การศึกษาประสิทธิภาพของระบบให้อากาศแบบโอทูบับเบิ้ลที่เสริมด้วยโปรตีนสกิมเมอร์ในบ่อเลี้ยงกุ้งขาวแวนนาไม (*Penaeus vannamei*)

Study on Efficiency of Using O_2 bubbles Aeration Hose Added with Protein Skimmer in Vannamei Shrimp Pond

ธนิก นุ้ยสมัน

สาขาวิชาเทคโนโลยีเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ
วิทยาลัยประมงติณสูลานนท์
สถาบันการอาชีวศึกษาเกษตรภาคใต้

ปีการศึกษา 2564

การศึกษาประสิทธิภาพของระบบให้อากาศแบบโอทูบับเบิ้ลที่เสริมด้วยโปรตีนสกิมเมอร์ในบ่อเลี้ยงกุ้งขาวแวนนาไม (*Penaeus vannamei*)

Study on Efficiency of Using O_2 bubbles Aeration Hose Added with Protein Skimmer in Vannamei Shrimp Pond

ธนิก นุ้ยสมัน

สาขาวิชาเทคโนโลยีเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ
วิทยาลัยประมงติณสูลานนท์
สถาบันการอาชีวศึกษาเกษตรภาคใต้

ปีการศึกษา 2564

ใบรับรองโครงงาน

เทคโนโลยีบัณฑิต (ทล.บ.)
สาขาวิชาเทคโนโลยีเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ

เรื่อง **การศึกษาประสิทธิภาพของระบบให้อากาศแบบโอทูบับเบิ้ลที่เสริมด้วยโปรตีนสกิมเมอร์ในบ่อเลี้ยงกุ้งขาวแวนนาไม (*Penaeus vannamei*)**
Study on Efficiency of Using O_2 bubbles Aeration Hose Added with Protein Skimmer in Vannamei Shrimp Pond

โดย **นายธนิก นุ้ยสมัน**

ได้รับพิจารณาเห็นชอบโดย

..... ประธานกรรมการ
(นายกรีฑา ดิษโสภา)
..... กรรมการ
(นางพัชริดา ขำขจร)
..... ประธานหลักสูตร
(นางกฤษณี วงศ์วุฒิวัฒน์) ทำหน้าที่ กรรมการและเลขานุการ

วันที่ 29 ตุลาคม พ.ศ. 2564
วิทยาลัยประมงติณสูลานนท์
สถาบันการอาชีวศึกษาเกษตรภาคใต้
ปีการศึกษา 2564

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยฉบับนี้สำเร็จสมบูรณ์ได้ด้วยดี เพราะได้รับความกรุณาเป็นอย่างสูงจากอาจารย์อภิรักษ์ จันทวงศ์ และอาจารย์ศักดา วงศ์วุฒิวัฒน์ อาจารย์ที่ปรึกษางานวิจัย ที่ได้กรุณาให้คำปรึกษา การแนะนำ และการปรับปรุงแก้ไขข้อบกพร่องต่างๆ ในการทำวิจัยตั้งแต่ต้นตลอดจนเสร็จสมบูรณ์ ผู้ศึกษาขอกราบขอบคุณเป็นอย่างสูง

ขอขอบคุณวิทยาลัยประมงติณสูลานนท์ที่อนุเคราะห์ให้ใช้สถานที่ วัสดุอุปกรณ์การทดลองในการทำโครงการวิจัย และขอกราบพระคุณอาจารย์ทุกท่านในหลักสูตรเทคโนโลยีบัณฑิต ที่ถ่ายทอดองค์ความรู้เพื่อใช้ในการทำโครงการในครั้งนี้ และให้ความช่วยเหลือในทุกๆ ด้าน ในการทดลองตั้งแต่เริ่มต้นจนสิ้นสุดการทดลอง

อนึ่ง ผู้วิจัยหวังเป็นอย่างยิ่งว่า โครงการวิจัยฉบับนี้จะเป็นประโยชน์แก่ผู้อ่านอยู่ไม่น้อยจึงขอมอบส่วนดีทั้งให้แก่เหล่าคณาจารย์ที่ได้รับประสิทธิ์ประสาทวิชา จนทำให้ผลงานเป็นประโยชน์แก่ผู้อ่านทุกท่าน ขอขอบพระคุณบิดา มารดา ในการอบรมเลี้ยงดู ที่ได้ให้โอกาส และสนับสนุนทุนทรัพย์ในการศึกษาตลอดจนให้กำลังใจเสมอมา ร่วมทั้งสมาชิกในครอบครัวที่คอยเป็นกำลังใจให้ความช่วยเหลือในการแก้ปัญหา อุปสรรคต่างๆ และสุดท้ายขอขอบพระคุณทุกท่านที่ไม่ได้เอ่ยนาม ที่ได้ให้การช่วยเหลือและเป็นกำลังใจให้ข้าพเจ้า จนทำให้โครงการวิจัยนี้ ประสบความสำเร็จได้ด้วยดี และข้อบกพร่องต่างๆ ที่อาจเกิดขึ้นนั้น ผู้วิจัยน้อมรับผิดแต่เพียงผู้เดียว และยินดีที่จะรับฟังคำแนะนำชี้แนะจากทุกท่านที่เข้ามาศึกษาโครงการวิจัยฉบับนี้ เพื่อเป็นประโยชน์ในการพัฒนาต่อไป ขอขอบพระคุณ ณ ที่นี้

นายธนิก นุ้ยสมัน
สาขาวิชาเทคโนโลยีเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ
วิทยาลัยประมงติณสูลานนท์ สถาบันการอาชีวศึกษาเกษตรภาคใต้
29 ตุลาคม 2564

เรื่อง การศึกษาประสิทธิภาพของระบบให้อากาศแบบโอทูบับเบิ้ลที่เสริมด้วยโปรตีนสกิมเมอร์ ในบ่อเลี้ยงกุ้งขาวแวนนาไม (*Penaeus vannamei*) Study on Efficiency of Using O_2 bubbles Aeration Hose Added with Protein Skimmer in Vannamei Shrimp Pond

โดย ธนิก นุ้ยสมัน

สาขาวิชา เทคโนโลยีเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ

อาจารย์ที่ปรึกษา อภิรักษ์ จันทวงศ์

ที่ปรึกษารวมโครงงาน ศักดา วงศ์วุฒิวัฒน์

บทคัดย่อ

เนื่องจากปัญหาสำคัญของการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำที่มีมาอย่างยาวนานนั่นก็ คือ ปัญหาการตายของสัตว์น้ำที่มีสาเหตุมาจากน้ำที่ใช้การเลี้ยงมีสภาพที่ไม่เหมาะสมและเป็นพิษต่อสัตว์น้ำ โดยสาเหตุหลักมาจากสารประกอบไนโตรเจน ซึ่งหากมีอยู่เป็นจำนวนมากก็อาจจะเป็นพิษต่อสัตว์น้ำได้ จึงมีแนวคิดค้นนวัฒตกรรมเครื่องโปรตีนสกิมเมอร์ ในการบำบัดน้ำภายในบ่อเลี้ยงสัตว์น้ำ มีวัตถุประสงค์เพื่อลดสารประกอบไนโตรเจนภายในบ่อเลี้ยงกุ้งขาวแวนนาไม ที่สามารถเพิ่มประสิทธิภาพในการเลี้ยงกุ้งขาวแวนนาไม ให้มีอัตราการเลี้ยงที่เพิ่มขึ้น โดยใช้โปรตีนสกิมเมอร์เสริมในบ่อเลี้ยงสัตว์น้ำ โดยจะแบ่งชุดการทดลองเป็น 2 ชุดการทดลอง เปรียบเทียบระหว่างชุดการทดลองที่ 1 ใช้ระบบให้อากาศโอทูบับเบิ้ล และชุดการทดลองที่ 2 ใช้ระบบให้อากาศโอทูบับเบิ้ลที่เสริมด้วยโปรตีนสกิมเมอร์ในการบำบัดน้ำ เพื่อลดสารประกอบไนโตเจนในบ่อเลี้ยงกุ้งขาวแวนนาไม พบว่า ในการเลี้ยง ชุดการทดลองที่ 2 การใช้ระบบให้อากาศโอทูบับเบิ้ลที่เสริมด้วยโปรตีนสกิมเมอร์มีประสิทธิภาพดีกว่า โดยมีปริมาณค่าปริมาณแอมมโมเนีย 0.30±0.01 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาณไนไตรท์ 0.53±0.01 มิลลิกรัมต่อลิตร น้ำหนักเฉลี่ยที่เพิ่มขึ้น 0.28±0.00 กรัมต่อตัว อัตราการเจริญเติบโตเฉลี่ยต่อวัน 0.0094±0.0000 กรัมต่อตัว และอัตราการรอดตายเท่ากับร้อยละ 82.93±0.49 มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) ซึ่งมีค่าที่ดีกว่าระบบให้อากาศโอทูบับเบิ้ล ส่วนค่าปริมาณออกซิเจนละลายในน้ำ 7.02±1.12 มิลลิกรัมต่อลิตร ความยาวเฉลี่ยที่เพิ่มขึ้น 1.70±0.02 เซนติเมตรต่อตัว และอัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อ 1.03±0.04 ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$) ดังนั้น การใช้ระบบให้อากาศโอทูบับเบิ้ลที่เสริมด้วยโปรตีนสกิมเมอร์ในการเลี้ยงกุ้งขาวแวนนาไม สามารถนำมาประยุกต์ใช้ในการเลี้ยงกุ้งขาวแวนนาไมได้ปริมาณผลผลิตและผลตอบแทนที่ดีขึ้น

สารบัญ

	หน้า
สารบัญ	(1)
สารบัญตาราง	(2)
สารบัญภาพ	(4)
บทนำ	
ที่มาและความสำคัญ	1
วัตถุประสงค์	3
การตรวจเอกสาร	
เอกสารวิชาการ	4
งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	21
วิธีการดำเนินงาน	
วัสดุและอุปกรณ์	25
การวางแผนการทดลอง	26
วิธีการทดลอง	26
ผลและวิจารณ์ผลการทดลอง	
ผลการทดลอง	31
วิจารณ์ผลการทดลอง	36
สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ	
สรุปผลการทดลอง	39
ข้อเสนอแนะ	39
เอกสารอ้างอิง	**40**
ภาคผนวก	
ภาพผนวก ก การวิเคราะห์ผลทางสถิติ	44

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
1	อัตราการให้อาหารที่กำหนดตามน้ำหนักกุ้ง	8
2	แสดงค่าเฉลี่ยของปริมาณออกซิเจนละลายน้ำ (Dissolved Oxygen: DO) ของน้ำในบ่อทดลองที่เลี้ยงกุ้งขาวแวนนาไมด้วยระบบให้อากาศโอทูบับเบิ้ล และระบบให้อากาศโอทูบับเบิ้ลเสริมโปรตีนสกิมเมอร์ ระยะเวลา 30 วัน	31
3	แสดงค่าเฉลี่ยของปริมาณแอมโมเนีย (Ammonia) ของน้ำในบ่อทดลองที่เลี้ยงกุ้งขาวแวนนาไมด้วยระบบให้อากาศโอทูบับเบิ้ล และระบบให้อากาศโอทูบับเบิ้ลเสริมโปรตีนสกิมเมอร์ ระยะเวลา 30 วัน	32
4	แสดงค่าเฉลี่ยของปริมาณไนไตรท์ (Nitrite) ของน้ำในบ่อทดลองที่เลี้ยงกุ้งข้าวแวนนาไมด้วยระบบให้อากาศโอทูบับเบิ้ล และระบบให้อากาศโอทูบับเบิ้ลเสริมโปรตีนสกิมเมอร์ ระยะเวลา 30 วัน	32
5	แสดงน้ำหนักเฉลี่ยของกุ้งขาวแวนนาไมที่เลี้ยงด้วยระบบให้อากาศโอทูบับเบิ้ล และระบบให้อากาศโอทูบับเบิ้ลเสริมโปรตีนสกิมเมอร์ ระยะเวลา 30 วัน	33
6	แสดงความยาวเฉลี่ยของกุ้งขาวแวนนาไมที่เลี้ยงด้วยระบบให้อากาศโอทูบับเบิ้ลและระบบให้อากาศโอทูบับเบิ้ลเสริมโปรตีนสกิมเมอร์ ระยะเวลา 30 วัน	33
7	แสดงอัตราการเจริญเติบโตเฉลี่ยต่อวันของกุ้งขาวแวนนาไมที่เลี้ยงด้วยระบบให้อากาศโอทูบับเบิ้ล และระบบให้อากาศโอทูบับเบิ้ลเสริมโปรตีนสกิมเมอร์ ระยะเวลา 30 วัน	34
8	แสดงอัตราการรอดตายของกุ้งขาวแวนนาไมที่เลี้ยงด้วยระบบให้อากาศโอทูบับเบิ้ล และระบบให้อากาศโอทูบับเบิ้ลเสริมโปรตีนสกิมเมอร์ ระยะเวลา 30 วัน	34
9	แสดงอัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อของกุ้งขาวแวนนาไมที่เลี้ยงด้วยระบบให้อากาศโอทูบับเบิ้ล และระบบให้อากาศระบบให้อากาศโอทูบับเบิ้ลเสริมโปรตีนสกิมเมอร์ระยะเวลา 30 วัน	35

สารบัญตาราง (ต่อ)

10	แสดงค่าคุณภาพน้ำในบ่อเลี้ยงกุ้งขาวแวนนาไมที่เลี้ยงด้วยระบบให้อากาศโอทูบับเบิ้ล และระบบให้อากาศโอทูบับเบิ้ลเสริมโปรตีนสกิมเมอร์ ระยะเวลา 30 วัน	35

สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
1	กุ้งขาวแวนนาไม	5
2	ระบบ Recirculating Aquaculture Systems (RAS)	14
3	ระบบไบโอฟลอค (Biofloc)	15
4	ระบบโปรตีนสกิมเมอร์	16
5	ระบบโปรตีนสกิมเมอร์	18
6	ระบบให้อากาศโอทูบับเบิ้ล	26
7	บ่อเลี้ยงกุ้งขาวแวนนาไมที่เสริมด้วยโปรตีนสกิมเมอร์	27
8	วิธีการวัดความยาวกุ้งขาวแวนนาไม	29

บทนำ

ที่มาและความสำคัญ

กุ้งขาวแวนนาไมเป็นกุ้งที่มีการเลี้ยงอย่างแพร่หลายทั่วโลกมากกว่า 30 ประเทศ ดังนั้นในอนาคตการผลิตกุ้งขาวแวนนาไมออกสู่ตลาดโลกจะมีปริมาณมาก โดยเฉพาะในปี พ.ศ. 2546 ประเทศจีน ซึ่งเป็นประเทศที่มีการผลิตกุ้งมากที่สุดในโลกถึง 400,000 ตันต่อปี พบว่ามีจำนวนมากกว่าครึ่งหนึ่งของผลผลิตจะมาจากกุ้งขาวแวนนาไม ส่วนในประเทศไทยเมื่อปี พ.ศ. 2545 มีการผลิตกุ้งขาวแวนนาไมประมาณ 20,000 ตัน แต่ในปี พ.ศ. 2546 ประเทศไทยสามารถผลิตกุ้งขาวแวนนาไมได้จำนวนประมาณ 170,000 ตัน จะเห็นได้ว่ามีปริมาณเพิ่มมากขึ้น และในขณะที่ประเทศไทยเป็นประเทศที่ผลิตกุ้งขาวแวนนาไมได้มากเป็นอันดับสองรองจากประเทศจีน กุ้งขาวแวนนาไมเป็นสัตว์เศรษฐกิจที่สำคัญชนิดหนึ่งที่มีการส่งออกที่สูง และมีการเลี้ยงเป็นจำนวนมากเพราะมีราคาการซื้อขายที่สูงมีการส่งออกทั้งในและต่างประเทศ ทำให้มีการเลี้ยงเป็นจำนวนมากในประเทศมีผลผลิตที่สูงในปี 2561 ผลผลิตกุ้งขาวแวนนาไมของไทยโดยรวมอยู่ที่ประมาณ 2.9 แสนตัน ภาคใต้ตอนล่าง 29 เปอร์เซ็นต์ จากภาคใต้ตอนบน คือ จังหวัดสุราษฎร์ธานี ชุมพร ประจวบคีรีขันธ์ และระนอง ซึ่งผลผลิตที่ลดลงเล็กน้อยจากสภาพแปรปรวนเกิดโรคตามมาและราคากุ้งที่ตกต่ำ ส่วนผลผลิตทั่วโลกคาดว่าปีนี้จะอยู่ที่ประมาณ 3.2 ล้านตัน โดยมีหลายประเทศ เช่น เอกวาดอร์ เวียดนาม อินโดนีเซีย และอินเดีย มีผลผลิตกุ้งเลี้ยงเพิ่มขึ้นมาก เป็นสาเหตุสำคัญที่ส่งผลกระทบต่อราคากุ้งขาวแวนนาไมในประเทศไทยสำหรับการส่งออกกุ้งขาวแวนนาไมในเดือนมกราคม-ตุลาคม 2561 ปริมาณ 1.43 แสนตัน มูลค่า 4.5 หมื่นล้านบาท ปี 2561 จะส่งออกประมาณ 1.8 แสนตัน มูลค่า 5-5.5 หมื่นล้านบาท ขณะที่ปี 2562 คาดว่าจะส่งออก 2 แสนตัน มูลค่า 6 หมื่นล้านบาท (คลังข้อมูลสารสนเทศระดับภูมิภาค ภาคใต้, 2564.) โดยเฉพาะกุ้งขาวแวนนาไมยังเป็นที่นิยมเลี้ยงของเกษตรกรทั่วไป เพราะมีราคาค่าการส่งออกที่สูงของราคากุ้งขาวแวนนาไมในแต่ละวัน ราคาการซื้อขายจะขึ้นอยู่กับสถานการณ์ในแต่ละวัน (สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร, 2562)

รูปแบบการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำในปัจจุบันเปลี่ยนแปลงจากระบบการผลิตแบบดั้งเดิมเข้าไปสู่ระบบการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำแบบหนาแน่น (Intensive Aquaculture System) หรือแบบเข้มข้น (Super-Intensive Aquaculture System) ที่สามารถผลิตสัตว์น้ำที่มีปริมาณมากในพื้นที่จำกัด แต่เน้นการจัดการอาหาร คุณภาพน้ำ และโรคที่ต้องใช้เทคนิคการจัดการคุณภาพน้ำที่ดี เช่น การเติมออกซิเจนลงไปในน้ำ (Aeration) หรือการเปลี่ยนถ่ายน้ำบ่อยครั้ง หรือการจัดการเลนที่เป็นของเสียที่สะสมออกจากบ่อ เมื่อสิ้นสุดระยะเวลาการเลี้ยงในแต่ละรุ่นจะส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม โดยปกติฟาร์มที่มักจะไม่มีระบบบำบัดก่อนปล่อยน้ำทิ้ง แต่อาจจะมีการจัดการพื้นก้นบ่อด้วยการดูดเลนทิ้งไป

เพื่อให้การเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำเป็นธุรกิจที่สามารถประกอบอาชีพได้อย่างยั่งยืน ดังนั้นอาจจะจำเป็นต้องใช้ระบบการหมุนเวียนของน้ำที่ใช้ในบ่อเลี้ยง (Recirculating Aquaculture System, RAS) แล้วนำกลับมาใช้ใหม่เป็นระบบที่ได้พัฒนานำมาใช้กันอย่างกว้างขวางในการเลี้ยงสัตว์น้ำ ซึ่งเป็นระบบที่พัฒนามาจากการเลี้ยงแบบเดิม (ระบบเปิด) สู่การเลี้ยงแบบหนาแน่นการแก่งแย่งความต้องการใช้น้ำของอุตสาหกรรมอื่นๆ การควบคุมมาตรฐาน การทิ้งน้ำเสียจากการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำที่เป็นแนวทางการปฏิบัติของการเลี้ยงสัตว์น้ำที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม ปัญหาขาดแคลนน้ำทั้งด้านคุณภาพและปริมาณสำหรับการเปลี่ยนถ่ายเทน้ำในบ่อ เมื่อน้ำในบ่อมีคุณภาพน้ำเสื่อมลงต่อผลประกอบกับการเลี้ยงกุ้งขาวแวนนาไมที่ปล่อยในอัตราที่หนาแน่น และการเลี้ยงบนพื้นดิน หรือในบ่อเพิ่มมากขึ้นด้วยความจำเป็นที่ต้องเลี้ยงสัตว์น้ำในสภาพพื้นที่ที่มีปริมาณน้ำจำกัด ส่งผลให้เกิดแนวความคิดที่จะนำน้ำที่ผ่านการใช้เลี้ยงสัตว์น้ำแล้วนำกลับมาใช้จนสิ้นสุดการเลี้ยง โดยใช้ระบบ Recirculating Aquaculture System, RAS โดยจะนำเทคโนโลยีต่างๆ จากวิศวกรรมน้ำเสียมาใช้โดยกระบวนการบำบัดรูปแบบต่างๆ เช่น การขจัดเอาปริมาณของแข็ง หรือสารแขวนลอยออกจากเศษอาหารที่เหลือจากการกิน และพวกตะกอนสิ่งขับถ่าย การพัฒนาระบบกรองชีวภาพที่มีประสิทธิภาพ เช่น ใช้วัสดุกรองชีวภาพเพื่อกำจัดสารประกอบ แอมโมเนีย ยูเรีย แล้วนำน้ำที่ผ่านการบำบัดให้มีคุณภาพน้ำที่ดีขึ้นหมุนเวียนกลับมาใช้เลี้ยงสัตว์น้ำใหม่ ปัจจุบันนักวิชาการที่ทำการศึกษายังคงคาดหวังว่าสามารถค้นพบเทคโนโลยีในการบำบัดน้ำเสียให้เป็นน้ำดีได้ที่ง่ายไม่ซับซ้อนและราคาถูก ซึ่งจะส่งผลให้เกษตรกรไม่มีปัญหาเรื่องน้ำเสียในบ่อ ระบบนี้อาจจะตอบโจทย์เรื่องการเลี้ยงสัตว์น้ำในพื้นที่ที่มีปัญหาเรื่องน้ำเสีย เกษตรกรที่มีอาชีพการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำแทบจะขาดกำไรในการเลี้ยงสัตว์น้ำเพราะเกิดจากมูลของสัตว์น้ำ และอาหารที่เหลือก่อให้เกิดสารอินทรีย์ในบ่อเลี้ยง ถ้ามีการเลี้ยงสัตว์น้ำด้วยระบบ RAS น่าจะไม่มีปัญหาเรื่องน้ำเสีย

