การใช้โอโซนในการควบคุมคุณภาพน้ำเลี้ยงกุ้งกุลาดำ

นางสาว กัญญาจิต โล่ภิญโญสิริ

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิทยาศาสตร์สภาวะแวดล้อม สหสาขาวิชาวิทยาศาสตร์สภาวะแวดล้อม
บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2543

ISBN 974-346-356-9

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

I19446059X

APPLICATION OF OZONE FOR CONTROLLING WATER QUALITY IN BLACK TIGER SHRIMP CULTURE

Miss Kanyajit Lopinyosiri

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Science in Environmental Science
Inter-Departmental Program in Environmental Science
Graduate School
Chulalongkorn University
Academic Year 2000

ISBN 974-346-356-9

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การใช้โอโซนในการควบคุมคุณภาพน้ำเลี้ยงกุ้งกุลาดำ
โดย	นางสาวกัญญาจิต โล่ภิญโญสิริ
สาขาวิชา	วิทยาศาสตร์สภาวะแวดล้อม
อาจารย์ที่ปรึกษา	ศาสตราจารย์ ดร. เปี่ยมศักดิ์ เมนะเศวต
อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม	ดร. อรพร หมื่นพล

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

..... คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

(ศาสตราจารย์ ดร. สุชาดา กีระนันทน์)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. พิพัฒน์ พัฒนผลไพบูลย์)

..... อาจารย์ที่ปรึกษา

(ศาสตราจารย์ ดร. เปี่ยมศักดิ์ เมนะเศวต)

..... อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม

(ดร. อรพร หมื่นพล)

..... กรรมการ

(รองศาสตราจารย์ ดร. สมเกียรติ ปิยะธีรธิติวรกุล)

กัญญาจิต โล่ภิญโญสิริ : การใช้โอโซนในการควบคุมคุณภาพน้ำเลี้ยงกุ้งกุลาดำ. (Application of ozone for controlling water quality in Black Tiger Shrimp culture) อ. ที่ปรึกษา : ศ. ดร. เปี่ยมศักดิ์ เมนะเศวต, อ. ที่ปรึกษาร่วม : ดร. อรพร หมื่นพล, 112 หน้า. ISBN 974-346-356-9.

