บทที่ 6

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

จากการวิเคราะห์ความเข้มข้นโอโซนที่ผลิตได้ ระดับที่เป็นพิษต่อกุ้งกุลาดำ ผลต่อแบคทีเรียก่อโรคและแบคทีเรียโพรไบโอติก การปรับปรุงคุณภาพน้ำ และการศึกษาความเป็นไปได้ในการนำโอโซนมาบำบัดเชื้อโรค ควบคุมคุณภาพน้ำ และไม่เป็นอันตรายต่อกุ้ง (*in vivo* study) สรุปได้ดังนี้

1. ปริมาณความเข้มข้นโอโซนผลิตสุทธิ (TOO) จากเครื่องขนาดกำลังผลิต 100 มก./ชม. และ 2 กรัม/ชม. สรุปผลการทดลองได้ดังนี้ (ตารางที่ 6.1)

ตารางที่ 6.1 แสดงปริมาณ TOO (Iodometric method (APHA, 1976))

เครื่องผลิตโอโซน	แหล่งกำเนิดออกซิเจน	สมการรีเกรซชัน	ค่าสัมประสิทธิ์รีเกรซชัน (R^2)
ขนาดกำลังผลิต 100 มก./ชม.	อากาศ	Y = 2.2341 X	0.9841
ขนาดกำลังผลิต 2 กรัม/ชม.	อากาศ	Y = 7.0707 X	0.9812
	ก๊าซออกซิเจนบริสุทธิ์	Y = 25.615 X	0.8787

2. ปริมาณ TOO ล้มพันธ์โดยตรงกับระยะเวลาในการให้โอโซน ขนาดของเครื่องผลิต และแหล่งกำเนิดออกซิเจน

3. ROC ไม่แปรผันโดยตรงกับ TOO ในการเป่าพ่นโอโซนเพียงครั้งเดียว จะได้ค่า ROC สูงสุดที่วินาทีแรกหลังการเป่าพ่นโอโซน ค่า ROC ลดลงตามเวลา อัตราการสลายตัวของ ROC เมื่อค่า

เริ่มต้นมากกว่า 2 มก./ลิตร จะช้ากว่าเมื่อ ROC เริ่มต้นน้อยกว่า 2 มก./ลิตร เมื่อการให้โอโซนเป็นไปอย่างต่อเนื่อง ค่า ROC เพิ่มขึ้นตามเวลาจนมีค่าคงที่ ณ จุดหนึ่ง

4. ปริมาณ TOO 97.48 มก./ลิตร (ปริมาณ ROC 0.416 มก./ลิตร) จากการให้โอโซนต่อเนื่องนาน 16 ชม. (เครื่องขนาดกำลังผลิต 100 มก./ชม. โดยมีแหล่งกำเนิดก๊าซออกซิเจน คือ อากาศ) และ 154.26 มก./ลิตร (ปริมาณ ROC 0.275 มก./ลิตร) จากการให้โอโซนต่อเนื่องนาน 8 ชม. (เครื่องขนาดกำลังผลิต 2 กรัม/ชม.โดยมีแหล่งกำเนิดก๊าซออกซิเจน คือ อากาศ) มีผลต่อลักษณะทางพยาธิสภาพของเหงือกกุ้ง ทำให้เหงือกกุ้งมีอาการบวมน้ำ นิวเคลียสของเซลล์เหงือกหดตัว มีสีเข้ม และเซลล์เสียรูปร่างผิดปกติ อีกทั้งยังมีผลต่อการแสดงอาการภายนอกของกุ้ง คือ อ่อนแอ ไม่กินอาหาร ไม่เคลื่อนที่ ว่ายน้ำควงสว่าน และจมลงสู่ก้นถังในที่สุด

5. การให้โอโซนโดยตรงในน้ำเลี้ยงกุ้งนาน 4, 6, 8, 10 และ 12 ชม. (ปริมาณ TOO 107.23, 160.85, 214.47, 268.09 และ 321.28 มก./ลิตร ปริมาณความเข้มข้นโอโซนตกค้าง (ROC) 0.354, 1.895, 1.991, 0.812 และ 1.320 ตามลำดับ) จากเครื่องขนาดกำลังผลิต 100 มก./ชม.โดยมีแหล่งกำเนิดก๊าซออกซิเจน คือ อากาศ ไม่ทำให้เกิดความผิดปกติทางสรีระวิทยาของกุ้ง โดยไม่มีความแตกต่างของอัตราการหายใจระหว่างกลุ่มควบคุมที่ให้ออกซิเจนกับกลุ่มที่มีการให้โอโซนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