ปัญหาสำคัญของการเลี้ยงสัตว์น้ำที่มีมาอย่างยาวนานนั่นก็คือปัญหาการตายของสัตว์น้ำที่มีสาเหตุมาจากน้ำที่ใช้การเลี้ยงมีสภาพที่ไม่เหมาะสม และเป็นพิษต่อสัตว์น้ำ โดยสาเหตุหลักมาจากสารประกอบไนโตรเจนคือ แอมโมเนีย และไนไตรท์ ซึ่งหากมีอยู่เป็นจำนวนมากก็จะเป็นพิษต่อสัตว์น้ำได้ โดยการเกิดแอมโมเนียและไนไตรท์นั้นเกิดจากการที่ภายในบ่อมีสารอินทรีย์ที่เป็นของเสียมีอยู่จำนวนมากมาก ซึ่งสารอินทรีย์เหล่านั้นเกิดมาจากของเสียจากตัวสัตว์น้ำ เช่น อาหารที่เหลือจากการกินและมูลของกุ้งขาวแวนนาไม สิ่งเหล่านี้จะทำให้เกิดสารอินทรีย์และเกิดเป็นพิษต่อสัตว์น้ำ โดยปกติสารอินทรีย์เหล่านี้จะมีจุลินทรีย์ที่เป็นตัวย่อยสลายสารตามธรรมชาติ โดยที่จุลินทรีย์เหล่านี้จะใช้ออกซิเจนในการทำให้เกิดปฏิกิริยาการย่อยสลาย แต่เนื่องจากในบ่อมีสารอินทรีย์อยู่เป็นจำนวนมากปริมาณออกซิเจนในน้ำจึงไม่เพียงพอในการเกิดปฏิกิริยาการย่อยสลายซึ่งก่อให้เกิดการหมักจนเกิดปัญหาในเรื่องของไนไตรท์และแอมโมเนีย ซึ่งสาเหตุที่จำเป็นต้องมีการป้องกันในการเกิดแอมโมเนียและไนไตรท์ เป็นเพราะว่าถ้าในแหล่งน้ำพบปริมาณค่าไนไตรท์และแอมโมเนีย ที่สูงเป็นเวลานาน

ซึ่งอาจจะมีผลให้ปริมาณออกซิเจนละลายน้ำลดลงส่งผลต่อสุขภาพสัตว์น้ำ ถ้าพบค่าแอมโมเนียสูงแสดงว่าคุณภาพน้ำไม่ดี เริ่มเน่าเสียซึ่งเป็นพิษต่อสัตว์น้ำ ในเมื่อมีการเลี้ยงกุ้งขาวแวนนาไมที่เน้นให้อาหารที่มีโปรตีนสูง อาจพบว่าค่าไนไตรท์สูงจนทำให้เกิดปัญหาต่อสัตว์น้ำได้ โดยส่วนมากจะเจอปัญหาแอมโมเนียและไนไตรท์ในบ่อที่เป็นบ่อขนาดเล็ก และมีการจัดการกับคุณภาพน้ำไม่ดีพอ เนื่องจากมีการย่อยสลายของสารอินทรีย์ไม่เพียงพอด้วยสาเหตุที่มีออกซิเจนที่เป็นตัวย่อยสารอินทรีย์มีน้อยกว่าบ่อดินบ่อขนาดใหญ่จึงมีการคิดค้นนวัตกรรมที่สามารถลดสารอินทรีย์ในบ่อสัตว์น้ำที่มีชื่อว่าเครื่องโปรตีนสกิมเมอร์ ซึ่งเครื่องนี้ทำงานโดยการอัดอากาศที่เป็นฝอยขนาดเล็กทำหน้าที่ดักจับสารอินทรีย์ในน้ำเพื่อแยกชั้นของน้ำและสารอินทรีย์ออกจากกัน เครื่องโปรตีนสกิมเมอร์นั้นทำงานโดยการที่ใช้เครื่องสูบน้ำโดยจะดูดน้ำจากบ่อเลี้ยงขึ้นมาเข้าสู่ตัวเครื่อง และเมื่อเครื่องทำการแยกสารอินทรีย์ออกจากน้ำแล้วส่วนที่เป็นน้ำก็จะไหลกลับเข้าสู่บ่อเลี้ยง ส่วนที่เป็นสารอินทรีย์จะถูกแยกออก

ผู้วิจัยซึ่งเป็นนักศึกษา สาขาเทคโนโลยีเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ จึงมีแนวคิดเกี่ยวกับการใช้ระบบให้อากาศแบบโอทูบับเบิ้ลเสริมโปรตีนสกิมเมอร์ในบ่อเลี้ยงกุ้งขาวแวนนาไมที่สามารถเพิ่มประสิทธิภาพในการเลี้ยงกุ้งแวนนาไมให้มีอัตราการเลี้ยงที่เพิ่มขึ้นโดยใช้โปรตีนสกิมเมอร์เป็นระบบเสริมในบ่อเลี้ยงของเกษตรกร โดยมีความสนใจที่จะเปรียบเทียบระหว่างบ่อที่ใช้ระบบให้อากาศโอทูบับเบิ้ลในการเลี้ยงกุ้งขาวแวนนาไม และบ่อที่ใช้ระบบให้อากาศโอทูบับเบิ้ลเสริมด้วยโปรตีนสกิมเมอร์ในการเลี้ยงกุ้งขาวแวนนาไมที่อาจจะสามารถลดปริมาณแอมโมเนีย ไนไตรท์ และอัตราการรอดตายที่ดีขึ้นเพราะระบบโปรตีนสกิมเมอร์สามารถลดสารอินทรีย์ในบ่อได้ในปริมาณที่สูงทำให้กุ้งขาวแวนนาไมทำให้เกษตรที่เลี้ยงกุ้งขาวแวนนาไมมีความเจริญเติบโตที่ดี และสามารถเลี้ยงได้ในปริมาณที่เพิ่มขึ้น

วัตถุประสงค์

เพื่อศึกษาประสิทธิภาพของระบบให้อากาศแบบโอทูบับเบิ้ลเสริมด้วยโปรตีนสกิมเมอร์ที่มีผลต่อปริมาณสารประกอบไนโตรเจน และผลผลิตในการเลี้ยงกุ้งขาวแวนนาไม (*Penaeus vannamei*) ระยะ PL12

การตรวจเอกสาร

จากการศึกษาข้อมูลที่ใช้ในการทำโครงการพัฒนาทักษะวิชาชีพ เรื่อง การศึกษาประสิทธิภาพของระบบให้อากาศแบบโอทูบับเบิ้ลเสริมด้วยโปรตีนสกิมเมอร์ ที่มีผลต่อปริมาณสารประกอบไนโตรเจน และผลผลิตในการเลี้ยงกุ้งขาวแวนนาไม (*Penaeus vannamei*) ระยะ PL12 ผู้วิจัยได้ศึกษา ค้นคว้าข้อมูลเอกสารวิชาการ และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง ดังต่อไปนี้

เอกสารวิชาการ

1. กุ้งขาวแวนนาไม (*Penaeus vannamei*)

กุ้งขาวแวนนาไมเป็นกุ้งขาวแวนนาไมพื้นเมืองในทวีปอเมริกาใต้พบทั่วไปบริเวณชายฝั่งมหาสมุทรแปซิฟิกตะวันออกจากตอนเหนือของประเทศเม็กซิโกจนถึงตอนเหนือของประเทศเปรู กุ้งขาวแวนนาไมชนิดนี้มีการเลี้ยงกันมากในประเทศเอกวาดอร์ เม็กซิโก เปรู ปานามา ฮอนดูรัส โคลัมเบีย และบราซิล

1.1 การจำแนกอนุกรมวิธานของกุ้งขาวแวนนาไม

Phylum: Arthropoda

Class: Crustacea

Subclass: Malacostraca

Order: Decapoda

Family: Penaeidae

Genus: Penaeus

Species: vannamei

ที่มา : กมลศิริ พันธนียะ (2564)

1.2 ลักษณะทั่วไป

ลักษณะทั่วไปของกุ้งขาวแวนนาไม ลำตัวมี 8 ปล้องและมีสีขาว หน้าอกใหญ่ การเคลื่อนไหวเร็ว ส่วนหัวมี 1 ปล้อง มีกรีอยู่ในระดับยาวประมาณ 0.8 เท่าของความยาวเปลือกหัว สันกรีสูง ปลายกรีแคบ ส่วนของกรีมีลักษณะเป็นสามเหลี่ยมมีสีแดงอมน้ำตาล กรีด้านบนมี 8 ฟัน กรีด้านล่างมี 2 ฟัน ร่องบนกรีมองเห็นได้ชัด เปลือกหัวสีขาวอมชมพูถึงแดง ขาเดินมีสีขาวที่เป็นลักษณะที่โดดเด่น หนวดแดง 2 เส้นยาว ตาแดงเข้ม ส่วนตัวมี 6 ปล้อง เปลือกตัวสีขาวอมชมพูแดง เปลือกบาง ขาว่ายน้ำ 5 คู่ มีสีขาวปลายมีสีแดง ส่วนหางมี 1 ปล้อง ปลายหางมีสีแดงเข้มแพนหางมี 4 ใบ

และ 1 กรีหาง ขนาดตัวที่โตสมบูรณ์เต็มที่ของกุ้งขาวแวนนาไมสายพันธุ์นี้จะมีขนาดที่เล็กกว่ากุ้งกุลาดำ หากินทุกระดับความลึกของน้ำ ชอบว่ายล่องน้ำแก่งลอกคราบเร็วทุกๆ สัปดาห์ไม่หมกตัว

ภาพที่ 1 กุ้งขาวแวนนาไม
ที่มา: บริษัท ซี-เทค อินเตอร์เทรด จำกัด (2557)

1.3 วงจรชีวิตและการสืบพันธุ์

ในธรรมชาติของกุ้งแวนนาไมสายพันธุ์นี้จะมีอายุขัยประมาณเกือบ 36 เดือน โดยจะวางไข่ที่ระดับน้ำลึกประมาณ 30-60 เมตร ใกล้พื้นทรายปกติแล้วแม่กุ้งขาวแวนนาไมที่มีขนาด 60-120 กรัม จะวางไข่ประมาณ 150,000-250,000 ฟอง ส่วนแม่กุ้งขาวแวนนาไมขนาด 30-45 กรัม จะวางไข่ประมาณไม่เกิน 100,000 ฟอง โดยจะวางไข่ในตอนกลางคืนบนพื้น แม่กุ้งขาวแวนนาไมจะว่ายน้ำอย่างรวดเร็วอยู่ประมาณ 45-60 วินาที แล้วจึงเริ่มออกไข่ขณะที่ลดความเร็วลงอย่างช้าๆ เนื่องจากลักษณะอวัยวะสืบพันธุ์เพศเมียของกุ้งขาวแวนนาไมนี้จะมีลักษณะเป็นแบบปิด

ระบบสืบพันธุ์และการผสมพันธุ์ ในการผสมพันธุ์ปกติแล้วกุ้งขาวแวนนาไมจะผสมพันธุ์ในเวลากลางคืน หลังจากมีการลอกคราบของตัวเมียจะมีการเกี้ยวพาราสี และผสมพันธุ์กันที่ความลึก 10-15 เมตร ถึง 30-50 เมตร ในธรรมชาติแม่กุ้งขาวแวนนาไมที่มีไข่แก่พร้อมที่จะวางไข่นั้นจะสังเกตได้จากรังไข่ เป็นลำทึบมีสีเขียวเกือบดำอยู่บนแถบหลังของลำตัว ตั้งแต่บริเวณหลังไปจรดหาง และตรงบริเวณด้านข้างของลำตัว ตรงปล้องที่ 1-2 จะเห็นรังไข่แผ่ออกไปเป็นหยักๆ โค้งลงมาทางด้านข้างของลำตัวทั้งสองข้าง โดยมีพฤติกรรมในการผสมพันธุ์แบ่งได้เป็น 3 ระยะ คือ ระยะที่หนึ่ง ตัวเมียจะว่ายน้ำขนานไปกับตัวผู้ ตัวเมียจะว่ายน้ำสูงกว่าประมาณ 30-40 เซนติเมตร แล้วว่ายน้ำวกกลับมาสลับกลับการหยุดพักที่พื้นเป็นระยะๆ มักจะมีตัวผู้ว่ายไล่ตามหลายตัว แต่จะมีเพียงตัวเดียวที่สามารถว่ายน้ำเข้ามาขนานซ้อนอยู่ด้านล่างของตัวเมียพอดีแล้วตัวเมียจะค่อยๆ ใช้ขาเดินโอบรัดที่ส่วนหัว (Carapace) ของตัวผู้ใช้เวลาประมาณ 15-20 นาที ถ้าตัวผู้สามารถจัดตำแหน่งได้เหมาะสมถ้ายังจัดตำแหน่งไม่เหมาะสม หรือมีการหยุดพักนาน และอาจจะใช้เวลานาน

มากกว่าหนึ่งชั่วโมง ระยะที่สองตัวผู้จะพลิกตัวค่อยๆ หงายขึ้นมาติดตัวเมีย พอทั้งคู่ประกบกันได้ ตัวผู้จะแนบส่วนต่อของอกกับท้องเข้ากับส่วนนอกด้านล่างของตัวเมีย ซึ่งจะทำให้ตัวผู้ตัวอื่นๆ หมดโอกาสในการเข้าทำการผสมพันธุ์กับตัวเมียในจังหวะนี้ แต่ถ้าในระยะนี้ตัวผู้ยังเข้าทำได้ไม่สำเร็จ ตัวผู้จะกลับมาอยู่ในท่าคว่ำแล้วจะพยายามว่ายน้ำขนานกับตัวเมียเพื่อสร้างโอกาสใหม่อีกครั้ง และระยะที่สามตัวผู้จะทำตัวเกือบตั้งฉากกับตัวเมีย หลังจากจังหวะที่ประกบตัวได้แล้ว ตัวผู้จะใช้ขาเดินคู่ที่ 5 เขี่ยอวัยวะสืบพันธุ์เพศผู้ (Petasma) ซึ่งเห็นง่ายอยู่ด้านข้างเป็นคู่ มีลักษณะคล้ายตะขออยู่ที่ขาว่ายน้ำคู่ที่ 1 ซึ่งเป็นอวัยวะที่ช่วยในการปล่อยน้ำเชื้อแล้วจับ Petasma ยัดเข้าไปที่ Thelycum ของตัวเมีย ซึ่งมีลักษณะเป็นแผ่นรูปคล้ายผีเสื้อกางปีก มีรูเปิดอยู่ตรงกลางยาวลงไปเป็นร่องเหมือนรังกระดุม เสื้อเชิ้ตอยู่ตรงกลางระหว่างขาว่ายน้ำคู่ที่ 1 กับขาเดินคู่ที่ 5 ซึ่งเป็นอวัยวะที่มีไว้สำหรับเก็บน้ำเชื้อของกุ้งขาวแวนนาไมตัวผู้ ภายหลังการเกาะติดแน่นมากเหมือนทากาวแล้วตัวผู้จะโค้งรอบตัวเมียแล้วกระตุกหัวและหางเป็นจังหวะอย่างต่อเนื่องเพื่อบีบให้น้ำเชื้อออกมา โดยตัวเมียจะเก็บน้ำเชื้อเข้าไปแล้วปล่อยไข่เลย ซึ่งในกุ้งขาวแวนนาไมไข่ของตัวเมียจะอยู่ข้างใน ส่วนของน้ำเชื้อที่เข้าไปจะอยู่ด้านนอก ซึ่งปากรูของ Thelycum ต้องเปิดก่อนถึงจะเก็บน้ำเชื้อที่ได้รับมาทำให้ปริมาณของน้ำเชื้อตัวผู้ที่เข้าปฏิสนธิกับไข่เป็นไปอย่างไม่สมบูรณ์ จึงทำให้โอกาสในการได้ไข่ที่ได้รับการผสมแล้วเจริญต่อไปเป็นตัวอ่อน หลังจากนั้นจึงค่อยแยกตัวออกจากกันแล้วว่ายน้ำออกไปในเวลา 2-3 วินาที ซึ่งรวมเวลาทั้งสิ้นในการผสมพันธุ์ทั้งหมดประมาณ 1-3 ชั่วโมง แล้วแม่กุ้งขาวแวนนาไมทำการปล่อยไข่ขณะที่ลดความเร็วการว่ายน้ำลงอย่างช้าๆ แล้วออกทางช่องเปิดบริเวณโคนขาเดินคู่ที่ 3 ประมาณ 45-60 วินาที การวางไข่นี้จะใช้เวลา 3-5 นาที ถ้ากุ้งขาวแวนนาไมวางไข่จะสามารถสังเกตเห็นคราบไขมันที่ลอยอยู่ในบริเวณใกล้เคียง (หรือติดกับขอบบ่อที่ทำการเพาะฟัก)

1.4 สภาพแวดล้อมในการเลี้ยง

กุ้งขาวแวนนาไมเป็นที่เลี้ยงได้ทั้งระบบธรรมชาติ และในระบบกึ่งหนาแน่น ลักษณะพิเศษของกุ้งขาวแวนนาไมสายพันธุ์นี้ สามารถสร้างความคุ้นเคย หรือปรับลักษณะนิสัยภายใต้ในระบบการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำได้ เช่น สามารถทำการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำได้ทั้งในน้ำที่มีระดับความเค็มที่ 5-35 ส่วนในพันส่วน และระดับความเค็มต่ำ 0-5 ส่วนในพันส่วน แต่ระดับความเค็มที่สามารถเจริญเติบโตได้ดี คือ 10-22 ส่วนในพันส่วน ส่วนอุณหภูมิที่สามารถในการเจริญเติบได้ดี คือ 26-29 องศาเซลเซียส แต่สามารถทำการเพาะเลี้ยงได้ที่อุณหภูมิ 25-35 องศาเซลเซียส ระดับออกซิเจนที่ละลายในน้ำควรมีค่า 4-9 มิลลิกรัมต่อลิตร และสำหรับค่าความเป็นกรดด่างควรอยู่ระหว่าง 7.2-8.6 ซึ่งสามารถทำการเพาะเลี้ยงได้ทั้งในบริเวณพื้นที่ชายฝั่ง หรือบริเวณพื้นที่ที่มีความเค็มต่ำ กุ้งขาวแวนนาไมชนิดนี้ค่อนข้างจะชอบน้ำกระด้างที่มีความกระด้างรวม 120 มิลลิกรัมต่อลิตร มีค่าความเป็นด่างในช่วง 80-150 มิลลิกรัมต่อลิตร มีนิสัยที่ไวต่อการเปลี่ยนแปลงสภาวะของน้ำในบ่อเพาะเลี้ยง และตื่นตกใจได้ง่าย

1.5 การคัดเลือกลูกกุ้งขาวแวนนาไม

สำหรับการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำที่ระดับความเค็ม 10 ส่วนในพันส่วน ลักษณะของลูกกุ้งขาวแวนนาไมที่เหมาะสมต้องเป็นลูกกุ้งขาวแวนนาไมที่ได้รับการปรับสภาพเพื่อเลี้ยงที่ระดับความเค็มที่ 10 ส่วนในพันส่วน จากโรงเพาะฟักที่เป็นบ่อปูน ลูกกุ้งขาวแวนนาไมที่มีขนาดระหว่าง PL15 จะมีลักษณะของพุ่มเหงือกพัฒนาครบสมบูรณ์ มีหนวดสีแดงทั่วทั้งเส้น สีแดงของหนวดต้องไม่แดงเป็นปล้องๆ ปลายกรีตรงไม่งอนขึ้น ตาโต ลำตัวอ้วนและสั้น หน้าอกใหญ่ การเคลื่อนไหวเร็วและมีชีวิตรอดหลังจากที่ผ่านการทดสอบการลองน้ำจากบ่อทดสอบที่เตรียมไว้มากกว่า 80 เปอร์เซ็นต์ในเวลา 48 ชั่วโมง ส่วนลักษณะของลูกกุ้งขาวแวนนาไมที่ไม่เหมาะสมในการเพาะเลี้ยง คือ ลูกกุ้งขาวแวนนาไม ที่มีลำตัวยาว ผอม ปลายกรีงอนขึ้น ตาเล็ก หนวดมีสีแดงเป็นปล้อง พบว่าเมื่อลูกกุ้งขาวแวนนาไมลงบ่อดินได้ประมาณ 1 เดือน หากนำมาทดสอบกับน้ำที่มีความเค็มต่ำกว่า 5 ส่วนในพันส่วน ลูกกุ้งขาวแวนนาไมจะทยอยตาย

1.6 การเตรียมบ่อเพาะเลี้ยง (บ่อดิน)

วัดค่าระดับความเป็นกรดเป็นด่างของดินและปรับระดับให้อยู่ที่เหมาะสม โดยใช้ปูนเผา (CaO) ที่มีส่วนผสมของแมกนีเซียมออกไซด์ (MgO) 25-30 เปอร์เซ็นต์ ปริมาณการใช้ขึ้นอยู่กับสภาพดินในแต่ละพื้นที่ ปกติประมาณ 10-20 กิโลกรัมต่อไร่ต่อครั้ง แล้วนำน้ำเข้าบ่อเลี้ยงประมาณ 10 ชั่วโมง ใช้คราดเหล็กคราดดินที่พื้นบ่อและหว่านปูนไปพร้อมๆ กันให้ปูนที่ละลายน้ำซึมลงไปในร่องฟันของคราดที่ความลึกประมาณ 15-20 เซนติเมตร คราดกลับไปกลับมาหลายๆ เที่ยวเพื่อให้น้ำปูนได้ฆ่าเชื้อโรคที่พื้นบ่อ จากนั้นจึงหว่านตามขอบบ่อทิ้งไว้ 1-2 วัน ก่อนนำน้ำเข้าบ่อจะต้องฆ่าเชื้อก่อนโดยนำเข้าจากบ่อพักน้ำ ควรหลีกเลี่ยงการใช้สารเคมีใดๆ ในบ่อเลี้ยงกุ้งขาวแวนนาไมชนิดนี้เนื่องจากกุ้งขาวแวนนาไมเป็นกุ้งที่ได้มาจากธรรมชาติเป็นที่ไม่มีความต้านทานต่อสารเคมี

1.7 การเตรียมน้ำก่อนปล่อยกุ้งขาวแวนนาไม

โดยการหว่านอาหารสำหรับสร้างสัตว์หน้าดินและจุลินทรีย์ จากนั้นนำน้ำเข้าให้ได้ระดับความลึกขอองน้ำที่ 1 เมตร เมื่อนำน้ำเข้าบ่อแล้ว ให้ใส่ปูนแมกนีเซียมออกไซด์ (MgO) อัตรา 10-20 กิโลกรัมต่อไร่ต่อครั้ง ควรใส่เวลากลางวันและตีน้ำไปพร้อมๆ กัน 4-5 วัน ก่อนปล่อยลูกกุ้งขาวแวนนาไมคุณภาพของน้ำที่เปลี่ยนได้ควรมีค่าต่างๆ ดังนี้ อุณหภูมิ 28-32 องศาเซลเซียส ระดับออกซิเจนที่ละลายในน้ำ 5-8 มิลิกรัมต่อลิตร ค่าความเป็นกรดด่าง 7.8-8.8 ค่าความเค็ม 10-12 ส่วนในพันส่วน ค่าความเป็นด่างที่ 100-180 มิลลิกรัมต่อลิตร ค่าความกระด้างรวม 120 มิลลิกรัมต่อลิตร