ความเข้มข้นของโอโซนสามารถตรวจวัดได้ในรูปโอโซนสุทธิที่ผลิตจากเครื่อง (TOO) ด้วยวิธี Iodometric method (APHA, 1976) และในรูปปริมาณโอโซนที่เหลือตกค้างอยู่ในน้ำ (ROC) ด้วยวิธี Indigo Method (Merck, 1998) ผลการทดลองพบว่า TOO มีค่าเพิ่มขึ้นตามเวลาด้วยอัตราส่วนที่คงที่ แตกต่างจาก ROC ที่มีค่าไม่คงที่และไม่แปรตรงกับค่า TOO เนื่องจากโอโซนมีการสลายตัวตลอดเวลา ROC มีค่าสูงสุด และเกือบคงที่เพียงช่วงเวลาหนึ่งเท่านั้น เมื่อแยกศึกษาผลของโอโซนต่อสิ่งทดลอง พบว่าปริมาณ TOO ต่ำสุด ที่สามารถกำจัดเชื้อแบคทีเรียก่อโรค *Vibrio harveyi* D331 ได้มากที่สุด (3 log units นาน 6 ชม.) คือ 51.23 มก./ลิตร. นอกจากนี้ค่า TOO ความเข้มข้นดังกล่าว ยังเป็นค่าเริ่มต้นที่มีผลต่อจำนวนเชื้อแบคทีเรียโพรไบโอติก *Bacillus sp.*S11 ให้มีจำนวนลดลงมากกว่า 2 log units นาน 48 ชม. โอโซนค่อนข้างปลอดภัยต่อกุ้งกุลาดำ เนื่องจากความเข้มข้นโอโซนที่เริ่มทำให้ลูกกุ้งกุลาดำโพสต์ลาวาที่ 15-21 แสดงอาการผิดปกติ มีค่าสูงกว่าความเข้มข้นที่ออกฤทธิ์ยับยั้งการเจริญเติบโตของแบคทีเรีย โดยที่ TOO สะสมเป็นเวลา 16 ชม.ขึ้นไป (97.48 มก./ลิตร หรือ ROC อยู่ในช่วง 0.30-0.40 มก./ลิตร) จึงจะมีผลต่อระบบสรีรวิทยาของลูกกุ้ง การใช้โอโซนปรับปรุงคุณภาพน้ำที่ผ่านการเลี้ยงกุ้งกุลาดำต้องมีปริมาณ TOO สูงมากกว่า 424.24 มก./ลิตร (ปริมาณ ROC 0.180 มก./ลิตร) สามารถลดค่าแอมโมเนียม-ไนโตรเจน (NH_4^+-N) ค่าการย่อยสลายสารอินทรีย์ในน้ำ (BOD) และปริมาณของแข็งแขวนลอยทั้งหมด (TSS) ได้ 17%, 4.89% และ 17.85% ตามลำดับ ในขณะที่การเป่าพ่นอากาศสามารถลดได้เฉพาะปริมาณของแข็งแขวนลอยทั้งหมดเท่านั้น (5.71%) การศึกษา *in vivo* study ของผลของโอโซนที่ความเข้มข้น TOO 51.23 มก./ลิตร (ROC เท่ากับ 0.337 มก./ลิตร) ต่ออัตรารอดของกุ้งกุลาดำขนาด 6-8 กรัม หลังจากให้อาหารผสมโพรไบโอติกเป็นเวลา 1 เดือน และทำการเหนี่ยวนำให้กุ้งอ่อนแอด้วย *Vibrio harveyi* D331 ที่ความเข้มข้นของเชื้อ 10^7 cfu/ml พบว่า ที่ปริมาณ TOO ดังกล่าว สามารถกำจัดเชื้อแบคทีเรียก่อโรค (*Vibrio harveyi* สายพันธุ์ D331) ได้ 3 log units นาน 24 ชม. ลดค่าแอมโม เนียม-ไนโตรเจนได้ 30% โดยไม่มีผลต่อจำนวนเชื้อแบคทีเรียโพรไบโอติก (*Bacillus sp.* สายพันธุ์ S11) ในลำไส้กุ้ง อีกทั้งเพิ่มอัตราการรอดกุ้งให้สูงกว่ากลุ่มควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

ภาควิชา	สหสาขาวิชาวิทยาศาตร์สภาวะแวดล้อม	ลายมือชื่อนิสิต .....
สาขาวิชา	วิทยาศาตร์สภาวะแวดล้อม	ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา .....
ปีการศึกษา	2543	ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม .....

4172214023 : MAJOR INTERDEPARTMENT OF ENVIRONMENTAL SCIENCE
KEY WORD: OZONE / *Penaeus monodon* / APPLICATION / TOXICITY / *Vibrio* / *Bacillus*

KANYAJIT LOPINYOSIRI : APPLICATION OF OZONE FOR CONTROLLING WATER QUALITY IN BLACK TIGER SHRIMP CULTURE. THESIS ADVISOR : PROF.DR.PIAMSAK MENASVETA, THESIS COADVISOR : DR.ORAPORN MEUNPOL, 112 pp. ISBN 974-346-356-9.

