและบริษัทผู้ผลิต	28
4. สภาวะการทดลองของแต่ละชุดทดลอง ในการศึกษาการเปลี่ยนแปลงระดับสารประกอบไนโตรเจนที่เป็นพิษในตู้เลี้ยงสัตว์ทะเลระบบปิดที่ใช้สำหรับงานทดลอง เปรียบเทียบระหว่างระบบที่ไม่ใช้และใช้วัสดุตรึงจุลินทรีย์	30
5. อัตราการเพิ่มน้ำหนัก อัตราการแลกเนื้อ และอัตราการรอดตาย ที่เปลี่ยนแปลงในชุดทดลองที่เลี้ยงกุ้งทดลอง เปรียบเทียบระหว่างระบบที่ไม่ใช้วัสดุตรึงจุลินทรีย์ (S) และใช้วัสดุตรึงจุลินทรีย์ (SI) ระยะเวลาทดลอง 18 วัน แสดงเป็นค่าเฉลี่ย (Mean±SD)	45
6. สภาวะการทดลองของแต่ละชุดทดลอง ในการศึกษาอัตราส่วนของคาร์บอนต่อไนโตรเจน (C/N ratio) 4 ระดับ (19.86, 39.73, 59.59 และ 79.45) ในการลดระดับสารประกอบไนโตรเจนที่เป็นพิษด้วยชีวภาพในตู้เลี้ยงสัตว์ทะเลเปรียบเทียบระหว่างระบบที่ไม่ใช้และใช้วัสดุตรึงจุลินทรีย์	49
7. สภาวะของแต่ละชุดทดลองในการศึกษาผลของการควบคุมอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนต่อการเปลี่ยนแปลงระดับไนโตรเจนที่เป็นพิษในตู้เลี้ยงสัตว์ทะเลระบบปิดที่ใช้สำหรับงานทดลอง เปรียบเทียบระหว่างระบบที่ไม่ใช้และใช้วัสดุตรึงจุลินทรีย์	69
8. อัตราการเพิ่มน้ำหนัก อัตราการแลกเนื้อ และอัตราการรอดตาย ในชุดทดลองที่เลี้ยงกุ้งทดลองและควบคุมอัตราส่วน C/N 59.59 เปรียบเทียบระหว่างระบบที่ไม่ใช้วัสดุตรึงจุลินทรีย์ (S:C/N) และใช้วัสดุตรึงจุลินทรีย์ (SI:C/N) ระยะเวลาทดลอง 18 วัน แสดงเป็นค่าเฉลี่ย (Mean±SD)	82
9. ค่าเฉลี่ย (Mean±SD) ความเข้มข้นของแอมโมเนีย (mg TAN/l) ที่เปลี่ยนแปลงในชุดทดลองของบทที่ 3 ได้แก่ ชุดควบคุม (C) ชุดทดลองที่เติมเพียงอาหารกุ้ง (F) และชุดทดลองที่เลี้ยงกุ้งทดลอง (S) เปรียบเทียบกับชุดทดลองระบบที่ใช้วัสดุตรึงจุลินทรีย์ (CI, FI และ SI) ระยะเวลาทดลอง 18 วัน	93

รายการตาราง (ต่อ)