1.8 อาหาร

อาหารที่ใช้เลี้ยงกุ้งขาวแวนนาไมเป็นอาหารที่เกิดขึ้นในบ่อ จากการที่หว่านอาหารชีวภาพสำหรับสัตว์หน้าดินต่างๆ อาหารอัดเม็ด อาหารเสริมแร่ธาตุในรูปคีเลต อาหารธรรมชาติเช่น สาหร่าย แครอท ฟักทอง กล้วย มะเขือเทศ เพื่อเพิ่มเอนไซม์ และปริมาณสารแอสตาแซนทิน (Astaxantine)

1.9 การให้อาหาร

ในช่วงวันที่ 1 ถึง 40 ให้อาหารที่มีโปรตีนสูง 40 เปอร์เซ็นต์ อาหารของกุ้งขาวแวนนาไม อาจจะใช้อาหารที่มีโปรตีนต่ำ 30 เปอร์เซ็นต์ แต่มีกรดอะมิโนที่จำเป็นครบก็ได้ ในช่วงวันที่ 41 จนถึงวันที่จับขาย ให้อาหารที่มีโปรตีนต่ำลงมาประมาณ 30-35 เปอร์เซ็นต์ สามารถให้อาหารในจำนวนมื้อควรจำกัดอยู่ที่ 3 มื้อ คืออาจจะเป็นเวลา 08.00 น. 16.00 น. และ 22.00 น. ทั้งนี้แล้วแต่ความสะดวกมื้อเที่ยงควรงด และควรใช้ตารางอาหารเป็นหลักประกอบกับการเช็ค เมื่อต้องการตรวจสภาพอาหารสามารถวัดได้จากค่าแอมโมเนีย ควรวัดค่านี้อย่างน้อย 2 ครั้งต่อสัปดาห์ หากค่าแอมโมเนียเพิ่มแสดงว่าอาจมีอาหารเหลือเนื่องจากให้อาหารมากเกินไป ดังนั้นให้ลดปริมาณอาหารในอาทิตย์ต่อไปลงมื้อละ 0.5-1 กิโลกรัม และหากค่าแอมโมเนียลดลง ให้รักษาระดับการให้อาหารในปริมาณไว้ก่อน หลังจากนั้นจึงค่อยๆ ปรับการให้อาหารเพิ่มขึ้น ใช้สวิงช้อนดูที่พื้นบ่อแบบเดียวกับการตรวจสอบอาหารทีกุ้งขาวแวนนาไมกิน และตัดสินใจเพื่อจะปรับลด หรือเพิ่มตามความเหมาะสม

ตารางที่ 1 อัตราการให้อาหารที่กำหนดตามน้ำหนักกุ้ง

น้ำหนักเฉลี่ย (กรัม)	อัตราการให้อาหาร (เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักต่อวัน)	น้ำหนักเฉลี่ย (กรัม)	อัตราการให้อาหาร (เปอร์เซนต์ของน้ำหนักต่อวัน)
<1	35-25	9.0-9.9	4.0-3.75
0.1-0.24	25-20	10.0-10.9	3.75-3.5
0.25-0.49	20-15	11.0-11.9	3.5-3.25
0.5-0.9	15-11	12.0-12.9	3.25-3.0
1.0-1.9	11-8	13.0-13.9	3.0-2.75
2.0-2.9	8-7	14.0-14.9	2.75-2.5
3.0-3.9	7-6	15.0-15.9	2.5-2.3
4.0-4.9	6-5.5	16.0-169	2.3-2.1
5.0-5.9	5.5-5.0	17.0-17.9	2.1-2.0

ตารางที่ 1 อัตราการให้อาหารที่กำหนดตามน้ำหนักกุ้ง (ต่อ)

น้ำหนักเฉลี่ย (กรัม)	อัตราการให้อาหาร (เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักต่อวัน)	น้ำหนักเฉลี่ย (กรัม)	อัตราการให้อาหาร (เปอร์เซนต์ของน้ำหนักต่อวัน)
6.0-6.9	5.0-4.5	18.0-18.9	2.0-1.9
7.0-7.9	4.5-4.25	19.0-19.9	1.9-1.8
8.0-8.9	4.25-4.0	20.0-20.9	1.8-1.7

ที่มา: บริษัท เบทาโกร จำกัด (2564)

1.10 การเติมน้ำหรือถ่ายน้ำ

ในระหว่างการเลี้ยงควรมีการเติมน้ำหรือถ่ายน้ำทุกๆ 10 วัน โดยระดับน้ำจะต้องเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ จนกระทั่งอยู่ที่ระดับ 1.50 เมตร เมื่อกุ้งขาวแวนนาไมอายุได้ 60 วัน ทุกครั้งที่เติมน้ำหรือถ่ายน้ำให้เติมปูนแมกนีเซียมออกไซด์ (MgO) ทุกครั้งในอัตรา 10 กิโลกรัมต่อไร่ ควรหว่านในเวลากลางคืน จากบริเวณกลางบ่อจนรอบ จะสังเกตเห็นว่ากุ้งขาวแวนนาไมจะกินอาหารดีขึ้นทุกครั้งที่มีการเปลี่ยนถ่ายน้ำ และเพิ่มปูนแมกนีเซียมออกไซด์ (MgO) เมื่อครบกำหนด 30 วัน ควรทำการสุ่มตัวอย่างกุ้งขาวแวนนาไมด้วยแหไนล่อนขนาดตาถี่ 2 เซนติเมตร เพื่อตรวจสอบน้ำหนักของกุ้งขาวแวนนาไม และเปรียบเทียบกับตารางอาหาร หากพบว่าแตกไซต์มากแสดงว่าอาหารที่ให้ไม่เพียงพอต้องเพิ่มอาหารโดยทันที

1.11 ระยะลูกกุ้งขาวแวนนาไม

ลูกกุ้งขาวแวนนาไมจะมีอวัยวะครบสมบูรณ์เช่นเดียวกับพ่อแม่ทุกอย่าง สามารถแยกเพศได้เนื่องจากการเจริญเติบโตที่สมบูรณ์ของอวัยวะสืบพันธุ์ในตัวผู้จะมี Petasma สมบูรณ์ในตัวเมียจะมี Thelycum สมบูรณ์ ลูกกุ้งขาวแวนนาไมวัยเจริญพันธุ์ (Subadult) กุ้งขาวแวนนาไมในระยะนี้จะมีความสมบูรณ์ทางเพศ โดยตัวผู้จะมีการผลิตน้ำเชื้อและเก็บเอาไว้ในถุงเก็บน้ำเชื้อ (Terminal Ampules) และถ้ามีการผสมพันธุ์ตัวเมียสามารถเก็บน้ำเชื้อใน Thelycum การผสมพันธุ์ครั้งแรกมักจะเริ่มเมื่อตัวผู้มีความยาวของปล้องหัวตั้งแต่ประมาณ 30 มิลลิเมตร และตัวเมียมีความยาวปล้องหัวประมาณ 40 มิลลิเมตร ขึ้นไปถ้าอยู่ในธรรมชาติกุ้งขาวแวนนาไมจะผสมพันธุ์ในบริเวณชายฝั่งในย่านน้ำกร่อยก่อนในครั้งแรก แล้วจึงอพยพไปสู่บริเวณทะเลน้ำลึกต่อไป เมื่อโตเต็มวัย (Adult) กุ้งระยะนี้จะมีการสืบพันธุ์ที่สมบูรณ์แบบผสมพันธุ์กันที่ความลึก 10-15 เมตร ในธรรมชาติโดยมีการผสมพันธุ์ได้หลายครั้ง จะมีการลอกคราบทุก 7-10 วัน ในตัวเมียและตัวผู้จะลอกคราบทุก 14-21 วัน ตัวเมียสามารถจะวางไข่ได้ทั้งในน้ำตื้น และน้ำลึก

1.12 ข้อดีของกุ้งขาวแวนนาไม ที่แตกต่างจากกุ้งกุลาดำ

1.12.1 ทนต่อความเค็มได้ในช่วงกว้างตั้งแต่ 0.5-4.5 ส่วนในพันส่วน โดยจะมีการเจริญเติบโตได้ดีในช่วงค่าความเค็มที่ 10-30 ส่วนในพันส่วน

1.12.2 ทนต่อสภาพออกซิเจนต่ำได้ดี พบว่าแม้ออกซิเจนต่ำถึง 0.8 มิลลิกรัมต่อลิตร เป็นเวลาหลายชั่วโมงก็ยังไม่ตายแต่การเจริญเติบโตจะดีถ้าออกซิเจนมีค่าตั้งแต่ 4 มิลลิกรัมต่อลิตร

1.12.3 ค่าความเป็นกรดด่างที่เหมาะสมคือ 7.0-8.5 ถ้าแม้ว่าค่าความเป็นกรดด่างบางครั้งขึ้นสูง 10 ก็ยังไม่ตาย

1.12.4 ใช้อาหารโปรตีนต่ำ ทำให้ต้นทุนการผลิตถูกลงนอกจากยังสามารถใช้อาหารธรรมชาติจากบ่อได้อย่างมีประสิทธิภาพอัตราแลกเนื้อต่ำ โดยทั่วไปถ้าให้อาหารถูกต้องจะต่ำกว่า 1.5

1.12.5 ตลาดมีความต้องการสูงและมีตลาดทั่วโลก โดยเฉพาะตลาดอียู และอเมริกา

2. คุณภาพน้ำที่เหมาะสมในการเลี้ยงกุ้งขาวแวนนาไม

2.1 ความเค็ม (Salinity)

เป็นดัชนีวัดปริมาณความเข้มข้นของอิออน ที่ละลายในน้ำ แสดงหน่วยเป็นหนึ่งส่วนในพันส่วน (ppt) ค่าความเค็มของน้ำทะเลจะขึ้นอยู่กับปริมาณอิออนที่สำคัญ 7 ชนิด ได้แก่ โซเดียม (Sodium) โปแตสเซียม (Potassium) แคลเซียม (Calcium) แมกนีเซียม (Magnesium) คลอไรด์ (Chloride) ซัลเฟต (Sufate) และไบคาร์บอเนต (Bicarbonate) ในน้ำทะเลทั่วไปจะมีความเค็มประมาณ 34 ส่วนในพันส่วน ส่วนในบริเวณปากแม่น้ำหรือน้ำกร่อยมีค่าอยู่ระหว่าง 2-30 ส่วนในพันส่วน ขึ้นอยู่กับระยะทางจากปากแม่น้ำ และปริมาณน้ำจืดที่ไหลลงมาในบริเวณนี้ ในการเลี้ยงกุ้งขาวแวนนาไมมีความเค็มอยู่ระหว่าง 25-35 ส่วนในพันส่วน แต่ระดับที่เหมาะสมคือ 20-25 ส่วนในพันส่วน ปัจจุบันเราพบว่าการเลี้ยงกุ้งขาวแวนนาไมที่ความเค็ม 3-10 ส่วนในพันส่วน จะเลี้ยงกุ้งขาวแวนนาไมได้ง่ายเนื่องจากมีปัญหาเรื่องความเสียหายจากโรคกุ้งขาวแวนนาไมน้อยมาก โดยเฉพาะปัญหาจากโรคแบคทีเรียเรืองแสงในบ่อกุ้งขาวแวนนาไมเป็นต้น เกษตรกรหลายรายจึงได้หันมาเลี้ยงกุ้งขาวแวนนาไมในระบบความเค็มต่ำมาก

2.2 อุณหภูมิ (Temperature)

การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิในน้ำ มีผลทางตรงและอ้อมต่อสัตว์น้ำ ในทางตรงอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้น 1 องศาเซลเซียส ทำให้ขบวนการเมตาบอลิซึมภายในร่างกายสัตว์น้ำเพิ่มขึ้น 10 เท่า ทำให้สัตว์น้ำมีความต้องการอาหาร ออกซิเจนเพิ่มขึ้น ส่วนทางอ้อมมีผลต่อกิจกรรมการย่อยสลายอินทรีย์สารของจุลินทรีย์ ส่งผลให้ปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำลดลง และการละลายออกซิเจนในน้ำที่ลดลงเช่นกัน สำหรับอุณหภูมิในน้ำที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของกุ้งขาวแวนนาไมในเขตร้อน

คือ 28-33 องศาเซลเซียส ถ้ามีการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของน้ำอย่างรวดเร็วของกุ้งขาวแวนนาไมจะเกิดอาการช็อกเกร็งได้ มีลักษณะคล้ายเป็นตะคริว

2.3 ปริมาณออกซิเจนละลายน้ำ (Dissolved oxygen, DO)

ออกซิเจนเป็นปัจจัยที่นับว่ามีความสำคัญต่อการดำรงชีวิต เนื่องจากสัตว์น้ำทุกชนิดจำเป็นต้องใช้ออกซิเจนในขบวนการต่างๆ ภายในร่างกาย เพื่อการเจริญเติบโต กุ้งขาวแวนนาไมมีความต้องการปริมาณออกซิเจนละลายในน้ำตั้งแต่ 5 มิลลิกรัมต่อลิตร ขึ้นไปถือว่าเป็นสภาวะที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของกุ้งขาวแวนนาไม การเปลี่ยนแปลงปริมาณออกซิเจนละลายน้ำในรอบวัน ปริมาณออกซิเจนละลายน้ำมีแนวโน้มสูงขึ้นตั้งแต่ 8:00 น. ไปจนถึง 15:00 น. ซึ่งเป็นค่าสูงสุด และมีแนวโน้มลดลงตั้งแต่เวลา 18:00 น. ไปเรื่อยๆ จนถึง 6:00 น. ซึ่งจะเป็นค่าต่ำสุด ปริมาณออกซิเจนที่ละลายน้ำบริสุทธิ์ที่อุณหภูมิของน้ำ 25 องศาเซลเซียส จะมีปริมาณออกซิเจนอิ่มตัวในประมาณที่ 8.24 มิลลิกรัมต่อลิตร ในเมื่ออุณหภูมิน้ำเพิ่มขึ้นเป็น 30 องศาเซลเซียส และจะมีปริมาณที่ออกซิเจนอิ่มตัวในน้ำ 7.54 มิลลิกรัมต่อลิตร ส่วนในน้ำทะเลที่ความเค็ม 30 ส่วนในพันส่วน และอุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส จะมีปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำประมาณ 6.39 มิลลิกรัมต่อลิตร ถ้าอุณหภูมิของน้ำสูงขึ้น หรือค่าความเค็มเพิ่มขึ้น ปริมาณออกซิเจนละลายน้ำจะมีค่าลดลง ปริมาณออกซิเจนละลายน้ำมีผลต่อการดำรงชีวิตของกุ้งขาวแวนนาไมมากถ้าปริมาณออกซิเจนละลายน้ำมีค่าต่ำกว่า 5 มิลลิกรัมต่อลิตร กุ้งขาวแวนนาไมอาจจะมีการเจริญเติบโตช้ากว่าปกติ กุ้งขาวแวนนาไมจะมีการเจริญเติบโตดีถ้ามีปริมาณออกซิเจนละลายน้ำสูงกว่า 5 มิลลิกรัมต่อลิตร ปัจจัยที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของปริมารออกซิเจนละลายน้ำ ได้แก่ แสงแดด การไหลเวียนของน้ำ แพลงก์ตอนพืชและสัตว์น้ำ พืชน้ำ ความโปร่งแสง ความลึกของบ่อ และปริมาณจุลินทรีย์ สิ่งขับถ่าย รวมทั้งปริมาณอาหารที่เหลือจากการกินของกุ้งขาวแวนนาไม จะมีปัญหาการขาดออกซิเจนในบ่อเลี้ยงกุ้งขาวแวนนาไมจะพบในบ่อที่ปล่อยไปในปริมาณมาก หรือมีกุ้งขาวแวนนาไมติดมากแต่มีเครื่องให้อากาศไม่เพียงพอ โดยเฉพาะในช่วงเดือนสุดท้าย ในบ่อที่มีกุ้งขาวแวนนาไมหนาแน่นเมื่อมีการให้อาหารในปริมาณที่มากในแต่ละวัน เศษอาหารที่เหลือและของเสียที่กุ้งขาวแวนนาไมขับถ่ายออกมามากนั้นจะมีการดึงออกซิเจนไปใช้ในการย่อยสลายสิ่งเหล่านี้ รวมทั้งการหายใจของแพลงก์ตอนที่มีหนาแน่น และการหายใจของกุ้งขาวแวนนาไมที่มีขนาดใหญ่ขึ้นในบ่อเลี้ยงจะมีผลทำให้ออกซิเจนในตอนเช้าลดต่ำลงมาก ถ้ามีกุ้งขาวแวนนาไมในปริมาณมาก และเครื่องให้อากาศไม่เพียงพอ กุ้งขาวแวนนาไมอาจจะลอยตามผิวน้ำตั้งแต่ตอนกลางคืนหลังเที่ยงคืนจนถึงเช้ามืด เมื่อออกซิเจนที่ละลายในน้ำอยู่ในช่วง 1.7-2.0 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาณออกซิเจนที่สูงกว่าระดับนี้กุ้งขาวแวนนาไมจะไม่ลอย แต่พบว่าถ้าออกซิเจนต่ำกว่า 3.0 มิลลิกรัมต่อลิตร กุ้งขาวแวนนาไมจะไม่แข็งแรง การกินอาหารจะลดต่ำลงกว่าปกติ ในช่วงที่กุ้งขาวแวนนาไมกำลังลอกคราบ ถ้าระดับออกซิเจนต่ำอาจจะลอกคราบแล้วตายได้ ดังนั้นควรจะวัดค่าออกซิเจนอย่างสม่ำเสมอเป็นประจำ

อย่างน้อยวันละครั้งในช่วงเช้า หรือวันละหลายๆ ครั้ง สำหรับบ่อที่มีการเลี้ยงกุ้งขาวแวนนาไม อย่างหนาแน่นเพื่อเป็นข้อมูลในการเลี้ยงสัตว์น้ำ และเป็นแนวทางในการเลี้ยงกุ้งขาวแวนนาไม ในรุ่นต่อๆ ไปการวัดค่าออกซิเจนควรจะวัดในบริเวณที่ลึกที่สุดของบ่อ หรือก้นบ่อ เนื่องจาก กุ้งขาวแวนนาไมจะใช้เวลาส่วนใหญ่หากินอาหารอยู่ที่บริเวณพื้นบ่อ

2.4 ความเป็นกรดด่าง (pH)

เป็นดัชนีแสดงความเข้มข้นของไฮโดรเจนอิออนในน้ำ ในทางปฏิบัติจะแสดงถึง ความเป็นกรดด่างของน้ำที่มีคุณสมบัติเป็นกรดจะมีค่าความเป็นกรดด่างต่ำกว่า 7 น้ำที่มีคุณสมบัติ เป็นกลางจะมีค่าความเป็นกรดด่างเป็น 7 ในแหล่งน้ำกร่อยทั่วไปมีค่าความเป็นกรดด่าง 7-8 แพลงก์ตอนพืชส่วนใหญ่เจริญได้ดีในน้ำที่มีค่าความเป็นกรดด่างอยู่ระหว่าง 8-8.2 สำหรับ กุ้งขาวแวนนาไมจะเจริญเติบโตได้ดี เมื่อค่าความเป็นกรดด่างของน้ำมีค่าอยู่ระหว่าง 6-9 จะมีการเจริญเติบโตช้า ถ้ามีค่าความเป็นกรดด่างอยู่ระหว่าง 4-6 และ 9-11 และ จะไม่สามารถ ดำรงชีวิตอยู่ได้ ถ้าค่าความเป็นกรดด่าง มีค่าต่ำกว่า 4 และสูงกว่า 11 ค่าความเป็นกรดด่างของน้ำ จะมีค่าเพิ่มขึ้นในเวลากลางวัน เนื่องจากการสังเคราะห์แสงของแพลงก์ตอนพืชในเวลากลางวัน จะทำให้ปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ในน้ำลดลง ส่งผลความเป็นด่างสูงขึ้น และในเวลากลางคืน มีค่าความเป็นกรดด่างของน้ำลดลง เนื่องจากกระบวนการหายใจของสิ่งมีชีวิตที่อยู่ในน้ำ จะคายคาร์บอนไดออกไซด์ออกมา ซึ่งจะทำให้น้ำมีความเป็นกรดมากขึ้น การเปลี่ยนแปลง ค่าความเป็นกรดด่างของน้ำในรอบวันมากเกินไปจะมีผลทำให้กุ้งขาวแวนนาไมเครียดมีผลต่อการ เจริญเติบโตด้วย การแก้ปัญหาโดยการลดปริมาณแพลงก์ตอน หรือถ่ายน้ำมากขึ้นเพื่อลดความเข้ม ของสีน้ำ หรือในกรณีที่มีค่าความเป็นกรดด่างในน้ำต่ำ จำเป็นที่จะต้องมีการเติมวัสดุปูนเพื่อเพิ่มระดับ ค่าความเป็นกรดด่างจะทำให้ค่าความเป็นกรดด่างของน้ำตอนเช้าและตอนบ่ายเปลี่ยนแปลงน้อยลง ส่วนในกรณีที่ค่าความเป็นกรดด่างในน้ำตอนบ่ายสูงมาก เนื่องจากมีการใช้คาร์บอนไดออกไซด์ ไปในการสังเคราะห์ด้วยแสงมากขึ้น การเปิดเครื่องให้อากาศแบบเคล้าน้ำแทนการใช้ใบพัดตีน้ำ จะทำให้การเพิ่มจำนวนของแพลงก์ตอนไม่มากนัก ซึ่งมีผลให้ค่าความเป็นกรดด่างของน้ำไม่สูง จนเกินไป

2.5 ความเป็นด่าง (Alkalinity)

เป็นค่าที่ขึ้นอยู่กับปริมารความเข้มข้นของเบส (Bases) ที่ละลายน้ำอันได้แก่ อิออน ของไบคาร์บอเนต (HCO_3^-) และคาร์บอเนต มีหน่วยวัดเป็นปริมาณมิลลิกรัมต่อลิตรของแคลเซียมคาร์บอเนต ค่าความเป็นด่างที่เหมาะสำหรับการดำรงชีวิตของกุ้งขาวแวนนาไมควรมีค่าในช่วง 70-120 มิลลิกรัมต่อลิตร ของแคลเซียมคาร์บอเนต ค่าดัชนีชนิดนี้มีคุณสมบัติในการควบคุมค่าความเป็นกรดด่างของน้ำให้คงที่ ค่าความเป็นด่างในน้ำที่เหมาะสมกับการเลี้ยงกุ้งขาวแวนาไม ควรอยู่ในปริมาณ 80-150 มิลลิกรัมต่อลิตร การปรับค่าความเป็นด่างมักใช้ปูนคาร์บอเนตหรือโดโลไมด์