Total Ozone Output (TOO) by Iodometric method (APHA, 1976) and Residual Ozone Concentration (ROC) by Indigo method (APHA, 1976) were used parallelly in this study. TOO values increased continuously with time whereas ROC was much lower than TOO because of rapid evaporation of ozone. The pattern of ROC accumulation was irregular and did not reflect the ozone concentration produced from the machine. In studies with bacteria, it was found that the minimal effective dosage of ozone to inhibit *Vibrio harveyi* growth was 51.23 ppm (TOO). Three log units of *Vibrio* was inhibited after 6 hours of treatment while 2 log units *Bacillus sp.* S11 was suppressed after 48 hr. of treatment. Exposure to 97.48 mg/l of TOO or 0.30-0.40 mg/l of ROC initiated loss of balance of prawns, including immobility and destruction of gill lamellar epithelium. Much higher concentration of ozone (424.24 mg/l of TOO or 0.180 mg/l of ROC) was required for reducing total ammonium-nitrogen, BOD and total suspended solids in water. Study on the optimal dosage of ozone treatment for *Penaeus monodon* culture revealed that at 51.23 mg/l total ozone output (TOO) or 0.350 mg/l residual ozone concentration (ROC) was effective in inhibiting 3 log units of *Vibrio harveyi* D331 for 24 hours and could reduced 30% of ammonium-nitrogen concentration. At this dosage, there was no effect neither on prawn nor on intestinal probiotics (*Bacillus* S11). The prawn survival rate was increased statistically ($p \leq 0.05$) when compared with the control and the treatment without probiotic and ozonation.

Department Inter-department of environmental science Student's signature Kanyajit Lopinyosiri
Field of Study Environmental science Advisor's signature .....
Academic year 2000 Co-advisor's signature .....

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้รับทุนสนับสนุน จากโครงการบัณฑิตศึกษาภายในประเทศ (Local Graduate Scholarship) ปี 2542 ของสำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ, สวทช. (National Science and Technology Development Agency, NSTDA) และโครงการเมธีวิจัยอาวุโส สกว. และได้รับความกรุณาจาก ศาสตราจารย์ ดร.เปี่ยมศักดิ์ เมนะเศวต อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ และ ดร.อรพร หมื่นพล อาจารย์ที่ปรึกษาร่วมวิทยานิพนธ์ ที่ได้กรุณาให้คำแนะนำ ตรวจทานวิทยานิพนธ์ เป็นที่ปรึกษาด้านวิชาการ พร้อมทั้ง รองศาสตราจารย์ ดร.สมเกียรติ ปิยะธีรธิติวรกุล และนักวิจัยของหน่วยปฏิบัติการเทคโนโลยีชีวภาพทางทะเลทุกท่าน โดยเฉพาะ ดร.พิกุล จิระวานิช ไพศาล ที่ได้กรุณาให้ความรู้ และคำแนะนำด้านวิชาการ ตลอดจนวิธีการใช้เครื่องมือ และอุปกรณ์ต่างๆ ขอขอบคุณ รองศาสตราจารย์ ดร.ศิริรัตน์ เร่งพิพัฒน์ สำหรับความอนุเคราะห์ในเรื่องเชื้อ *Vibrio harveyi* สายพันธุ์ D331 และ *Bacillus sp.* สายพันธุ์ S11 และขอขอบคุณ บริษัท ไทยยูเนี่ยน อควา โปรดักส์ (ประเทศไทย) จำกัด สำหรับเครื่องผลิตโอโซนที่ใช้ในงานวิจัยนี้

ขอขอบคุณพี่ๆ ทุกคนในโรงเพาะเลี้ยง จุฬาฯ โดยเฉพาะพี่เสรี จ๋า และก้อย (ขนิษฐา) รวมทั้งพี่อิ๋วและเพื่อนๆ ที่สหสาขาวิชาวิทยาศาสตร์สภาวะแวดล้อมทุกคน สำหรับความช่วยเหลือ และกำลังใจตั้งแต่แรกเริ่มการทดลองในห้องปฏิบัติการ จนถึงการเขียนเล่มวิทยานิพนธ์