ตารางที่	หน้า
10. ค่าเฉลี่ย (Mean±SD) ความเข้มข้นของไนไตรท์ (mg NO ₂ -N/l) ที่เปลี่ยนแปลงในชุดทดลองของบทที่ 3 ได้แก่ ชุดควบคุม (C) ชุดทดลองที่เติมเพียงอาหารกุ้ง (F) และชุดทดลองที่เลี้ยงกุ้งทดลอง (S) เปรียบเทียบกับชุดทดลองระบบที่ใช้วัสดุตรึงจุลินทรีย์ (CI, FI และ SI) ระยะเวลาทดลอง 18 วัน	94
11. ค่าเฉลี่ย (Mean±SD) ความเข้มข้นของไนเตรท (mg NO ₃ -N/l) ที่เปลี่ยนแปลงในชุดทดลองของบทที่ 3 ได้แก่ ชุดควบคุม (C) ชุดทดลองที่เติมเพียงอาหารกุ้ง (F) และชุดทดลองที่เลี้ยงกุ้งทดลอง (S) เปรียบเทียบกับชุดทดลองระบบที่ใช้วัสดุตรึงจุลินทรีย์ (CI, FI และ SI) ระยะเวลาทดลอง 18 วัน	95
12. ค่าเฉลี่ย (Mean±SD) pH ที่เปลี่ยนแปลงในชุดทดลองของบทที่ 3 ได้แก่ ชุดควบคุม (C) ชุดทดลองที่เติมเพียงอาหารกุ้ง (F) และชุดทดลองที่เลี้ยงกุ้งทดลอง (S) เปรียบเทียบกับชุดทดลองระบบที่ใช้วัสดุตรึงจุลินทรีย์ (CI, FI และ SI) ระยะเวลาทดลอง 18 วัน	96
13. ค่าเฉลี่ย (Mean±SD) ความเข้มข้นของแอมโมเนีย (mg TAN/l) ที่เปลี่ยนแปลงในชุดทดลองของบทที่ 4 (C/N ratio 19.86) ได้แก่ ชุดควบคุม (C) ชุดทดลองที่เติมเพียงเชื้อจุลินทรีย์ (M) และชุดทดลองเติมเชื้อจุลินทรีย์และควบคุมอัตราส่วน C/N (M:C/N) เปรียบเทียบกับชุดทดลองระบบที่ใช้วัสดุตรึงจุลินทรีย์ (CI, MI และ MI:C/N) ระยะเวลาทดลอง 14 วัน	97
14. ค่าเฉลี่ย (Mean±SD) ความเข้มข้นของไนไตรท์ (mg NO ₂ -N/l) ที่เปลี่ยนแปลงในชุดทดลองของบทที่ 4 (C/N ratio 19.86) ได้แก่ ชุดควบคุม (C) ชุดทดลองที่เติมเพียงเชื้อจุลินทรีย์ (M) และชุดทดลองเติมเชื้อจุลินทรีย์และควบคุมอัตราส่วน C/N (M:C/N) เปรียบเทียบกับชุดทดลองระบบที่ใช้วัสดุตรึงจุลินทรีย์ (CI, MI และ MI:C/N) ระยะเวลาทดลอง 14 วัน	98
15. ค่าเฉลี่ย (Mean±SD) ความเข้มข้นของไนเตรท (mg NO ₃ -N/l) ที่เปลี่ยนแปลงในชุดทดลองของบทที่ 4 (C/N ratio 19.86) ได้แก่ ชุดควบคุม (C) ชุดทดลองที่เติมเพียงเชื้อจุลินทรีย์ (M) และชุดทดลองเติมเชื้อจุลินทรีย์และควบคุมอัตราส่วน C/N (M:C/N) เปรียบเทียบกับชุดทดลองระบบที่ใช้วัสดุตรึงจุลินทรีย์ (CI, MI และ MI:C/N) ระยะเวลาทดลอง 14 วัน	99

รายการตาราง (ต่อ)