2.6 แอมโมเนีย (Ammonia)

ส่วนใหญ่เกิดจากกระบวนการเมตาบอลิซึมของสิ่งมีชีวิตในน้ำ และกระบวนการย่อยสลาย (Decomposition) สารอินทรีย์ของจุลินทรีย์ในน้ำ แอมโมเนียที่พบในน้ำมี 2 รูป คือ อัลอิออนแอมโมเนีย (Un-Ionized Ammonia, NH_3) และแอมโมเนียมอิออน (Ammonium Ion, NH_4^+) ความเป็นพิษของแอมโมเนียที่มีต่อสัตว์น้ำ ส่วนใหญ่เกิดจากสัตว์น้ำไม่สามารถขับแอมโมเนียที่สะสมภายในร่างกายออกสู่ภายนอกได้ นอกจากนี้แอมโมเนียยังสามารถทำลายเหงือกสัตว์น้ำได้ ส่งผลให้ประสิทธิภาพการแลกเปลี่ยนออกซิเจนเข้าสู่ภายในร่างกายลดลง โดยปกติแล้วแอมโมเนียมอิออน (ไม่เป็นพิษต่อกุ้งขาวแวนนาไมเพราะไม่สามารถซึมผ่านผนังเซลล์ได้) การเกิดแอมโมเนียทั้ง 2 รูปแบบ ขึ้นอยู่กับความสมดุลของอุณหภูมิกับค่าความเป็นกรดด่าง โดยมีค่าความเป็นกรดด่างจะเป็นปัจจัยสำคัญกว่าอุณหภูมิ ความเป็นกรดด่างของน้ำสูงขึ้น แอมโมเนียจะมีปริมาณเพิ่มมากขึ้น ในบ่อเลี้ยงสัตว์น้ำปริมาณแอมโมเนียรวม จะต้องไม่ควรเกิน 1 มิลลิกรัมไนโตรเจนต่อลิตร เมื่อแอมโมเนียในน้ำมีปริมาณสูงขึ้น จะมีผลให้การขับถ่ายของกุ้งขาวแวนนาไมทำได้น้อยลงทำให้เกิดการสะสมของแอมโมเนียในเลือดและเนื้อเยื่อ ส่งผลให้ค่าความเป็นกรดด่างของเลือดเพิ่มขึ้นและมีผลต่อการทำงานของเอ็นไซม์ แอมโมเนียจะทำให้การใช้ออกซิเจนของเนื้อเยื่อสูงขึ้น แอมโมเนียจะไปทำลายเหงือกและความสามารถในการขนส่งออกซิเจนและทำให้กุ้งขาวแวนนาไมอ่อนแอ ติดโรคได้ง่าย ระดับความเข้มข้นของแอมโมเนียที่ทำให้สัตว์น้ำตายโดยปกติอยู่ในช่วง 0.4-2.0 มิลลิกรัมต่อลิตร ในรูปของแอมโมเนีย ในการทดลองแบบพิษเฉียบพลันระหว่าง 24-72 ชั่วโมง แต่สำหรับกุ้งขาวแวนนาไมมีรายงานว่า แอมโมเนียที่ความเข้มข้น 1.29 มิลลิกรัมต่อลิตร ในรูปแอมโมเนีย จะทำให้กุ้งขาวแวนนาไมตายได้ถึง 50 เปอร์เซ็นต์ ในระยะเวลา 48 ชั่วโมง

2.7 ไนไตรท์ (Nitrite)

เป็นสารตัวกลางที่ได้จากขบวนการ Nitrification ของแอมโมเนีย โดยมีแบคทีเรียชนิด *Nitrosomonas* sp. และ *Nitrobactor* sp. เป็นสารที่มีพิษต่อสัตว์น้ำความเป็นพิษของไนไตรท์ในกุ้งขาวแวนนาไม (*Penaeus vannamei)* ระยะ Zoae ที่ 24 ชั่วโมง Lethal Concentration (LC-50) เท่ากับ 13.20 มิลลิกรัมไนโตรเจนต่อลิตร ซึ่งในบ่อเลี้ยงกุ้งขาวแวนนาไมไนไตรท์มีไม่ควรเกิน 0.1 มิลลิกรัมไนโตรเจนต่อลิตร ความเป็นพิษของไนไตรท์ต่อสัตว์น้ำเกิดจากการที่ไนไตรท์ไปออกซิไดซ์ ซึ่งเป็นองค์ประกอบฮีโมโกลบิน ทำให้กลายเป็นเมธิโมโกลบินซึ่งไม่สามารถขนถ่ายออกซิเจนได้ ทำให้เกิดการตายเนื่องจากขาดออกซิเจน และคาดว่าขบวนการเช่นเดียวกันนี้อาจเกิดกับฮีโมไซยานินของพวกกุ้งขาวแวนนาไมระดับความเป็นพิษของไนไตรท์จะเพิ่มขึ้นเมื่อปริมาณออกซิเจนละลายน้ำ และค่าความเป็นกรดด่างของน้ำลดลง นอกจากนี้ความเป็นพิษของไนไตรท์จะถูกยับยั้งโดยคลอไรด์ในน้ำ ดังนั้นในน้ำทะเลซึ่งมีคลอไรด์สูงความเป็นพิษของไนไตรท์ต่อสัตว์น้ำ

จึงค่อนข้างต่ำ เกษตรกรผู้เลี้ยงกุ้งขาวแวนนาไมที่ใช้น้ำทะเลโดยตรงนั้นปัญหาของความเป็นพิษของไนไตรท์ต่อกุ้งขาวแวนนาไมจะน้อย แต่สำหรับเกษตรกรผู้ที่เลี้ยงกุ้งขาวแวนนาไมในระบบความเค็มต่ำ ซึ่งน้ำในบ่อมีปริมาณของคลอไรด์ในน้ำน้อย ปัญหาความเป็นพิษของไนไตรท์ในบ่อจึงเกิดได้ง่ายกว่า การใส่เกลือหรือเติมเกลือลงในน้ำจึงมีความจำเป็นอย่างมากหากพบว่าค่าไนไตรท์ในบ่อสูง

3. ระบบบำบัดน้ำ

3.1 รูปแบบระบบ Recirculating Aquaculture Systems (RAS)

เทคโนโลยีเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำรูปแบบระบบ Recirculating Aquaculture Systems (RAS) เป็นลักษณะการทำประมงหมุนเวียนมีการพัฒนาใช้งานอย่างแพร่หลายในยุโรปและอเมริกา สามารถเลี้ยงสัตว์น้ำได้หลากหลายชนิด ไม่ว่าเป็นแบบชนิดเดียว หรือแบบหลายๆ ชนิดรวมกัน RAS หลักการทำงานของระบบ RAS

3.1.1 การเอาของเสียจากการขับถ่าย และอาหารที่ปลากินไม่หมด รวมทั้งวัตถุขนาดเล็ก ที่มาจากกิจกรรมในชีวิตของปลา โดยการกรองทางกลด้วยดรัมฟิลเตอร์ หรือ Drum Filter และสคิมเมอร์ หรือ Skimmer

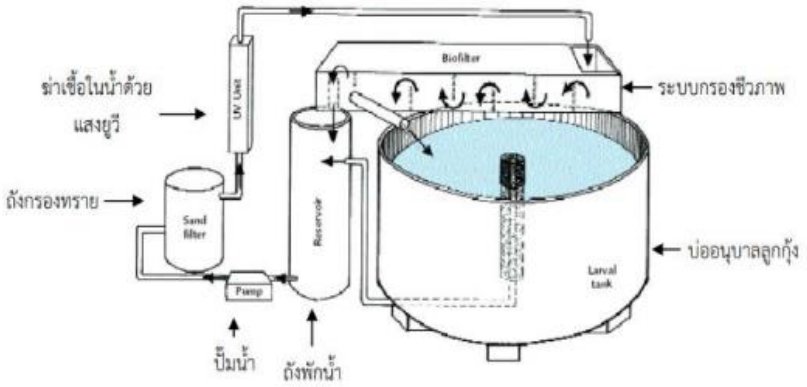
3.1.2 ลดปริมาณแบคทีเรียมีชีวิตในน้ำด้วยการเติมโอโซน

3.1.3 ช่วยการสลายตัวของสารอินทรีย์ต่างๆ และกรองแยกด้วยไบโอฟิลเตอร์

3.1.4 แปลงแอมโมเนียที่เป็นพิษไปเป็นไนเตรต

3.1.5 แยก CO_2 หรือคาร์บอนไดออกไซด์ ออกด้วยไบโอฟิลเตอร์

3.1.6 เพิ่มออกซิเจนในน้ำด้วยไบโอฟิลเตอร์และเครื่องกำเนิดออกซิเจน



ภาพที่ 2 ระบบ Recirculating Aquaculture Systems (RAS)

ที่มา : Thum Namprom (2563)

3.2 รูปแบบระบบไบโอฟลอค (Biofloc)

Biofloc Technology คือ ใช้หลักการนำตะกอนจุลินทรีย์มาช่วยย่อยสลายของเสียในบ่อ (แอมโมเนีย) ใช้จุลินทรีย์ในการบำบัดน้ำ เปลี่ยนของเสียให้กลายเป็นของดีที่มีประโยชน์ต่อสัตว์น้ำไม่ต้องเปลี่ยนน้ำ ไม่ต้องมีแหล่งน้ำตามธรรมชาติ แต่ต้องเป็นน้ำที่นำมาใส่ในระบบมีค่าความเป็นกรด-ด่างเป็นกลาง กระบวนการทำงานของไบโอฟลอค เมื่อเติมสารอาหารพวกคาร์โบไฮเดรตลงไปมันจะไปกระตุ้นให้ไบโอฟลอคดึงไนโตรเจน (แอมโมเนีย) มาใช้ในการสร้างเซลล์ใหม่มากขึ้นจำนวนจุลินทรีย์ก็จะเพิ่มมากขึ้น ปริมาณแอมโมเนียในน้ำก็จะลดลง ซึ่งเนื้อเซลล์ใหม่ที่ว่านี้ก็คือสารพวกโปรตีน เมื่อสัตว์น้ำกินจุลินทรีย์ที่รวมตัวเป็นฟลอคเข้าไปก็เท่ากับว่าสัตว์น้ำได้กินอาหารที่มีโปรตีนนั่นเอง การใช้กลุ่มฟลอคในการกำจัดแอมโมเนียนี้จะเร็วกว่าการเกิดกระบวนการไนตริฟิคเคชั่น (กระบวนซึ่งมีความเป็นพิษสูงต่อสัตว์น้ำให้เป็นไนไตรท์ และไนเตรท) ทำให้น้ำที่ใช้ในการเลี้ยงสัตว์น้ำมีคุณภาพดี การเปลี่ยนถ่ายน้ำน้อยลงและส่งผลให้สัตว์มีสุขภาพดีตามไปด้วย

ภาพที่ 3 ระบบไบโอฟลอค (Biofloc)
ที่มา : สถาบันวิจัยการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำชายฝั่ง สงขลา (2558)

3.3 ระบบโปรตีนสกิมเมอร์

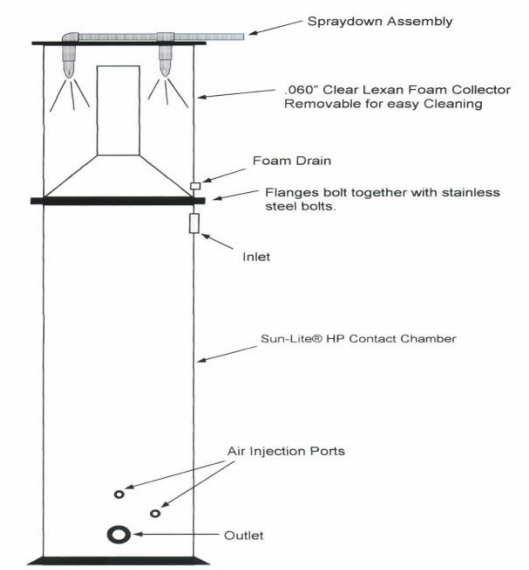
Protein Skimmer หรือ Foam Fractioner เป็นอุปกรณ์ที่ออกแบบมาเพื่อขับอนุภาคที่เล็กละเอียดออกจากน้ำ ทำงานโดยอาศัยหลักการทางฟิสิกส์ เกี่ยวกับแรงตึงผิวของน้ำและแรงยึดเหนี่ยวระหว่างโมเลกุลของน้ำ สืบเนื่องจากการที่โมเลกุลของน้ำมีศักยภาพไฟฟ้าเป็นบวกด้านหนึ่งเป็นลบด้านหนึ่งทำให้โมเลกุลของน้ำมีแรงดึงดูด จับยึดอนุภาคที่เล็กละเอียดที่ปะปนอยู่ในน้ำเข้ามาเกาะติดกับโมเลกุลของตัวเอง จากหลักการดังกล่าวทำให้ต้องออกแบบกลไกสร้างฟองอากาศ

ที่เป็นฝอยเล็กละเอียด ฉีดผสมเข้าไปกับมวลน้ำ จากหลักความจริงที่ว่า เมื่อทำอากาศให้เป็นฟองอากาศในน้ำ ในปริมาตรอากาศที่เท่าๆ กันฟองยิ่งเล็กเท่าไร พื้นที่ผิวโดยรวมยิ่งมากขึ้นในลักษณะทวีคูณประสิทธิภาพในการยึดเกาะสูงขึ้นตามขนาดของพื้นที่ผิว นอกจากนั้นความคงทนของฟองอากาศในน้ำก็เป็นปัจจัยสำคัญที่มีความสัมพันธ์กับประสิทธิภาพในการยึดเกาะเช่นกัน ในน้ำจืดสนิทหรือน้ำอ่อนฟองอากาศขนาดเล็กรวมตัวกลับเข้าด้วยกันเป็นฟองอากาศขนาดใหญ่แล้วแตกออกไปจากน้ำอย่างรวดเร็ว ดังนั้นการใช้โปรตีนสกิมเมอร์ในการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำจึงมีข้อจำกัดเรื่องความเค็มของน้ำ ส่วนประกอบของโปรตีนสกิมเมอร์ แบ่งออกเป็น 3 ส่วนหลักคือ

3.3.1 ส่วนตัวสกิมเมอร์ เป็นจุดที่น้ำปะทะกับฟองอากาศ

3.3.2 ส่วนแยกโฟม เป็นพื้นที่ที่มีไว้ให้ฟองอากาศที่ดักอนุภาคของเสียยกตัวขึ้นออกจากน้ำ

3.3.3 ส่วนดักของเสีย คือ ถ้วยที่อยู่ยอดสุดจากส่วนแยกโฟม



ภาพที่ 4 ระบบโปรตีนสกิมเมอร์

ที่มา : ศูนย์วิจัยและพัฒนาการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำชายฝั่งเขต 6 สงขลา (2560)

3.4 หลักการทำงานของโปรตีนสกิมเมอร

โปรตีนหรือสารประกอบอินทรีย์สามารถแยกได้ออกจากน้ำเนื่องจากว่าโปรตีนนั้นมีคุณสมบัติที่ไม่ชอบน้ำ (Hydrophobic) ซึ่งการทำงานของโปรตีนสกิมเมอร์ จะทำหน้าที่ในการสร้างพื้นที่ผิวสัมผัส ระหว่างน้ำ และอากาศเพื่อให้โปรตีนหรือสารประกอบอินทรีย์แยกออกจากน้ำให้ได้มากที่สุด โดยความสามารถในการกำจัดของเสียนั้นขึ้นกับความละเอียด

และปริมาณของฟองอากาศที่จะเพิ่มพื้นที่ผิวสัมผัสระหว่างอากาศกับน้ำของเสียจะติดมากับฟองอากาศลอยออกมาทางด้านบนของโปรตีนสกิมเมอร์ การทำงานของ Protein Skimmer ที่ได้ผลขึ้นอยู่กับปัจจัยเหล่านี้

3.4.1 ระยะเวลาที่ฟองอากาศได้สัมผัสกับน้ำ ยิ่งนานยิ่งดี

3.4.2 ขนาดของฟองอากาศ ยิ่งเล็กยิ่งมีผิวสัมผัสมาก

3.4.3 ลักษณะของฟองโฟม ที่ไหลออกมายิ่งแห้งยิ่งแสดงถึงประสิทธิภาพในการแยกโปรตีนออกจากน้ำได้อย่างมีประสิทธิภาพ

3.5 ชนิดของโปรตีนสกิมเมอร์

โปรตีนสกิมเมอร์ที่เห็นตามท้องตลาดนั้นมีด้วยกันมากมายหลายยี่ห้อ ซึ่งแต่ละยี่ห้อก็จะมีรูปแบบการทำงานที่ต่างๆ กัน ซึ่งประสิทธิภาพในการกำจัดของเสียก็จะแตกต่างกันไปด้วย ซึ่งโปรตีนสกิมเมอร์ที่นิยมในประเทศไทยในปัจจุบันมีอยู่ด้วยกัน 3 รูปแบบคือ Air Stone, Venturi และแบบ Needle Wheel

3.5.1 Air Stone Protein Skimmer

โปรตีนสกิมเมอร์แบบดั่งเดิมที่มีรูปแบบการทำงานที่ง่ายไม่ซับซ้อน โดยมีหลักการทำงานคือเพิ่มความดันเพื่ออัดอากาศผ่านตัว Diffuser (ซึ่งในปัจจุบันนิยมทำมาจากไม้) เพื่อสร้างฟองอากาศขนาดเล็ก เพื่อทำหน้าที่ในการจับของเสียภายในน้ำ โดยในกระบอกของโปรตีนสกิมเมอร์ควรมีปริมาตรที่เพียงพอที่ทำให้น้ำกับอากาศมี เวลาในการสัมผัสการที่เพียงพอเพื่อให้การแยกของเสียเป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพ

3.5.2 Venturi Protein Skimmer

หลักการของ Venturi Protein Skimmer คือจะมี Pump ซึ่งทำหน้าที่ดูดน้ำผ่านท่อ Venturi ซึ่งท่อ Venturi จะมีลักษณะเป็นท่อที่ถูกบีบให้มีขนาดเล็กลงเพื่อให้น้ำที่ไหลผ่านท่อ Venturi มีความเร็วเพิ่มขึ้น ซึ่งจะส่งผลให้ความดันในท่อนั้นลดลง ซึ่งในท่อ Venturi นั้นจะมีการต่อท่ออากาศเพื่อให้อากาศภายนอกไหลเข้ามาภายในกระบอกของ Skimmer ซึ่งของเสียที่อยู่ในน้ำก็จะติดมากับฟองอากาศแล้วถูกแยกออกมาได้

3.5.3 Needle Wheel Protein Skimmer

ในปัจจุบัน Needle Wheel Protein Skimmer เป็นที่นิยมกันมากในหมู่คนที่ชื่อชอบในการเลี้ยงสัตว์น้ำ เนื่องจากมีความสามารถในการกำจัดของเสียได้อย่างมีประสิทธิภาพ เพราะว่าระบบ Needle Wheel นั้นสามารถสร้างฟองที่มีขนาดเล็กได้ในปริมาณมาก นอกจากมีประสิทธิภาพสูงแล้ว ยังมีเสียงที่เงียบกว่า Protein Skimmer แบบอื่นๆ ซึ่งการทำงานของระบบ Needle Wheel นั้นจะมีตัวใบพัดของ Pump ที่มีลักษณะเป็นแท่งที่ติดอยู่กับใบพัดในลักษณะที่ตั้งฉากกับใบพัด ซึ่งจะทำหน้าที่ตัดอากาศที่เข้ามาใน Pump ซึ่งอาจมาจาก Airpump หรือ ระบบ Venturi ก็ได้

3.6 การดูแลบำรุงรักษาโปรตีนสกิมเมอร์

โปรตีนสกิมเมอร์จะสามารถปฏิบัติงานได้ดี ถ้าเราหมั่นบำรุงรักษาอยู่เป็นประจำ เครื่องจะสามารถทำงานได้อย่างดีและมีประสิทธิภาพที่สุดเมื่อสะอาด อยู่ในสภาพที่ปกติ ของเสียต่างๆ ที่อยู่ในถ้วยเก็บของเสียนั้นควรนำออกมาทำความสะอาดอยู่เป็นประจำ ส่วนตัวเครื่องสกิมเมอร์และอุปกรณ์ที่เกี่ยวข้องนั้นควรนำออกมาทำความสะอาดอย่างน้อยเดือนละครั้ง

3.6.1 การทำความสะอาดปั๊ม การทำความสะอาดปั๊มที่ใช้สำหรับเครื่องโปรตีนสกิมเมอร์จัดว่าเป็นสิ่งสำคัญเพราะเมื่อปั๊มทำงานไปนานๆ นั้น ใบพัดที่อยู่ในตัวปั๊มจะโดนสิ่งสกปรกต่างๆ มาปกคลุม ทำให้ปั๊มทำงานไม่เต็มที่ ส่งผลไปยังเครื่องให้ทำงานได้อย่างไม่มีประสิทธิภาพอีกด้วย ซึ่งบ่อยครั้งเราจะพบว่ามีคราบหินปูนเกาะอยู่ที่อุปกรณ์ด้านในของใบพัดในตู้ที่มีค่าแคลเซียมสูง การทำความสะอาดนั้นเราสามารถใช้แปรงสีฟันขัดคราบเหล่านั้นหรือ ใช้น้ำส้มสายชูละลายคราบหินปูนออกไป

3.6.2 การทำความสะอาดคอคอดของเครื่องโปรตีนสกิมเมอร์ (Venturi) ตรวจเช็คและทำความสะอาดวาวล์คอคอดของน้ำที่ไหลผ่านเข้าไปในเครื่องโปรตีนสกิมเมอร์ เพื่อกำจัดสิ่งสกปรกที่เกิดขึ้นและเป็นแนวกีดขวางการทำงาน

3.6.3 เปลี่ยนหัวฟองอากาศ (Air-driven) ควรเปลี่ยนหัวฟองอากาศทุกๆ เดือน เพื่อให้ฟองอากาศที่ผลิตขึ้นเพียงพอต่อการขจัดของเสียออกจากบ่อเลี้ยงปลา

ภาพที่ 5 ระบบโปรตีนสกิมเมอร์

ที่มา : ศูนย์วิจัยและพัฒนาการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำชายฝั่งเขต 6 สงขลา (2560)

3.7 ไฮโดรไซโคลน (Hydro cyclone)