6. ค่า TOO ต่ำสุด ที่สามารถกำจัดเชื้อแบคทีเรียก่อโรค (*V.harveyi* สายพันธุ์ D331) ได้มากที่สุด คือ 51.23 มก./ลิตร เนื่องจากสามารถลดจำนวนเชื้อแบคทีเรียดังกล่าวได้ 3 log units นาน 6 ชม.หลังเป่าพ่นโอโซนเสร็จ

7. ค่า TOO ตั้งแต่ 51.23 มก./ลิตร มีผลในการลดจำนวนเชื้อแบคทีเรียโพรไบโอติก (*Bacillus sp.* สายพันธุ์ S11) ได้มากกว่า 2 log units ตั้งแต่ ชม.ที่ 1-ชม.ที่ 48 หลังเป่าพ่นโอโซนเสร็จ

8. ปริมาณ TOO ที่เหมาะสมต่อการปรับปรุงค่าคุณภาพน้ำ โดยลดค่าแอมโมเนียม-ไนโตรเจน ไนไตรต์-ไนโตรเจน ไนเตรต-ไนโตรเจน ค่าความต้องการออกซิเจนในการย่อยสลายสาร

อินทรีย์ในน้ำ และปริมาณของแข็งแขวนลอยทั้งหมด ตลอดจนเพิ่มปริมาณออกซิเจนละลาย ควรมีค่าสูงกว่า 424.24 มก./ลิตร (ให้โอโซนนาน 1 ชม. จากเครื่องขนาดกำลังผลิต 2 กรัม/ชม.โดยมีแหล่งกำเนิดก๊าซออกซิเจน คือ อากาศ) เนื่องจากการเพิ่มปริมาณ TOO เป็น 848.48 มก./ลิตร (ให้โอโซนนาน 2 ชม. จากเครื่องขนาดกำลังผลิต 2 กรัม/ชม.โดยมีแหล่งกำเนิดก๊าซออกซิเจน คือ อากาศ) มีประสิทธิภาพในการปรับปรุงคุณภาพน้ำได้เพิ่มสูงขึ้น ซึ่งที่ความเข้มข้น 424.24 มก./ลิตร สามารถปรับปรุงคุณภาพน้ำได้เพียงเล็กน้อยเท่านั้น

9. การให้ TOO ความเข้มข้น 51.23 มก./ลิตร (ปริมาณ ROC 0.3 มก./ลิตร) ในบ่อเลี้ยงกุ้งกุลาดำวัยรุ่น สามารถลดจำนวนเชื้อแบคทีเรีย *V.harveyi* สายพันธุ์ D331 จาก 8.67 เป็น 5.76 log units ทันทีที่สัมผัสโอโซน และจาก 8.67 เป็น 6.17 log units ในชั่วโมงที่ 24 หลังการให้โอโซน อีกทั้งไม่มีผลต่อเชื้อ *Bacillus sp.* สายพันธุ์ S11 ในลำไส้กุ้ง ลดค่าแอมโมเนียม-ไนโตรเจนจาก 1 เป็น 0.7 มก./ลิตร เพิ่มปริมาณออกซิเจนละลายและส่งผลให้กุ้งมีอัตรารอดสูงกว่ากลุ่มควบคุมที่ไม่มีการให้โอโซนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

ข้อเสนอแนะ

1. ควรมีการทดลองนำน้ำที่ผ่านการให้โอโซนความเข้มข้นต่างๆ มาเลี้ยงกุ้ง โดยศึกษาถึงผลต่อกุ้งกุลาดำ เชื้อแบคทีเรียและจุลชีพต่างๆ และการปรับปรุงคุณภาพน้ำ เพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพระหว่างน้ำที่ผ่านการให้โอโซนก่อนเลี้ยง กับน้ำที่ให้โอโซนโดยตรงขณะเลี้ยง

