บทที่ 2
เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ชีววิทยาของกุ้งกุลาดำ

กุ้งตามพจนานุกรมไทยฉบับราชบัณฑิตยสถาน หมายถึง สัตว์น้ำไม่มีกระดูกสันหลังประเภทหนึ่ง ลำตัวยาว มีเปลือกหุ้มตัวและแบ่งเป็นปล้อง ๆ มีหลายชนิดพบได้ทั้งในน้ำจืดและน้ำเค็ม (ประจวบ หลำสกุล, 2531) กุ้งกุลาดำเป็นชื่อเรียกตามภาษาไทยมีชื่อสามัญที่รู้จักกันทั่วไปว่า แบล็ค ไทเกอร์ ชริมพ์ (*Black Tiger Shrimp*) หรือ แบล็ค ไทเกอร์ พราวน์ (*Black Tiger Prawn*) และมีชื่อทางวิทยาศาสตร์ว่า พีเนียส โมโนดอน (*Penaeus monodon* Fabricius) (เบญจมินทร์ ทองเปิง, 2543) การจัดอนุกรมวิธานของกุ้งกุลาดำดังนี้ (ประจวบ หลำสกุล, 2531)

Phylum.....Arthropoda

Class.....Crustacea

Subclass.....Malacostraca

Superorder.....Eucarida

Order.....Decapoda

Suborder.....Natantia

Intraorder.....Penaeidea

Family.....Panaeidea

Genus.....*Penaeus*

Species.....*monodon*

กุ้งกุลาดำเป็นกุ้งที่มีขนาดใหญ่ที่สุดในเอเชีย มีเปลือกหัวเกลี้ยงไม่มีขน ฟันกรีด้านบน 7 – 8 ซี่ ช่องด้านกรีทั้งสองด้านแคบและยาว กุ้งชนิดนี้มีสีน้ำตาลเข้มและมีแถบสีเข้มและสีจางพาดขวางลำตัว ถิ่นอาศัยของกุ้งกุลาดำ ได้แก่ น่านน้ำแถบใต้ของฟิลิปปินส์ อินโดนีเซีย มาเลเซีย และที่พบมาก ได้แก่ ไทย ออสเตรเลีย และอินเดีย กุ้งชนิดนี้จะอยู่ในเขตร้อน สามารถทนอยู่ในน้ำที่มีอุณหภูมิสูงตั้งแต่ 16 – 35 องศาเซลเซียส และทนต่อสภาพการเปลี่ยนแปลงความเค็มใน

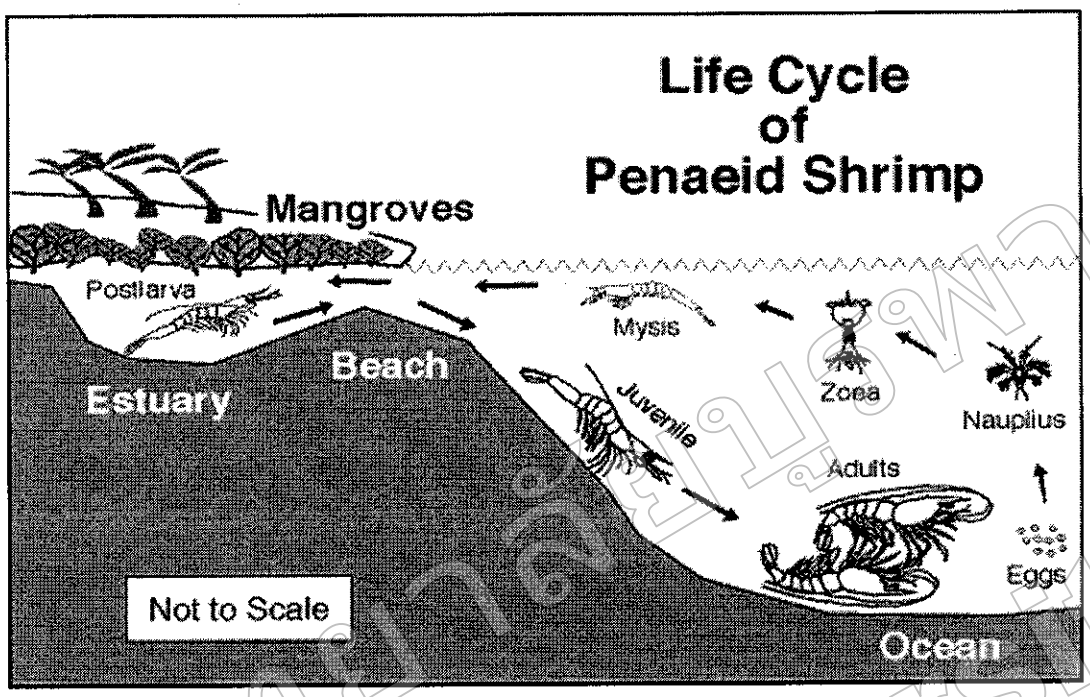
มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

ช่วงกว้างมากตั้งแต่ 5 – 50 ส่วนในพันส่วน ซึ่งถ้าหากให้เวลาในการปรับตัวกุ้งก็สามารถทนอยู่ในน้ำที่มีความเค็มเป็น 0 ก็ได้ โดยลักษณะเช่นนี้กุ้งชนิดอื่นไม่สามารถปรับตัวได้ ชอบอาศัยอยู่ในที่เป็นดินโคลน กินอาหารได้ทั้งพืชและสัตว์ (กองเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำชายฝั่ง, 2534)

วงจรชีวิตของกุ้งกุลาดำ (ภาพที่ 2) กุ้งที่โตเต็มวัยจะอาศัยอยู่ในทะเลที่มีความลึกในช่วง 20 – 70 เมตร มีขนาดตั้งแต่ 90 – 200 กรัม และเมื่อถึงช่วงสืบพันธุ์จะมีการสืบพันธุ์และปล่อยตัวอ่อนออกมา ซึ่งตัวอ่อนจะมีการพัฒนาผ่านระยะต่าง ๆ คือ Nauplius มี 6 ระยะ โดยผ่านการลอกคราบ 5 ครั้ง ภายในเวลา 48 – 56 ชั่วโมง - - -> Zoea จะมีการลอกคราบ 3 ครั้ง ภายในเวลา 4 – 5 วัน - - -> Mysis มีการลอกคราบ 3 ครั้ง - - -> Postlarva เป็นวัยอ่อนขั้นสุดท้าย - - -> Juvenile - - -> Adult กุ้งจะมีการพัฒนาเฉพาะในเรื่องของขนาด ส่วนรูปร่างต่างๆ จะเหมือนเดิม โดยตลอดการพัฒนานี้จะมีการอพยพของลูกกุ้งเข้าสู่ชายฝั่ง (ประจวบ หลำสกุล 2531 ; วิภูษิต มัณฑะจิตร, วรวิทย์ ชีวาพร และสมถวิล จริตควร, 2534)

กุ้งกุลาดำจะมีลักษณะ คือ มีหนวด 2 คู่ ระยางค์ของร่างกายแยกเป็น 2 แฉก ลำตัวยาว แบ่งเป็นข้อปล้องแยกเป็น 3 ส่วน ได้แก่ส่วนหัว (Head) ส่วนอก (Thorax) ที่มักจะรวมติดกันเรียกว่าส่วนหัว – อก (Cephalothorax) และส่วนลำตัว (Abdomen) ระยางค์ส่วนต่าง ๆ จะทำหน้าที่เกี่ยวกับการเคลื่อนที่ การหายใจและการกินอาหาร (Platon, 2002)

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University



ภาพที่ 2 วงจรชีวิตของกุ้งกุลาดำ (ประจวบ หลำสกุล, 2531)

ลักษณะของกุ้งกุลาดำนั้นจะมีเปลือกหุ้มหัวและตัว ลักษณะเป็นแผ่นบาง ค่อนข้างแข็ง จะมี 2 ชั้น ซ้อนกันประกอบด้วยสารไคติน โปรตีนและเกลือแคลเซียมคาร์บอเนตรวมอยู่กับไคติน ค่อนข้างสูง มีการเจริญเติบโตโดยการเพิ่มจำนวนเซลล์และขนาดเซลล์ของกล้ามเนื้อกับการลอกคราบที่สัมพันธ์และต่อเนื่องกัน ก่อนการลอกคราบนั้นกุ้งจะกินอาหารเต็มที่ เพื่อเตรียมสะสมอาหารและแร่ธาตุสำหรับสร้างเปลือกใหม่ที่จะมีขนาดใหญ่กว่าเดิม เพื่อให้ตัวกุ้งกุลาดำเจริญเติบโตขึ้นแล้วจะแข็งตัวขึ้นอย่างรวดเร็ว เนื่องจากมีการสะสมแคลเซียมไว้ (เบญจมินทร์ ทองเปิง, 2543)

กุ้งกุลาดำจะหายใจทางผิวหนังและเหงือก เนื่องจากออกซิเจนสามารถซึมผ่านผิวหนังได้ แต่กุ้งกุลาดำจะหายใจทางเหงือกเป็นสำคัญ ซึ่งเหงือกจะมีลักษณะเป็นซี่ ๆ จึงง่ายต่อการเกาะติดของตะกอนต่าง ๆ หรือโปรโตซัวที่เป็นโทษต่อตัวกุ้งกุลาดำ เช่น ซูโอแทมเนียม ทำให้ประสิทธิภาพในการหายใจของกุ้งลดลงและเกิดการอ่อนแอได้ (Korosu, 2001)

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

รูปแบบการเลี้ยงกุ้งกุลาดำ

กุ้งกุลาดำเป็นกุ้งขนาดใหญ่พบได้ทั่วไปตามฝั่งทะเลของประเทศไทย มาเลเซีย สิงคโปร์ ฟิลิปปินส์ อินโดนีเซีย ออสเตรเลีย ไต้หวันและญี่ปุ่น สำหรับในประเทศไทยจังหวัดที่มีการเลี้ยงกุ้งชนิดนี้มากได้แก่ จันทบุรี ตราด ระยอง สุราษฎร์ธานี ปัตตานี สงขลา และแนวฝั่งทะเลอันดามัน เช่นระนอง สตูล ภูเก็ต กุ้งกุลาดำนิยมเลี้ยงกันอย่างแพร่หลายเนื่องจากสามารถเพาะเลี้ยงให้เจริญเติบโตในบ่อได้ดี ทนทานต่อการขนส่งได้ดี มีขนาดใหญ่ กินอาหารได้ทุกเวลา ไม่ตื่นตกใจง่าย และสามารถเลี้ยงแบบหนาแน่นได้ (ประจวบ หล่ำสกุล, 2531) กุ้งจัดเป็นสัตว์ที่มีความสำคัญทางเศรษฐกิจจึงได้มีการวิจัยพัฒนาวิธีการเลี้ยงกุ้งเพิ่มมากขึ้น เพื่อเป็นการเพิ่มผลผลิตให้เพียงพอต่อความต้องการแก่ผู้บริโภคและเพื่อการส่งออก ซึ่งสามารถแบ่งการเพาะเลี้ยงกุ้งออกเป็น 3 ประเภท ได้แก่

1. **การเลี้ยงกุ้งแบบดั้งเดิม** (Extensive Shrimp Culture)

เป็นการเพาะเลี้ยงกุ้งโดยการระบายน้ำจากแหล่งน้ำธรรมชาติเข้านากุ้งแล้วได้ลูกกุ้งจากแหล่งน้ำธรรมชาติ ซึ่งจัดว่าเป็นการเลี้ยงที่มีการลงทุนต่ำและให้ผลผลิตที่ต่ำ เนื่องจากว่าอาจมีศัตรูของกุ้ง เช่น ปู หอย ลูกปลาปะปนมากับน้ำ ไม่มีการให้อาหารเม็ด ไม่มีการใช้เครื่องให้อากาศ และระยะเวลาการเลี้ยงไม่แน่นอน ขนาดบ่อนากุ้งแบบธรรมชาติมีตั้งแต่ 10 – 1,000 ไร่ และมักเป็นพื้นที่ติดชายทะเลหรือเป็นพื้นที่ป่าชายเลน ณ ปัจจุบันนี้การเลี้ยงกุ้งด้วยวิธีนี้เกือบไม่มีเหลือแล้ว กุ้งชนิดที่นิยมนำมาเลี้ยงแบบดั้งเดิม ได้แก่ กุ้งตะกาด (*Metapenaues monoceros*) กุ้งแชบ๊วย (*Penaeus merguiensis*) กุ้งแป๊ะแห (*Palaemon* sp.) กุ้งหัวมันหรือกุ้งหลังไข่ (*Metapenaues brevicornis*) จากการศึกษาของ Burford et al. (2003) พบว่าการเลี้ยงกุ้งแบบดั้งเดิมนี้จะมีปริมาณสารอินทรีย์มาก ซึ่งจะไปส่งเสริมการเจริญของพวกแบคทีเรียในกลุ่มเฮเทอโรโทรป (Heterotrophs) ที่มีการใช้ออกซิเจนในปริมาณมากจึงอาจจะมีผลยับยั้งการเกิดปฏิกิริยาไนตริฟิเคชัน (Nitrification) นอกจากนี้การเลี้ยงวิธีนี้จะมีการสะสมของสลัดจ์ (Sludge) มาก ซึ่งจะก่อให้เกิดไฮโดรเจนซัลไฟด์อันจะไปมีผลยับยั้งการเจริญของแบคทีเรียกลุ่มไนตริไฟเออร์ (Nitrifiers) ส่งผลให้การผลิตไนเทรตที่เป็นสารตั้งต้นของการเกิดปฏิกิริยาดีไนตริฟิเคชันเคชัน (Denitrification) ได้ต่ำด้วย

2. **การเลี้ยงกุ้งแบบกึ่งพัฒนา** (Semi-Intensive Shrimp Culture)