เป็นระบบหนึ่งที่นิยมใช้กันมากในการแยกตะกอนออกจากน้ำในระบบหมุนเวียนน้ำกลับมาใช้ใหม่เป็นเทคนิควิธีการตกตะกอนของแข็งชนิดสารแขวนลอยและชนิดที่ตกตะกอนได้โดยอาศัยแรงโน้มถ่วงของโลก การติดตั้งระบบแบบนี้จะขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายประการ เช่น พื้นที่ของบ่อตกตะกอน ระยะเวลาในการตกตะกอน ความลึกของบ่อตกตะกอน อัตราการไหลของน้ำ และลักษณะทางกายภาพของน้ำเสียที่ต้องการจะบำบัด

บ่อที่ใช้ตกตะกอนอาจจะมีรูปทรงกลมและทรงเหลี่ยมซึ่งในการทดลองครั้งนี้เราจะใช้แบบสี่เหลี่ยมที่มีลักษณะถังตกตะกอนและแบบท่อยาวที่มีจุดประสงค์เพื่อการตกตะกอนเช่นกัน ในหลักการพบว่าในปัจจุบันบ่อตกตะกอนที่จะเกิดประสิทธิผลดีเกิดขึ้นได้ค่อนข้างยาก ทั้งนี้เนื่องจากปัจจุบันยังขาดข้อมูลความสัมพันธ์ระหว่างขนาดของตะกอนของแข็ง หรือสารแขวนลอยที่มีในน้ำเสียกับความเร็วที่ไหลผ่านบ่อตกตะกอนเพื่อให้กระบวนการดักตะกอนเกิดขึ้นอย่างสมบูรณ์ซึ่งข้อมูลต่างๆ ยังต้องการศึกษาอีกมาก การลดความขุ่นของน้ำภายในกระบวนการตกตะกอนดังกล่าว ก่อนที่จะนำน้ำกลับมาใช้เลี้ยงปลาอีกครั้งได้นั้นก็ขึ้นอยู่กับคุณสมบัติของน้ำและปริมาณของน้ำที่ต้องการ ซึ่งอาจจะใช้ท่อ ถัง หรือบ่อขนาดต่างกัน ซึ่งในโรงเพาะฟักจะใช้ขนาดของอัตราการไหลผ่านของน้ำ (Hydraulic Loading Rate) ที่ระดับ 0.28 ถึง 0.71 ลิตรต่อนาทีต่อพื้นที่ 1 ตารางเมตร โดยให้มีระยะเวลาที่น้ำไหลผ่านบ่อตกตะกอนคงใช้เวลาประมาณ 2 ถึง 6 ชั่วโมง โดยตะกอนจะตกลงสู่พื้นก้นบ่อและน้ำส่วนบนที่จะไหลในลักษณะของน้ำล้นลงสู่บ่อเลี้ยง และตะกอนบริเวณพื้นก้นบ่อที่ตกตะกอนลงมาก็จะถูกขจัดด้วยวิธีการต่างๆ

ของเสียที่เกิดขึ้นในการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำแบบหนาแน่นเกิดจากของเสียที่สัตว์น้ำขับถ่าย อาหารที่สัตว์น้ำไม่ได้กิน และอาหารที่สัตว์น้ำกินเข้าไปแต่ย่อยไม่ได้ ของเสียที่สะสมอยู่ในน้ำพบได้หลายรูปแบบคือ ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส คาร์บอน และสารอินทรีย์ต่างๆ เนื่องจากอาหารที่ใช้เลี้ยงสัตว์น้ำมีองค์ประกอบโปรตีนอยู่สูง (25-35 เปอร์เซ็นต์) ส่งผลให้ไนโตรเจนเป็นสารที่ได้รับความสนใจจากผู้เลี้ยงสัตว์น้ำมาก และเป็นค่าคุณภาพน้ำที่สำคัญที่จะต้องจัดการเพื่อให้ได้ผลผลิตและสัตว์น้ำที่มีประสิทธิภาพ สารประกอบไนโตรเจนในบ่อเลี้ยงสัตว์น้ำที่สำคัญจะพบในรูป แอมโมเนีย (NH_3) แอมโมเนียมอิออน (NH_4^+) ไนไตรท์ (NO_2^-) ไนเตรท (NO_3^-) และก๊าซไนโตรเจน (N_2) โดยสัตว์น้ำขับถ่ายของเสียที่มักจะขับถ่ายออกมาในรูปของยูเรียที่จะเปลี่ยนเป็นยูเรีย และแอมโมเนียในน้ำต่อไป ส่วนอาหารที่สัตว์น้ำไม่ได้กินหรือ อาหารที่สัตว์น้ำกินจะเข้าไปแต่ย่อยไม่ได้เนื่องจากอาหารสำเร็จรูปเป็นอาหารที่มีโปรตีน เมื่อแตกตัวในน้ำจะเพิ่มสารอินทรีย์น้ำที่แบคทีเรียสามารถย่อยไปใช้ได้ ซึ่งต้องใช้ออกซิเจนในน้ำ และโปรตีนที่มีจะแตกตัวอยู่ในรูปของแอมโมเนีย ดังนั้นจะเห็นว่าถ้าจัดการอาหารที่ไม่ดีจะส่งผลให้มีจุลินทรีย์จะแย่งออกซิเจนจากสัตว์น้ำจะเกิดการขาดออกซิเจนได้ สะสมแอมโมเนียที่เป็นสารพิษต่อสัตว์น้ำและเป็นการสิ้นเปลืองต้นทุนค่าอาหารเป็นต้นทุนหลักของการเลี้ยงสัตว์น้ำ

ปริมาณแอมโมเนียในน้ำรวม (Total Ammonia Nitrogen, TAN) มีอยู่สองรูปแบบ รูปแอมโมเนีย (NH_3) แอมโมเนียมอิออน (NH_4^+) โดยรูปที่ไม่มีอิออนเป็นรูปที่เป็นพิษต่อสัตว์น้ำมากสุด เนื่องจากมีขนาดเล็กสามารถเข้าสู่เซลล์ร่างกายสัตว์ได้ดี และนอกจากนี้การที่โมเลกุลไม่มีขั้วละลายได้ดีในไขมัน (สุภาวดี , 2549) แอมโมเนียในน้ำสามารถเปลี่ยนรูปไปมาได้ตามค่าความเป็นกรดเป็นด่างของน้ำ ในน้ำที่ค่าความเป็นกรดเป็นด่างสูงแอมโมเนียในน้ำส่วนใหญ่จะเปลี่ยนอยู่ในรูปแอมโมเนีย (NH_3) ซึ่งเป็นพิษต่อสัตว์น้ำ แต่เมื่อค่าความเป็นด่างในน้ำลดลงแอมโมเนียในน้ำจะเปลี่ยนไปอยู่ในรูปแอมโมเนียมอิออน (NH_4^+) โดยความเข้มข้นแอมโมเนียรวมในน้ำที่ไม่ส่งผลกระทบต่อสัตว์น้ำคือ 1.5 มิลลิกรัมต่อลิตร แต่ถ้าวัดในรูปแอมโมเนีย ระดับที่ปลอดภัยต่อสัตว์น้ำคือ 0.025 มิลลิกรัมต่อลิตร แต่อย่างไรก็ตามระดับความเป็นพิษของแอมโมเนียต่อสัตว์น้ำแต่ละชนิดจะขึ้นอยู่กับ ชนิด ขนาดสัตว์น้ำ โลหะหนัก และไนเตรท ในสภาวะที่มีออกซิเจนจุลินทรีย์สกุล Nitrosomonas จะออกซิไดซ์เปลี่ยนแอมโมเนียที่ในน้ำไปเป็นไนไตรท์ และจุลินทรีย์สกุล Nitrobactor จะเปลี่ยนไนไตรท์ที่ในน้ำไปเป็นไนเตรท ซึ่งจะเรียกกระบวนการนี้ว่า ไนตริฟิเคชัน (Nitrification) แต่ในสภาวะที่ไม่มีออกซิเจนการทำงานของจุลินทรีย์ จะเปลี่ยนไนเตรท (NO_3^-) ไปเป็นไนไตรท์ (NO_2^-) และเปลี่ยนไนไตรท์ (NO_2^-) ไปเป็นไนโตรปรัสไซด์ (N_2O_2) และเปลี่ยนไปเป็นไนโตรเจนแก๊ส (N_2) แต่จะเรียกกระบวนการนี้ว่าดิไนตริฟิเคชัน (Denitrification) (สุภาวดี , 2549) ดังนั้นจะเห็นได้ว่ากิจกรรมจุลินทรีย์ในกระบวนการไนตริฟิเคชันจะก่อให้เกิดการสะสมของไนเตรท์ในน้ำ ซึ่งไนเตรทเป็นสารที่เป็นพิษต่อสัตว์น้ำถ้าได้รับระยะเวลานาน และความเข้มข้นสูงๆ โดยปกติไนเตรท์ที่สะสมในน้ำไม่ควรเกิน 10-15 มิลลิกรัมต่อลิตร ขึ้นอยู่กับชนิดขนาดของสัตว์น้ำที่เลี้ยงในบ่อมีจำนวนมากหรือน้อย และค่าปริมาณออกซิเจนที่มีในน้ำ (สุภาวดี, 2549)

ตะกอนที่เกิดขึ้นในบ่อเลี้ยงสัตว์น้ำอยู่ในรูปเป็นอินทรีย์สาร หรืออนินทรีย์สาร ขี้ปลาที่ขับถ่ายออกมาจะแตกต่างกันแล้วแต่ชนิดของปลา เช่น ปลา (Channel Catfish) จะปล่อยของเสียที่เหนียวและแข็งกว่าปลาชนิดอื่นๆ ขี้ปลา (Fecal) ที่ปล่อยออกมามักประกอบด้วยสารที่ย่อยได้และย่อยไม่ได้ และถูกเคลือบด้วยเมือกขี้ปลาส่วนใหญ่เป็นเส้นยาว สามารถแบ่งโดยอาศัยลักกษณะของขนาด (Size) องค์ประกอบทางเคมี (Chemical Characteristic) และการแพร่กระจายของตะกอนในขนาดที่ต่างกัน (Distribution Of Size) โดยแบ่งออกเป็นสารแขวนลอย คอยลอยด์ และของแข็งที่ตกตะกอนได้

งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

สุภาวดี และเจษฎา (2561) ได้ศึกษา ประสิทธิภาพของเทคนิคกำจัดตะกอนแบบต่างๆ ในการบำบัดน้ำจากการเลี้ยงปลานิลแดงระบบหมุนเวียนสัตว์น้ำกลับมาใช้ใหม่ การศึกษาวิจัยครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาประสิทธิภาพของการใช้โปรตีนสกิมเมอร์ในการกำจัดแอมโมเนียและตะกอนอาหารที่มีในน้ำจากบ่อเลี้ยงปลานิลแดง ซึ่งใน 1 ชุดการทดลอง (Treatment) ที่ใช้ในการศึกษาครั้งนี้ มี 3 ชุดการทดลอง (Treatment) ใช้แผนการทดลองแบบสุ่มตลอด แต่ละชุดการทดลองมี 3 ซ้ำ คือ Treatment ที่ 1 ไม่ใช้โปรตีนสกิมเมอร์ Treatment ที่ 2 ใช้โปรตีนสกิมเมอร์แบบสำเร็จรูปร่วมกับวัสดุกรองชีวภาพไบโอบอล และ Treatment ที่ 3 ใช้โปรตีนสกิมเมอร์ผลิตขึ้นมาเองร่วมกับวัสดุกรองชีวภาพไบโอบอลนาน 12 สัปดาห์ ตรวจวัดคุณภาพน้ำเบื้องต้น ได้แก่ ปริมาณออกซิเจนละลาย ค่าความเป็นกรดด่าง อุณหภูมิน้ำ ค่าแอมโมเนียของน้ำ และค่าไนไตรท์ ผลการศึกษาพบว่าปริมาณออกซิเจนละลายชุดการทดลองที่ 1 มีค่าเฉลี่ยอยู่ในช่วง 4.92±10.56-6.34±0.06 มิลลิกรัมต่อลิตร ชุดการทดลองที่ 2 มีค่าเฉลี่ยอยู่ในช่วง 3.92±0.78-6.35±0.06 มิลลิกรัมต่อลิตร และชุดการทดลองที่ 3 มีค่าเฉลี่ยอยู่ในช่วง 4.65±0.04-6.31±0.05 มิลลิกรัมต่อลิตร และค่าความเป็นกรดเป็นด่างของน้ำชุดการทดลองที่ 1 มีค่าเฉลี่ยอยู่ในช่วง 7.49±0.07-7.83±0.30 ชุดการทดลองที่ 2 มีค่าเฉลี่ยอยู่ในช่วง 7.32±0.34-8.07±0.49 และชุดการทดลองที่ 3 มีค่าเฉลี่ยอยู่ในช่วง 07.29±0.25-8.17±0.48 ค่าอุณหภูมิเฉลี่ย (องศาเซลเซียส) ชุดการทดลองที่ 1 มีค่าอุณหภูมิเฉลี่ยอยู่ในช่วง 24.67±0.68-29.33±0.06 องศาเซลเซียส ชุดการทดลองที่ 2 มีค่าอุณหภูมิเฉลี่ยอยู่ในช่วง 24.00±0.17-29.20±0.56 องศาเซลเซียส และชุดการทดลองที่ 3 มีค่าอุณหภูมิเฉลี่ยอยู่ในช่วง 23.70±0.26-28.87±0.21 องศาเซลเซียส ค่าแอมโมเนียของน้ำเฉลี่ยทุกชุดการทดลองอยู่ในระดับที่ไม่สงผลกระทบให้ปลาเกิดพิษเฉียบพลัน ค่าไนไตรท์ของน้ำเฉลี่ยชุดการทดลองที่ 1 ค่าเฉลี่ยอยู่ในช่วง 0.01±0.00-0.31±0.11 มิลลิกรัมต่อลิตร ชุดการทดลองที่ 2 มีค่าเฉลี่ยอยู่ในช่วง 0.04±0.02-0.51±0.38 มิลลิกรัมต่อลิตร และชุดการทดลองที่ 3 มีค่าเฉลี่ยอยู่ในช่วง 0.03±0.00-0.43±0.00 มิลลิกรัมต่อลิตร สำหรับต้นทุนการผลิตปลานิลแดงพบว่าระบบโปรตีนสกิมเมอร์ที่ผลิตขึ้นมาเองจะมีต้นทุนการผลิตที่ถูกว่าระบบโปรตีนสกิมเมอร์สำเร็จรูป โดยระบบโปรตีนสกิมเมอร์ผลิตขึ้นเองมีต้นทุนรวมเท่ากับ 376.83 บาทต่อถังต่อรุ่น และโปรตีนสกิมเมอร์สำเร็จรูปมีต้นทุนรวมเท่ากับ 431.75 บาทต่อถังต่อรุ่น ในขณะที่ สุทธิชัย (2560) ได้ศึกษาการพัฒนาถังในการลำเลียงปลาผิวน้ำ มีวัตถุประสงค์เพื่อให้ได้ถังลำเลียงที่เหมาะสมกับสรีระ และพฤติกรรมของปลาผิวน้ำจากองค์ความรู้และเทคโนโลยีที่มีอยู่เดิม โดยใช้วัสดุที่มีอยู่ในท้องตลาด ชิ้นส่วนประกอบถอดประกอบได้ง่าย น้ำหนักเบาและปลอดสนิมโดยพัฒนารูปแบบของถังและอุปกรณ์ประกอบขึ้นใหม่ทั้งหมด ถังลำเลียงปลาผิวน้ำประกอบด้วยชิ้นส่วนสำคัญ 2 ส่วน คือ ตัวถัง และโปรตีนสกิมเมอร์ ได้ทำการทดสอบการลำเลียงด้วย

รถยนต์บรรทุกขนาด 1 ตัน เครื่องมือที่สำคัญ 2 อย่าง คือ เครื่องปั๊มลมเติมอากาศ และถังออกซิเจน พร้อมวาล์วควบคุมแรงดันที่มีมาตรวัดอัตราการไหลของแก๊ส การลำเลียงปลากะพงขาวขนาดเฉลี่ยที่ 1.5 กิโลกรัม และ 4.1 กิโลกรัม ครั้งละ 20 ตัว ด้วยถังลำเลียงปลาผิวน้ำขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 85 เซนติเมตร ความจุน้ำ 280 ลิตรเป็นเวลา 8 ชั่วโมง ผลการทดสอบถังลำเลียงปลาผิวน้ำประกอบโปรตีนสกิมเมอร์ พบว่า สามารถลำเลียงปลากะพงขาวน้ำหนักรวมได้มากกว่า 300 กรัมต่อปริมาตรน้ำ 1 ลิตร และมีอัตราการรอดตายหลังจากที่ปล่อยกลับลงบ่อเลี้ยงนาน 48 ชั่วโมงเท่ากับ 100 เปอร์เซ็นต์ ในส่วนของการเติมออกซิเจนบริสุทธิ์ พบว่าเมื่อใส่ปลากะพงขาวน้ำหนักเฉลี่ย น้อยกว่า 100 กรัมต่อปริมาตรน้ำ 1 ลิตร ไม่ต้องเติมออกซิเจนบริสุทธิ์ใส่ปลากะพงขาวน้ำหนักเฉลี่ยมากกว่า 100 กรัมต่อปริมาตรน้ำ 1 ลิตร เปิดออกซิเจนบริสุทธิ์อัตราการไหล 1 ลิตรต่อนาที ใส่ปลากะพงขาวน้ำหนักเฉลี่ยมากกว่า 200 กรัมต่อปริมาตรน้ำ 1 ลิตร เปิดออกซิเจนบริสุทธิ์ อัตราการไหล 2 ลิตรต่อนาที ปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำในถังลำเลียงมากกว่า 6 มิลลิกรัมต่อลิตร

เจษฎา และคณะ (2560) ได้ศึกษาประสิทธิภาพของเทคนิคการดักตะกอนของแข็งในระบบหมุนเวียนน้ำนำกลับมาใช้ใหม่ กรณีศึกษา: ดุลออกซิเจนของการเลี้ยงปลานิลแดงโดยในระบบหมุนเวียนน้ำนำกลับมาใช้ใหม่ การทดลองใช้แผนการทดลองแบบสุ่มตลอด ประกอบไปด้วย 3 ชุดการทดลอง (Treatment) แต่ละชุดการทดลองละ 3 ซ้ำ โดยปล่อยลูกปลานิลแดง น้ำหนักเฉลี่ย 1.19 กรัม และมีความยาวเฉลี่ย 4.26 เซนติเมตรลงในถังที่ใช้ในการทดลองเป็นถังทรงกระบอกที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 81.5 เซนติเมตร สูง 78 เซนติเมตร เติมน้ำลงไป 301 ลิตร ใช้ถังจำนวน 9 ถัง โดยชุดการทดลองที่ 1 ถังเลี้ยงสัตว์น้ำติดตั้งร่วมกับระบบโปรตีนสกิมเมอร์สำเร็จรูป ชุดการทดลองที่ 2 ถังเลี้ยงสัตว์น้ำติดตั้งร่วมกับระบบโปรตีนสกิมเมอร์ผลิตขึ้นเอง และชุดการทดลองที่ 3 ถังเลี้ยงสัตว์น้ำจะติดตั้งหัวทราย ไม่ใช้ระบบโปรตีนสกิมเมอร์ ด้วยอัตราการปล่อย 42 ตัวต่อถัง เลี้ยงเป็นระยะเวลา 60 วัน ส่วนการศึกษาดุลออกซิเจนภายในระบบแต่ละชุดการทดลอง ทำการทดลองในโรงเรือนปิด จากการศึกษาแหล่งผลิตออกซิเจนภายในบ่อของบ่อเลี้ยงปลานิลแดงในโรงเรือนระบบปิดในช่วงเวลากลางคืน เครื่องให้อากาศจะเป็นแหล่งผลิตออกซิเจนหลักภายในบ่อ โดยทั้ง 3 ชุดการทดลองไม่มีความแตกต่างกัน ทางสถิติ ($p>0.05$) มีค่าเฉลี่ยอยู่ในช่วง 96.56±0.18 ถึง 97.30 ± 0.38 เปอร์เซ็นต์ สำหรับการบริโภคออกซิเจนภายในบ่อ พบว่าปลามีการบริโภคออกซิเจนสูงที่สุด มีค่าเฉลี่ยอยู่ในช่วงเท่ากับ 97.04±0.83 ถึง 98.93±0.33 เปอร์เซ็นต์ เมื่อศึกษาดุลออกซิเจนภายในบ่อเลี้ยงปลานิลแดงในโรงเรือนระบบปิดในช่วงเวลากลางคืน ในช่วงเวลาตั้งแต่เวลา 18.00 น. ถึง 6.00 น. เพื่อประเมินอัตราความหนาแน่นที่บ่อสามารถรองรับได้เปรียบเทียบกับ ปริมาณอัตราการปล่อยปลาเริ่มต้นการทดลองในครั้งน้ำจำนวน 42 ตัวต่อถัง (น้ำหนักเฉลี่ยเริ่มต้น 1.19 กรัม) ทั้ง 3 ชุดการทดลอง พบว่าอัตราความหนาแน่นที่บ่อรองรับได้สูงสุดมีค่าที่สูงกว่า อัตราการปล่อยตลอดระยะเวลาการทดลอง ซึ่งมีค่าเฉลี่ยอยู่ในช่วง 48.67±3.79 ถึง 64.00±1.73 ตัวต่อถัง เนื่องจากอัตราการปล่อย

ในครั้งนี้อยู่ในเกณฑ์ที่ต่ำกว่าเกณฑ์ที่บ่อสามารถรองรับได้ จึงทำให้ค่าปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำมีค่าสูงกว่าเกณฑ์มาตรฐานขั้นต่ำที่เหมาะสมต่อการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ (3 มิลลิกรัมต่อลิตร) ดังเห็นได้ชัดเจนว่าถึงแม้จะไม่มีการใช้โปรตีนสกิมเมอร์ก็ตามค่าปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำ ก็ยังสูงกว่าค่าเกณฑ์มาตรฐานขั้นต่ำที่เหมาะสมต่อการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำส่งผลให้การทดลองในครั้งนี้ระบบที่ใช้โปรตีนสกิมเมอร์ที่ผลิตเอง จึงไม่สามารถแสดงประสิทธิภาพ และศักยภาพให้เห็นผลได้ชัดเจน