ท้ายนี้ขอกราบขอบพระคุณ บิดา และมารดา ที่มีส่วนอย่างยิ่งในทุกด้านของงานวิทยานิพนธ์ ช่วยเหลือ และเป็นกำลังใจ ทำให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี อีกทั้งขอขอบคุณพี่ชายและน้องสาวของผู้วิจัย สำหรับกำลังใจที่มีให้ตลอดระยะเวลาที่ทำวิทยานิพนธ์ และขอขอบคุณ คุณณรงค์ รุ่งรัตน์ชัชวาลย์ สำหรับความรู้ คำแนะนำ และความช่วยเหลือต่างๆ ที่เป็นประโยชน์อย่างมากต่อวิทยานิพนธ์ฉบับนี้

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย.....ง

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....จ

กิตติกรรมประกาศ.....ฉ

สารบัญตาราง.....ช

สารบัญภาพ.....ญ

บทที่

1. บทนำ.....1
2. เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....4
3. วิธีดำเนินการวิจัย.....27
4. ผลการวิเคราะห์ข้อมูล.....42
5. อภิปรายผลการวิจัย.....80
6. สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ.....86

เอกสารอ้างอิง.....90

ภาคผนวก.....99

ประวัติผู้เขียน.....112

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
2.1	ผลของโอโซนต่อเชื้อแบคทีเรีย	15
2.2	ผลของโอโซนต่อ Dinoflagellates	16
4.1	อัตราการหายใจของลูกกุ้งโพสต์ลาวาที่ 15-21 ในกลุ่มควบคุมที่ให้แต่ออกซิเจน กับกลุ่มทดลองที่มีการให้โอโซนค่า TOO ความเข้มข้นต่างๆ	45
4.2	ค่าคุณภาพน้ำเลี้ยงกุ้งกุลาดำ จากการทดลองให้โอโซนแบบต่อเนื่อง ด้วยเครื่องผลิตโอโซนขนาดกำลังผลิต 100 มก./ชม	46
4.3	จำนวนกุ้งที่มีอาการผิดปกติทุกๆ 2 ชม. ตลอดระยะเวลา 24 ชม. ปริมาณ ROC เฉลี่ย 0.342 มก./ลิตร จากเครื่องผลิตโอโซนขนาดกำลังผลิต 100 มก./ชม.โดยมีแหล่งกำเนิดออกซิเจน คือ อากาศ	47
4.4	ค่าคุณภาพน้ำเลี้ยงกุ้งกุลาดำ จากการทดลองให้โอโซนแบบต่อเนื่อง ด้วยเครื่องโอโซนขนาดกำลังผลิต 2 กรัม/ชม	52
4.5	แสดงจำนวนกุ้งที่มีอาการผิดปกติทุกๆ 2 ชม. ตลอดระยะเวลา 24 ชม. ปริมาณ ROC เฉลี่ย 0.404 มก./ลิตร จากเครื่องผลิตโอโซนขนาดกำลังผลิต 2 กรัม/ชม. โดยมีแหล่งกำเนิดออกซิเจน คือ อากาศ	53
4.6	ปริมาณ TOO และ ROC ที่มีผลต่อเชื้อ *V.harveyi* สายพันธุ์ D331 (จากเครื่องผลโอโซนขนาดกำลังผลิต 2 กรัม/ชม.)	60
4.7	ปริมาณ TOO และ ROC ที่มีผลต่อเชื้อ *Bacillus sp.* สายพันธุ์ S11 (จากเครื่องผลิตโอโซนขนาดกำลังผลิต 2 กรัม/ชม.)	65
4.8	ค่าคุณภาพน้ำก่อนและหลังการพ่นก๊าซโอโซน และอากาศ 1 ชม	67
4.9	เปอร์เซ็นต์ค่าคุณภาพน้ำที่ลดลง เมื่อสัมผัสโอโซน และอากาศนาน 1 ชม. เปรียบเทียบกับค่าคุณภาพน้ำเริ่มต้น	68
4.10	ค่าคุณภาพน้ำก่อนและหลังการให้โอโซน และอากาศ 2 ชม	69
4.11	เปอร์เซ็นต์ค่าคุณภาพที่ลดลง เมื่อสัมผัสโอโซน และอากาศนาน2 ชม. เปรียบเทียบกับค่าคุณภาพน้ำเริ่มต้น	70