มีขนาดการเลี้ยงตั้งแต่ 15 – 60 ไร่ต่อบ่อ เป็นการนำพันธุ์กุ้งจากบ่ออนุบาลกุ้งไปปล่อยรวมกับลูกกุ้งในนากุ้งแบบธรรมชาติแล้วจะมีการให้อาหารเสริม ซึ่งจัดเป็นวิธีการที่ยังให้ผลผลิตได้ไม่มากนัก มีการให้อาหารสด เช่น อาร์ทีเมีย หอยสับ หรือให้อาหารเม็ดชนิดโปรตีนสูง อาจจะมีการใช้เครื่องให้อากาศบ้าง อัตราการปล่อยลูกกุ้ง 5,000 – 8,000 ตัวต่อไร่ ซึ่งการเลี้ยง

กุ้งแบบนี้ต้องมีการควบคุมคุณภาพน้ำในบ่อ เพราะอาจมีปัญหาน้ำเสียได้ถ้ามีการให้อาหารมากเกินไป จึงต้องให้อาหารอย่างพอเหมาะเพื่อไม่ให้เหลือตกค้างในบ่อ และต้องเปลี่ยนถ่ายน้ำบ่อย ๆ 10 – 50 เปอร์เซ็นต์ต่อวัน ซึ่งในกรณีที่น้ำมีความเค็มต่ำกว่า 10 ส่วนในพันส่วน ลูกกุ้งจะโตช้า เปลือกนิ่มและตายได้ (กองเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำชายฝั่ง, 2534)

3. **การเลี้ยงกุ้งแบบพัฒนา** (Intensive Shrimp Culture)

เริ่มขึ้นในช่วงปี 2524 – 2525 การนำลูกกุ้งจากบ่อเพาะเลี้ยงหรือบ่ออนุบาลกุ้งมาเลี้ยงในนาแล้วใช้อุปกรณ์ เทคนิคและการจัดการบ่อเพาะเลี้ยงที่ดีสามารถช่วยเพิ่มผลตอบแทนได้ดี มีอัตราการปล่อย 15 – 20 ตัวต่อตารางเมตร มีการให้อาหารเม็ด 5 – 6 มื้อต่อวัน และมีการใช้เครื่องให้อากาศ น้ำในบ่อเลี้ยงควรมีความลึกไม่ต่ำกว่า 1.50 เมตร เพื่อช่วยชะลอการเปลี่ยนแปลงความเค็มและอุณหภูมิของน้ำ เพราะในช่วงที่มีการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิมาก ๆ หรืออุณหภูมิสูงเกินไปในช่วงที่ร้อนจัด กุ้งจะเกิดการงอตัวและมีอาการเกร็งของกล้ามเนื้อทำให้ช็อกตายได้ แต่ถ้าหากระดับน้ำต่ำมากแสงแดดสามารถส่องถึงพื้นก้นบ่อจะเกิดการบูมของแพลงก์ตอนอย่างรวดเร็ว เมื่อแพลงก์ตอนตายลงจะเกิดการสลายตัวทำให้พื้นที่บ่อเน่าเสียเกิดแก๊สไฮโดรเจนซัลไฟด์อันเป็นอันตรายต่อกุ้งโดยตรง สำหรับกุ้งชนิดที่นิยมนำมาเลี้ยงแบบพัฒนากันมาก ได้แก่ กุ้งกุลาดำ (*Penaeus mondon*) กุ้งแชบ๊วย (*Penaeus merguiensis*) (ประจวบ หลำสกุล, 2531)

คุณภาพน้ำที่เหมาะสมต่อการเลี้ยงกุ้งกุลาดำ

คุณภาพน้ำในบ่อกุ้งกุลาดำ หมายถึงคุณสมบัติโดยรวมทั้งในด้านกายภาพ เคมีและชีวภาพของน้ำในบ่อกุ้งกุลาดำ เพื่อความเหมาะสมต่อการเจริญเติบโต และสุขภาพของกุ้ง แต่ถ้าคุณภาพน้ำในบ่อไม่ดีก็จะส่งผลถึงแหล่งน้ำตามธรรมชาติที่มีปล่อยน้ำทิ้งจากบ่อกุ้ง ซึ่งได้มีการกำหนดมาตรฐานไว้ดังตารางที่ 1

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

ตารางที่ 1 ค่ากำหนดมาตรฐานน้ำทิ้งจากบ่อเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ (ฝ่ายมลพิษทางทะเล กรมควบคุมมลพิษ, 2545)

พารามิเตอร์	หน่วย	เกณฑ์มาตรฐาน
ค่าความเป็นกรดด่าง	-	6.5 – 9.0
บีโอดี	มิลลิกรัมต่อลิตร	20
สารแขวนลอย	มิลลิกรัมต่อลิตร	70
แอมโมเนีย (NH_3-N)	มิลลิกรัมไนโตรเจนต่อลิตร	1.1
ฟอสฟอรัสรวม	มิลลิกรัมฟอสฟอรัสต่อ	0.4
ไฮโดรเจนซัลไฟด์	มิลลิกรัมต่อลิตร	0.01
ไนโตรเจนรวม	มิลลิกรัมไนโตรเจนต่อลิตร	4.0

1. **ความขุ่น**(Turbidity)

ความขุ่น หมายถึง สมบัติทางแสงของสารแขวนลอยซึ่งทำให้แสงกระจาย และถูกดูดกลืนมากกว่าที่จะยอมให้แสงผ่านเป็นเส้นตรง ความขุ่นของน้ำเป็นค่าที่แสดงให้เห็นว่าน้ำมีสารแขวนลอย (Suspened and Colloidal Matter) อยู่มากน้อยเพียงใด ซึ่งสิ่งที่ทำให้เกิดความขุ่นได้แก่ สารอินทรีย์ สารอนินทรีย์ สิ่งมีชีวิตขนาดเล็กที่มีขนาดระหว่าง 1 - 10 ไมครอน เช่น แพลงค์ตอน แบคทีเรีย หรือลักษณะของสารแขวนลอย เช่นอนุภาคของดิน ทราย ตลอดจนแร่ธาตุต่าง ๆ เป็นต้น (ไมตรี ดวงสวัสดิ์ และจารุวรรณ สมศิริ, 2528) ความขุ่นรวมทั้งสารแขวนลอยจะมีผลต่อสิ่งมีชีวิตในน้ำ คือทำให้แสงสว่างส่องลงไปไม่ถึงจะไปขัดขวางปฏิกิริยาการสังเคราะห์แสงของแพลงค์ตอนพืช ซึ่งเป็นผู้ผลิตขั้นต้น (Primary Productivity) ให้เกิดได้ลดลงหรือตายลงได้ตลอดเวลา ส่งผลให้ปริมาณอาหารตามธรรมชาติของสัตว์น้ำลดลง เกิดตะกอนซากแพลงค์ตอนและเลนที่พื้นบ่อมากขึ้นเรื่อย ๆ ทำให้เกิดกิจกรรมการย่อยสลายโดยจุลินทรีย์มากขึ้นจึงมีการปล่อยคาร์บอนไดออกไซด์ในปริมาณมากขึ้นด้วยทำให้พีเอชลดลง ความขุ่นทำให้อุณหภูมิของน้ำเปลี่ยนแปลงโดยเฉพาะน้ำผิวบนจะดูดซับความร้อนทำให้น้ำมีอุณหภูมิสูงกว่าปกติ และน้ำที่มีสารแขวนลอยอยู่มากจะสามารถรับออกซิเจนได้น้อยกว่าน้ำที่ใสกว่า (O' Neill, 1993) นอกจากนี้สารแขวนลอยที่ทำให้เกิดความขุ่นจะทำอันตรายต่อสัตว์น้ำโดยตรงเพราะจะเข้าไปอุดช่องเหงือกทำให้การหายใจติดขัด มีการเจริญเติบโตช้าลงกว่าปกติ การฟักเป็นตัวของไข่และกาเจริญเติบโตของตัวอ่อนหยุดชะงักหรือช้าลงและลดความต้านทานต่อโรคต่าง ๆ (World Health Organization [WHO], 1986)

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

2. **อุณหภูมิ**(Temperature)

อุณหภูมิ คือความร้อน- เย็นของน้ำ อุณหภูมิของน้ำจะสูงกว่าอุณหภูมิในบรรยากาศและเป็นปัจจัยหนึ่งที่มีผลกระทบต่อสิ่งมีชีวิตในน้ำ การเจริญเติบโตของสัตว์ พืชน้ำ และมีผลต่อการละลายของออกซิเจนในน้ำ โดยออกซิเจนละลายน้ำได้ 7.54 – 9.08 มิลลิกรัมต่อลิตรที่อุณหภูมิบรรยากาศ จากรายงานวิจัยของวิภูษิต มัณฑะจิตร และคณะ (2534) กล่าวว่าอุณหภูมิที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของกุ้งกุลาดำในบ่อเลี้ยงคือ 25 – 33 องศาเซลเซียส แต่ถ้าอุณหภูมิของน้ำสูงเกินไปกุ้งจะมีการงอตัว เนื่องจากการเกร็งของกล้ามเนื้อและเมื่ออุณหภูมิต่ำกว่า 18 องศาเซลเซียส กุ้งจะไม่ว่ายน้ำและหยุดการกินอาหาร และที่อุณหภูมิต่ำกว่า 14 องศาเซลเซียส จะทำให้กุ้งตาย นอกจากนี้จากรายงานของสะไบทิพย์ อมรจารุชิต, พัชริดา เหมมัน, สิริ ทุกข์วินาศ และรังสิไชย ทับแก้ว (2543) กล่าวว่าอุณหภูมิที่สูงขึ้นจะส่งผลให้แอมโมเนียแตกตัว(Ionized Ammonia: NH_3) อยู่ในรูปที่มีความเป็นพิษของสูงขึ้นด้วย นอกจากนี้การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิในแต่ละฤดูกาลนั้นมีผลต่อความแตกต่างของกลุ่มจุลินทรีย์ที่มีการใช้ประโยชน์จากไนเทรตด้วย (Ogilvie, Rutter & Nedwell, 1997)

3. **ความเค็ม**(Salinity)

กุ้งกุลาดำจัดเป็นกุ้งที่สามารถดำรงชีวิตอยู่ในทะเลที่มีช่วงความเค็มกว้าง (Euryhaline) มีความเค็มอยู่ระหว่าง 0 – 70 ส่วนในพันส่วน แต่จะเจริญเติบโตได้ดีในช่วงความเค็ม 15 – 30 ส่วนในพันส่วน ซึ่งนอกจากความเค็มจะมีผลต่อการเจริญเติบโตของกุ้งแล้วจะมีผลทำลายอาหารของกุ้งตามธรรมชาติด้วย โดยถ้าความเค็มสูงจะไปทำลายพวกแพลงค์ตอน ส่วนในน้ำที่มีความเค็มต่ำจะทำให้มีการเจริญของพวกแบคทีเรีย โปรโตซัว ได้มากทำให้กุ้งเกิดโรคได้ (วิภูษิต มัณฑะจิตร และคณะ, 2534) โดยไมตรี ดวงสวัสดิ์ และจารุวรรณ สมศิริ (2528) รายงานว่าน้ำจืด (Fresh Water) มีความเค็มอยู่ในช่วง 0 – 0.5 ส่วนในพันส่วน น้ำกร่อย (Brackish Water) มีความเค็มอยู่ในช่วง 0.5 – 30.0 ส่วนในพันส่วน และน้ำเค็ม (Seawater) มีความเค็มมากกว่า 30.0 ส่วนในพันส่วน ส่วนสมเจตน์ จันทวัฒน์, ศุภมาศ พนิชศักดิ์พัฒนา, จงรัก จันทร์เจริญสุข, วิโรจน์ อิ่มพิทักษ์ และอัญชลี สุทธิปราการ (2529) ได้จัดแบ่งระดับความเค็มไว้ คือ ความเค็มระดับต่ำมีค่าความเค็มอยู่ในช่วง 2-4 ส่วนในพัน ความเค็มระดับปานกลางมีค่าความเค็มอยู่ในช่วง 5-8 ส่วนในพันส่วน และความเค็มระดับสูงมีค่าความเค็มมากกว่า 9 ส่วนในพันส่วน ความเค็มนั้นมีผลต่อความสามารถในการละลายน้ำของออกซิเจน เมื่อความเค็มเพิ่มขึ้นการละลายน้ำของออกซิเจนจะลดลง โดยในน้ำเค็มจะมีปริมาณออกซิเจนในน้ำน้อยกว่าน้ำจืด เพราะระดับการอิ่มตัวยิ่งยวดในน้ำเค็มสูงกว่าในน้ำจืด (สะไบทิพย์ อมรจารุชิต และคณะ, 2543)

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

4. **ออกซิเจนที่ละลายน้ำ** (Dissolved Oxygen; DO)