ประภาพร และคณะ (2561) ได้ศึกษาการปลดปล่อยธาตุอาหารไนโตรเจน และฟอสฟอรัสจากการเลี้ยงกุ้งขาวแวนนาไม แบบความหนาแน่นสูงในบ่อผ้าใบสู่ระบบนิเวศภายนอก โดยจะนำลูกกุ้งขาวแวนนาไมขนาดเฉลี่ย 1-2 กรัมต่อตัว ลงเลี้ยงที่ในบ่อผ้าใบทรงกลม ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 8 เมตร ความสูง 90 เซนติเมตร (ปริมาตรความจุ 50 ลูกบาศก์เมตร) ส่วนของพื้นบ่อผ้าใบจะมีลักษณะลาดเอียงเข้าสู่กลางบ่อ เพื่อให้ตะกอนรวมกันอยู่ตรงกลางบ่อ โดยมีการติดตั้งท่อพีวีซีพร้อมวาล์วเปิด-ปิดขนาด 3 นิ้ว เพื่อใช้ระบายน้ำ และของเสียออกจากกลางบ่อ บริเวณพื้นบ่อติดตั้งระบบให้อากาศผ่านท่อพีวีซี และติดตั้งปั๊มน้ำเพื่อให้เกิดกระแสวน เพื่อพัดตะกอนน้ำไปรวมที่กลางบ่อ นอกจากนี้มีการติดตั้งเครื่องโปรตีนสกิมเมอร์ เพื่อช่วยในการจัดการคุณภาพน้ำระหว่างการเลี้ยงที่อัตราความหนาแน่น 500 ตัวต่อลูกบาศก์เมตร (25,000 ตัวต่อบ่อ) จำนวน 3 บ่อให้อาหารสำเร็จรูปสำหรับกุ้งทะเลที่มีโปรตีนไม่ต่ำกว่า 38 เปอร์เซ็นต์ วันละ 5 มื้อ เป็นเวลา 73 วัน พบว่าปริมาณไนโตรเจนรวมและฟอสฟอรัสรวมในน้ำทิ้ง มีค่าเฉลี่ย 12.11±3.68 มิลลิกรัมต่อลิตร และ 5.46±2.21 มิลลิกรัมต่อลิตรตามลำดับ ซึ่งมีค่าสูงกว่าค่ามาตรฐานที่กำหนด จากการวิเคราะห์ข้อมูลพบว่าปริมาณไนโตรเจนรวมในบ่อเกิดจากกิจกรรมการเลี้ยงหลังเปลี่ยนถ่ายน้ำ เฉลี่ย 450.00±189.17 กรัม เหลือสะสมอยู่ในระบบการเลี้ยงเมื่อมีการเปลี่ยนถ่ายน้ำ เฉลี่ย 58.94± 16.25 กรัม และมีอยู่ในน้ำที่เติมเข้าระบบเฉลี่ย 57.79±54.59 กรัม ส่วนปริมาณฟอสฟอรัสรวมในบ่อที่เกิดจากกิจกรรมการเลี้ยงหลังจากเปลี่ยนถ่ายน้ำ โดยเฉลี่ย 237.40±105.80 กรัม ที่เหลือสะสมอยู่ในระบบการเลี้ยงเมื่อเปลี่ยนถ่ายน้ำเฉลี่ย 29.73±12.54 กรัม และมีอยู่ในน้ำที่เติมเข้าระบบ เฉลี่ย 2.32±0.87 กรัม การศึกษานี้แสดงให้เห็นว่าควรมีการจัดการคุณภาพน้ำทิ้งก่อนปล่อยน้ำออกสู่ภายนอก ทั้งนี้เพื่อลดผลกระทบที่จะเกิดขึ้นกับระบบนิเวศ ส่วน พรภัค และปยาภรณ (2553) ได้ศึกษาการกำจัดไนโตรเจนในน้ำเสียด้วยกระบวนการชีวภาพที่ผ่านไนตริฟิเคชั่นบางส่วน ในขั้นแรกไดมุ่งเน้นศึกษาสภาวะที่เหมาะสมเพื่อให้ได้ไนไตรทเป็นผลผลิตหลักของระบบไนตริฟเคชั่นแทนไนเตรท โดยทำการทดลองแบบต่อเนื่อง และเปลี่ยนแปลงสภาวะการดำเนินระบบออกเป็น 3 ระยะ การควบคุมให้ระบบมีความเข้มข้นของแอมโมเนียไนโตรเจนเริ่มต้น 250 มิลลิกรัมต่อลิตรเมทานอล 790 มิลลิกรัมต่อลิตร.และระยะเวลากักเก็บน้ำเสีย 24ชั่วโมง ทำให้สัดส่วนแอมโมเนียไนโตรเจน : ไนไตรทไนโตรเจน : ไนเตรทไนโตรเจนในน้ำทิ้งเป็น 32 : 51 : 17 เมื่อนำมาบำบัดต่อด้วยระบบดีไนตริฟเคชั่นในถังปฏิกรณ์แบบตรึงเซลล์ พบว่าสามารถกำจัดไนไตรทและไนเตรทในน้ำเสียสังเคราะหไดถึง 90 เปอร์เซ็นต์ การเกิดออกซิเดชั่น

ที่ไมสมบูรณทำให้ยังคงเหลือแอมโมเนียในน้ำทิ้งจากบ่อ แม้วาปริมาณเมทานอลมีอิทธิพลต่ออัตรา ในการเกิดดีไนตริฟเคชั่น แต่ปฏิกิริยาดีไนตริฟเคชั่นของน้ำเสียสังเคราะหที่ผ่านไนตริฟเคชั่นบางสวน สามารถเกิดไดอย่างสมบูรณที่อัตราส่วนเมทานอลต่อไนโตรเจนมีค่าเพียง 1 และสอดคล้องกับ สุวิมล (2543) ได้ศึกษาการเปรียบเทียบประสิทธิภาพการกำจัดสารไนโตรเจนของน้ำชะมูลฝอยในระบบบ่อเติมอากาศ 2 แบบ แบบเติมอากาการเป็นจังหวะโดยการเปิด-ปิดเครื่องเติมอากาศและแบบเติมอากาศอย่างต่อเนื่อง พบว่าระบบบำบัดที่เติมอากาศแบบเป็นจังหวะมีประสิทธิภาพในการบำบัดไนโตรเจนดีกว่าระบบบำบัดที่เติมอากาศอย่างต่อเนื่อง โดยที่ไม่ส่งผลกระทบในทางลบต่อประสิทธิภาพในการบำบัดของสารอินทรีย์ และประสิทธิภาพในการบำบัดของระบบที่เติมอากาศเป็นจังหวะขึ้นอยู่กับระยะเวลาเก็บกักน้ำไซเคิล และระยะเวลาในการเปิด-ปิดเครื่องเติมอากาศ

วิธีการดำเนินการ

การศึกษาประสิทธิภาพของระบบให้อากาศแบบโอทูบับเบิ้ลเสริมด้วยโปรตีนสกิมเมอร์ที่มีผลต่อปริมาณสารประกอบไนโตรเจน และผลผลิตในการเลี้ยงกุ้งขาวแวนนาไม *(Penaeus vannamei)* ระยะ PL12 มีวิธีการดำเนินงาน ดังต่อไปนี้

วัสดุและอุปกรณ์

1. ชุดวัดความเป็นกรดด่าง (pH Test Kits)
2. ชุดวัดความเป็นด่าง (Alkalinity Test Kits)
3. เทอร์โมมิเตอร์ (Thermometer)
4. ชุดไตเตรทปริมาณออกซิเจนละลายน้ำ (Dissolved Oxygen, DO)
5. เครื่องดูดกลืนแสงใช้สำหรับตรวจ แอมโมเนีย และไนไตรท์
6. บ่อพลาสติกขนาด 4 ตัน
7. สายยางโอทูบับเบิ้ล
8. ปั๊มลมหอยโข่ง
9. อาหารกุ้ง เบอร์ 1, 2
10. ปั๊มน้ำไดโว่ ขนาด 1 นิ้ว
11. ท่อและข้อต่อ PVC ขนาด 2, 4 นิ้ว
12. ลูกกุ้งขาวแวนนาไม (*Penaeus vannamei*) ระยะ PL12
13. ถังเก็บน้ำพลาสติกทรงกระบอกขนาด 700 ลิตร
14. ถังพลาสติกขนาด 60 ลิตร
15. โซเดียมไบคาร์บอเนต
16. ปูนขาวแคลเซียนคาร์บอเนต
17. โซเดียมโทโอซัลเฟต
18. คลอรีน
19. สีน้ำเทียม

การวางแผนการทดลอง

การศึกษาประสิทธิภาพของระบบให้อากาศแบบโอทูบับเบิ้ลเสริมด้วยโปรตีนสกิมเมอร์ที่มีผลต่อปริมาณสารประกอบไนโตรเจน และผลผลิตในการเลี้ยงกุ้งขาวแวนนาไม ก่อนลงเลี้ยงแบ่งเป็น 2 ชุดการทดลองๆ ละ 3 ซ้ำ ปล่อยกุ้งขาวแวนนาไม ระยะ PL12 โดยชุดการทดลองแบ่งออกเป็นดังนี้

ชุดการทดลองที่ 1 ชุดควบคุม ระบบให้อากาศโอทูบับเบิ้ล (ไม่มีโปรตีนสกิมเมอร์)

ชุดการทดลองที่ 2 ระบบให้อากาศโอทูบับเบิ้ลเสริมด้วยโปรตีนสกิมเมอร์

วิธีการทดลอง

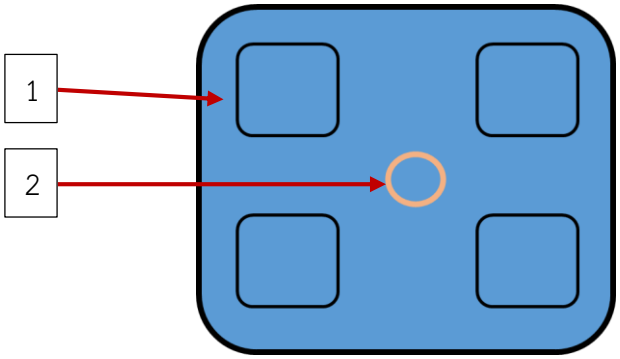
1. การเตรียมอุปกรณ์และสถานที่

1.1 การเตรียมอุปกรณ์และสถานที่

- เตรียมบ่อพลาสติกสำหรับการทดลอง
- เตรียมบ่อปรับสภาพน้ำและบ่อพักน้ำ
- เตรียมบริเวณที่ทำการทดลอง
- เตรียมระบบให้อากาศในบ่อพร้อมปรับสภาพน้ำของระบบให้อากาศโอทูบับเบิ้ลและบ่อที่เสริมด้วยโปรตีนสกิมเมอร์

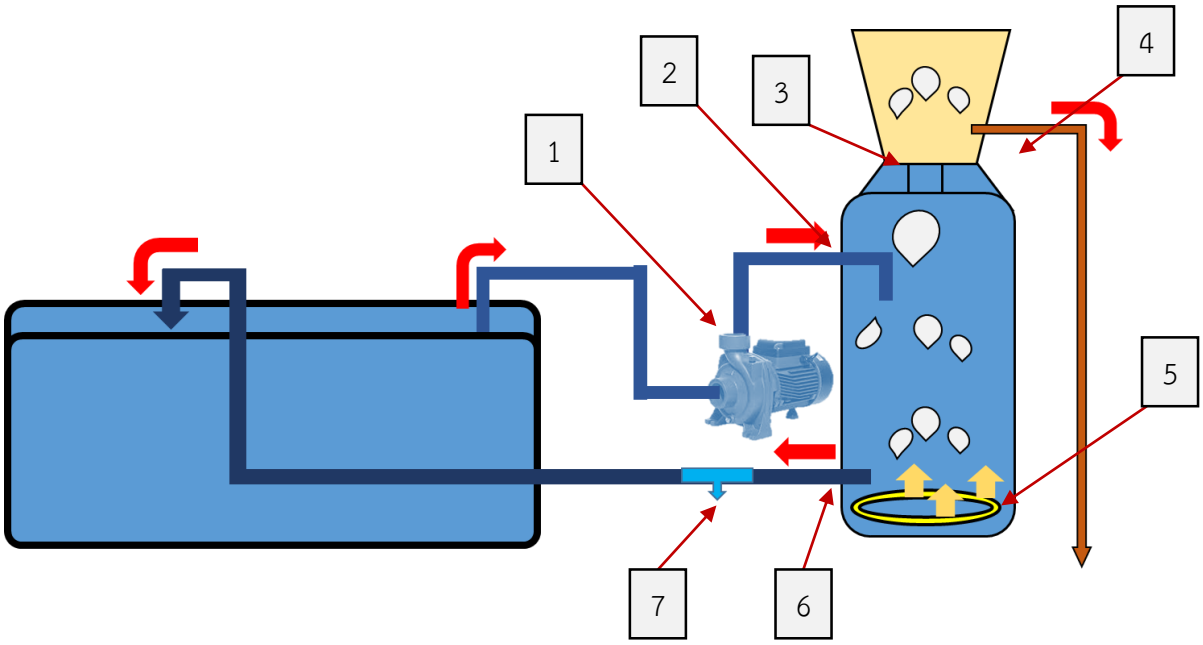
1.2 การติดตั้งอุปกรณ์

ชุดการทดลองที่ 1 ชุดควบคุม ใช้แผงระบบให้อากาศโอทูบับเบิ้ลจำนวน 4 แผง เพื่อเพิ่มปริมาณออกซิเจนในบ่อเลี้ยงกุ้งขาวแวนนาไมจนสิ้นสุดการทดลอง



ภาพที่ 6 ระบบให้อากาศโอทูบับเบิ้ล (1) แผงให้อากาศโอทูบับเบิ้ล (2) ท่อน้ำทิ้ง

ชุดการทดลองที่ 2 ใช้แผงระบบให้อากาศโอทูบับเบิ้ลโดยเสริมด้วยโปรตีนสกิมเมอร์ในบ่อเลี้ยงกุ้งขาวแวนนาไมเพื่อขับอนุภาคสิ่งที่เล็กของสารอินทรีย์ที่ละลายน้ำออก หรือจะช่วยในการแยกของแข็งออกจากของเหลว โดยจะสูบน้ำจากบ่อเลี้ยงกุ้งขาวแวนนาไมเข้าสู่โปรตีนสกิมเมอร์ และน้ำที่ผ่านโปรตีนสกิมเมอร์ (กำจัดตะกอน) จะไหลเข้าสู่บ่อเลี้ยงกุ้งขาวแวนนาไม โดยการทำงานดูดน้ำจากในบ่อเลี้ยงสัตว์จากผิวน้ำ 10 เซนติเมตร และไหลลงคืนสู่บ่อเลี้ยง ในอัตราการไหลของน้ำ 250-300 ลิตรต่อชั่วโมง



ภาพที่ 7 บ่อเลี้ยงกุ้งขาวแวนนาไมที่เสริมด้วยโปรตีนสกิมเมอร์

(1) ปั๊มน้ำไดโว่ (2) ทางน้ำเข้า (3) ที่ดักฟอง (4) ท่อทิ้งของเสีย (5) ท่อให้อากาศโอทูบับเบิ้ล (6) ทางน้ำออก (7) วาล์วควบคุมน้ำ

2. การเตรียมน้ำ

ทำการดึงน้ำเข้าบ่อพักน้ำ เตรียมน้ำที่ค่าความเค็ม 15 ส่วนในพันส่วน ใส่คลอรีนที่ความเข้มข้น 50 ส่วนในล้านส่วน ให้อากาศในบ่อพักน้ำ ทิ้งไว้ 2-3 วัน จนคลอรีนหมด ตรวจสอบค่าความเป็นกรดด่าง ให้อยู่ในช่วง 8.0-8.5 โดยจะปรับด้วยปูนขาว และค่าความเป็นด่าง ต้องให้อยู่ในช่วง 170-204 มิลลิกรัมต่อลิตร เมื่อตรวจสอบคุณภาพน้ำแล้ว ปิดลมไม่น้อยกว่า 3 ชั่วโมง เพื่อให้ตะกอนตกลงไปพื้นบ่อจากนั้นดึงน้ำเข้าสู่บ่ออนุบาลโดยผ่านผ้ากรองขนาด 1 ไมครอน และใส่บ่ออนุบาลที่เตรียมไว้

3. การเตรียมกุ้งขาวแวนนาไม

เตรียมกุ้งขาวแวนนาไม *(Penaeus vannamei)* ระยะ PL12 จำนวน 90,000 ตัว ปล่อยที่อัตราความหนาแน่น 5 ตัวต่อลิตร การทดลองแบ่งออกเป็น 2 ชุดการทดลองๆ ละ 3 ซ้ำ

4. การเตรียมอาหารและให้อาหาร

เตรียมอาหารที่ใช้เลี้ยงเป็นอาหารเม็ดสำเร็จรูป เบอร์ 1 ถึงเบอร์ 2 โดยจะให้อาหาร วันละ 5 มื้อ เวลา 06.00 น. 09.00 น. 13.00 น. 17.00 น. และ 21.00 น. ตามลำดับ โดยปริมาณอาหารที่ใช้ตามโปรแกรมมาตรฐานของการให้อาหารในบ่อเลี้ยงกุ้งขาวแวนนาไม

5. การเปลี่ยนถ่ายน้ำ

การเปลี่ยนถ่ายน้ำในบ่อระหว่างการเลี้ยงกุ้งขาวแวนนาไมทุกๆ 3 วัน ถ่ายน้ำออกจากบ่อ 40 เปอร์เซ็นต์ จนสิ้นสุดการทดลอง

6. การวิเคราะห์คุณภาพน้ำและเก็บรวบรวมข้อมูล

การวิเคราะห์คุณภาพน้ำระหว่างการเลี้ยง โดยทำการตรวจวัดคุณภาพน้ำทุกวัน มีค่าความเป็นกรดด่าง ค่าความเค็ม ค่าความเป็นด่าง และอุณหภูมิในน้ำ ตั้งแต่เริ่มการทดลอง จนสิ้นสุดการทดลอง และทำการตรวจวัดคุณภาพน้ำทุกๆ 3 วัน ก็จะมีค่าแอมโมเนีย ไนไตรท์ โดยจะตรวจค่าปริมาณออกซิเจนละลายน้ำ ค่าแอมโมเนีย และค่าไนไตรท์ กอนเปลี่ยนถ่ายน้ำ และจะตรวจค่าความเป็นกรดด่าง ค่าความเค็ม ค่าความเป็นด่าง และค่าอุณหภูมิในน้ำหลังเปลี่ยนน้ำเสร็จ จะทำการสุ่มลูกกุ้งขาวแวนนาไม ระยะ PL12 มาชั่งน้ำหนัก และวัดความยาวพร้อมบันทึกอัตราการเจริญเติบโต 15 วันต่อครั้ง และตรวจอัตราการรอดตาย

6.1 เก็บรวบรวมข้อมูล

6.1.1 เก็บคุณภาพน้ำ

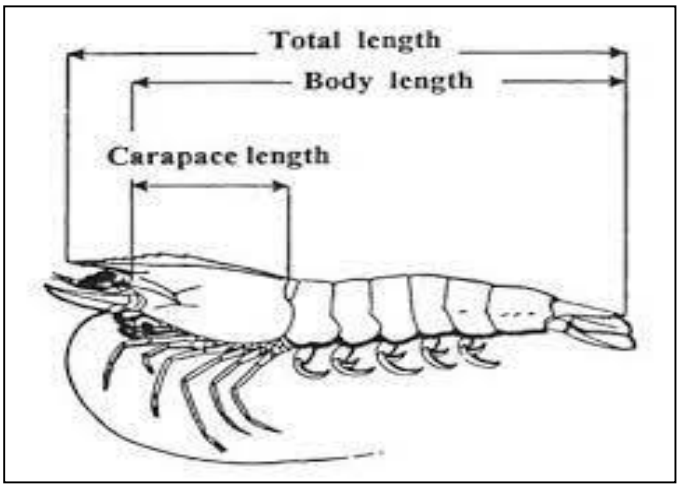
- ออกซิเจนละลายน้ำ (Bissolved Oxygen; DO
- อุณหภูมิน้ำ (Temperature) ตรวจวัดโดยใช้เทอร์โมมิเตอร์ (thermometer)
- ความเค็ม (Salinity) วิเคราะห์ด้วย Refractometer
- ความเป็นกรดด่าง (pH) ตรวจวัดโดยใช้ pH Meter

- ความเป็นด่าง จะใช้วิเคราะห์ด้วยชุดทดสอบค่าความเป็นด่าง

6.1.2 เก็บคุณภาพน้ำทุกๆ 3 วัน

- ปริมาณค่าแอมโมเนีย ไนไตรท์ โดยใช้เครื่องดูดกลืนแสงสำหรับการตรวจค่าแอมโมเนีย และไนไตรท์

6.1.3 การวัดความยาวกุ้งขาวแวนนาไม



ภาพที่ 8 วิธีการวัดความยาวกุ้งขาวแวนนาไม

ที่มา : สถาบันวิจัยการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำชายฝั่ง สงขลา (2558)

- Total length คือ ความยาวที่วัดจากปลายสุดของกรี ไปจรดปลายสุดของหาง
- Standard length คือ ความยาวที่วัดจากตำแหน่งของรอยเว้าของเปลือกบริเวณหลังตาไปจรดปลายสุดของหาง
- Carapace length คือ ความยาวของเปลือกคลุมหัว วัดจากตำแหน่งของรอยเว้าของเปลือกบริเวณหลังตาไปจรดระยะขอบเว้าด้านบนของเปลือกคลุมหัว

6.2 วิเคราะห์หาอัตราการเจริญเติบโตอัตราการรอดของกุ้งขาวแวนนาไม ดังนี้

6.2.1 น้ำหนักเฉลี่ยที่เพิ่มขึ้น (Weight Gain; WG)

= น้ำหนักเฉลี่ยสัตว์น้ำเมื่อสิ้นสุดการเลี้ยง – น้ำหนักเฉลี่ยสัตว์น้ำเริ่มต้น

6.2.2 อัตราการเจริญเติบโตเฉลี่ยต่อวัน (Average Daily Growth; ADG)

$$= \frac{\text{(น้ำหนักสัตว์น้ำเมื่อสิ้นสุดการทดลอง-น้ำหนักสัตว์น้ำเริ่มต้น)}}{\text{จำนวนวันที่เลี้ยง}}$$

6.2.3 ความยาวเฉลี่ยที่เพิ่มขึ้น (Average Gain)

= ความยาวเฉลี่ยสัตว์น้ำสิ้นสุดการทดลอง – ความยาวเฉลี่ยสัตว์น้ำเริ่มต้น

6.2.4 อัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อ (Feed Conversion Ratio, FCR)

$$= \frac{\text{ปริมาณอาหารที่สัตว์น้ำกิน}}{\text{น้ำหนักที่เพิ่มขึ้น}}$$

6.2.5 อัตราการรอดตาย (เปอร์เซ็น survival rate)

$$= \frac{\text{จำนวนกุ้งเมื่อสิ้นสุดการทดลอง} \times 100}{\text{จำนวนสัตว์น้ำที่เริ่มต้นการทดลอง}}$$