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่ หน้า

4.12 ค่าตัวแปรคุณภาพน้ำก่อนการให้โอโซน.....73

4.13 จำนวนกุ้งกุลาดำในแต่ละบ่อทดลอง ก่อนและหลังการเป่าพ่นโอโซน ที่ปริมาณ TOO 51.23 มก./ลิตร.....74

4.14 ค่าเฉลี่ยจำนวนกุ้งกุลาดำ ก่อนและหลังการเป่าพ่นโอโซน.....76

6.1 แสดงปริมาณ TOO (Iodometric method (APHA, 1976)).....87

ตารางผนวกที่

1 ค่าคุณภาพน้ำในการเลี้ยงกุ้งกุลาดำวัยรุ่นตลอดระยะ 1 เดือน.....109

2 ความแตกต่างทางสถิติของจำนวนกุ้งจากกลุ่มควบคุม ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% (การทดลอง เรื่อง *In vivo* study).....111

สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
2.1	ปฏิกิริยาการเกิดโอโซน	4
2.2	วิธีการทำลายสารชีวโมเลกุลของเชื้อจุลินทรีย์	13
2.3	ขบวนการกำจัดน้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรมโดยใช้โอโซน	20
2.4	ลักษณะทางพยาธิสภาพของเหงือกปลา	22
3.1	วิธีการทดลองผลของโอโซนต่อเชื้อแบคทีเรียที่เป็นโทษ	36
3.2	สภาพการทดลองเลี้ยงกุ้งในตู้กระจก	39
3.3	แผนการทดลองผลของโอโซนต่ออัตรารอดกุ้งกุลาดำที่เหนี่ยวนำด้วยเชื้อ *Vibrio harveyi* D331	41
4.1	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเวลาที่สัมผัสโอโซนและความเข้มข้นของโอโซนจากเครื่องขนาดกำลังผลิต 100 มก./ชม.โดยมีแหล่งกำเนิดออกซิเจน คืออากาศ	42
4.2	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเวลาที่สัมผัสโอโซนและความเข้มข้นของโอโซนจากเครื่องขนาดกำลังผลิต 2 กรัม/ชม.โดยมีแหล่งกำเนิดออกซิเจน คืออากาศ	43
4.3	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเวลาที่สัมผัสโอโซน และความเข้มข้นของโอโซนจากเครื่องขนาดกำลังผลิต 2 กรัม/ชม.โดยมีแหล่งกำเนิดออกซิเจน คือ ก๊าซออกซิเจนบริสุทธิ์	44
4.4	แผนภูมิแสดงจำนวนกุ้งที่มีอาการผิดปกติ ที่ระยะเวลาในการให้โอโซนแบบต่อเนื่องตลอด 24 ชม. จากเครื่องขนาดกำลังผลิต 100 มก./ชม.โดยมีแหล่งกำเนิดออกซิเจนคือ อากาศ	48
4.5	ลักษณะเนื้อเยื่อเหงือกกุ้งปกติที่ให้อากาศ 16 ชม. เนื้อเยื่อเหงือกย้อมด้วยสี Hematoxylin และ eosin ภาพขนาดกำลังขยาย 200 X	49
4.6	ลักษณะเนื้อเยื่อเหงือกกุ้งที่สัมผัสโอโซนนาน 16 ชม. ปริมาณ TOO 97.48 มก./ลิตร ปริมาณ ROC 0.416 มก./ลิตร แสดงอาการบวมน้ำ และการหดตัวของนิวเคลียส (pycnotic nuclei) เนื้อเยื่อเหงือกย้อมด้วยสี Hematoxylin และ eosin ภาพขนาดกำลังขยาย 200 X	50