กุ้งน้ำหนักระหว่าง 2 – 130 กรัม จะมีอัตราการบริโภคออกซิเจนเพิ่มขึ้นตามน้ำหนักที่เพิ่มขึ้น แต่หากพิจารณาต่อหน่วยน้ำหนักแล้วกุ้งที่มีขนาดใหญ่จะมีการบริโภคออกซิเจนน้อยกว่ากุ้งที่มีขนาดเล็ก (วิภูษิต มัณฑะจิตร และคณะ, 2534) การเพิ่มออกซิเจนโดยการติดตั้งเครื่องตีน้ำ (Paddle Wheel) ทำให้เกิดการหมุนเวียนออกซิเจนลงสู่บ่อเลี้ยงได้ดีขึ้นมีการเจริญของแพลงค์ตอนพืชซึ่งมีผลต่อปริมาณออกซิเจนละลายน้ำเป็นสำคัญจากการสังเคราะห์แสง แต่ถ้ามีปริมาณแพลงค์ตอนพืชมากเกินไปจะทำให้ช่วงเวลากลางคืนจนถึงเช้ามืด มีปริมาณออกซิเจนไม่เพียงพอต่อการหายใจของกุ้ง กุ้งจะเกิดภาวะเครียด กินอาหารได้ลดลงเติบโตช้า (สะไบทิพย์ อมรจารุชิต และคณะ, 2543) นอกจากนี้ออกซิเจนละลายน้ำจะช่วยให้เศษอาหาร สิ่งขับถ่าย ซากสิ่งมีชีวิตต่าง ๆ ในบ่อเลี้ยงเกิดการย่อยสลายเป็นการป้องกันไม่ให้พื้นบ่อกุ้งเน่าเสียแล้วเป็นแหล่งเพาะเลี้ยงเชื้อที่ไม่พึงประสงค์ต่อไป ช่วยในการกำจัดพวกแก๊สพิษต่าง ๆ ในน้ำ เช่น แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ แก๊สไฮโดรเจนซัลไฟด์ และแอมโมเนีย ช่วยป้องกันการแบ่งชั้นของอุณหภูมิและความเค็มภายในบ่อ (กองเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำชายฝั่ง, 2534) ถ้าปริมาณออกซิเจนต่ำกว่า 3 มิลลิกรัมต่อลิตร จะทำให้ระยะเวลาในการฟักตัวของไข่ช้ากว่าปกติ ขนาดและความแข็งแรงของตัวอ่อนจะลดลง ตัวอ่อนที่เกิดมามีลักษณะที่ผิดปกติ นอกจากนี้ บ่อกุ้งที่มีปริมาณออกซิเจนต่ำจะมีผลให้ประสิทธิภาพในการย่อยอาหาร การว่ายน้ำและความต้านทานต่อสารพิษลดลง ส่งผลให้สัตว์น้ำอ่อนแอ ติดเชื้อโรคได้ง่ายขึ้น (WHO, 1986)

5. **ความเป็นกรด – ด่าง** (pH)

การวัดค่าพีเอชของน้ำเป็นการวัดปริมาณความเข้มข้นของไฮโดรเจนอิออนที่มีอยู่ในน้ำ ช่วงพีเอชที่เหมาะสมต่อการเลี้ยงกุ้งกุลาดำควรมีค่าอยู่ในช่วง 8 – 8.5 (วิภูษิต มัณฑะจิตร และคณะ, 2534) ที่ระดับพีเอชค่อนข้างต่ำ (6.4 – 7.4) จะส่งผลต่อแบคทีเรียชนิดไนโตรแบคเตอร์ (Nitrobacter) ที่ทำหน้าที่เปลี่ยนแปลงไนไทรต์เพราะในสภาวะที่พีเอชต่ำไนไทรต์จะเปลี่ยนเป็นกรดไนตรัส ซึ่งมีความเป็นพิษต่อไนโตรแบคเตอร์ทำให้ปฏิกิริยาไนตริฟิเคชันหยุดไปด้วย (Hargreaves, 1998) การที่พีเอชลดลงจะเป็นสาเหตุหนึ่งที่ทำให้เกิดการผลิตหรือสะสมของกรดอินทรีย์ เช่นกรดอะซิติกที่เกิดจากกระบวนการเมตาบอลิซึมของสารอินทรีย์ที่ไม่สมบูรณ์ของแบคทีเรียกลุ่มดีไนตริไฟเออร์ (Denitrifiers) (Menasveta, Panritdam, Sihanonth, Powtongsook Chuntapa & Lee, 2001) สำหรับค่าพีเอชที่เพิ่มขึ้น หรือค่อนข้างสูง (8.4 - 9) จะมีผลต่อการแตกตัวของแอมโมเนีย(NH_3) ในรูปที่เป็นพิษมากขึ้นด้วยในขณะที่แอมโมเนียมอิออน (NH_4^+) จะลดลง (สะไบทิพย์ อมรจารุชิต และคณะ, 2543) ส่งผลต่อสภาพการละลายได้ของธาตุ เช่น แคลเซียม

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

และแมกนีเซียมจะน้อยลงเรื่อย ๆ เมื่อปริมาณแร่ธาตุในน้ำน้อย ทำให้การลอกคราบของกุ้งชะงัก เกิดปัญหาการลอกคราบไม่ออก โดยช่วงพีเอชที่เหมาะสมต่อการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ ดังแสดงในตารางที่ 2

ตารางที่ 2 พีเอชที่เหมาะสมต่อการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ (ไมตรี ดวงสวัสดิ์ และจารุวรรณ สมศิริ, 2528)

ช่วงพีเอช	ผลกระทบต่อสัตว์น้ำ
4.0 หรือต่ำกว่า	เป็นอันตรายสามารถทำให้สัตว์น้ำตายได้
4.0 – 6.0	อาจจะไม่ตาย แต่จะทำให้ได้ผลผลิตต่ำ เนื่องจากมีการเจริญเติบโตช้า และทำให้การสืบพันธุ์หยุดชะงัก
6.5 – 9.0	เป็นระดับที่เหมาะสมต่อการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ
9.0 – 11.0	ไม่เหมาะสมต่อการดำรงชีวิตของสัตว์น้ำ ถ้าต้องอาศัยอยู่เป็นเวลานาน จะทำให้ผลผลิตต่ำลง
11.0 หรือมากกว่า	เป็นพิษต่อสัตว์น้ำ

6. ธาตุอาหาร

ธาตุอาหารที่มีผลต่อกุ้งโดยตรง คือไนไทรต์ และแอมโมเนีย วิภูษิต มัณฑะจิตร และคณะ (2534) รายงานว่าปริมาณไนไทรต์และแอมโมเนียที่เหมาะสมต่อการอนุบาลกุ้งไม่ควรเกิน 0.3599 มิลลิกรัมไนไทรต์ - ไนโตรเจนต่อลิตร และ 0.0396 มิลลิกรัมแอมโมเนีย – ไนโตรเจนต่อลิตรตามลำดับ โดยแอมโมเนียที่พบในน้ำจะมี 2 รูป คือแก๊สแอมโมเนีย (NH_3) ที่จะพบมากเมื่อพีเอชสูงกว่า 9 และในรูปแอมโมเนียมอิออน (NH_4^+) ที่ไม่เป็นพิษจะพบมากเมื่อพีเอชต่ำกว่า 8.5 ซึ่งในบ่อเลี้ยงกุ้งนั้นควรมีแอมโมเนียไม่เกิน 0.1 ส่วนในล้านส่วน โดยไนโตรเจนเกือบทั้งหมด (97 เปอร์เซ็นต์) ที่เข้าสู่บ่อกุ้งมาจากอาหารที่กุ้งกิน ซึ่งกุ้งสามารถเก็บไนโตรเจนไว้ในเนื้อกุ้งได้ประมาณ 21.8 เปอร์เซ็นต์ ไนโตรเจนอีกประมาณเกือบ 80 เปอร์เซ็นต์ จะตกค้างอยู่ในบ่อในรูปของเศษอาหารและขี้กุ้งที่บริเวณก้นบ่อประมาณ 70 เปอร์เซ็นต์ และในรูปของสิ่งขับถ่ายที่ละลายน้ำได้ เช่นอินทรีย์ไนโตรเจน แอมโมเนีย ไนไทรต์ และไนเทรตประมาณ 9 เปอร์เซ็นต์ (พุทธ

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

ส่องแสงจินดา, 2546) ในการเลี้ยงกุ้งที่มีการให้อาหารมากเกินไปจะทำให้มีปริมาณสารอินทรีย์ในบ่อเพาะเลี้ยงเพิ่มขึ้นด้วย ซึ่งสารอินทรีย์เหล่านี้จะถูกย่อยสลายโดยแบคทีเรียแล้วจะมีการนำออกซิเจนไปใช้ คือค่าบีโอดี (Biochemical Oxygen Demand; BOD) โดยเกณฑ์มาตรฐานของบีโอดีในบ่อเลี้ยงกุ้งไว้ ดังแสดงในตารางที่ 3

ตารางที่ 3 การจัดแบ่งเกณฑ์มาตรฐานของบีโอดี (สะไบทิพย์ อมรจารุชิต และคณะ, 2543)

ค่าบีโอดี (มิลลิกรัมต่อลิตร)	**คุณภาพน้ำ**	**ข้อแนะนำ**
0 – 3	อยู่ในเกณฑ์ดี	มีการปนเปื้อนของสารอินทรีย์น้อยมาก สามารถนำไปใช้ หรือเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำได้เป็นอย่างดี
3 – 9	อยู่ในเกณฑ์พอใช้ได้	มีการปนเปื้อนของสารอินทรีย์ปานกลาง การนำไปใช้ประโยชน์เพื่อเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำชายฝั่งควรมีการปรับปรุงคุณภาพก่อน
มากกว่า 9	อยู่ในเกณฑ์ที่ไม่ดี	มีการปนเปื้อนของสารอินทรีย์ ตะกอนดิน ด่าง หรือกรดอยู่มาก

7. **ไฮโดรเจนซัลไฟด์** (Hydrogen Sulfide; H_2S)

ในการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำจะมีการให้อาหารประเภทโปรตีนสูง ของเสียที่ถูกขับถ่ายเศษอาหารที่เหลือจะเกิดการย่อยสลายโดยแบคทีเรียที่มีอยู่ในน้ำและเมื่อออกซิเจนในน้ำหมดไปจะเกิดขบวนการย่อยสลายในสภาวะที่ไม่มีออกซิเจน (Anaerobic Condition) เกิดขึ้นซึ่งจะมีสารประกอบพวกซัลเฟต (SO_4^{2-}) มาทำหน้าที่เป็นตัวรับอิเลคตรอนแทน ดังสมการ

$$\text{สารอินทรีย์} + SO_4^{2-} \xrightarrow[\text{ไม่มีออกซิเจน}]{\text{แบคทีเรีย}} S^{2-} + H_2O + CO_2$$

น้ำที่มีแก๊สไฮโดรเจนซัลไฟด์จะมีสีดำและมีกลิ่นเหม็น ไฮโดรเจนซัลไฟด์จะมี 2 รูปแบบ คือ Un-Ionized Form เช่น ไฮโดรเจนซัลไฟด์ หรือ Ionized Form เช่น HS^- หรือ S^{2-} การแตกตัวนี้จะควบคุมโดยพีเอชของน้ำ ถ้าค่าพีเอชมีค่าสูงกว่า 8 จะปรากฏในรูปของ Ionized Form แต่ถ้าค่าพีเอชต่ำกว่า 8 จะปรากฏในรูปของ Un-Ionized Form เป็นส่วนใหญ่ นอกจากนี้แบคทีเรียยังสามารถออกซิไดส์แก๊สไฮโดรเจนซัลไฟด์ให้กลายเป็นกรดกำมะถัน (H_2SO_4) ซึ่งจะทำให้น้ำมีสภาพเป็นกรด (เบญจมินทร์ ทองเปิง, 2543) เพื่อเป็นการป้องกันอันตรายในบ่อเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำจึงไม่ควรมีไฮโดรเจนซัลไฟด์ในรูปของ Un-Ionized Form เกินกว่า 0.002 มิลลิกรัมต่อลิตร

ของเสียที่เกิดจากการเลี้ยงกุ้ง

การเพาะเลี้ยงกุ้งเป็นสาเหตุหนึ่งของการเกิดมลพิษทางน้ำ เนื่องจากไม่มีการจัดการระบบการเพาะเลี้ยงที่ดีและมีการปล่อยของเสียลงสู่แหล่งน้ำธรรมชาติจนเกินกว่าอัตราการย่อยสลายได้ตามธรรมชาติทำให้คุณภาพของแหล่งน้ำเสื่อมลง จากบทความของ Hargreaves (1998) ได้จัดแบ่งของเสียจากการเพาะเลี้ยงกุ้งออกเป็น 2 ประเภทใหญ่ ๆ คือ

1. ของเสียที่อยู่ในรูปของแข็ง (Solid Matter)

ได้แก่ อนุภาคที่แขวนลอยอยู่ในน้ำและที่ตกลงไปทับถมกับดินตะกอนก้นบ่อ เช่น เศษอาหารกุ้งที่เหลือ สิ่งขับถ่ายกุ้ง แพลงก์ตอนพืชและแบคทีเรีย

2. ของเสียที่ละลายน้ำได้ (Dissolved Matter)

ได้แก่ แอมโมเนีย ยูเรีย คาร์บอนไดออกไซด์ ฟอสฟอรัส กรดอะมิโน ไนโตรเจนโปรตีนและคาร์โบไฮเดรต

สาเหตุการเกิดของเสียจากบ่อเพาะเลี้ยงกุ้ง

1. เศษอาหารกุ้ง

อาหารที่ใช้ในการเลี้ยงกุ้งนั้นจะมีทั้งในลักษณะของอาหารสด และอาหารแห้งหรืออาหารเม็ด โดยมีส่วนประกอบของสารอินทรีย์ถึง 90 เปอร์เซ็นต์และยังมีส่วนประกอบของไนโตรเจนและฟอสฟอรัสอยู่ในปริมาณสูงถึง 77.5 เปอร์เซ็นต์ และ 86 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ (Bratvold & Browdy, 2001) โดยมีการศึกษาว่าไนโตรเจนและฟอสฟอรัสในอาหารกุ้งนั้นกุ้งจะมีการนำไปใช้เพียง 21.08 $\pm$ 2.635 เปอร์เซ็นต์ และ 5.81 $\pm$ 0.76 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ ถ้ามีการให้อาหารกุ้งมากเกินไปแล้วกุ้งไม่ได้กินส่วนที่เหลือจะเกิดการตกค้างอยู่ในนากุ้งทำให้น้ำเกิดการเน่าเสียขึ้น เนื่องจากอาหารกุ้งที่สามารถละลายน้ำได้ทันที เช่น อาหารสด จะมีส่วนทำให้