ตารางที่	หน้า
16. ค่าเฉลี่ย (Mean±SD) pH ที่เปลี่ยนแปลงในชุดทดลองของบทที่ 4 (C/N ratio 19.86) ได้แก่ ชุดควบคุม (C) ชุดทดลองที่เติมเพียงเชื้อจุลินทรีย์ (M) และชุดทดลองเติมเชื้อจุลินทรีย์และควบคุมอัตราส่วน C/N (M:C/N) เปรียบเทียบกับชุดทดลองระบบที่ใช้วัสดุตรึงจุลินทรีย์ (CI, MI และ MI:C/N) ระยะเวลาทดลอง 14 วัน	100
17. ค่าเฉลี่ย (Mean±SD) ความเข้มข้นของแอมโมเนีย (mg TAN/l) ที่เปลี่ยนแปลงในชุดทดลองของบทที่ 4 (C/N ratio 39.73) ได้แก่ ชุดควบคุม (C) ชุดทดลองที่เติมเพียงเชื้อจุลินทรีย์ (M) และชุดทดลองเติมเชื้อจุลินทรีย์และควบคุมอัตราส่วน C/N (M:C/N) เปรียบเทียบกับชุดทดลองระบบที่ใช้วัสดุตรึงจุลินทรีย์ (CI, MI และ MI:C/N) ระยะเวลาทดลอง 14 วัน	101
18. ค่าเฉลี่ย (Mean±SD) ความเข้มข้นของไนไตรท์ (mg NO ₂ -N/l) ที่เปลี่ยนแปลงในชุดทดลองของบทที่ 4 (C/N ratio 39.73) ได้แก่ ชุดควบคุม (C) ชุดทดลองที่เติมเพียงเชื้อจุลินทรีย์ (M) และชุดทดลองเติมเชื้อจุลินทรีย์และควบคุมอัตราส่วน C/N (M:C/N) เปรียบเทียบกับชุดทดลองระบบที่ใช้วัสดุตรึงจุลินทรีย์ (CI, MI และ MI:C/N) ระยะเวลาทดลอง 14 วัน	102
19. ค่าเฉลี่ย (Mean±SD) ความเข้มข้นของไนเตรท (mg NO ₃ -N/l) ที่เปลี่ยนแปลงในชุดทดลองของบทที่ 4 (C/N ratio 39.73) ได้แก่ ชุดควบคุม (C) ชุดทดลองที่เติมเพียงเชื้อจุลินทรีย์ (M) และชุดทดลองเติมเชื้อจุลินทรีย์และควบคุมอัตราส่วน C/N (M:C/N) เปรียบเทียบกับชุดทดลองระบบที่ใช้วัสดุตรึงจุลินทรีย์ (CI, MI และ MI:C/N) ระยะเวลาทดลอง 14 วัน	103
20. ค่าเฉลี่ย (Mean±SD) pH ที่เปลี่ยนแปลงในชุดทดลองของบทที่ 4 (C/N ratio 39.73) ได้แก่ ชุดควบคุม (C) ชุดทดลองที่เติมเพียงเชื้อจุลินทรีย์ (M) และชุดทดลองเติมเชื้อจุลินทรีย์และควบคุมอัตราส่วน C/N (M:C/N) เปรียบเทียบกับชุดทดลองระบบที่ใช้วัสดุตรึงจุลินทรีย์ (CI, MI และ MI:C/N) ระยะเวลาทดลอง 14 วัน	104

รายการตาราง (ต่อ)