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่ หน้า

4.7 แผนภูมิแสดงจำนวนกุ้งที่มีอาการผิดปกติ ที่ระยะเวลาในการให้โอโซนแบบต่อเนื่องตลอด 24 ชม. จากเครื่องผลิตขนาดกำลังผลิต 2 กรัม/ชม. โดยมีแหล่งกำเนิดออกซิเจน คือ อากาศ.....51

4.8 ลักษณะเนื้อเยื่อเหงือกกุ้งปกติที่ให้อากาศ 8 ชม. เนื้อเยื่อเหงือกย้อมด้วยสี Hematoxylin และ eosin ภาพขนาดกำลังขยาย 200 X 54

4.9 ลักษณะเนื้อเยื่อเหงือกกุ้งที่สัมผัสโอโซนนาน 8 ชม. ปริมาณ TOO 154.26 มก./ลิตร ปริมาณ ROC 0.275 มก./ลิตร แสดงอาการบวมน้ำ และการหดตัวของนิวเคลียส (pycnotic nuclei) เนื้อเยื่อเหงือกย้อมด้วยสี Hematoxylin และ eosin ภาพขนาดกำลังขยาย 200 X 55

4.10 ก จำนวนเชื้อ *Vibrio* ในช่วง 30 วินาที-30นาที หลังการสัมผัส TOO ความเข้มข้นต่างๆ จากเครื่องผลิตโอโซนขนาดกำลังผลิต 2 กรัม/ชม.โดยมีแหล่งกำเนิดออกซิเจน คือ อากาศ.....57

4.10 ข จำนวนเชื้อ *Vibrio* ในชม.ที่ 1-48 หลังการสัมผัส TOO ความเข้มข้นต่างๆ จากเครื่องผลิตโอโซนขนาดกำลังผลิต 2 กรัม/ชม.โดยมีแหล่งกำเนิดออกซิเจน คืออากาศ.....57

4.11 ก จำนวนเชื้อ *Vibrio* ในช่วง 30 วินาที-30นาที หลังการสัมผัส TOO ความเข้มข้นต่างๆ จากเครื่องผลิตโอโซนขนาดกำลังผลิต 2 กรัม/ชม.โดยมีแหล่งกำเนิดออกซิเจน คือ ก๊าซออกซิเจนบริสุทธิ์.....58

4.11 ข จำนวนเชื้อ *Vibrio* ในชม.ที่ 1-48 หลังการสัมผัส TOO ความเข้มข้นต่างๆ จากเครื่องผลิตโอโซนขนาดกำลังผลิต 2 กรัม/ชม.โดยมีแหล่งกำเนิดออกซิเจน คือ ก๊าซออกซิเจนบริสุทธิ์.....59

4.12 ปริมาณ ROC ที่ระยะเวลาต่างๆ หลังการเป่าพ่นโอโซนนาน 1, 5, 10 และ 20 นาที จากเครื่องผลิตโอโซนขนาดกำลังผลิต 2 กรัม/ชม.โดยมีแหล่งกำเนิดออกซิเจน คือก๊าซออกซิเจนบริสุทธิ์.....61

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่ หน้า

4.13 ก จำนวนเชื้อ *Bacillus* S11 ในช่วง 30 วินาที-30นาที หลังการสัมผัส TOO ความเข้มข้นต่างๆ จากเครื่องผลิตโอโซนขนาดกำลังผลิต 2 กรัม/ชม.โดยมีแหล่งกำเนิดออกซิเจน คือ อากาศ.....62

4.13 ข จำนวนเชื้อ *Bacillus* S11 ในชม.ที่ 1-48 หลังการสัมผัส TOO ความเข้มข้นต่างๆ จากเครื่องผลิตโอโซนขนาดกำลังผลิต 2 กรัม/ชม.โดยมีแหล่งกำเนิดออกซิเจน คือ อากาศ.....62

4.14 ก จำนวนเชื้อ *Bacillus* S11 ในช่วง 30 วินาที-30นาที หลังการสัมผัส TOO ความเข้มข้นต่างๆ จากเครื่องผลิตโอโซนขนาดกำลังผลิต 2 กรัม/ชม.โดยมีแหล่งกำเนิดออกซิเจน คือ ก๊าซออกซิเจนบริสุทธิ์.....63