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

แบคทีเรียมีการเจริญอย่างรวดเร็ว ส่วนอาหารเม็ดที่มีน้ำหนักมากกว่าส่วนหนึ่งจะตกลงมาและจมตัวอยู่ในดินตะกอนทำให้เกิดการตกค้างของอาหารส่งผลให้แพลงค์ตอนพืชและแบคทีเรียมีการเจริญอย่างมาก ซึ่งจะส่งผลให้ออกซิเจนละลายน้ำลดลงแล้วเกิดสภาวะน้ำเน่าเสียในที่สุด

2. **ดินตะกอน**

ดินตะกอนในนากุ้งที่เกิดจากการทับถมกันของสิ่งขับถ่ายกุ้ง ซากแพลงค์ตอนพืชและแบคทีเรีย เศษอาหารที่เหลือทำให้บ่อกุ้งเกิดการตื้นเขินเป็นสาเหตุหนึ่งที่ทำให้เกิดขี้แดดขึ้น ขี้แดด คือสาหร่ายที่เกิดขึ้นบริเวณกลางบ่อที่ตื้นซึ่งแดดสามารถส่องลงไปถึงพื้นก้นบ่อทำให้สาหร่ายมีการเจริญอย่างรวดเร็วและมีขนาดใหญ่ขึ้นเรื่อย ๆ จนเป็นแผ่นหนา โดยในช่วงเวลากลางวันแสงแดดส่องถึงทำให้มีการสร้างแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ซึ่งจะมีบางส่วนที่ละลายน้ำได้แล้วออกไปในอากาศทันที และจะมีบางส่วนที่จะรวมตัวกันเป็นฟองอากาศซึ่งจะช่วยยกแผ่นสาหร่ายให้หลุดลอยขึ้นไปสู่ผิวน้ำเมื่อถูกคลื่นซัดเข้ากระแทกกับชายฝั่งสาหร่ายจะแตกออกเป็นชิ้นเล็ก ๆ และจมลงสู่ก้นบ่อ ในบริเวณที่ลึกแสงแดดส่องไม่ถึงจะเกิดการเน่าสลายเป็นสาเหตุของการเกิดแก๊สไฮโดรเจนซัลไฟด์ แอมโมเนีย ไนเทรต ไนไทรต์และการเพิ่มจำนวนของจุลินทรีย์ (ดีพร้อม ไชยวงศ์เกียรติ, 2531) พุทธ ส่องแสงจินดา, ลักขณา ละอองศิริวงศ์ และชัชวาล อินทรมนตรี (2543) ได้ทำการศึกษา พบว่าดินตะกอนจากการเพาะเลี้ยงกุ้งนั้นจะเป็นแหล่งสะสมของดิน ซากแพลงค์ตอนพืช ซากแพลงค์ตอนสัตว์ เศษอาหารกุ้ง แอมโมเนีย ไนเทรตและไนไทรต์ ทำให้ดินตะกอนสามารถที่จะปลดปล่อยหรือดูดซับธาตุอาหารรวมถึงการถ่ายเทแร่ธาตุและแก๊สต่าง ๆ กับน้ำอยู่ตลอดเวลา โดยเฉพาะสารประกอบไนโตรเจนซึ่งการแลกเปลี่ยนสารประกอบไนโตรเจนเกิดขึ้นบริเวณผิวสัมผัสน้ำกับดินตะกอน ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงปริมาณของแอมโมเนีย ไนไทรต์และไนเทรตในมวลน้ำกับดินตะกอนส่งผลให้เกิดการลดลงของออกซิเจน (ภาพที่ 3) โดยที่บริเวณผิวสัมผัสน้ำกับดินตะกอนจะมีการปลดปล่อยแก๊สแอมโมเนีย ไนไทรต์อยู่ตลอดเวลา ดังนั้นเมื่อตะกอนเข้าเหงือกจะส่งผลให้เหงือกเกิดการแลกเปลี่ยนแก๊สพิษเข้าสู่กุ้งและตะกอนที่เกาะจับกับเหงือกกุ้งจะขัดขวางการแลกเปลี่ยนแร่ธาตุที่จำเป็นสำหรับการเจริญ

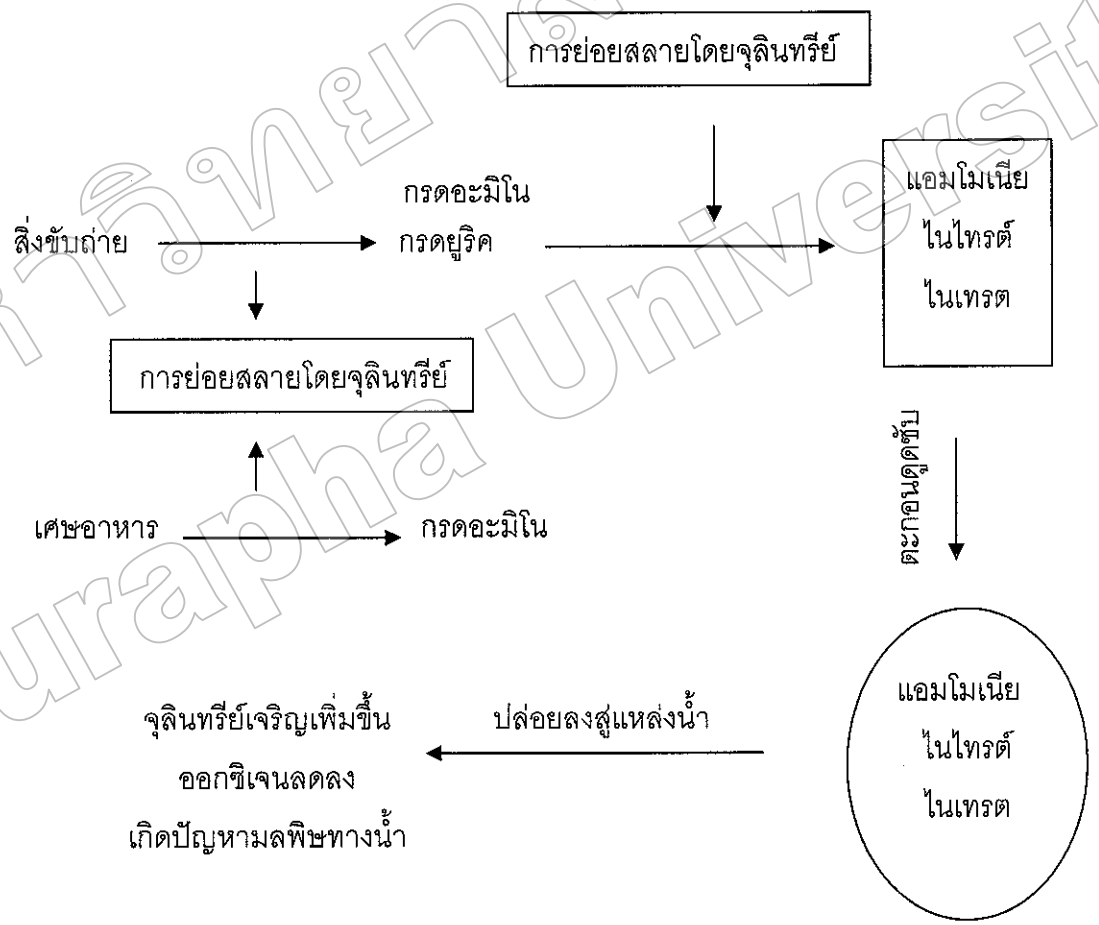
3. **สาหร่าย**

การที่มีสาหร่ายเจริญมากเกินไปในบ่อเพาะเลี้ยงกุ้งจะทำให้เกิดการสังเคราะห์แสงมากในตอนกลางวัน ทำให้น้ำในบ่อเลี้ยงกุ้งมีค่าพีเอชสูงขึ้น ส่งผลให้เกิดแอมโมเนียอิสระที่เป็นพิษกับกุ้งเพิ่มปริมาณมากขึ้น (พุทธ ส่องแสงจินดา, 2546) แต่ในตอนกลางคืนสาหร่ายจะแย่งเอาออกซิเจนที่ละลายน้ำอยู่ไปใช้ในกระบวนการหายใจ ส่งผลให้ปริมาณออกซิเจนละลายน้ำลดลงต่ำ

ในช่วงเช้ามืด และเมื่อสาหร่ายตายลงก็จะจมลงไปทับถมกันอยู่บริเวณดินตะกอนก้นบ่อทำให้เกิดสภาวะไร้ออกซิเจนขึ้น อันจะเป็นสาเหตุให้เกิดการเน่าเสียของน้ำได้

4. **สิ่งขับถ่ายจากกุ้ง**

เนื่องจากว่าสิ่งขับถ่ายจากกุ้งส่วนใหญ่จะเป็นสารอาหารจำพวกโปรตีน คาร์โบไฮเดรต ไฟเบอร์ ที่สามารถจะเกิดการย่อยสลายไปเป็นอาหารของจุลินทรีย์ในน้ำทำให้เกิดการเพิ่มจำนวนของจุลินทรีย์แล้วไปแย่งการใช้ออกซิเจนจากกุ้ง ส่งผลให้แหล่งน้ำเกิดการเน่าเสียในที่สุด (Scottish Executive Central Research Unit, 2002)



ภาพที่ 3 การสะสมสารอาหารและผลกระทบของน้ำทิ้งจากการเพาะเลี้ยงกุ้ง
(พุทธ ส่องแสงจินดา และคณะ, 2543)

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

ความเป็นไป (Fate) ของสารประกอบไนโตรเจนและฟอสฟอรัสในสิ่งแวดล้อม

1. สารประกอบไนโตรเจน

ไนโตรเจนมีความสำคัญต่อระบบนิเวศวิทยาของแหล่งน้ำมาก เพราะเป็นส่วนประกอบของอินทรียสารหลายชนิด ที่มีความสำคัญต่อความเป็นอยู่ของพืชและสัตว์ เช่นเป็นส่วนประกอบของโปรตีน และไขมันบางชนิด ซึ่งเมื่อไนโตรเจนเข้าสู่แหล่งน้ำแล้วจะถูกเปลี่ยนให้อยู่ในรูปสารประกอบหลายรูป ไนโตรเจนในน้ำสามารถพบได้ในรูปของ แก๊สไนโตรเจน ไนเทรต ไนไทรต์ แอมโมเนีย แอมโมเนียมอิออน และสารอินทรีย์ไนโตรเจน ซึ่งเกิดจากการเศษอาหาร สิ่งขับถ่ายและการย่อยสลายซากของสิ่งมีชีวิตต่าง ๆ ซึ่งบ่อกุ้งจะเกิดความเป็นพิษของแอมโมเนียมากน้อยเพียงใดก็จะขึ้นอยู่กับพีเอชที่จะทำให้เกิดการเปลี่ยนรูปของแอมโมเนียว่าเป็นแก๊สแอมโมเนีย (NH_3) หรือแอมโมเนียมอิออน (NH_4^+) โดยถ้าพีเอชสูงขึ้นจะทำให้พบแก๊สแอมโมเนียมากขึ้น กลไกการกำจัดไนโตรเจนแบ่งออกเป็น 2 วิธีการหลัก คือการดูดซึมไปใช้สำหรับการเจริญโดยพืช เช่น แอมโมเนียมอิออน ไนเทรต และเกิดจากกระบวนการย่อยสลายโดยจุลินทรีย์ผ่านทางปฏิกิริยาไนตริฟิเคชันและปฏิกิริยาดีไนตริฟิเคชันโดยแบคทีเรียเป็นสำคัญ (ภาพที่ 4)

ส่วนโปรตีนจากซากของสิ่งมีชีวิตที่ตายแล้ว เศษอาหารและสิ่งขับถ่ายจากกุ้งจะเกิดการย่อยสลายด้วยจุลินทรีย์ในบ่อกุ้งผ่านปฏิกิริยาโปรติโอไลซิส (Proteolysis) ได้เป็นกรดอะมิโน ($R\text{-}NH_2$) แล้วกรดอะมิโนจะถูกย้ายเข้าสู่เซลล์ของจุลินทรีย์และเกิดการเปลี่ยนแปลงให้เป็นแอมโมเนียหรือแอมโมนียมอิออนโดยปฏิกิริยาแอมโมนิฟิเคชัน (Ammonification) แอมโมเนียที่ปรากฏในสิ่งแวดล้อมเป็นผลมาจากกระบวนการทางธรรมชาติเป็นสำคัญ จากนั้นแอมโมเนียหรือแอมโมนียมอิออนจะเกิดการเปลี่ยนแปลงให้เป็นไนเทรตโดยปฏิกิริยาไนตริฟิเคชัน โดยแบคทีเรียในกลุ่มไนตริไฟเออร์ประกอบด้วย 2 กระบวนการ คือปฏิกิริยาแอมโมเนียออกซิเดชัน (Ammonia Oxidation) แอมโมเนียจะถูกเปลี่ยนเป็นไนไทรต์ซึ่งแบคทีเรียที่สำคัญ ได้แก่ *Nitrosomanas*, *Nitrosococcus*, *Nitrosogloea* และ *Nitrosospira* และการเกิดปฏิกิริยาที่สองคือไนไทรต์ออกซิเดชัน(Nitrite Oxidation) เป็นกระบวนการเปลี่ยนแปลงไนไทรต์ให้เป็นไนเทรตโดยแบคทีเรีย เช่น *Nitrobacter* ซึ่งการดูดซึมสารอินทรีย์ไนโตรเจนจะเกิดขึ้นเมื่อค่า C/N ratio ของสารอินทรีย์ต้องมากกว่า 10 (Burford et al., 2003) มีแบคทีเรียหลายชนิดที่สามารถรีดิวซ์ไนเทรตไปเป็นไนไทรต์ได้ แต่เนื่องจากไนไทรต์สามารถถูกออกซิไดส์ไปเป็นไนเทรตได้ง่ายเช่นกัน ทำให้ความเข้มข้นของไนไทรต์ในสิ่งแวดล้อมจะต่ำมากประมาณ 1 มิลลิกรัมต่อลิตร ถึงแม้ว่าความเข้มข้นไนเทรตจะสูง 50 – 100 มิลลิกรัมต่อลิตร (Durborow et al., 1997) แต่ทั้งนี้การ