ตารางที่	หน้า
21. ค่าเฉลี่ย (Mean±SD) ความเข้มข้นของแอมโมเนีย (mg TAN/l) ที่เปลี่ยนแปลงในชุดทดลองของบที่ 4 (C/N ratio 59.59) ได้แก่ ชุดควบคุม (C) ชุดทดลองที่เติมเพียงเชื้อจุลินทรีย์ (M) และชุดทดลองเติมเชื้อจุลินทรีย์และควบคุมอัตราส่วน C/N (M:C/N) เปรียบเทียบกับชุดทดลองระบบที่ใช้วัสดุตรึงจุลินทรีย์ (CI, MI และ MI:C/N) ระยะเวลาทดลอง 14 วัน	105
22. ค่าเฉลี่ย (Mean±SD) ความเข้มข้นของไนไตรท์ (mg NO ₂ -N/l) ที่เปลี่ยนแปลงในชุดทดลองของบที่ 4 (C/N ratio 59.59) ได้แก่ ชุดควบคุม (C) ชุดทดลองที่เติมเพียงเชื้อจุลินทรีย์ (M) และชุดทดลองเติมเชื้อจุลินทรีย์และควบคุมอัตราส่วน C/N (M:C/N) เปรียบเทียบกับชุดทดลองระบบที่ใช้วัสดุตรึงจุลินทรีย์ (CI, MI และ MI:C/N) ระยะเวลาทดลอง 14 วัน	106
23. ค่าเฉลี่ย (Mean±SD) ความเข้มข้นของไนเตรท (mg NO ₃ -N/l) ที่เปลี่ยนแปลงในชุดทดลองของบที่ 4 (C/N ratio 59.59) ได้แก่ ชุดควบคุม (C) ชุดทดลองที่เติมเพียงเชื้อจุลินทรีย์ (M) และชุดทดลองเติมเชื้อจุลินทรีย์และควบคุมอัตราส่วน C/N (M:C/N) เปรียบเทียบกับชุดทดลองระบบที่ใช้วัสดุตรึงจุลินทรีย์ (CI, MI และ MI:C/N) ระยะเวลาทดลอง 14 วัน	107
24. ค่าเฉลี่ย (Mean±SD) pH ที่เปลี่ยนแปลงในชุดทดลองของบที่ 4 (C/N ratio 59.59) ได้แก่ ชุดควบคุม (C) ชุดทดลองที่เติมเพียงเชื้อจุลินทรีย์ (M) และชุดทดลองเติมเชื้อจุลินทรีย์และควบคุมอัตราส่วน C/N (M:C/N) เปรียบเทียบกับชุดทดลองระบบที่ใช้วัสดุตรึงจุลินทรีย์ (CI, MI และ MI:C/N) ระยะเวลาทดลอง 14 วัน	108
25. ค่าเฉลี่ย (Mean±SD) ความเข้มข้นของแอมโมเนีย (mg TAN/l) ที่เปลี่ยนแปลงในชุดทดลองของบที่ 4 (C/N ratio 79.45) ได้แก่ ชุดควบคุม (C) ชุดทดลองที่เติมเพียงเชื้อจุลินทรีย์ (M) และชุดทดลองเติมเชื้อจุลินทรีย์และควบคุมอัตราส่วน C/N (M:C/N) เปรียบเทียบกับชุดทดลองระบบที่ใช้วัสดุตรึงจุลินทรีย์ (CI, MI และ MI:C/N) ระยะเวลาทดลอง 14 วัน	109

รายการตาราง (ต่อ)

ตารางที่	หน้า
26. ค่าเฉลี่ย (Mean±SD) ความเข้มข้นของไนโตรท์ (mg NO ₂ -N/l) ที่เปลี่ยนแปลงในชุดทดลองของบทที่ 4 (C/N ratio 79.45) ได้แก่ ชุดควบคุม (C) ชุดทดลองที่เติมเพียงเชื้อจุลินทรีย์ (M) และชุดทดลองเติมเชื้อจุลินทรีย์และควบคุมอัตราส่วน C/N (M:C/N) เปรียบเทียบกับชุดทดลองระบบที่ใช้วัสดุตรึงจุลินทรีย์ (CI, MI และ MI:C/N) ระยะเวลาทดลอง 14 วัน	110
27. ค่าเฉลี่ย (Mean±SD) ความเข้มข้นของไนเตรท (mg NO ₃ -N/l) ที่เปลี่ยนแปลงในชุดทดลองของบทที่ 4 (C/N ratio 79.45) ได้แก่ ชุดควบคุม (C) ชุดทดลองที่เติมเพียงเชื้อจุลินทรีย์ (M) และชุดทดลองเติมเชื้อจุลินทรีย์และควบคุมอัตราส่วน C/N (M:C/N) เปรียบเทียบกับชุดทดลองระบบที่ใช้วัสดุตรึงจุลินทรีย์ (CI, MI และ MI:C/N) ระยะเวลาทดลอง 14 วัน	111
28. ค่าเฉลี่ย (Mean±SD) pH ที่เปลี่ยนแปลงในชุดทดลองของบทที่ 4 (C/N ratio 79.45) ได้แก่ ชุดควบคุม (C) ชุดทดลองที่เติมเพียงเชื้อจุลินทรีย์ (M) และชุดทดลองเติมเชื้อจุลินทรีย์และควบคุมอัตราส่วน C/N (M:C/N) เปรียบเทียบกับชุดทดลองระบบที่ใช้วัสดุตรึงจุลินทรีย์ (CI, MI และ MI:C/N) ระยะเวลาทดลอง 14 วัน	112
29. ค่าเฉลี่ย (Mean±SD) ความเข้มข้นของแอมโมเนีย (mg TAN/l) ที่เปลี่ยนแปลงในชุดทดลองของบทที่ 5 ได้แก่ ชุดควบคุม (C) ชุดทดลองที่เติมเพียงอาหารกึ่งและควบคุมอัตราส่วน C/N (F:C/N) และชุดทดลองที่เลี้ยงกึ่งและควบคุมอัตราส่วน C/N (S:C/N) เปรียบเทียบกับชุดทดลองระบบที่ใช้วัสดุตรึงจุลินทรีย์ (CI, FI:C/N และ SI:C/N) ระยะเวลาทดลอง 18 วัน	113
30. ค่าเฉลี่ย (Mean±SD) ความเข้มข้นของไนโตรท์ (mg NO ₂ -N/l) ที่เปลี่ยนแปลงในชุดทดลองของบทที่ 5 ได้แก่ ชุดควบคุม (C) ชุดทดลองที่เติมเพียงอาหารกึ่งและควบคุมอัตราส่วน C/N (F:C/N) และชุดทดลองที่เลี้ยงกึ่งและควบคุมอัตราส่วน C/N (S:C/N) เปรียบเทียบกับชุดทดลองระบบที่ใช้วัสดุตรึงจุลินทรีย์ (CI, FI:C/N และ SI:C/N) ระยะเวลาทดลอง 18 วัน	114