4.14 ข จำนวนเชื้อ *Bacillus* S11 ในชม.ที่ 1-48 หลังการสัมผัส TOO ความเข้มข้นต่างๆ จากเครื่องผลิตโอโซนขนาดกำลังผลิต 2 กรัม/ชม.โดยมีแหล่งกำเนิดออกซิเจน คือก๊าซออกซิเจนบริสุทธิ์.....64

4.15 ปริมาณ ROC ที่ระยะเวลาต่างๆ หลังการเป่าพ่นโอโซนนาน 1, 5, 10 และ 20 นาที จากเครื่องผลิตโอโซนขนาดกำลังผลิต 2 กรัม/ชม.โดยมีแหล่งกำเนิดออกซิเจน คือ ก๊าซออกซิเจนบริสุทธิ์.....66

4.16 จำนวนเชื้อแบคทีเรีย *V.harveyi* สายพันธุ์ D331 ในแต่ละบ่อทดลอง ทั้งก่อนและหลังการให้ TOO 51.23 มก./ลิตร.....71

4.17 แสดงจำนวนเชื้อแบคทีเรีย *Bacillus sp.* สายพันธุ์ S11 ในลำไส้กุ้ง ในแต่ละบ่อทดลองก่อนและหลังการให้ TOO 51.23 มก./ลิตร.....72

4.18 แสดงจำนวนกุ้งเฉลี่ยในแต่ละกลุ่มทดลอง หลังการเป่าพ่นโอโซนค่า TOO 51.23 มก./ลิตร 6 วัน.....75

4.19 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเวลาในการให้โอโซน กับความเข้มข้นของ ROC จากการเป่าพ่นโอโซนแบบต่อเนื่อง ด้วยเครื่องขนาดกำลังผลิต 100 มก./ชม. โดยมีแหล่งกำเนิดออกซิเจน คือ อากาศ.....78

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่ หน้า

4.20 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเวลาในการให้โอโซน กับความเข้มข้นของ ROC จากการเป่าพ่นโอโซนแบบต่อเนื่อง ด้วยเครื่องขนาดกำลังผลิต 2 กรัม/ชม.โดยมีแหล่งกำเนิดออกซิเจน คือ อากาศ.....79

ภาพผนวกที่

1 เครื่องผลิตโอโซนขนาดกำลังผลิต 2 กรัม/ชม. (Ozone Generator).....100

2 การวิเคราะห์ปริมาณความเข้มข้นโอโซนผลิตสุทธิ (TOO) โดยใช้สารละลายโพแทสเซียมไอโอไดด์.....102

3 การวัดอัตราการบริโภคออกซิเจนของสัตว์น้ำ.....104

4 กราฟมาตรฐานการเจริญเติบโตของเชื้อ *V.harveyi* สายพันธุ์ D331.....105

5 กราฟมาตรฐานการเจริญเติบโตของเชื้อ *Bacillus sp.* สายพันธุ์ S 11.....106

6 รูปแบบการทดลองเลี้ยงกุ้งกุลาดำระยะวัยรุ่นด้วยอาหารเม็ดธรรมดาและอาหารโพรไบโอติก.....108

คำสำคัญ

ชม.	ชั่วโมง
ซม.^{3}	ลูกบาศก์เซนติเมตร
มก.	มิลลิกรัม
มล.	มิลลิลิตร
APHA	American Public Health Association
BOD	Biological Oxygen Demand
cfu	colony forming unit
COD	Chemical Oxygen Demand
ISO	International Standard Organization
ml	millilitre
min	minute
OD	Optical Density
ppm	part per million
ROC	ความเข้มข้นโอโซนตกค้าง (Residual Ozone Concentration)
TOO	ความเข้มข้นโอโซนผลิตสุทธิ (Total Ozone Output)