เกิดปฏิกิริยาไนตริฟิเคชันนั้นอาจจะถูกยับยั้งได้ เพราะจะถูกแบคทีเรียในกลุ่มเฮเทอโรโทรปแข่งขันในการใช้ออกซิเจน (Burford et al., 2003) โดยปฏิกิริยาไนตริฟิเคชันนั้นเป็นกระบวนการที่มีการใช้ออกซิเจน ซึ่งจำเป็นต้องใช้ออกซิเจน 2 โมล ต่อแอมโมเนียม 1 โมล และได้ผลผลิตเป็นไฮโดรเจนอิออน (H^+) ทำให้ออกซิเจนลดลงแล้วเกิดกรดขึ้น (Acidification) อาจจะไปมีผลยับยั้งกลุ่มจุลินทรีย์ที่ก่อให้เกิดปฏิกิริยานี้ (WHO, 1986) อัตราการเกิดปฏิกิริยาไนตริฟิเคชันนั้นจะขึ้นอยู่กับความเข้มข้นของออกซิเจนในน้ำ รวมถึงความสามารถในการแพร่ของออกซิเจนเข้าสู่ดินตะกอน อุณหภูมิ ความเข้มข้นของสับสเตรทคือ ปริมาณแอมโมเนีย พีเอช และปริมาณแบคทีเรียในกลุ่มไนตริไฟเออร์ (Nitrifiers) ซึ่งจากรายงานการศึกษาของ Hargreaves (1998) ได้รวบรวมอัตราการเกิดปฏิกิริยาไนตริฟิเคชันบริเวณดินตะกอนในบ่อเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ ดังแสดงในตารางที่ 4

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

ตารางที่ 4 อัตราการเกิดปฏิกิริยาไนตริฟิเคชัน (มิลลิกรัมไนโตรเจนต่อตารางเมตรต่อวัน) ในดินตะกอนของแหล่งน้ำจืดและน้ำทะเล (Hargreaves, 1998)

Nitrification Rate	References	Location/Comments
0	Blackburn et. al., 1988	tropical marine fish pond
0.4 – 0.9	Acosta – Nassar et.al., 1994	tropical freshwater fish pond
1 - 35	Riise and Roos, 1997	polyculture fish pond, Thailand
0 - 42	Henriksen, 1980	Danish coast
4 - 18	Henriksen et. al., 1981	Danish coast
3 - 48	Billen, 1978	Belgian coast (North Sea)
11	Blackburn and Henriksen, 1983	Danish coast
11	Lindau et. al., 1988b	Rice soil
13	DeLaune and Lindau, 1989	Lac des Allemands, LA
7 - 45	MacFarlane and Herbert, 1984	Scottish estuary
27 – 67	Koike and Hattori, 1978	Japanese coast
59 - 76	Jensen et. al., 1994	freshwater lake sediment
	Chaterpual et.al., 1980	freshwater stream sediment
29		without fauna
69		with fauna
60 - 152	DeLaune et. al., 1991	Calcasieu River, LA

ในกรณีที่ขาดออกซิเจน หรือออกซิเจนไม่เพียงพอจะส่งผลให้เกิดการสะสมของไนไทรต์ขึ้นได้ โดยไนไทรต์ที่เกิดจากการเปลี่ยนรูปทางเคมีของสารประกอบไนโตรเจน โดยกิจกรรมของจุลินทรีย์กลุ่มคีโมออโตโทรป (Chemoautotroph) ที่สามารถดึงออกซิเจนออกจากสารประกอบไนโตรเจน (ไนเทรต) มาใช้ในการเจริญ ซึ่งเกิดจากขบวนการไนตริฟิเคชันที่ไม่สมบูรณ์ เนื่องจากขาดออกซิเจนและไม่สมดุลย์ของสัดส่วนระหว่างคาร์บอนกับไนโตรเจน (C:N Ratio) และจากขบวนการดีไนตริฟิเคชันที่ไม่สมบูรณ์เช่นกัน เพราะขบวนการดีไนตริฟิเคชันที่จะเกิดได้อย่าง

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

สมบูรณ์ตามธรรมชาติเป็นไปได้ยาก เนื่องจากต้องอาศัยปัจจัยประกอบหลาย ๆ อย่างมีการใช้พลังงานเป็นจำนวนมากเพื่อดึงอิเลคตรอนออก (Electron Transfer System; ETS) และจากขบวนการไนเทรตรีดักชัน ในสภาวะที่พื้นบ่อขาดออกซิเจนจะมีจุลินทรีย์บางชนิดที่สามารถดึงออกซิเจนจากไนเทรตมาใช้จนเกิดเป็นไนไทรต์ ดังสมการ แล้วมีการสะสมเกิดขึ้น (พุทธ ส่องแสงจินดา, 2546)

$$NO_3^- + 2e^- + 2H^+ \longrightarrow NO_2^- + H_2O$$

หลังจากนั้นไนไทรต์ซึ่งมีความเป็นพิษต่อกุ้ง ดังที่ได้กล่าวไว้แล้วจะเกิดการเปลี่ยนแปลงต่อโดยถูกรีดิวซ์ให้กลายเป็นแก๊สไนโตรเจนที่สามารถระเหยจากน้ำกลับคืนสู่สิ่งแวดล้อมในรูปที่ไม่เป็นพิษโดยปฏิกิริยาดีไนตริฟิเคชัน (Denitrification) ด้วยแบคทีเรียในกลุ่มดีไนตริไฟเออร์ เช่น *Pseudomonas denitrifican*, *Bacillus licheniformis* และ *Thiobacillus denitrificans* ซึ่งแบคทีเรียกลุ่มนี้จะสามารถเจริญในสภาวะที่มีออกซิเจนและไม่มีออกซิเจน (Facultative Anaerobic Bacteria) ในกรณีที่มีออกซิเจนจะใช้ออกซิเจนเป็นตัวรับอิเลคตรอน และในสภาวะที่ไม่มีออกซิเจนจะสามารถใช้ไนโตรเจน เช่น ไนเทรตเป็นตัวรับอิเลคตรอนแทนออกซิเจนในกระบวนการหายใจได้ ซึ่งจากรายงานการศึกษาของ Hargreaves (1998) พบว่าอัตราการเกิดปฏิกิริยาดีไนตริฟิเคชันนั้นขึ้นอยู่กับอุณหภูมิ ความเข้มข้นของไนเทรต สารอินทรีย์คาร์บอน ออกซิเจน และปริมาณแบคทีเรียพวกดีไนตริไฟเออร์ (Denitrifiers) และได้ทำการได้รวบรวมอัตราการเกิดปฏิกิริยาดีไนตริฟิเคชันบริเวณดินตะกอนในบ่อเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ ดังแสดงในตารางที่ 5 และขั้นตอนการเกิดปฏิกิริยาดีไนตริฟิเคชันโดยมี 4 ขั้นตอน คือ

1. Nitrate reduction

$$NO_3^- \xrightarrow{\text{Nitrate reductase}} NO_2^-$$

2. Nitrite reduction

$$NO_2^- \xrightarrow{\text{Nitrite reductase}} NO$$

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

3. Nitric reduction

$$NO \xrightarrow{\text{Nitric oxide reductase}} N_2O$$

4. Nitrous reduction

$$N_2O \xrightarrow{\text{Nitrous oxide reductase}} N_2$$

ตารางที่ 5 อัตราการเกิดปฏิกิริยาดีไนตริฟิเคชั่น (มิลลิกรัมไนโตรเจนต่อตารางเมตรต่อวัน) ในดินตะกอนของแหล่งน้ำจืดและน้ำทะเล (Hargreaves, 1998)

Denitrification Rate	References	Location/Comments
1.4 – 3.6	Messer and Brezonik, 1983	Lake Okeehobee acetylene blockage mass balance
0.1 – 7.4	Acosta – Nassar et. al., 1994	tropical freshwater fish pond
5	Tiren, 1977	oligotrophic Swedish lake
3.4 - 13	Nishio et. al., 1983	Japanese coast
3.8	Smith and DeLaune, 1983	freshwater/estaurine eutrophic lake sediments
0 – 29	Billen, 1978	Belgian coast
< 25	Rysgaard et. al., 1994	freshwater sediment
47 - 81	Roos and Eriksen, 1995	semi – intensive polyculture pond
57	Riise and Roos, 1997	polyculture fish pond, Thailand
100 - 200	Nishio et. al., 1982	polluted estaury, Japan
33 - 342	Lindau et. al., 1990	KNO_3 – treated rice plots
420 - 490	Binnerup et. al., 1992	Enriched, bioturbated marine sediment

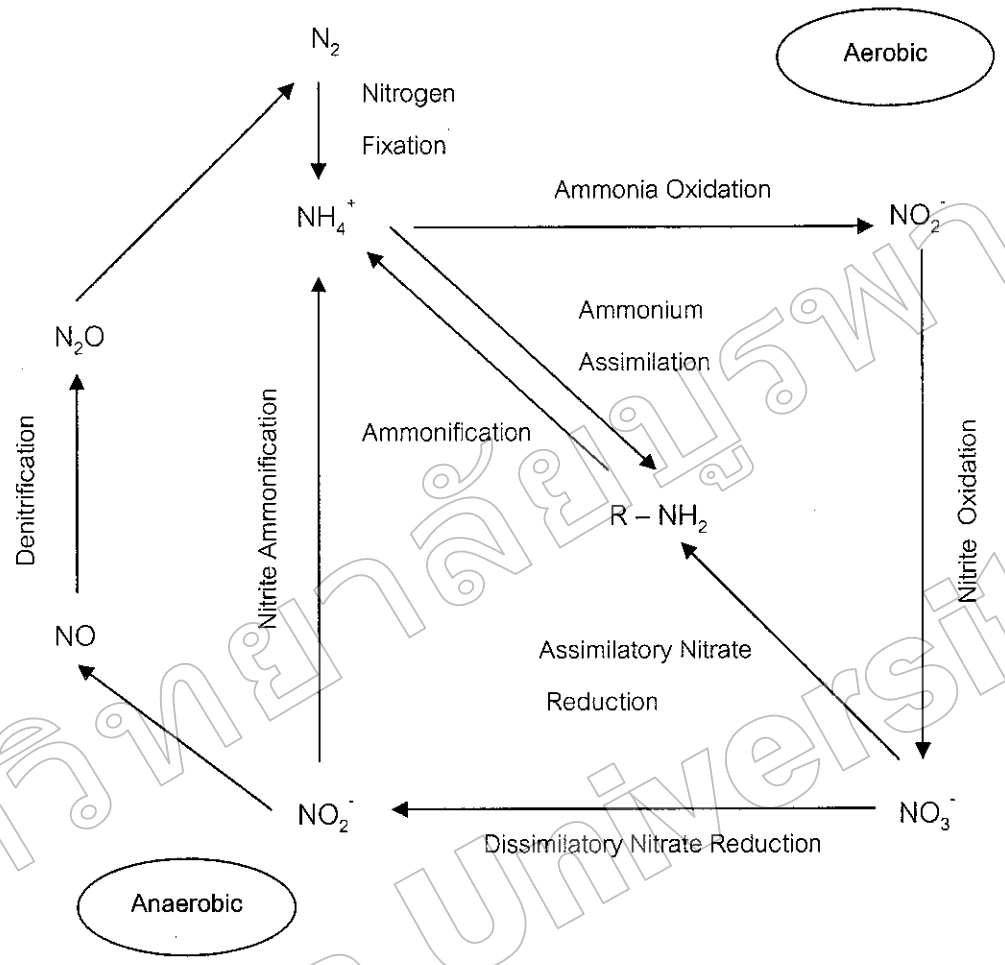
มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

สำหรับกระบวนการดีไนตริฟิเคชัน (Denitrification) ที่เกิดขึ้นในขณะที่อยู่ในสภาวะขาดออกซิเจนไนเทรตจะถูกเลือกใช้เป็นตัวรับอิเลคตรอนแทน ซึ่งจากรายงานการศึกษาของ Menasveta et al. (2001) กล่าวว่าขณะเกิดปฏิกิริยาอะตอมของออกซิเจนจะถูกกำจัดออกจากไนเทรตทีละตัวเกิดเป็นไนไทรต์ แต่ถ้าระบบอยู่ในสภาวะที่มีสารอินทรีย์ (ตัวให้อิเลคตรอน) ที่มากเกินไปจะทำให้ไนไทรต์ถูกเปลี่ยนแปลงไปเป็นไนตริกออกไซด์ และไนตรัสออกไซด์โดยทันทีแล้วถูกเปลี่ยนเป็นแก๊สไนโตรเจนอย่างรวดเร็ว ซึ่งในการเปลี่ยนแปลงนี้จะก่อให้เกิดไฮดรอกซิลไอออน (- OH) ขึ้นจึงส่งผลให้ค่าพีเอชในบ่อเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำลดลง แล้วมีการสะสมของไนเทรตเกิดขึ้น ดังสมการ

Nitrification : $NH_4^+ + 2O_2 \longrightarrow NO_3^- + H_2O + 2H^+$

Denitrification : $NO_3^- + 5/6\ CH_3OH \longrightarrow ½\ N_2 + 5/6\ CO_2 + 7/6\ H_2O + OH^-$

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University



ภาพที่ 4 วัฏจักรไนโตรเจน (Atlas & Bartha, 1993)