รายการตาราง (ต่อ)

ตารางที่	หน้า
31. ค่าเฉลี่ย (Mean±SD) ความเข้มข้นของไนเตรท ($\text{mg NO}_3\text{-N/l}$) ที่เปลี่ยนแปลงในชุดทดลองของบทที่ 5 ได้แก่ ชุดควบคุม (C) ชุดทดลองที่เติมเพียงอาหารกุ้งและควบคุมอัตราส่วน C/N (F:C/N) และชุดทดลองที่เลี้ยงกุ้งและควบคุมอัตราส่วน C/N (S:C/N) เปรียบเทียบกับชุดทดลองระบบที่ใช้วัสดุตรึงจุลินทรีย์ (CI, FI:C/N และ SI:C/N) ระยะเวลาทดลอง 18 วัน	115
32. ค่าเฉลี่ย (Mean±SD) pH ที่เปลี่ยนแปลงในชุดทดลองของบทที่ 5 ได้แก่ ชุดควบคุม (C) ชุดทดลองที่เติมเพียงอาหารกุ้งและควบคุมอัตราส่วน C/N (F:C/N) และชุดทดลองที่เลี้ยงกุ้งและควบคุมอัตราส่วน C/N (S:C/N) เปรียบเทียบกับชุดทดลองระบบที่ใช้วัสดุตรึงจุลินทรีย์ (CI, FI:C/N และ SI:C/N) ระยะเวลาทดลอง 18 วัน	116
33. ค่าเฉลี่ย (Mean±SD) ออกซิเจนละลาย (mg/l) ที่เปลี่ยนแปลงในชุดทดลองของบทที่ 5 ได้แก่ ชุดควบคุม (C) ชุดทดลองที่เติมเพียงอาหารกุ้งและควบคุมอัตราส่วน C/N (F:C/N) และชุดทดลองที่เลี้ยงกุ้งและควบคุมอัตราส่วน C/N (S:C/N) เปรียบเทียบกับชุดทดลองระบบที่ใช้วัสดุตรึงจุลินทรีย์ (CI, FI:C/N และ SI:C/N) ระยะเวลาทดลอง 18 วัน	117