7. การวิเคราะห์ข้อมูล

นำข้อมูลที่ได้มาวิเคราะห์ และเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยทุกชุดการทดลอง วิเคราะห์ความแตกต่างทางสถิติ โดยการเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยรายคู่ใช้ในการทดสอบแบบ T-Test จากโปรแกรมสำเร็จรูปคอมพิวเตอร์

ผลและวิจารณ์ผลการทดลอง

ผลการทดลอง

การศึกษาประสิทธิภาพของระบบให้อากาศแบบโอทูบับเบิ้ลเสริมด้วยโปรตีนสกิมเมอร์ที่มีผลต่อปริมาณสารประกอบไนโตรเจน และผลผลิตในการเลี้ยงกุ้งขาวแวนนาไม (*Penaeus vannamei*) ระยะ PL12 เป็นข้อมูลบ่งชี้มีผลการทดลองดังต่อไปนี้

1. คุณภาพน้ำ

1.1 ปริมาณออกซิเจนละลายน้ำ (Dissolved Oxygen, DO)

ตารางที่ 2 แสดงค่าเฉลี่ยของปริมาณออกซิเจนละลายน้ำ (Dissolved Oxygen: DO) ของน้ำในบ่อทดลองที่เลี้ยงกุ้งขาวแวนนาไมด้วย ระบบให้อากาศโอทูบับเบิ้ล และระบบให้อากาศโอทูบับเบิ้ลเสริมด้วยโปรตีนสกิมเมอร์ ระยะเวลา 30 วัน

ชุดการทดลอง	ปริมาณออกซิเจนละลายน้ำ (มิลลิกรัมต่อลิตร)
ระบบให้อากาศโอทูบับเบิ้ล	6.40±0.01
ระบบให้อากาศโอทูบับเบิ้ลเสริมโปรตีนสกิมเมอร์	7.02±1.12
ผลการวิเคราะห์	0.42

จากตารางที่ 4 ผลการทดลอง ปริมาณออกซิเจนละลายน้ำของชุดการทดลองที่ 1 ระบบให้อากาศโอทูบับเบิ้ล มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 6.40±0.01 มิลลิกรัมต่อลิตร ชุดการทดลองที่ 2 ระบบให้อากาศโอทูบับเบิ้ลเสริมด้วยโปรตีนสกิมเมอร์ มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 7.02±1.12 มิลลิกรัมต่อลิตร ผลการทดสอบทางสถิติ พบว่า ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$)

1.2 แอมโมเนีย (Ammonia)

ตารางที่ 3 แสดงค่าเฉลี่ยของปริมาณแอมโมเนีย (Ammonia) ของน้ำในบ่อทดลองที่เลี้ยงกุ้งขาวแวนนาไม ด้วยระบบให้อากาศโอทูบับเบิ้ล และระบบให้อากาศโอทูบับเบิ้ลเสริมด้วยโปรตีนสกิมเมอร์ ระยะเวลา 30 วัน

ชุดการทดลอง	ปริมาณแอมโมเนีย (มิลลิกรัมต่อลิตร)
ระบบให้อากาศโอทูบับเบิ้ล	0.53±0.01
ระบบให้อากาศโอทูบับเบิ้ลเสริมโปรตีนสกิมเมอร์	0.30±0.01
ผลการวิเคราะห์	0.00

จากตารางที่ 5 ผลการทดลอง ปริมาณแอมโมเนีย (Ammonia) ของชุดการทดลองที่ 1 ระบบให้อากาศโอทูบับเบิ้ล มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.53±0.01 มิลลิกรัมต่อลิตร ชุดการทดลองที่ 2 ระบบให้อากาศโอทูบับเบิ้ลเสริมด้วยโปรตีนสกิมเมอร์ มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.30±0.01 มิลลิกรัมต่อลิตร ผลการทดสอบทางสถิติ พบว่า มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$)

1.3 ไนไตรท์ (Nitrite)

ตารางที่ 4 แสดงค่าเฉลี่ยของปริมาณไนไตรท์ (Nitrite) ของน้ำในบ่อทดลองที่เลี้ยงกุ้งข้าวแวนนาไม ด้วยระบบให้อากาศโอทูบับเบิ้ล และระบบให้อากาศโอทูบับเบิ้ลเสริมด้วยโปรตีนสกิมเมอร์ ระยะเวลา 30 วัน

ชุดการทดลอง	ไนไตรท์ (มิลลิกรัมต่อลิตร)
ระบบให้อากาศโอทูบับเบิ้ล	0.71±0.01
ระบบให้อากาศโอทูบับเบิ้ลเสริมโปรตีนสกิมเมอร์	0.53±0.01
ผลการวิเคราะห์	0.00

จากตารางที่ 6 ผลการทดลอง ปริมาณไนไตรท์ (Nitrite)ของชุดการทดลองที่ 1 ระบบให้อากาศโอทูบับเบิ้ล มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.71±0.01 มิลลิกรัมต่อลิตร ชุดการทดลองที่ 2 ระบบให้อากาศโอทูบับเบิ้ลเสริมด้วยโปรตีนสกิมเมอร์ มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.53±0.01มิลลิกรัมต่อลิตร ผลการทดสอบทางสถิติ พบว่า มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$)

2. การเจริญเติบโต

2.1 น้ำหนักเฉลี่ยที่เพิ่มขึ้น (Average Weight Gain)

ตารางที่ 5 แสดงน้ำหนักเฉลี่ยของกุ้งขาวแวนนาไมที่เลี้ยงด้วยระบบให้อากาศโอทูบับเบิ้ล และระบบให้อากาศโอทูบับเบิ้ลเสริมด้วยโปรตีนสกิมเมอร์ ระยะเวลา 30 วัน

ชุดการทดลอง	น้ำหนักเฉลี่ยที่เพิ่มขึ้น (กรัมต่อตัว)
ระบบโอทูบับเบิ้ล	0.27±0.00
ระบบให้อากาศโอทูบับเบิ้ลเสริมโปรตีนสกิมเมอร์	0.28±0.00
ผลการวิเคราะห์	0.02

จากตารางที่ 7 ผลการทดลอง น้ำหนักเฉลี่ยของกุ้งขาวแวนนาไม ชุดการทดลองที่ 1 ระบบให้อากาศโอทูบับเบิ้ล มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.27±0.00 กรัมต่อตัว ชุดการทดลองที่ 2 ระบบให้อากาศโอทูบับเบิ้ลเสริมด้วยโปรตีนสกิมเมอร์ มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.28±0.00 กรัมต่อตัว ผลการทดสอบทางสถิติ พบว่า มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$)

2.2 ความยาวเฉลี่ยที่เพิ่มขึ้น (Average Length Gain)

ตารางที่ 6 แสดงความยาวเฉลี่ยของกุ้งขาวแวนนาไมที่เลี้ยงด้วยระบบให้อากาศโอทูบับเบิ้ล และระบบให้อากาศโอทูบับเบิ้ลเสริมด้วยโปรตีนสกิมเมอร์ ระยะเวลา 30 วัน

ชุดการทดลอง	ความยาวเฉลี่ย (เซนติเมตรต่อตัว)
ระบบให้อากาศโอทูบับเบิ้ล	1.67±0.04
ระบบให้อากาศโอทูบับเบิ้ลเสริมโปรตีนสกิมเมอร์	1.70±0.02
ผลการวิเคราะห์	0.09

จากตารางที่ 8 ผลการทดลอง ความยาวเฉลี่ยของกุ้งขาวแวนนาไม ชุดการทดลองที่ 1 ระบบให้อากาศโอทูบับเบิ้ล มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 1.67±0.04 เซนติเมตรต่อตัว ชุดการทดลองที่ 2 ระบบให้อากาศโอทูบับเบิ้ลเสริมด้วยโปรตีนสกิมเมอร์ มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 1.70±0.02 เซนติเมตรต่อตัว ผลการทดสอบทางสถิติ พบว่า ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$)

2.3 อัตราการเจริญเติบโตเฉลี่ยต่อวัน (Average Daily Weight Gain, ADG)

ตารางที่ 7 แสดงอัตราการเจริญเติบโตเฉลี่ยต่อวันของกุ้งขาวแวนนาไมที่เลี้ยงด้วยระบบให้อากาศโอทูบับเบิ้ล และระบบให้อากาศโอทูบับเบิ้ลเสริมด้วยโปรตีนสกิมเมอร์ ระยะเวลา 30 วัน

ชุดการทดลอง	อัตราการเจริญเติบโตเฉลี่ยต่อวัน (กรัมต่อวัน)
ระบบให้อากาศโอทูบับเบิ้ล	0.0091±0.0001
ระบบให้อากาศโอทูบับเบิ้ลเสริมโปรตีนสกิมเมอร์	0.0094±0.0001
ผลการวิเคราะห์	0.035

จากตารางที่ 9 ผลการทดลอง อัตราการเจริญเติบโตเฉลี่ยต่อวันของกุ้งขาวแวนนาไม ชุดการทดลองที่ 1 ระบบให้อากาศโอทูบับเบิ้ล มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.0091±0.0000 กรัมต่อตัว ชุดการทดลองที่ 2 ระบบให้อากาศโอทูบับเบิ้ลเสริมด้วยโปรตีนสกิมเมอร์ มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.0094±0.0000 กรัมต่อตัว ผลการทดสอบทางสถิติ พบว่า มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$)

3. อัตราการรอดตาย (Survival Rate)

ตารางที่ 8 แสดงอัตราการรอดตายของกุ้งขาวแวนนาไมที่เลี้ยงด้วยระบบให้อากาศโอทูบับเบิ้ล และระบบให้อากาศโอทูบับเบิ้ลเสริมด้วยโปรตีนสกิมเมอร์ ระยะเวลา 30 วัน

ชุดการทดลอง	อัตตราการรอดตาย (ร้อยละ)
ระบบให้อากาศโอทูบับเบิ้ล	81.83±0.20
ระบบให้อากาศโอทูบับเบิ้ลเสริมโปรตีนสกิมเมอร์	82.93±0.49
ผลการวิเคราะห์	0.02

จากตารางที่ 10 ผลการทดลอง อัตราการรอดตายของกุ้งขาวแวนนาไม ชุดการทดลองที่ 1 ระบบให้อากาศโอทูบับเบิ้ล มีอัตราการรอดตายเท่ากับร้อยละ 81.83±0.20 ชุดการทดลองที่ 2 ระบบให้อากาศระบบให้อากาศโอทูบับเบิ้ลเสริมด้วยโปรตีนสกิมเมอร์ มีอัตราการรอดตายเท่ากับร้อยละ 82.93±0.49 ผลการทดสอบทางสถิติ พบว่า มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$)

4. อัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อ (Feed Conversion Ratio: FCR)

ตารางที่ 9 แสดงอัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อของกุ้งขาวแวนนาไมที่เลี้ยงด้วยระบบให้อากาศโอทูบับเบิ้ล และระบบให้อากาศระบบให้อากาศโอทูบับเบิ้ลเสริมด้วยโปรตีนสกิมเมอร์ ระยะเวลา 30 วัน

ชุดการทดลอง	อัตตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อ
ระบบให้อากาศโอทูบับเบิ้ล	1.02± 0.01
ระบบให้อากาศโอทูบับเบิ้ลเสริมโปรตีนสกิมเมอร์	1.03±0.04
ผลการวิเคราะห์	0.53

จากตารางที่ 11 ผลการทดลอง อัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อของกุ้งขาวแวนนาไม ชุดการทดลองที่ 1 ระบบให้อากาศโอทูบับเบิ้ล มีอัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อ 1.02±0.01 ชุดการทดลองที่ 2 ระบบให้อากาศระบบให้อากาศโอทูบับเบิ้ลเสริมด้วยโปรตีนสกิมเมอร์ มีอัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อ 1.03±0.04 ผลการทดสอบทางสถิติ พบว่า ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P>0.05)

ตารางที่ 10 แสดงค่าคุณภาพน้ำในบ่อเลี้ยงกุ้งขาวแวนนาไมที่เลี้ยงด้วยระบบให้อากาศโอทูบับเบิ้ล และระบบให้อากาศโอทูบับเบิ้ลเสริมด้วยโปรตีนสกิมเมอร์ ระยะเวลา 30 วัน

แสดงคุณภาพน้ำในระหว่างการทดลอง		
	ระบบให้อากาศโอทูบับเบิ้ล	ระบบให้อากาศโอทูบับเบิ้ลที่เสริมด้วยระบบโปรตีนสกิมเมอร์
ค่าความเค็ม (ส่วนในพันส่วน)	15	15
อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	26-28	26-28
ความเป็นกรดด่าง	7.5-8.5	7.5-8.6
ความเป็นด่าง (มิลลิกรัมต่อลิตร)	154-210	170-207

จากตารางที่ 12 แสดงค่าคุณภาพน้ำในระหว่างการทดลอง พบว่า ชุดการทดลองที่ 1 ระบบให้อากาศโอทูบับเบิ้ล มีค่าความเค็ม 15 ส่วนในพันส่วน อุณหภูมิ 26-28 องศาเซลเซียส ค่าความเป็นกรดด่าง 7.5-8.5 ค่าความเป็นด่าง 154-210 มิลลิกรัมต่อลิตร และชุดการทดลองที่ 2

ระบบให้อากาศโอทูบับเบิ้ลเสริมด้วยโปรตีนสกิมเมอร์ที่มี ค่าความเค็ม 15 ส่วนในพันส่วน อุณหภูมิ 26-28 องศาเซลเซียส ค่าความเป็นกรดด่าง 7.5-8.6 ค่าความเป็นด่าง 170-207 มิลลิกรัมต่อลิตร

วิจารณ์ผลการทดลอง

1. คุณภาพน้ำ

จากการศึกษาประสิทธิภาพของการใช้ของระบบให้อากาศในการเลี้ยงกุ้งขาวแวนนาไม (*Penaeus vannamai*) ระยะ PL12 โดยแบ่งระบบให้อากาศเป็น 2 ชุดการทดลอง คือ ชุดการทดลองที่ 1 ระบบให้อากาศโอทูบับเบิ้ล และชุดการทดองที่ 2 ระบบให้อากาศโอทูบับเบิ้ลเสริมด้วยโปรตีนสกิมเมอร์ พบว่าปริมาณออกซิเจนละลายน้ำในชุดการทดลองที่ 1 และชุดการทดลองที่ 2 มีผลการทดสอบทางสถิติไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$) เนื่องจากทั้ง 2 ชุดการทดลองเป็นระบบให้อากาสโอทูบับเบิ้ล จึงทำให้ฟองออกซิเจนที่ออกมาละเอียด ฟองอากาศที่มาจากสายยางเติมอากาศมีขนาดเล็กละเอียด ช่วยเพิ่มออกซิเจนในน้ำได้อย่างมีประสิทธิภาพ มีพื้นที่ผิวในการถ่ายเทอากาศมาก เพิ่มพื้นที่การแลกเปลี่ยนออกซิเจน ทำให้ DO (Dissolved Oxygen) สูงสามารถเลี้ยงสัตว์น้ำได้หนาแน่นขึ้น ช่วยทำให้อุณหภูมิน้ำทั่วกันทั้งบ่อ ลดการแยกชั้นน้ำ ซึ่งสอดคล้องกับ ปฏิวัติ และคณะ (2561) ศึกษาการประยุกต์ใช้ไมโครบับเบิ้ลโอโซนร่วมกับระบบเติมอากาศแบบเวนจูรี่ในบำบัดน้ำในคลอง ซึ่งติดตั้งเครื่องบำบัดน้ำแบบไมโครร่วมกับระบบเติมอากาศเวนจูรี่บนทุ่นลอยสามารถทำงานได้เป็นอย่างดี และผลจากการทดสอบทำให้ปริมาณออกซิเจนละลายน้ำมีค่าเพิ่มขึ้นเป็น 5.5 มิลลิกรัมต่อลิตร

จากการทดลองพบว่าปริมาณแอมโมเนียและไนไตรท์เฉลี่ยทั้ง 2 ชุดการทดลองมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) โดยพบว่าชุดการทดลองที่ 2 มีค่าปริมาณแอมโมเนียและไนไตรท์น้อยกว่าชุดการทดลองที่ 1 เนื่องจากชุดการทดลองที่ 2 มีการเสริมโปรตีนสกิมเมอร์ในบ่อเลี้ยงกุ้งขาวแวนนาไมที่ช่วยขับอนุภาคที่เล็กของสารอินทรีย์ที่ละลายออกโดยใช้ฟองอากาศในการดักจับและแยกของแข็งออกจากของเหลวที่เกิดแอมโมเนียภายในบ่อเลี้ยงสัตว์น้ำ ส่วนใหญ่มาจากปุ๋ย ซากของสิ่งมีชีวิตที่ตายแล้ว การขับถ่ายของสิ่งมีชีวิต และอาหารที่เหลือตกค้าง โดยกระบวนการสลายสารอินทรียไนโตรเจนจนกลายเปนแอมโมเนียอิสระ และแอมโมเนียไอออน ที่เรียกว่าแอมโมนิฟิเคชั่น (กระบวนการย่อยกรดอะมิโนแล้วขับไนโตรเจนออกมาเป็นแอมโมเนีย) แอมโมเนียอิสระที่เป็นพิษตอสัตวน้ำ โดยความเปนพิษขึ้นอยู่กับความเขมขนของแอมโมเนียอิสระ และแอมโมเนียไอออนเป็นรูปที่ไมเปนพิษตอสัตวน้ำโดยแอมโมเนียจะเพิ่มจะขึ้นตามค่าความเป็นกรดด่างของน้ำ และอุณหภูมิ ปริมาณแอมโมเนียภายในบ่อเลี้ยงสัตว์น้ำจะสูงขึ้นตามระยะเวลาในการเลี้ยงสัตว์น้ำ

ซึ่งไนโตรเจนจากสารอินทรีย์ จะถูกเปลี่ยนเป็นแอมโมเนีย ในสภาวะที่มีออกซิเจน แอมโมเนียจะถูกเปลี่ยนไปเป็นไนไตรท์ และไนเตรท โดยแบคทีเรียกลุ่มไนตริไฟอิงแบคทีเรีย (Nitrifying Bacteria) ในกระบวนการไนตริฟิเคชั่น (Nitrification) เป็นกระบวนการออกซิไดซ์แอมโมเนียซึ่งมีความเป็นพิษสูงต่อสัตว์น้ำให้เป็นไนไตรท์ และไนเตรท โดยอาศัยทำหน้าที่ของแบคทีเรียประเภทออโตทรอฟ 2 ชนิด 2 ขั้นตอนย่อย ขั้นตอนย่อยแรกคือ ไนไตรเตชัน (Nitritation) โดยแบคทีเรียกลุ่ม Ammonium oxidizing bacteria (AOB) มีหน้าที่ออกซิไดซ์แอมโมเนียให้เป็นไนไตรท์ ส่วนขั้นตอนย่อยที่สองคือ ไนเตรเตชัน (Nitritation) โดยแบคทีเรียกลุ่ม Nitrite oxidizing bacteria (NOB) ทำหน้าที่ออกซิไดซ์ไนไตรท์เป็นไนเตรท ขณะที่แบคทีเรียออกโตทรอฟ ทั้ง 2 ชนิดออกซิไดซ์แอมโมเนียเป็นไนไตรท์ และไนเตรท ระบบจะอยู่ในสภาวะแอโรบิค และได้พลังงานออกมา แบคทีเรียจะใช้พลังงานนี้ไปดึงเอาคาร์บอนไดออกไซด์ หรือ ไฮโดรเจนคาร์บอเนตมาเป็นแหล่งคาร์บอน ซึ่งอาจเนื่องมาจากปริมาณกุ้งขาวแวนนาไมที่มีความหนาแน่น และอาจเกิดของเสียหรือเศษอาหารเหลือมาก จึงทำให้ค่าแอมโมเนียสูงและปริมาณไนไตรท์ในระบบให้อากาศโอทูบับเบิ้ล มีค่าเฉลี่ยสูงกว่าระบบให้โอทูบับเบิ้ลที่เสริมด้วยโปรตีนสกิมเมอร์แต่ถ้าปริมาณออกซิเจนในน้ำมีน้อยทำให้แบคทีเรียมีความสามารถในการเปลี่ยนแอมโมเนียเป็นไนไตรท์ได้ดีกว่าทำให้มีค่าสูงเกินเกณฑ์มาตรฐาน แต่ยังคงยอมรับได้ ซึ่งทั้งแอมโมเนีย และไนไตร์ อยู่ในช่วงที่เหมาะสมต่อการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ ซึ่งสอดคล้องกับ พลพจน์ (2547), จรียา และ สุรินทร (2556), สุภาวดี (2549) และ กรมประมง (2554) ได้รายงานว่า ค่าของแอมโมเนียที่เหมาะสมสำหรับเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำควรน้อยกว่า 0.5 มิลลิกรัมต่อลิตร PromotionSci (2557) ได้รายงานว่าความเข้มข้นของแอมโมเนียที่ทำให้สัตว์น้ำตาย โดยปกติอยู่ในช่วง 0.4-2.0 มิลลิกรัมต่อลิตร ในรูปของแอมโมเนียในการทดลองแบบพิษเฉียบพลันระหว่าง 24-72 ชั่วโมง แต่สำหรับกุ้งมีรายงานว่า แอมโมเนียที่ความเข้มข้น 1.29 มิลลิกรัมต่อลิตร ในรูปแอมโมเนีย จะทำให้กุ้งตายได้ถึง 50 เปอร์เซ็นต์ ในระยะเวลา 48 ชั่วโมง ความเป็นพิษของไนไตรท์ในกุ้งกุลาดำ (*Penaeus monodon*) ระยะ Zoea ที่ 24 ชั่วโมง Lethal Concentration (LC-50) เท่ากับ 13.20 มิลลิกรัมไนโตรเจนต่อลิตร ในบ่อเลี้ยงกุ้งทะเลไนไตรท์มีไม่ควรเกิน 0.1 มิลลิกรัมต่อลิตร ด้านแอมโมเนีย และไนไตรท์ที่เกินมาตรฐานนั้น อาจจะเกิดจากกระบวนการในการกำจัดของเสีย กำจัดของเสียในระบบได้ไม่มากพอ แต่อย่างไรก็ตามค่าไนไตรท์ที่สูงไม่ส่งผลกระทบจนทำให้กุ้งตายได้ (ประจวบ และสุฤทธิ์, 2559) ไนไตรท์เป็นสารตัวกลางที่ได้จากขบวนการ Nitrification ของแอมโมเนีย โดยมีแบคทีเรียชนิด *Nitrosomonas* sp. และ *Nitrobactor* sp. เป็นสารที่มีพิษต่อสัตว์น้ำในบ่อเลี้ยงกุ้งทะเล ไนไตรท์มีค่าไม่ควรเกิน 0.1 มิลลิกรัมจ่อลิตร สุภาวดี (2549) ได้รายงานว่าค่าของไนไตรท์ที่เหมาะสมสำหรับเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำต้องมีค่าไม่เกิน 0.1 มิลลิกรัมต่อลิตร สุธาทิพย์ (2550) ศึกษาประสิทธิภาพเครื่องโปรตีนสกิมเมอร์แบบแยกโฟมสำหรับเลี้ยงปลานิล พบว่าระบบที่มีเครื่องโปรตีนสกิมเมอร์แบบแยกโฟมสามารถช่วยลดปริมาณไนไตรท์เพิ่มขึ้นถึง 8.28 เปอร์เซ็นต์