จากรายงานของ WHO (1986) กล่าวว่าความเข้มข้นของแอมโมเนียนั้นมีผลต่อการยับยั้งแบคทีเรียที่มีบทบาทสำคัญในวัฏจักรไนโตรเจน คือแบคทีเรียในกลุ่มแอมโมนิไฟเออร์และดีไนตริไฟเออร์ โดยแอมโมเนียที่ระดับความเข้มข้น 220 มิลลิกรัมต่อลิตร จะมีผลยับยั้งกระบวนการเมตาบอลิซึม ส่วนแบคทีเรียในกลุ่มที่ย่อยสลายโปรตีน (Proteolytic) และแบคทีเรียกลุ่มไนตริไฟเออร์จะมีความไวต่อแอมโมเนียมากกว่าแบคทีเรียในกลุ่มดีไนตรไฟเออร์ที่ความเข้มข้น 13 – 25 มิลลิกรัมต่อลิตร

Hargreaves (1998) กล่าวว่าการลดลงของแอมโมเนียนั้นเกิดจากปฏิกิริยาไนตริฟิเคชันเป็นหลัก ซึ่งดินตะกอนเป็นแหล่งสะสมของแอมโมเนียที่สำคัญและทำให้ไนเทรตและไนไทรต์ลดลง แต่ทั้งนี้การเกิดปฏิกิริยาไนตริฟิเคชัน และดีไนตริฟิเคชันควบคู่กันในบริเวณดิน

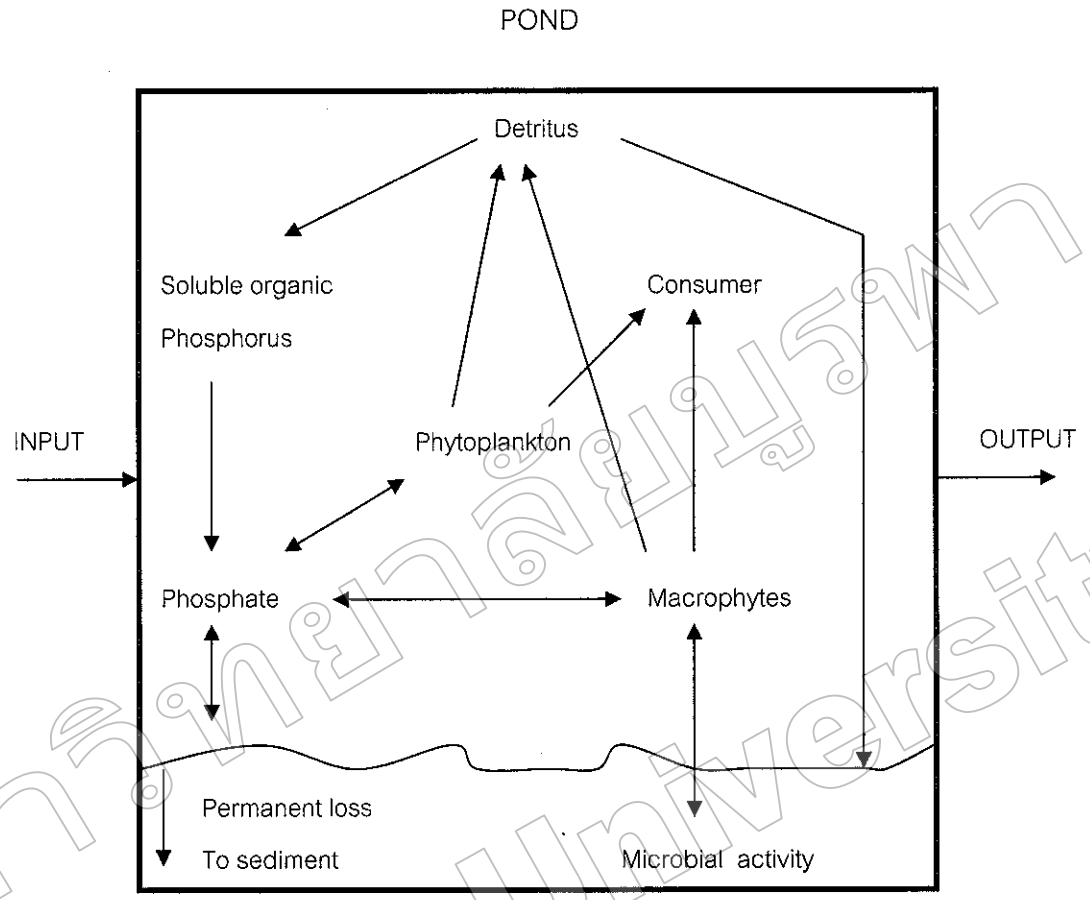
มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

ตะกอนนั้นเกิดได้มาก เนื่องจากปฏิกิริยาไนตริฟิเคชันนั้นจะถูกกำจัดด้วยปริมาณออกซิเจนที่สามารถซึมผ่านดินตะกอนลงไปได้ด้วย

2. **สารประกอบฟอสฟอรัส**

ฟอสฟอรัสเป็นธาตุที่มีความสำคัญมากสำหรับแหล่งน้ำ วงจรการเปลี่ยนแปลงค่อนข้างจะซับซ้อน ดังภาพที่ 5 ฟอสฟอรัสพบได้ทั้งในรูปสารละลายน้ำ และอนุภาคแขวนลอย ซึ่งที่ละลายน้ำได้จะมีทั้งสารอินทรีย์หรือสารอนินทรีย์ สารอินทรีย์ฟอสฟอรัสที่ละลายน้ำจะเกิดจากการย่อยสลายของของพืชหรือสิ่งมีชีวิตอื่น ๆ ส่วนสารอนินทรีย์ที่ละลายน้ำมักจะเป็นออร์โธฟอสเฟตและอนุภาคแขวนลอยที่มีฟอสฟอรัส ได้แก่แพลงค์ตอนต่าง ๆ แบคทีเรีย โดยที่แบคทีเรียและแพลงค์ตอนพืชจะสามารถดูดซับออร์โธฟอสเฟตได้รวดเร็วมากเกินกว่าความต้องการที่ใช้ในการเจริญ (Luxury Uptake) ส่วนฟอสเฟตที่เหลือจะถูกดินตะกอนดูดซับไว้อย่างรวดเร็วเช่นกัน จึงทำให้พบฟอสเฟตในน้ำปริมาณต่ำมาก (Scottish Executive Central Research Unit, 2002) ทำให้น้ำมีปริมาณฟอสเฟตลดลงและเสียสมดุล ดินตะกอนจึงมีการปล่อยฟอสเฟตให้กับน้ำ สำหรับฟอสเฟตในดินตะกอนมักอยู่ในรูปของสารประกอบเหล็กฟอสเฟต อลูมินัมฟอสเฟตและแคลเซียมฟอสเฟต โดยที่ภายใต้สภาวะที่มีออกซิเจน (Aerobic) สารประกอบฟอสเฟตจะละลายน้ำได้น้อย แต่ถ้าเกิดสภาวะไร้ออกซิเจนฟอสเฟตจะถูกปล่อยให้กับน้ำ ซึ่งพืชน้ำสามารถดูดซึมไปใช้ประโยชน์ได้และรากของพืชบางชนิดสามารถดูดซึมฟอสเฟตจากดินตะกอนได้โดยตรง (Jones et al., 2001)

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University



ภาพที่ 5 การเปลี่ยนแปลงของธาตุฟอสฟอรัสในแหล่งน้ำ (วิรัช จิ๋วแหยม, 2544)

ความเป็นพิษของสารประกอบไนโตรเจนและฟอสฟอรัสต่อสิ่งมีชีวิต

1. ความเป็นพิษของไนเทรต

ปริมาณไนเทรตในบ่อเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ อาจจะเพิ่มขึ้นจากปฏิกิริยาไนตริฟิเคชันของสารประกอบไนโตรเจน โดยปกติไนเทรตจะมีความเป็นพิษต่อสัตว์น้ำน้อยมาก แต่ถ้าในสภาวะที่ไร้ออกซิเจนไนเทรตจะเกิดการเปลี่ยนรูปเป็นไนไทรต์ผ่านทางปฏิกิริยาดีไนตริฟิเคชัน ซึ่งมีความเป็นพิษต่อสัตว์น้ำ ดังจะกล่าวต่อไป

2. ความเป็นพิษของไนไทรต์

ไนไทรต์เป็นสารตัวกลางที่พบได้ระหว่างปฏิกิริยาไนตริฟิเคชัน และ)ปฏิกิริยาดีไนตริฟิเคชัน ผลกระทบของไนไทรต์เกิดจากการที่เฟอร์รัสไอออน (Fe^{2+}) ซึ่งอยู่ในโมเลกุลของฮีโมโกลบิน (Hemoglobin) ในเลือดเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันและเปลี่ยนไปเป็นเฟอร์ริกไอออน

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

(Fe^{3+}) เป็นผลให้ฮีโมโกลบินเปลี่ยนเป็นเมทีโมโกลบิน (Methemoglobin) ที่มีความสามารถในการรับออกซิเจนต่ำลง จึงทำให้เกิดสภาพที่เลือดมีออกซิเจนต่ำกว่าปกติ (Hypoxia) หรือมีชื่อเรียกว่า "Brown Blood Disease" ไนไทรต์ในเลือดกุ้งจะทำให้ระดับโปรตีนและพีเอชของเลือดกุ้งลดลง ซึ่งจะทำให้ชีวเคมีในเลือดกุ้งเปลี่ยนแปลงไปขบวนการเผาผลาญอาหารภายในร่างกายมีประสิทธิภาพลดลงทำให้การเจริญเติบโตของกุ้งลดลง เกิดการสะสมของยูเรียในเลือดกุ้ง และมีการดูดซึมน้ำมากทำให้สมดุลเกลือแร่เปลี่ยนแปลงไป (พุทธ ส่องแสงจินดา, 2546) พิษของไนไทรต์ทำให้การขนถ่ายออกซิเจนในเลือดลดลง ส่งผลให้ระบบหายใจของกุ้งผิดปกติ ทำให้กุ้งลอกคราบไม่ออก กุ้งเปลือกนิ่ม มีการกินกันเองขณะลอกคราบ ในน้ำที่มีไนไทรต์สูงกว่า 0.15 มิลลิกรัมต่อลิตร จะทำให้กุ้งป่วย อ่อนแอ ติดเชื้อโรคต่าง ๆ ได้ง่าย และตายในที่สุด นอกจากนี้ความเป็นพิษของไนไทรต์ขึ้นอยู่กับค่าของคลอไรด์ ไนไทรต์จะอยู่ในระดับที่ปลอดภัยเมื่ออัตราส่วนของไนไทรต์ต่อคลอไรด์ เท่ากับ 1 ต่อ 6 โดยน้ำในบ่อเลี้ยงกุ้งที่มีระดับไนไทรต์สูงกว่า 1.0 มิลลิกรัมต่อลิตร ไม่ควรนำมาเลี้ยงกุ้ง (กองเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำชายฝั่ง, 2534)

3. **ความเป็นพิษของแอมโมเนีย**

แอมโมเนียจะมีความเป็นพิษแม้ในระดับความเข้มข้นต่ำ ๆ โดยปกติกุ้งจะมีการขับแอมโมเนียผ่านทางเลือด ซึ่งจะนำไปปล่อยออกจากร่างกายทางเหงือกกุ้งในระหว่างที่กุ้งมีการหายใจ ถ้าในน้ำมีแอมโมเนียน้อย (0.1 มิลลิกรัมต่อลิตร เป็นระดับที่ไม่เป็นอันตรายต่อกุ้ง) จะทำให้กุ้งสามารถขับถ่ายแอมโมเนียได้ดี และมีการเจริญเติบโตที่ดี แต่ถ้าแอมโมเนียในน้ำมากจะเกิดการแพร่กลับเข้าไปในเลือดได้ แล้วพีเอชของเลือดสูงผิดปกติ ทำให้เอนไซม์ในเลือดกุ้งทำงานไม่ปกติ กุ้งจะลดการหายใจมากขึ้นเพื่อป้องกันแอมโมเนียในน้ำเข้าสู่ร่างกาย จึงเกิดภาวะเครียดและเติบโตได้ช้าลง (พุทธ ส่องแสงจินดา, 2546) แอมโมเนียอิสระที่ 0.1 – 0.4 มิลลิกรัมต่อลิตร จะส่งผลให้กุ้งโตช้า ส่วนที่มากกว่า 0.4 มิลลิกรัมต่อลิตร กุ้งจะโตช้า กินอาหารน้อยลง เครียดหรือตาย จากรายงานการศึกษาของ Gross et al. (2003) พบว่าค่า LC_{50} ที่ 48 – 96 ชั่วโมง ของแอมโมเนียประมาณ 0.2 – 3 มิลลิกรัมต่อลิตร ซึ่งระดับความเข้มข้นที่ปลอดภัยสำหรับการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำควรต่ำกว่า 0.02 – 0.3 มิลลิกรัมต่อลิตร สำหรับสัตว์น้ำอื่น ๆ เช่น ปลา แอมโมเนียที่ระดับความเข้มข้นต่ำจะมีผลให้การฟักไข่ลดลง ลดอัตราการเจริญ และเกิดการเปลี่ยนแปลงบริเวณเนื้อเยื่อของเหงือก ตับ ไต ทำให้เกิดโรคได้ การแพร่กระจายของแอมโมเนียจะสามารถพบได้ในเนื้อเยื่อทุกชนิดที่เกิดกระบวนการเมตาบอลิซึม จากรายงานของ WHO (1986) กล่าวว่าแอมโมเนียสามารถเข้าสู่เยื่อหุ้มเซลล์ของสิ่งมีชีวิตได้ง่าย แล้วจะถูกนำไปใช้ใน

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

การสังเคราะห์โปรตีนโดย Krebs – Henseleit Cycle ส่วนพืชจะไม่สามารถขับแอมโมเนียออกมาได้ แต่จะมีการทำลายพิษด้วยการนำเข้าไปรวมกับกระบวนการเมตาบอลิซึมของคาร์โบไฮเดรต