รายการภาพ

ภาพที่	หน้า
1. การเปลี่ยนแปลงและการใช้ประโยชน์สารประกอบไนโตรเจนในตู้เลี้ยงสัตว์ทะเล	8
2. ขั้นตอนต่างๆในกระบวนการกำจัดไนโตรเจนทางชีวภาพ	18
3. การจำลองลักษณะการตรึงจุลินทรีย์แบบธรรมชาติ	22
4. การเตรียมตู้ทดลองเลี้ยงสัตว์ทะเล	32
5. กราฟมาตรฐานแสดงความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักเริ่มต้นของเนื้อกุ้งสดกับน้ำหนักแห้งหลังการแช่	33
6. การเปลี่ยนแปลงของระดับแอมโมเนียรวม (TAN) ในแต่ละชุดทดลอง ได้แก่ ชุดควบคุม (C) ชุดทดลองที่เติมเพียงอาหารกุ้ง (F) และชุดทดลองที่เลี้ยงกุ้งทดลอง (S) เปรียบเทียบกับชุดทดลองระบบที่ใช้วัสดุตรึงจุลินทรีย์ (CI, FI และ SI) ระยะเวลาทดลอง 18 วัน	36
7. การเปลี่ยนแปลงของระดับไนไตรท์ (NO ₂ -N) ในแต่ละชุดทดลอง ได้แก่ ชุดควบคุม (C) ชุดทดลองที่เติมเพียงอาหารกุ้ง (F) และชุดทดลองที่เลี้ยงกุ้งทดลอง (S) เปรียบเทียบกับชุดทดลองระบบที่ใช้วัสดุตรึงจุลินทรีย์ (CI, FI และ SI) ระยะเวลาทดลอง 18 วัน	39
8. การเปลี่ยนแปลงของระดับไนเตรท (NO ₃ -N) ในแต่ละชุดทดลอง ได้แก่ ชุดควบคุม (C) ชุดทดลองที่เติมเพียงอาหารกุ้ง (F) และชุดทดลองที่เลี้ยงกุ้งทดลอง (S) เปรียบเทียบกับชุดทดลองระบบที่ใช้วัสดุตรึงจุลินทรีย์ (CI, FI และ SI) ระยะเวลาทดลอง 18 วัน	41
9. การเปลี่ยนแปลงของระดับ pH ในแต่ละชุดทดลอง ได้แก่ ชุดควบคุม (C) ชุดทดลองที่เติมเพียงอาหารกุ้ง (F) และชุดทดลองที่เลี้ยงกุ้งทดลอง (S) เปรียบเทียบกับชุดทดลองระบบที่ใช้วัสดุตรึงจุลินทรีย์ (CI, FI และ SI) ระยะเวลาทดลอง 18 วัน	43
10. การเปลี่ยนแปลงของระดับแอมโมเนียรวม (TAN) ในตู้ทดลองที่ใช้เป็นชุดควบคุมในการศึกษาผลของการปรับ C/N ratio 4 ระดับ เปรียบเทียบระหว่างระบบที่ไม่ใช้ (C) และใช้วัสดุตรึงจุลินทรีย์ (CI) ระยะเวลาทดลอง 14 วัน	51

รายการภาพ (ต่อ)