2. ก่อนการนำโอโซนมาประยุกต์ใช้ในงานเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ ควรกำหนดลักษณะการใช้งานของโอโซนที่แน่นอนควบคู่กับปริมาณโอโซนที่เหมาะสม มีการวางแผนที่เป็นระบบทั้งก่อนการเลี้ยง ระหว่างการเลี้ยงและเมื่อเสร็จสิ้นการเลี้ยง เพื่อประโยชน์และประสิทธิภาพสูงสุดจากโอโซน

3. งานด้านการบำบัดคุณภาพน้ำ ต้องใช้โอโซนความเข้มข้นสูง ดังนั้นขณะทำการทดลอง ผู้ทดลองควรใช้ผ้าปิดจมูก เพราะโอโซนความเข้มข้นสูงมีผลต่อระบบหายใจ อาจทำให้เกิดอาการเวียนศีรษะ และอาเจียนได้

4. การดักจับความชื้นออกจากก๊าซออกซิเจน ที่ใช้ในการผลิตโอโซนแบบ Corona type ด้วยเม็ดซิลิกาเจล ไม่เพียงพอสำหรับการเป่าพ่นโอโซนความเข้มข้นสูงเป็นเวลานาน เนื่องจากเม็ดซิลิกาเจลที่หมดสภาพ จะไม่สามารถดูดจับความชื้นได้อีก จึงต้องมีการเปลี่ยนเม็ดซิลิกาตลอดเวลา การเป่าพ่นโอโซนจึงไม่ต่อเนื่อง ทำให้ความเข้มข้นที่ผลิตได้มีค่าไม่แน่นอน

5. ก่อนการทดลองผลของโอโซนต่อเชื้อแบคทีเรียทั้งแบคทีเรียก่อโรคและแบคทีเรียโพรไบโอติก เพื่อให้ทราบถึงประสิทธิภาพที่แน่นอนของการกำจัดด้วยโอโซน ควรนำหัวทรายพ่นอากาศและน้ำทะเลที่จะนำมาผสมเชื้อ มาผ่านการฆ่าเชื้อในตู้ Autoclave ที่ 121 องศาเซลเซียส นาน 15 นาที

6. จำนวนเชื้อแบคทีเรียโพรไบโอติก (*Bacillus sp.* สายพันธุ์ S11) ในลำไส้กุ้งมีจำนวนน้อยเมื่อเทียบกับความเข้มข้นที่ผสมในอาหาร ทั้งนี้อาจเป็นเพราะมีการเปลี่ยนถ่ายน้ำเลี้ยง เมื่อน้ำเลี้ยงขุ่นและมีค่าแอมโมเนียม-ไนโตรเจนสูงกว่า 1 มก./ลิตร ทำให้เชื้อแบคทีเรียโพรไบโอติกบางส่วนที่ละลายอยู่ในน้ำสูญหายไปพร้อมกับการถ่ายน้ำ

7. ควรมีการคำนวณปริมาณอาหารที่เหมาะสมต่อจำนวนกุ้งที่เลี้ยง เนื่องจากอาหารที่เหลือจากการให้ในอัตราส่วนที่มากเกินไป จะทำให้เกิดการตกค้างของเศษอาหาร น้ำเน่าเสียง่าย จึงต้องมีการเปลี่ยนถ่ายน้ำ ซึ่งจะมีผลให้กุ้งเกิดอาการเครียดได้

8. การนำข้อมูลความเข้มข้นโอโซนมาประยุกต์ใช้ในบ่อดิน ควรมีการศึกษานำร่องก่อน เพราะสภาวะการเลี้ยงจริงในบ่อดินมีการเปลี่ยนแปลงตลอดเวลา เนื่องจากปัจจัยสิ่งแวดล้อมต่างๆ ค่าความเข้มข้นโอโซนที่เหมาะสม อาจต้องขึ้นกับขนาดกำลังผลิตของเครื่องผลิตที่เหมาะสม กับปริมาตรน้ำ ขนาดของบ่อเลี้ยง รวมถึงช่วงเวลาที่เหมาะสมในการเป่าพ่นโอโซนด้วย