4. ความเป็นพิษของฟอสเฟต

ฟอสฟอรัส หรือฟอสเฟตเป็นสารที่มีความสำคัญต่อระบบเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ แต่ถ้ามีปริมาณมากเกินไปอาจทำให้เกิดภาวะเสื่อมโทรมของแหล่งน้ำจากการเจริญเติบโตของพืชน้ำ หรือที่เรียกว่า ยูโทรฟิเคชัน (Eutrophication) หากแหล่งน้ำธรรมชาติมีปริมาณฟอสฟอรัสสูงเกินกว่า 0.01 มิลลิกรัมต่อลิตร จัดว่าแหล่งน้ำนั้นมีอาหารธรรมชาติมากเกินไป ส่วนแหล่งน้ำที่มีฟอสฟอรัสสูงกว่า 0.6 มิลลิกรัมต่อลิตร จัดว่ามีปัญหามลภาวะ โดยปกติแล้วฟอสฟอรัสในน้ำไม่ได้ก่อให้เกิดอันตรายแก่สัตว์น้ำ ซึ่งในการควบคุมและป้องกันปัญหาการเสื่อมโทรมของแหล่งน้ำได้กำหนดมาตรฐานว่าไม่ควรมีปริมาณฟอสฟอรัสเกิน 0.03 มิลลิกรัมต่อลิตร

งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ประดิษฐ์ ชมชื่นชอบ และวราภรณ์ หนูดี (2544) ตรวจติดตามการเปลี่ยนแปลงคุณภาพน้ำในบ่อเลี้ยงกุ้งกุลาดำแบบพัฒนา จำนวน 6 ฟาร์ม ในจังหวัดสุราษฎร์ธานี ระหว่างเดือนพฤษภาคมถึงเดือนธันวาคม พ.ศ. 2539 พบว่าทุกฟาร์มมีการเลี้ยงกุ้งในระบบกึ่งปิดหรือระบบถ่ายน้ำน้อย มีคุณภาพน้ำอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานคุณภาพน้ำทะเลเพื่อการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำชายฝั่ง มีค่าความโปร่งใสอยู่ระหว่าง 35 – 70 เซนติเมตร อุณหภูมิของน้ำอยู่ระหว่าง 29 – 30 องศาเซลเซียส ความเค็มอยู่ระหว่าง 8 – 29 ส่วนในพันส่วน ความเป็นกรด - ด่างอยู่ระหว่าง 7.8 – 8.4 ปริมาณออกซิเจนละลายน้ำมีค่า 5.4 – 6.9 มิลลิกรัมต่อลิตร ค่าบีโอดีอยู่ระหว่าง 3.2 – 6.8 มิลลิกรัมต่อลิตร ค่าไนเทรต-ไนโตรเจนอยู่ระหว่าง 0.005 – 0.065 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาณไนไทรต์-ไนโตรเจนอยู่ระหว่าง 0.001 – 0.050 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาณแอมโมเนีย-ไนโตรเจนอยู่ระหว่าง 0.004 – 0.082 มิลลิกรัมต่อลิตร และปริมาณฟอสเฟต-ฟอสฟอรัสอยู่ระหว่าง 0.019 – 0.030 มิลลิกรัมต่อลิตร

พูนสุข ประเสริฐสรรพ์ และจรรยารัตน์ พ่วงฟู (2545) ศึกษาการนำแบคทีเรียไนตริไฟอิงจากน้ำและตะกอนของนากุ้งและจากหัวเชื้อทางการค้ามาเพิ่มจำนวนในระบบเอสบีอาร์ (Sequencing Batch Reactor, SBR) เพื่อกำจัดแอมโมเนียจากน้ำเสียสังเคราะห์ที่มีความเค็ม 25 ส่วนในพันส่วน และความเข้มข้นแอมโมเนีย 100 มิลลิกรัมต่อลิตร พบว่าจำนวนแบคทีเรียไนตริไฟอิงทั้ง 2 กลุ่มเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาการเลี้ยง เมื่อได้ทำการตรวจติดตามจำนวนแบคทีเรียที่กำจัดแอมโมเนียโดยการออกแบบตัวติดตาม (Probe) จำเพาะสำหรับเทคนิค Fluorescence In

Situ Hybridisation (FISH) พบแบคทีเรียที่กำจัดแอมโมเนียของตัวอย่างจากนากุ้งและหัวเชื้อทางการค้ามีปริมาณ 44.4 เปอร์เซ็นต์ และ 61.4 เปอร์เซ็นต์ เทียบกับแบคทีเรียทั้งหมด ตามลำดับ

สรวิศ เผ่าทองศุข (2546) ได้พัฒนาระบบบำบัดไนเทรตแบบท่อยาว (Tubular Denitrification Reactor) เพื่อใช้ในเลี้ยงกุ้งระบบปิดในน้ำทะเล โดนอาศัยการทำงานของแบคทีเรียที่เติบโตยึดติดอยู่กับตัวกลางที่บรรจุอยู่ในท่อพลาสติกความยาว 50 เมตร และมีการเติมเมธานอลเป็นแหล่งคาร์บอน โดยแบคทีเรียที่อาศัยอยู่บริเวณตอนต้นของท่อยาวจะหายใจทำให้ปริมาณออกซิเจนละลายน้ำลดลง และแบคทีเรียในส่วนปลายท่อซึ่งเป็นบริเวณที่มีออกซิเจนต่ำจะริดิวซ์ไนเทรตโดยขบวนการดีไนตริฟิเคชัน (Denitrification) ได้ผลผลิตสุดท้ายเป็นแก๊สไนโตรเจน ซึ่งจะถูกจำกัดออกจากระบบ ทั้งนี้ระบบมีประสิทธิภาพการบำบัดระหว่าง 70 – 90 เปอร์เซ็นต์โดยที่ไม่พบปัญหาการรีดิวซ์ซัลเฟตแล้วเกิดเป็นแก๊สไฮโดรเจนซัลไฟด์ และตลอดการทดลอง 7 เดือน ระบบบำบัดสามารถควบคุมความเข้มข้นของไนเทรตในบ่อเลี้ยงกุ้งไว้ได้ต่ำกว่า 20 มิลลิกรัมไนเทรต – ไนโตรเจนต่อลิตร ในขณะที่ชุดควบคุมที่ไม่ได้ติดตั้งระบบบำบัดมีความเข้มข้นไนเทรตสูงกว่า 80 มิลลิกรัมไนเทรต – ไนโตรเจนต่อลิตร

จากบทความของ WHO (1986) กล่าวว่าค่าพีเอชที่สูงและแอมโมเนียที่ระดับความเข้มข้น 10 มิลลิกรัมต่อลิตร จะมีผลยับยั้งการเกิดปฏิกิริยาไนตริฟิเคชัน เนื่องจากแอมโมเนียที่ความเข้มข้น 10 – 150 มิลลิกรัมต่อลิตร จะมีผลยับยั้ง *Nitrosomonas* (ทำหน้าที่เปลี่ยนแอมโมเนียไปเป็นไนไทรต์) ส่วน *Nitrobacter* (ทำหน้าที่เปลี่ยนไนไทรต์ไปเป็นไนเทรต) จะถูกยับยั้งที่ความเข้มข้นแอมโมเนีย 0.1 – 1.0 มิลลิกรัมต่อลิตร จึงก่อให้เกิดการสะสมหรือคงทนของแอมโมเนียและ/หรือไนไทรต์ในสิ่งแวดล้อมได้ นอกจากนี้แอมโมเนียที่ระดับความเข้มข้น 1,100 มิลลิกรัมแอมโมเนียต่อลิตร สามารถทำลาย *Escherichia coli* ได้ถึง 90 เปอร์เซ็นต์ในเวลา 78 นาที และ *Bacillus subtilis* จะถูกทำลายที่ความเข้มข้น 620 มิลลิกรัมแอมโมเนียต่อลิตร ในเวลาน้อยกว่า 2 ชั่วโมง

นอกจากนี้ WHO ได้กล่าวถึงปัจจัยที่มีผลต่อความเป็นพิษของแอมโมเนีย ได้แก่ ออกซิเจนที่ละลายน้ำ อุณหภูมิ ค่าพีเอช ความเข้มข้นของคาร์บอนไดออกไซด์ และความเค็ม เช่น ในน้ำจืด ค่า LC_{50} ของแอมโมเนียที่ 48 และ 96 ชั่วโมง ของสัตว์ไม่มีกระดูกสันหลังอยู่ที่ 1.10 – 22.8 มิลลิกรัมต่อลิตร ส่วนปลา คือ 0.56 – 2.48 มิลลิกรัมต่อลิตร และสำหรับในน้ำเค็ม ค่า LC_{50} ของสัตว์ไม่มีกระดูกสันหลังอยู่ที่ 0.94 – 18.3 มิลลิกรัมต่อลิตร ส่วนปลา คือ 0.32 – 1.31 มิลลิกรัมต่อลิตร

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

Carter, Hsiao, Spiro & Richardson (1995) ได้รายงานผลการศึกษาในการคัดแยกสายพันธุ์จุลินทรีย์ที่มีความสามารถในการใช้ไนเทรตเป็นตัวรับอิเลคตรอนของกระบวนการเมตาบอลิซึมในขณะที่มีออกซิเจน ประกอบด้วยแกรมบวก 1 จีนัส คือ *Arthrobacter* และแกรมลบอีก 3 จีนัส คือ *Pseudomonas*, *Aeromonas* และ *Moraxella* โดยจุลินทรีย์เหล่านี้จะมีการแสดงออกของเอนไซม์ไนเทรตรีดักเทส (Nitrate Reductase) ในบริเวณเพอริพลาสมิค (Periplasmic) ซึ่งมีรายงานจุลินทรีย์ชนิดอื่นๆ ที่มีการแสดงออกของเอนไซม์ชนิดนี้ ได้แก่ *Rhodobacter capsulatus*, *Rhodobacter sphaeroides*, *Alcaligenes eutrophus*, *Pseudomonas putida*, *Paracoccus denitrificans* PD1222 และ GB17

Sakai, Ikehata, Wakayama & Moriguchi (1996) ศึกษาความสามารถในการเปลี่ยนแปลงไนไทรต์ของแบคทีเรียในกลุ่มเฮเทอโรโทรปจากปริมาณไนไทรต์ที่ถูกใช้ไปและการสะสมไนเทรตที่เกิดขึ้น พบว่า *Bacillus badius* I - 73 มีการเจริญควบคู่กับการสะสมของไนเทรตอันเป็นผลมาจากความเข้มข้นของไนไทรต์ แต่จะถูกยับยั้งการเจริญได้เล็กน้อยถ้าความเข้มข้นของโซเดียมไนไทรต์เป็น 20 มิลลิโมลาร์ โดยปริมาณไนเทรตที่สะสมจะเป็นสัดส่วนกับปริมาณไนไทรต์ที่ถูกใช้ไป ซึ่ง *Bacillus badius* I - 73 จึงจัดเป็นกลุ่มที่สามารถเกิดปฏิกิริยาไนไทรต์ออกซิเดชันได้ แต่ไม่สามารถเกิดปฏิกิริยาดีไนตริฟิเคชัน

Ogilvie et al. (1997) ได้รายงานการศึกษาไว้ว่าการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมินั้นจะมีผลต่อความแตกต่างของกลุ่มจุลินทรีย์ที่มีการใช้ประโยชน์จากไนเทรต โดยที่อุณหภูมิต่ำ (5 องศาเซลเซียส) พบจุลินทรีย์ในกลุ่มดีไนตริไฟเออร์ (Denitrifiers) เป็นส่วนใหญ่ แต่จะพบจุลินทรีย์ในกลุ่ม Fermentative Nitrate – Ammonifiers เช่น *Enterobacter* spp. ที่มีความสามารถในการใช้ไนเทรตได้ดีที่อุณหภูมิค่อนข้างสูง (5 – 20 องศาเซลเซียส) ส่วนที่อุณหภูมิมากกว่า 20 องศาเซลเซียส จะพบกลุ่มจุลินทรีย์กลุ่ม Obligately Fermentative Metabolism ได้แก่ *Klebsiella oxytoca* เป็นสำคัญ

จากการศึกษาของ Bhaskar, Sett, Mondal, Joseph, Raju & Raghunath (1998) พบว่าแบคทีเรียก่อโรคที่พบในการเพาะเลี้ยงกุ้งกุลาดำ (*Penaeus monodon*) จากการตรวจสอบในน้ำ ดินตะกอน และในตัวกุ้งได้แก่ *Salmonella, Vibrio cholerae* 01 และ *Listeria monocytogenes* ซึ่งแหล่งสำคัญของเชื้อก่อโรคเหล่านี้มาจากดินตะกอน น้ำและแหล่งอาหารตามธรรมชาติ เช่นสาหร่าย แพลงค์ตอน และสัตว์ไม่มีกระดูกสันหลัง อาทิเช่น แพลงค์ตอนสัตว์

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

Gatesoupe (1999) ศึกษาการใช้โปรไบโอติก (probiotic) กับสัตว์ในระบบเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ เพื่อเป็นตัวควบคุมทางชีวภาพ (Biocontrol) ต่อต้านกับเชื้อก่อโรคและเพื่อช่วยฟื้นฟูคุณภาพน้ำ โดยสายพันธุ์ของโปรไบโอติกที่คัดแยกได้นี้ได้แก่แบคทีเรียกลุ่มไนตริไฟเออร์ และแบคทีเรียในกลุ่ม Vibrionaceae, Pseudomonads, Lactic Acid Bacteria, *Bacillus* spp. และยีสต์ พบว่า *Bacillus subtilis* นั้นสามารถช่วยลดจำนวนเชื้อก่อโรคพวก *Vibrio* spp. ในดินตะกอน และ *Bacillus* sp. ที่พบในแหล่งน้ำสามารถต้านทานต่อ *Vibrio vulnificus* ซึ่งอาจจะเกิดจากการขับเอนไซม์ออกมานอกเซลล์ของแบคทีเรียและการแข่งขันในการใช้สารอาหารเพราะโพรไบโอติกที่ใช้นั้นมีความสามารถในการเจริญได้ดีกว่า