ภาพที่	หน้า
11. การเปลี่ยนแปลงของระดับแอมโมเนียรวม (TAN) ในชุดทดลองที่เติมเพียงเชื้อจุลินทรีย์สำหรับศึกษาผลการปรับ C/N ratio 4 ระดับ เปรียบเทียบระหว่างระบบที่ไม่ใช้ (M) และใช้วัสดุตรึงจุลินทรีย์ (MI) ระยะเวลาทดลอง 14 วัน	52
12. การเปลี่ยนแปลงของระดับแอมโมเนียรวม (TAN) ในชุดทดลองเติมเชื้อจุลินทรีย์และปรับ C/N ratio 4 ระดับ เปรียบเทียบระหว่างระบบที่ไม่ใช้ (M:C/N) และใช้วัสดุตรึงจุลินทรีย์ (MI:C/N) ระยะเวลาทดลอง 14 วัน	53
13. การเปลี่ยนแปลงของระดับไนไตรท์ (NO ₂ -N) ในชุดทดลองที่ใช้เป็นชุดควบคุมในการศึกษาผลของการปรับ C/N ratio 4 ระดับ เปรียบเทียบระหว่างระบบที่ไม่ใช้ (C) และใช้วัสดุตรึงจุลินทรีย์ (CI) ระยะเวลาทดลอง 14 วัน	56
14. การเปลี่ยนแปลงของระดับไนไตรท์ (NO ₂ -N) ในชุดทดลองที่เติมเพียงเชื้อจุลินทรีย์สำหรับศึกษาผลการปรับ C/N ratio 4 ระดับ เปรียบเทียบระหว่างระบบที่ไม่ใช้ (M) และใช้วัสดุตรึงจุลินทรีย์ (MI) ระยะเวลาทดลอง 14 วัน	57
15. การเปลี่ยนแปลงของระดับไนไตรท์ (NO ₂ -N) ในชุดทดลองเติมเชื้อจุลินทรีย์และปรับ C/N ratio 4 ระดับ เปรียบเทียบระหว่างระบบที่ไม่ใช้ (M:C/N) และใช้วัสดุตรึงจุลินทรีย์ (MI:C/N) ระยะเวลาทดลอง 14 วัน	58
16. การเปลี่ยนแปลงของระดับไนเตรท (NO ₃ -N) ในชุดทดลองที่ใช้เป็นชุดควบคุมในการศึกษาผลของการปรับ C/N ratio 4 ระดับ เปรียบเทียบระหว่างระบบที่ไม่ใช้ (C) และใช้วัสดุตรึงจุลินทรีย์ (CI) ระยะเวลาทดลอง 14 วัน	60
17. การเปลี่ยนแปลงของระดับไนเตรท (NO ₃ -N) ในชุดทดลองที่เติมเพียงเชื้อจุลินทรีย์สำหรับศึกษาผลการปรับ C/N ratio 4 ระดับ เปรียบเทียบระหว่างระบบที่ไม่ใช้ (M) และใช้วัสดุตรึงจุลินทรีย์ (MI) ระยะเวลาทดลอง 14 วัน	61
18. การเปลี่ยนแปลงของระดับไนเตรท (NO ₃ -N) ในชุดทดลองเติมเชื้อจุลินทรีย์และปรับ C/N ratio 4 ระดับ เปรียบเทียบระหว่างระบบที่ไม่ใช้ (M:C/N) และใช้วัสดุตรึงจุลินทรีย์ (MI:C/N) ระยะเวลาทดลอง 14 วัน	62
19. การเปลี่ยนแปลงของระดับ pH ในชุดทดลองที่ใช้เป็นชุดควบคุมในการศึกษาผลของการปรับ C/N ratio 4 ระดับ เปรียบเทียบระหว่างระบบที่ไม่ใช้ (C) และใช้วัสดุตรึงจุลินทรีย์ (CI) ระยะเวลาทดลอง 14 วัน	64

รายการภาพ (ต่อ)