จากผลการทดลองสามารถนำไปปรับปรุงคุณภาพน้ำโดยใช้โปรตีนสกิมเมอร์ในการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำชนิดอื่นได้และรูปแบบการจัดการระหว่างการเลี้ยงอื่นๆ ร่วมด้วย

ด้านการเจริญเติบโตของกุ้งขาวแวนนาไมที่เลี้ยงด้วยระบบให้อากาศโอทูบับเบิ้ลเสริมด้วยระบบโปรตีนสกิมเมอร์ มีน้ำหนักเฉลี่ยที่เพิ่มขึ้น 0.28±0.00 กรัม ความยาวเฉลี่ยที่เพิ่มขึ้น 1.70±0.02 เซนติเมตรและอัตราการเจริญเติบโตเฉลี่ยต่อวัน 0.0094±0.0001 กรัมต่อวัน ซึ่งมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) และมีประสิทธิภาพดีกว่าระบบให้อากาศโอทูบับเบิ้ล อัตราการรอดตายของระบบให้อากาศโอทูบับเบิ้ลเสริมด้วยระบบโปรตีนสกิมเมอร์ มีอัตราการรอดตายเท่ากับร้อยละ 82.93±0.49 ซึ่งมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) อัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อ 1.03±0.04 ซึ่งไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$) กับระบบให้อากาศโอทูบับเบิ้ล ดั้งนั้นการเสริมระบบโปรตีนสกิมเมอร์ที่ช่วยขับอนุภาคที่เล็กของสารอินทรีย์ที่ละลายออกโดยใช้ฟองอากาศในการดักจับและแยกของแข็งออกจากของเหลวออกจากบ่อสามารถทำให้คุณภาพน้ำดีขึ้นออกจากออกซิเจนละลายน้ำจึงเป็นปัจจัยที่จำเป็นต่อการเจริญเติบโตของกุ้งขาวแวนนาไม ปริมาณการบริโภคออกซิเจนที่เกิดขึ้นภายในบ่อเลี้ยงกุ้งขาวแวนนาไม ขึ้นอยู่กับการหายใจของกุ้งขาวแวนนาไม การย่อยสลายสารอินทรีย์ของจุลินทรีย์ภายในบ่อ โดยเฉพาะกระบวนการเปลี่ยนแอมโมเนียไปเป็นไนไตรท์ และไนเตรทออกซิเจนละลายน้ำที่มีเพียงพอจะส่งผลต่อการเจริญเติบโต คุณภาพน้ำในระบบอยู่ในสภาวะที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของกุ้ง จึงสามารถช่วยให้กุ้งขาวแวนนาไมมีอัตราการเจริญเติบโตที่ดีขึ้นได้ ซึ่งสอดคล้องกับการทดลองของ เจษฎา และสุภาวดี (2561) ได้ทำการศึกษาการเจริญของปลานิลด้านหนักเฉลี่ยที่เลี้ยงในระบบหมุนเวียนกลับมาใช้ใหม่ที่มีระบบบำบัดแตกต่างกัน พบว่าระบบบำบัดแบบโปรตีนสกิมเมอร์มีน้ำหนักเฉลี่ยที่ดีที่สุดเท่ากับ 167.60±0.24 รองลงมาคือไม่มีระบบบำบัดเท่ากับ 147.76±0.99 ส่วนค่าเฉลี่ยของความยาวเฉลี่ยที่เพิ่มขึ้น พบว่าไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$)

สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

สรุปผลการทดลอง

จากการศึกษาครั้งนี้พบว่าการเลี้ยงกุ้งขาวแวนนาไม (*Penaeus vannamai*) ระยะ PL12 ด้วยระบบให้อากาศโอทูบับเบิ้ลที่เสริมด้วยระบบโปรตีนสกิมเมอร์มีค่าปริมาณแอมมโมเนีย 0.30±0.01 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาณไนไตรท์ 0.53±0.01 มิลลิกรัมต่อลิตร น้ำหนักเฉลี่ยที่เพิ่มขึ้น 0.28±0.00 กรัมต่อตัว อัตราการเจริญเติบโตเฉลี่ยต่อวัน 0.0094±0.0000 กรัมต่อตัว และอัตราการรอดตายเท่ากับร้อยละ 82.93±0.49 มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($P<0.05$) ซึ่งมีค่าที่ดีกว่าระบบให้อากาศโอทูบับเบิ้ล ส่วนค่าปริมาณออกซิเจนละลายในน้ำ 7.02±1.12 มิลลิกรัมต่อลิตร ความยาวเฉลี่ยที่เพิ่มขึ้น 1.70±0.02 เซนติเมตรต่อตัว และอัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อ 1.03±0.04 ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($P>0.05$) ดังนั้นการใช้ระบบให้อากาศโอทูบับเบิ้ลที่เสริมด้วยโปรตีนสกิมเมอร์ในการเลี้ยงกุ้งขาวแวนนาไมสามารถนำมาประยุกต์ใช้ในการเลี้ยงกุ้งของเกษตรกรได้ เพื่อให้ได้ปริมาณผลผลิตและผลตอบแทนที่ดีขึ้น

ข้อเสนอแนะ

1. ควรเพิ่มระยะเวลาในการทดลองให้มากกว่า 30 วัน เพื่อจะทำให้เครื่องโปรตีนสกิมเมอร์สามารถบำบัดน้ำในบ่อเลี้ยงกุ้งขาวแวนนาไม ถ้าเพิ่มระยะเวลาให้นานจะทำให้ทราบระยะเวลาการบำบัดที่ให้ประสิทธิภาพที่ดีที่สุดด้วย
2. ควรมีการศึกษาประสิทธิภาพของเครื่องโปรตีนสกิมมอร์ ในการบำบัดน้ำจากแหล่งอื่นด้วยเพื่อใช้เป็นข้อมูลประกอบ
3. ควรใช้เลี้ยงกับบ่อลอย เพราะน่าจะมีประสิทธิภาพในการเลี้ยงที่ดี

เอกสารอ้างอิง

กมลศิริ พันธนียะ. 2564. **กุ้งขาวแวนนาไม**. สืบค้นจาก : https://www.shrimpcenter.com/t-shrimp051.html (28 สิงหาคม 2564).

กรมประมง. 2554. **การปฏิบัติทางประมงที่ดี สำหรับฟาร์มเลี้ยงสัตว์น้ำ (GAP)**. [Online] http:/www.fisheries.go.th/freshwater/web3/images/download/GAP%20hanbook.pdf [12 กรกฎาคม 2564].

คลังข้อมูลสารสนเทศระดับภูมิภาค ภาคใต้. 2564. **การเลี้ยงกุ้งของไทย.** สืบค้นจาก : http://www.arda.or.th/kasetinfo/south/shrimp/history/01-03.php [26 กรกฎาคม 2564].

คลังข้อมูลสารสนเทศระดับภูมิภาค ภาคใต้. 2564. **เครื่องโปรตีนสกีมเมอร์**. สืบค้นจาก : www.arda.or.th/kasetinfo/south/shrimp/controller/machinery5.php?fbclid (29 กรกฎาคม 2564).

จรียา ยิ้มรัตนบวร และสุรินทร บุญอนันธนสาร. 2556. **ศักยภาพการหมุนเวียนน้ำกลับมาใช้ใหม่ของระบบพื้นที่ชุ่มน้ำบึงประดิษฐ์สำหรับการเพาะเลี้ยงปลาดุกลูกผสม**. รายงานวิจัย. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี, นครราชสีมา.

จารุมาศ เมฆสัมพันธ์ เชษฐพงษ์ เมฆสัมพันธ์ และศรายุทธ์ เมธินาพิทักษ์. 2564. **ผลวัดของออกซิเจนในบ่อเลี้ยงกุ้งกุลาดำ : กรณีศึกษาอิทธิพลของปัจจัยทางนิเวศวิทยาและสิ่งแวดล้อม.** สืบค้นจาก : http://61.19.16.38/database/project/projectDetail.php?pid=r2s2u214v2p213v2x2 (26 สิงหาคม 2564).

เจษฎา อิสเหาะ สุภาวดี โกยดุล และวราห์ เทพาหุดี. 2560. **ประสิทธิภาพของเทคนิคการดักตะกอนของแข็งในระบบหมุนเวียนน้ำนำกลับมาใช้ใหม่ กรณีศึกษา: ดุลออกซิเจนของการเลี้ยงปลานิลแดงในระบบหมุนเวียนน้ำนำกลับมาใช้ใหม่**. คณะเทคโนโลยีการเกษตรและอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ.

บริษัท ชลบุรี ทรีทเม้นท์ เซอร์วิส จำกัด. 2563. **โปรตีนสกิมเมอร์ (Protein Skimmer)**. สืบค้นจาก : https://www.asiacts.com/content/1179-protein-skimmer?fbclid (29 สิงหาคม 2564).

บริษัท ซี-เทค อินเตอร์เทรด จำกัด. 2557. **กุ้งขาวแวนนาไม.** สืบค้นจาก : http://www.industry.in.th/dip/knowledge_detail.php?id=2143&uid=43862 (26 กรกฎาคม 2564).

บริษัท เบทาโกร จำกัด. 2564. **คู่มือการเลี้ยงกุ้งขาว.** สืบค้นจาก : http://betagrofeed.com/community/.pdf [26 สิงหาคม 2564].

ปกป้อง อุ้มอยู่. 2564. **สรีระวิทยากุ้งขาวแวนนาไม**. สืบค้นจาก : https://www.fisheries.go.th/.pdf (26 กรกฎาคม 2564).

ประจวบ ฉายบุ และสุฤทธิ์ สมบูรณ์ชัย. 2559. **การผลิตปลานิลร่วมกับปลาช่อนในระบบอะควาโปนิคส์เพื่อเพิ่มผลผลิตสัตว์น้ำให้มีคุณภาพและปลอดภัย.** คณะเทคโนโลยีทางประมงและทรัพยากรทางน้ำ มหาวิทยาลัยแม่โจ้ จังหวัดเชียงใหม่.

ประภาพร ดีมาก เชษฐพงษ์ เมฆสัมพันธ์ และนภาขวัญ แหวนเพชร. 2561. **การปลดปล่อยธาตุอาหารไนโตรเจน และฟอสฟอรัสจากการเลี้ยงกุ้งขาว (*Litopenaeus vannamei*) แบบความหนาแน่นสูงในบ่อผ้าใบสู่ระบบนิเวศภายนอก**. ภาควิชาวิทยาศาสตร์ทางทะเล คณะประมง มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

ปฏิวัติ บุญมา ชาญณรงค์ หนูอินทร์ และประมุข อุณหเลขกะ. 2561. **การประยุกต์ใช้ไมโครบับเบิ้ลโอโซนร่วมกับระบบเติมอากาศแบบเวนจูรี่ในการบำบัดน้ำในคลองพระพิมลราชา ตลาดน้ำไทรน้อย อำเภอไทรน้อย จังหวัดนนทบุรี**. คณะวิศวกรรมศาสตร์และสถาปัตยกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ.

พรภัค ธนะเศวต และปิยาภรณ์ สมสมัคร. 2553. **การกำจัดไนโตรเจนในน้ำเสียด้วยกระบวนการชีวภาพผ่านไนตริฟิเคชั่นบางส่วน.** ภาควิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

พลพจน์ กิตติสุวรรณ์. 2547. **คุณสมบัติน้ำที่เหมาะสมในการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ**. PET-MAG ปีที่ 7 (84).

ภรัณยู ถมพลกรัง ไวทัศน หนูกล่ำ และอนุสรา แกนทอง. 2560. **โปรตีนสกิมเมอร์สำหรับการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำเชิงพาณิชย์.** ศูนย์วิจัยและพัฒนาการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำชายฝั่งเขต 6 สงขลา.

สถาบันวิจัยการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำชายฝั่ง สงขลา. 2558. **เรื่องน่ารู้ของโปรตีนสกิมเมอร์**. สืบค้นจาก http://www.nicaonline.com/index.php?option=com_content&view=article&id=1582%3A2015 (29 สิงหาคม 2564).

สถาบันวิจัยการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำชายฝั่ง สงขลา. 2564. **ไบโอฟลอค (Biofloc) กับการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ** สืบค้นจาก : http://www.nicaonline.com/index.php?option=com_content&view (29 สิงหาคม 2564).

สุธาทิพย์ เกิดทอง. 2550. **ประสิทธิภาพเครื่องโปรตีนสกิมเมอร์แบบแยกโฟม สำหรับเลี้ยงปลานิล.** วิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาเทคโนโลยีทางทะเล คณะเทคโนโลยีทางทะเล มหาวิทยาลัยบูรพา.

สุทธิชัย ฤทธิธรรม. 2560. **การพัฒนาถังในการลำเลียงปลาผิวน้ำ.** ศูนย์วิจัยและพัฒนาประมงชายฝั่งสมุทรสาคร.

สุภาวดี โกยดุลย์. 2549. **คุณภาพน้ำทางการประมง ภาคทฤษฎี.** เอกสารประกอบการสอน.สาขาวิทยาศาสตร์การประมง คณะเทคโนโลยีและอุตสาหกรรมการเกษตร มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ, พระนครศรีอยุธยา.

สุภาวดี โกยดุลย์ และเจษฎา อิสเหาะ. 2561. **ประสิทธิภาพของเทคนิคกำจัดตะกอนแบบต่างๆในการบำบัดน้ำจากการเลี้ยงปลานิลแดงระบบหมุนเวียนสัตว์น้ำกลับมาใช้ใหม่.** คณะเทคโนโลยีการเกษตรและอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ.

สุวิมล สวยสม. 2543. **การกำจัดไนโตรเจนในน้ำชะมูลฝอยโดยบ่อเติมอากาศแบบเติมอากาศเป็นจังหวะ**. วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.

สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร. 2562. **ราคาสินค้าเกษตรรายวัน**. สืบค้นจาก : https://www.ryt9.com/s/oae/3072947 [26 มิถุนายน 2564].

Assist-impact. 2561. **คุณสมบัติของน้ำกับการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ.** สืบค้นจาก : https://assist-impact.net/th/articles/130599 (18 กรกฎาคม 2564).

PromotionSci. 2564. **คุณภาพน้ำที่เหมาะสมสำหรับการเลี้ยงกุ้งทะเล** สืบค้นจาก : https://www.promotionsci.com/ (20 กรกฎาคม 2564).

prawitchaikong. 2564. **คุณภาพน้ำที่เหมาะสมสำหรับการเลี้ยงกุ้งทะเล.** สืบค้นจาก : https://sites.google.com/site/prawitchaikong/content5 (3 กรกฎาคม 2564).

Thum Namprom. 2563. **RAS และเทคโนโลยีระบบเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ.** สืบค้นจาก : https://properea.com/ras-aquaculture-tech-12-06-2020/ (29 สิงหาคม 2564).

ภาคผนวก

ภาพผนวก ก
การวิเคราะห์ผลทางสถิติ

1.ด้านน้ำหนัก

ชุดการทดลอง	น้ำหนักเฉลี่ยเริ่มต้น (กรัม)	น้ำหนักเฉลี่ยสุดท้าย (กรัม)	น้ำหนักเฉลี่ยที่เพิ่มขึ้น (กรัม)
T1R1	0.016	0.285	0.269
T1R2	0.017	0.289	0.272
T1R3	0.016	0.291	0.275
T2R1	0.014	0.292	0.278
T2R2	0.016	0.301	0.285
T2R3	0.015	0.298	0.283

น้ำหนักค่าเฉลี่ยที่เพิ่มขึ้น

Paired Samples Statistics

		Mean	N	Std. Deviation	Std. Error Mean
Pair 1	นน.เฉลี่ยเพิ่มขึ้น 1	.272000	3	.0030000	.0017321
	นน.เฉลี่ยเพิ่มขึ้น 2	.282000	3	.0036056	.0020817

Paired Samples Test

	Paired Differences					t	df	Sig. (2-tailed)
	Mean	Std. Deviation	Std. Error Mean	95% Confidence Interval of the Difference Lower	Upper			
นน.เฉลี่ยเพิ่มขึ้น 1 นน.เฉลี่ยเพิ่มขึ้น 2	-.0100000	.0026458	.0015275	-.0165724	-.0034276	-6.547	2	.023

2. ด้านความยาว

ชุดการทดลอง	ความยาวเฉลี่ยเริ่มต้น	ความเฉลี่ยสุดท้าย	ความยาวเฉลี่ยที่เพิ่มขึ้น
T1R1	1.15	2.85	1.70
T1R2	1.13	2.81	1.68
T1R3	1.13	2.76	1.63
T2R1	1.14	2.85	1.71
T2R2	1.13	2.84	1.71
T2R3	1.14	2.81	1.67

ความยาวเฉลี่ย

Paired Samples Statistics

		Mean	N	Std. Deviation	Std. Error Mean
Pair 1	ความยาวเฉลียเพิ่มขึ้น 1	1.670000	3	.0360555	.0208167
	ความยาวเฉลียเพิ่มขึ้น 2	1.696667	3	.0230940	.0133333

Paired Samples Test

	Paired Differences					t	df	Sig. (2-tailed)
	Mean	Std. Deviation	Std. Error Mean	95% Confidence Interval of the Difference Lower	Upper			
ความยาวเฉลียเพิ่มขึ้น 1 ความยาวเฉลียเพิ่มขึ้น 2	-.0266667	.0152753	.0088192	-.0646125	.0112792	-3.024	2	.094

3. ด้านอัตราการรอดตาย

ชุดการทดลอง	จำนวนกุ้งที่เริ่มต้น	จำนวนกุ้งสุดท้าย	อัตราการรอดตาย
T1R1	15000	12270	81.8000
T1R2	15000	12308	82.0533
T1R3	15000	12247	81.6467
T2R1	15000	12410	82.7333
T2R2	15000	12524	83.4933
T2R3	15000	12385	82.5667

อัตราการรอดตาย

Paired Samples Statistics

		Mean	N	Std. Deviation	Std. Error Mean
Pair 1	อัตราการรอดตาย 1	81.833333	3	.2053393	.1185527
	อัตราการรอดตาย 2	82.931100	3	.4939540	.2851845

Paired Samples Test

	Paired Differences					t	df	Sig. (2-tailed)
	Mean	Std. Deviation	Std. Error Mean	95% Confidence Interval of the Difference Lower	Upper			
อัตราการรอดตาย 1 อัตราการรอดตาย 2	-1.0977667	.2964574	.1711597	-1.8342076	-.3613258	-6.414	2	.023

4. อัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อ

ชุดการทดลอง	น้ำหนักเริ่มต้น (กรัม)	น้ำหนักสุดท้าย (กรัม)	น้ำหนักที่เพิ่มขึ้น (กรัม)	น้ำหนักอาหารทั้งหมด (กรัม)	อัตรการเปลียนอาหารเป็นเนื้อ
T1R1	0.016	0.285	0.269	3.34	1.0255
T1R2	0.017	0.289	0.272	3.38	1.0236
T1R3	0.016	0.291	0.275	3.33	1.0018
T2R1	0.014	0.292	0.278	3.57	1.0458
T2R2	0.016	0.301	0.285	3.68	1.0551
T2R3	0.015	0.298	0.283	3.41	0.9839

อัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อ

Paired Samples Statistics

		Mean	N	Std. Deviation	Std. Error Mean
Pair 1	FCR 1	1.016967	3	.0131690	.0076031
	FCR 2	1.028267	3	.0387030	.0223452

Paired Samples Test

	Paired Differences					t	df	Sig. (2-tailed)
	Mean	Std. Deviation	Std. Error Mean	95% Confidence Interval of the Difference Lower	Upper			
FCR 1 FCR 2	-.0113000	.0259006	.0149537	-.0756406	.0530406	-.756	2	.529

5. คุณภาพน้ำ

ชุดการทดลอง	DO มิลลิกรัมต่อลิตร	ไนไตรท์ (มิลลิกรัมต่อลิตร)	ความเป็นกรดด่าง	อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	ความเป็นด่าง (มิลลิกรัมต่อลิตร)	ความเค็ม (ส่วนในพันส่วน)	แอมโมเนีย (มิลลิกรัมต่อลิตร)
T1R1	6.37	0.7091	7.80	26.37	179.57	15.00	0.5288
T1R2	6.38	0.7247	7.80	26.37	179.57	15.00	0.5440
T1R3	6.36	0.7051	7.80	26.37	181.60	15.00	0.5200
T2R1	6.36	0.5266	7.97	26.37	189.77	15.00	0.2745
T2R2	6.38	0.5129	7.97	26.37	188.27	15.00	0.2654
T2R3	8.31	0.5395	7.97	26.37	189.37	15.00	0.2868

5.1 ออกซิเจนละลายน้ำ

Paired Samples Statistics

		Mean	N	Std. Deviation	Std. Error Mean
Pair 1	DO 1	6.370000	3	.0088255	.0050954
	DO 2	7.017767	3	1.1162938	.6444925

Paired Samples Test

	Paired Differences					t	df	Sig. (2-tailed)
	Mean	Std. Deviation	Std. Error Mean	95% Confidence Interval of the Difference Lower	Upper			
DO 1 DO 2	-.6477667	1.1220564	.6478196	-3.4351092	2.1395759	-1.000	2	.423

5.2 แอมโมเนีย

Paired Samples Statistics

		Mean	N	Std. Deviation	Std. Error Mean
Pair 1	แอมโมเนีย 1	.530933	3	.0121414	.0070098
	แอมโมเนีย 2	.275567	3	.0107398	.0062006

Paired Samples Test

	Paired Differences					t	df	Sig. (2-tailed)
	Mean	Std. Deviation	Std. Error Mean	95% Confidence Interval of the Difference				
				Lower	Upper			
แอมโมเนีย 1 แอมโมเนีย 2	.2553667	.0227188	.0131167	.1989301	.3118033	19.469	2	.003

5.3 ไนไตรท์

Paired Samples Statistics

		Mean	N	Std. Deviation	Std. Error Mean
Pair 1	ไนไตรท์ 1	.712967	3	.0103563	.0059792
	ไนไตรท์ 2	.526333	3	.0133020	.0076799

Paired Samples Test

	Paired Differences					t	df	Sig. (2-tailed)
	Mean	Std. Deviation	Std. Error Mean	95% Confidence Interval of the Difference				
				Lower	Upper			
ไนไตรท์ 1 ไนไตรท์ 2	.1866333	.0233757	.0134960	.1285649	.2447018	13.829	2	.005