Menasveta et al. (2001) รายงานผลการศึกษาของการเลือกใช้สับเตรทสำหรับแบคทีเรีย แหล่งคาร์บอน และการเลือกใช้หัวเชื้อแบคทีเรียที่แตกต่างกันจะมีผลต่อการลดปริมาณไนเทรตในบ่อเพาะเลี้ยง โดยการใช้แบคทีเรียกลุ่มดีไนตริไฟอิงร่วมกับแหล่งสับสเตรทที่เป็นเปลือกหอยนางรม และมีเอทานอลเป็นแหล่งคาร์บอนนั้นสามารถช่วยลดไนเทรตได้ในระดับหนึ่ง แต่ถ้าเปลี่ยนให้เป็นสภาวะที่ไร้ออกซิเจน (Anaerobic) โดยใช้เมทานอลเป็นแหล่งคาร์บอนและเพิ่มระยะเวลาที่น้ำจะสัมผัสกับแบคทีเรียกลุ่มดีไนตริไฟเออร์บนสับสเตรท (Hydrolic Retention Time, HRT) จะสามารถลดปริมาณไนเทรตได้อย่างมีนัยสำคัญ ($P < 0.05$) จากมากกว่า 160 มิลลิกรัมต่อลิตร ลดลงเหลือน้อยกว่า 25 มิลลิกรัมต่อลิตร โดยจะต้องปรับค่า C/N Ratio ให้เหมาะสมเพื่อให้ปฏิกิริยาดีไนตริฟิเคชันเกิดได้คงที่ เนื่องจากการมีสารอินทรีย์มากเกินไปจะทำให้ค่าพีเอชลดลงหรือในแหล่งน้ำทะเลที่ไม่มีไนเทรต หรือไนไทรต์เป็นตัวรับอิเลคตรอนตัวสุดท้ายในกระบวนการเมตาบอลิซึม แบคทีเรียชอบที่จะเลือกใช้ซัลเฟตแทนเป็นผลให้เกิดซัลไฟด์หรือไฮโดรเจนซัลไฟด์ที่มีความเป็นพิษต่อสิ่งมีชีวิตในแหล่งน้ำอย่างสูง

Chythanya & Karunasagar (2002) จากรายงานวิจัยกล่าวว่า Pseudomonads นั้นเป็นแบคทีเรียที่อาศัยอยู่ในสิ่งแวดล้อม แหล่งน้ำในบ่อเพาะเลี้ยง ซึ่งจะมีความสัมพันธ์กับเหงือก ผิวหนัง และระบบลำไส้ของปลา จากการทดลอง พบว่าสภาวะที่เหมาะสมสำหรับ *Pseudomonas* I - 2 เพื่อที่จะสามารถผลิตสารต้านวิบริโอ (Antivibrio) จากการหลั่งออกมานอกเซลล์ (Extracellular) ได้สูงสุดที่พีเอช 7.0 อุณหภูมิ 30 – 37 องศาเซลเซียส และความเข้มข้นของโซเดียมคลอไรด์ที่ 1 เปอร์เซ็นต์ โดยสามารถยับยั้งวิบริโอที่เป็นเชื้อก่อโรค Vibriosis ที่สำคัญในการเลี้ยงกุ้งได้ถึง 5 ชนิด คือ *Vibrio harveyi*, *V. fluvialis*, *V. parahaemolyticus*, *V. damsela* และ *V. vulnificus*

Devaraja, Yusoff & Shariff (2002) ได้ศึกษาการเปลี่ยนแปลงกลุ่มแบคทีเรียในบ่อเลี้ยงกุ้งที่บำบัดด้วยกลุ่มจุลินทรีย์ทางการค้า คือผลิตภัณฑ์ 1 ประกอบด้วย *Bacillus* sp. และ *Saccharomyces* sp. และ ผลิตภัณฑ์ 2 ประกอบด้วย *Bacillus* sp., *Nitrosomonas* sp. และ *Nitrobacter* sp. พบว่าจากตัวอย่างน้ำและดินตะกอนในทุกบ่อจะมีแบคทีเรียที่โดดเด่น คือ *Bacillus* sp. โดยบ่อที่บำบัดด้วยผลิตภัณฑ์ 1 จะมีแบคทีเรียในกลุ่มเฮเทอโรโทรป (Total Plate Count) และ Presumptive Sulphur Oxidizers สูงสุดเท่ากับ $1.24 \times 10^{6} \pm 0.27 \times 10^{6}$ cfu g^{-1} และ $1.01 \times 10^{2} \pm 0.19 \times 10^{2}$ cfu g^{-1} ตามลำดับ ซึ่งแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) จากบ่อทดลองอื่น สำหรับจำนวนของแบคทีเรียพวกเฮเทอโรโทรป ในทุกบ่อการทดลองจะค่อยๆ เพิ่มขึ้นตามระยะเวลาการเลี้ยง และผลิตภัณฑ์ทั้ง 2 นี้ยังมีผลไปยับยั้งปริมาณแบคทีเรียก่อโรคพวก Presumptive vibrios ให้มีจำนวนต่ำกว่าบ่อที่ไม่มีการเติมผลิตภัณฑ์ลงไป เมื่อปริมาณออกซิเจนในดินตะกอนหมดไป แบคทีเรียกลุ่มที่ก่อให้เกิดขบวนการหมักจะทำงานแล้วปลดปล่อยสารประกอบรูปรีดิวซ์พวกกรด แอลกอฮอล์ คาร์บอนไดออกไซด์และไฮโดรเจน ซึ่งจะถูกใช้ไปโดยแบคทีเรียที่สามารถรีดิวซ์ซัลเฟอร์

Thompson, Abreu & Wasielesky (2002) ศึกษาการใช้กลุ่มจุลินทรีย์ที่มี Extracellular Polymeric Substance เพื่อจับกับผิวหน้าวัสดุที่จมอยู่ในน้ำได้เพื่อผลิตไบโอฟิล์ม (Bioflim) ซึ่งพบจุลินทรีย์ต่าง ๆ ประกอบด้วย Pennate diatoms (*Amphora*, *Compylopyxis*, *Navicula*, *Sinedra*, *Hantschia* และ *Cylindrotheca*), Filamentous Cyanobacteria (*Oscillatoria* และ *Spirulina*), Flagellates, Ciliates และ แบคทีเรียพวกไนตริไฟเออร์ ผลการทดลองทำให้ฟอสฟอรัสลดลง ช่วยลดปัญหายูโทรฟิเคชัน (Eutrofication) ในสิ่งแวดล้อมได้ ในขณะที่ไนเทรต และไนไทรต์จะเพิ่มขึ้น เมื่อความเข้มข้นของแอมโมเนียมลดลง นอกจากนี้จุลินทรีย์ต่าง ๆ ในระบบอาจจะมีการผลิตแร่ธาตุที่จำเป็น (Essential Elements) ซึ่งจะช่วยสนับสนุนการเจริญของกุ้ง เช่นกรดไขมันไม่อิ่มตัว สเตอรอยด์ กรดอะมิโน วิตามิน และแคโรทีนอยด์ ทั้งนี้การใช้ ไบโอฟิล์มก็อาจจะมีข้อเสีย คือ เป็นแหล่งสะสมของแบคทีเรียก่อโรค เช่น *Vibrio harveyi* ที่จะต้องใช้ยาปฏิชีวนะปริมาณมากในการกำจัด แต่สาหร่ายพวก Microalgae หลายชนิดในระบบสามารถผลิตยาปฏิชีวนะที่จะช่วยยับยั้งการเจริญของแบคทีเรียก่อโรคและการกำจัดด้วยการจับกินโดยโปรโตซัว

Burford et al. (2003) ศึกษาการเลี้ยงกุ้ง (*Litopenaeus vannamei*) โดยพัฒนาการเลี้ยงกุ้งแบบหนาแน่นให้เป็นระบบปิดแทนวิธีการเลี้ยงแบบดั้งเดิม (Conventional) ที่มี

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

การเปลี่ยนถ่ายน้ำที่ Belize Aquacultural Ltd. (BAL) ในประเทศสหรัฐอเมริกา พบว่าอาหารที่ใช้เลี้ยงกุ้งจะเกิดการย่อยสลายเปลี่ยนแปลงไปเป็นสารอินทรีย์ และสารอนินทรีย์ไนโตรเจนที่ละลายน้ำในความเข้มข้นสูง (2.29 – 5.56 และ 0.17 – 10.66 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ) ซึ่งจะไปส่งเสริมการเจริญของแบคทีเรีย แพลงค์ตอนพืช และโปรโตซัว มีการใช้ออกซิเจนไปมากกว่า 22 เปอร์เซ็นต์ เนื่องจากการเกิดปฏิกิริยาไนตริฟิเคชันที่วัดได้จากการลดลงของ Total Ammonical Nitrogen (TAN) แต่มีความเข้มข้นของไนไทรต์ และไนเทรต นอกจากนี้การเลี้ยงในรูปแบบนี้จะมีอนุภาคแขวนลอย (Flocculated Matter) ในปริมาณสูงซึ่งจะเป็นแหล่งสับสเตรทที่ดีสำหรับแบคทีเรียกลุ่มไนตริไฟเออร์ทำให้ปฏิกิริยาไนตริฟิเคชันเกิดได้มากกว่าการเลี้ยงแบบดั้งเดิม

Gross et al. (2003) ศึกษาการใช้ตัวกรองชีวภาพ (Biofilter) โดยการใช้จุลินทรีย์จากดินบริเวณที่มีการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ เพื่อเป็นการลดระยะเวลาในการผลิตหัวเชื้อเริ่มต้น และเพิ่มประสิทธิภาพของปฏิกิริยาไนตริฟิเคชัน จะต้องไม่เป็นเชื้อก่อโรคและมีช่วง Lag Phase ที่สั้น ทำให้ความเข้มข้นของแอมโมเนียในชุดทดลองลดลงเหลือ 2 มิลลิกรัมต่อลิตร ขณะที่ในชุดควบคุมความเข้มข้นเพิ่มขึ้นถึง 18 มิลลิกรัมต่อลิตร แต่ทั้งนี้การเปลี่ยนแปลงแอมโมเนียไปเป็นไนไทรต์โดยแบคทีเรียที่ทำหน้าที่ออกซิไดส์แอมโมเนีย (Ammonia Oxidizing Bacteria; AOB) และการเปลี่ยนแปลงไนไทรต์ไปเป็นไนเทรตโดยแบคทีเรียที่ทำหน้าที่ออกซิไดส์ไนไทรต์ (Nitrite Oxidizing Bacteria; NOB) แบคทีเรียทั้งสองกลุ่มจัดเป็น Obligate Autotrophs ที่มีการเจริญเติบโตช้าและไวต่อการเปลี่ยนแปลงทางสิ่งแวดล้อม เช่น ความเค็ม แสงและพีเอช อันจะส่งผลต่อความไม่สมดุลในการเกิดปฏิกิริยาไนตริฟิเคชัน เกิดการสะสมสารพิษอย่างแอมโมเนีย และไนไทรต์ สำหรับการศึกษานี้พบจุลินทรีย์ในกลุ่มที่ทำหน้าที่ออกซิไดส์แอมโมเนียโดดเด่นและสามารถทนเค็มได้ 12 – 24 กรัมต่อลิตร คือ *Nitrosospira* sp.

จากรายงานการศึกษาของ Matsuzaka, Nobura, Nakajima-Kambe, Okada & Nakahara (2003) พบว่ามีจุลินทรีย์บางชนิดที่สามารถเกิดปฏิกิริยาได้ทั้งเฮเทอโรโทรฟิคไนตริฟิเคชัน (Heterotrophic Nitrification) และแอโรบิคดีไนตริฟิเคชัน (Aerobic Denitrification) เพื่อเปลี่ยนแปลงไนไทรต์ ซึ่งเป็นสารตัวกลางระหว่างปฏิกิริยาทั้งสองในขณะที่มีออกซิเจน ได้แก่ *Thiosphaera pantotropha*, *Alcaligenes faecalis*, *Mesorhizobium amorphae* และ *Ochrobactrum grignonense*

Thakur & Lin (2003) ได้ศึกษาความเป็นไป (Fate) ของสารประกอบไนโตรเจนและฟอสฟอรัสจากบ่อเพาะเลี้ยงกุ้งกุลาดำ (*Penaeus monodon*) ในระบบปิดซึ่งไม่มีการเปลี่ยนถ่ายน้ำจึงเป็นการรักษาคุณภาพน้ำและลดการปลดปล่อยสารอาหารออกสู่แหล่งน้ำธรรมชาติ พบว่า

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

อาหารที่ให้กุ้งจะมีสารประกอบไนโตรเจน 76 – 92 เปอร์เซ็นต์ และฟอสฟอรัส 70 – 91 เปอร์เซ็นต์ แต่มีสารอาหารไนโตรเจน และฟอสฟอรัสที่กุ้งสามารถดูดซึมไปใช้ประโยชน์ได้เพียง 23 – 31 เปอร์เซ็นต์ และ 10 – 13 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ ส่วนไนโตรเจน และฟอสฟอรัสอาหารที่เหลือจะมีการสะสมอยู่บริเวณดินตะกอน 14 – 53 เปอร์เซ็นต์ และ 12 – 29 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ ซึ่งฟอสฟอรัสจะดูดซับกับโคลนในบ่อเพราะมีความสามารถในการจับ (Affinity) ที่แข็งแรง ส่วนไนโตรเจนจะมีการสูญเสียออกจากระบบเพาะเลี้ยงด้วยการระเหยของแก๊สแอมโมเนียจากการเพิ่มออกซิเจน และค่าพีเอชที่สูงหรือจากการเกิดปฏิกิริยาดีไนตริฟิเคชันบริเวณดินตะกอน

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University