ภาพที่	หน้า
20. การเปลี่ยนแปลงของระดับ pH ในชุดทดลองที่เติมเพียงเชื้อจุลินทรีย์สำหรับศึกษาผลการปรับ C/N ratio 4 ระดับ เปรียบเทียบระหว่างระบบที่ไม่ใช้ (M) และใช้วัสดุตรึงจุลินทรีย์ (MI) ระยะเวลาทดลอง 14 วัน	65
21. การเปลี่ยนแปลงของระดับ pH ในชุดทดลองเติมเชื้อจุลินทรีย์และปรับ C/N ratio 4 ระดับ เปรียบเทียบระหว่างระบบที่ไม่ใช้ (M:C/N) และใช้วัสดุตรึงจุลินทรีย์ (MI:C/N) ระยะเวลาทดลอง 14 วัน	66
22. การเปลี่ยนแปลงของระดับแอมโมเนียรวม (TAN) ในแต่ละชุดทดลอง ได้แก่ ชุดควบคุม (C) ชุดทดลองที่เติมเพียงอาหารกึ่งและควบคุมอัตราส่วน C/N (F:C/N) และชุดทดลองที่เลี้ยงกึ่งและควบคุมอัตราส่วน C/N (S:C/N) เปรียบเทียบกับชุดทดลองระบบที่ใช้วัสดุตรึงจุลินทรีย์ (CI, FI:C/N และ SI:C/N) ระยะเวลาทดลอง 18 วัน	71
23. การเปลี่ยนแปลงของระดับไนไตรท์ (NO ₂ -N) ในแต่ละชุดทดลอง ได้แก่ ชุดควบคุม (C) ชุดทดลองที่เติมเพียงอาหารกึ่งและควบคุมอัตราส่วน C/N (F:C/N) และชุดทดลองที่เลี้ยงกึ่งและควบคุมอัตราส่วน C/N (S:C/N) เปรียบเทียบกับชุดทดลองระบบที่ใช้วัสดุตรึงจุลินทรีย์ (CI, FI:C/N และ SI:C/N) ระยะเวลาทดลอง 18 วัน	74
24. การเปลี่ยนแปลงของระดับไนเตรท (NO ₃ -N) ในแต่ละชุดทดลอง ได้แก่ ชุดควบคุม (C) ชุดทดลองที่เติมเพียงอาหารกึ่งและควบคุมอัตราส่วน C/N (F:C/N) และชุดทดลองที่เลี้ยงกึ่งและควบคุมอัตราส่วน C/N (S:C/N) เปรียบเทียบกับชุดทดลองระบบที่ใช้วัสดุตรึงจุลินทรีย์ (CI, FI:C/N และ SI:C/N) ระยะเวลาทดลอง 18 วัน	76
25. การเปลี่ยนแปลงของระดับ pH ในแต่ละชุดทดลอง ได้แก่ ชุดควบคุม (C) ชุดทดลองที่เติมเพียงอาหารกึ่งและควบคุมอัตราส่วน C/N (F:C/N) และชุดทดลองที่เลี้ยงกึ่งและควบคุมอัตราส่วน C/N (S:C/N) เปรียบเทียบกับชุดทดลองระบบที่ใช้วัสดุตรึงจุลินทรีย์ (CI, FI:C/N และ SI:C/N) ระยะเวลาทดลอง 18 วัน	78
26. การเปลี่ยนแปลงของระดับออกซิเจนละลายในแต่ละชุดทดลอง ได้แก่ ชุดควบคุม (C) ชุดทดลองที่เติมเพียงอาหารกึ่งและควบคุมอัตราส่วน C/N (F:C/N) และชุดทดลองที่เลี้ยงกึ่งและควบคุมอัตราส่วน C/N (S:C/N) เปรียบเทียบกับชุดทดลองระบบที่ใช้วัสดุตรึงจุลินทรีย์ (CI, FI:C/N และ SI:C/N) ระยะเวลาทดลอง 18 วัน	80

สัญลักษณ์ คำย่อและตัวย่อ

C/N ratio	=	carbon per nitrogen ratio
°C	=	degree Celsius
DO	=	dissolved oxygen
CFU/ml	=	colony forming unit per milliliter
EPS	=	extracellular polymer substance; exopolysaccharide
g	=	gram
g/g	=	gram per gram
LC ₅₀	=	median lethal concentration
m ² /m ³	=	square meter per cubic meter
mg/m ² /h	=	milligram per square meter per hour
μM	=	micro molar
M	=	molar
mg TAN/l	=	milligram total ammonia nitrogen per liter
mg NO ₂ -N/l	=	milligram nitrite nitrogen per liter
mg NO ₃ -N/l	=	milligram nitrate nitrogen per liter
mg/l	=	milligram per liter
NH ₃ -N	=	un-ionized ammonia nitrogen
NH ₄ ⁺ -N	=	ionized ammonia nitrogen
ml	=	milliliter
N	=	normal
pH	=	-log hydrogen ion concentration
ppt	=	part per thousand
v/v	=	volume per volume
w/w	=	weight per weight
%	=	percentage