บทที่ 2

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ชีววิทยาของกุ้งกุลาดำ

กุ้งกุลาดำ มีชื่อทางวิทยาศาสตร์ว่า *Penaeus monodon frabricius* และมีชื่อสามัญว่า Black Tiger Prawn (English), Camaron Tigre Giante (Spanish), Sugpo (Phillipines) (Motoh, 1985) Jumbo Prawn (Australia) และ Tiger Prawn (South Africa) (ประจวบ หลำอุบล, 2531) เป็นกุ้งที่มีขนาดใหญ่ที่สุดในวงศ์ พีนีไอดี้ (Penaeidae) อนุกรมวิธานของกุ้งกุลาดำเป็นดังนี้ (Motoh, 1985)

Phylum…Arthopoda

Class…Crustecea

Subclass…Malacostraca

Superorder… Eucarida

Order…Decapoda

Suborder…Natantia

Infraorder…Panaeidea

Superfamily…Panaeidea

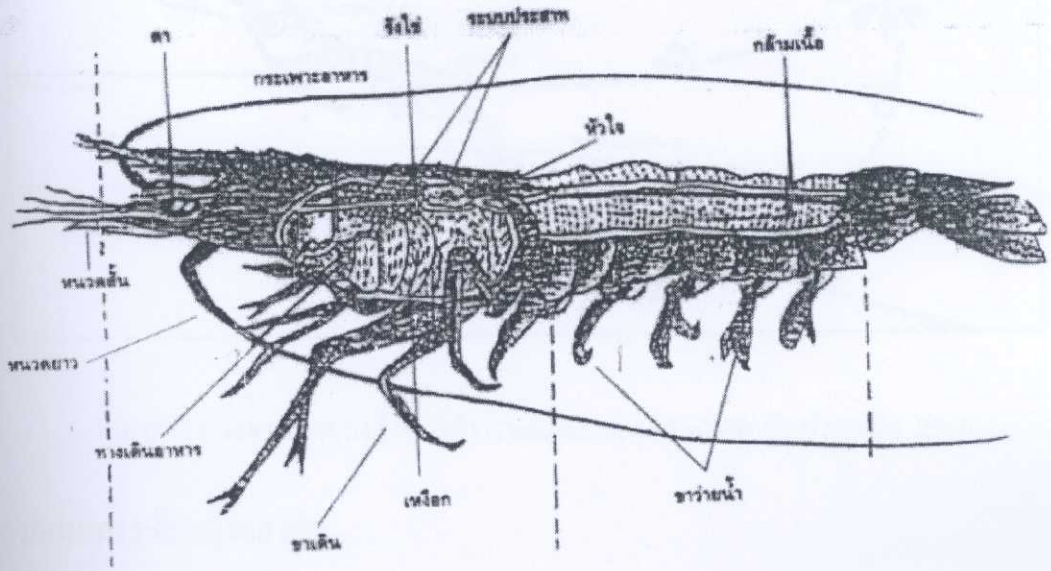
Family…Panaeidea

Genus…*Penaeus*

Species…*monodon*

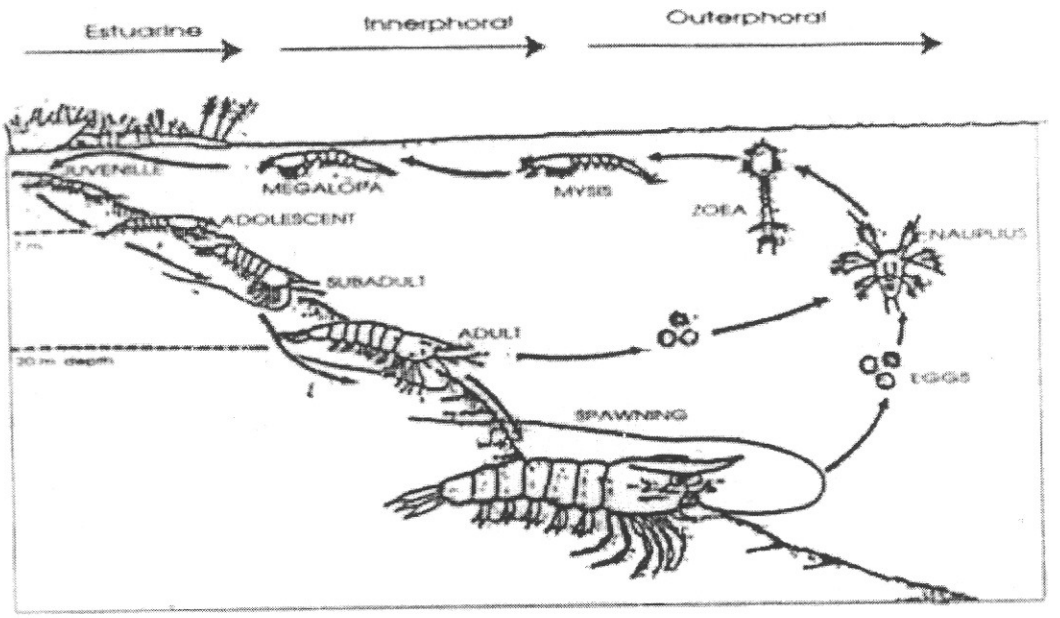
กุ้งกุลาดำจัดเป็นสัตว์ไม่มีกระดูกสันหลัง มีเปลือกหุ้มตัวอยู่ภายนอก เป็นกุ้งที่มีขนาดใหญ่ ซึ่งอาจมีลำตัวยาวถึง 270 มิลลิเมตร (27 เซนติเมตร) มีน้ำหนักถึง 260 กรัม (3.8 ตัวต่อกิโลกรัม) มีสีแดงคล้ำ มีวงแหวนสีขาวสลับดำในแต่ละปล้องตลอดลำตัว หนวดมีสีขาวปนเทาเขียว หรือน้ำตาล ส่วนระยางค์มักมีสีน้ำตาล และมีขนอ่อนสีแดงอยู่โดยรอบ

ลำตัวจะเป็นข้อปล้อง มีทั้งหมดประมาณ 19 ปล้อง แต่ละปล้องจะมีระยางค์ 1 คู่ มีหน้าที่เฉพาะออกไปโดยสามารถแบ่งลำตัวกุ้งออกเป็น 3 ส่วน คือ ส่วนหัว ส่วนอก และส่วนท้อง ส่วนหัวและส่วนอกจะรวมเป็นส่วนเดียวกันอยู่ใต้เปลือกคลุมหัว ซึ่งมีอวัยวะภายในต่าง ๆ เรียงตัวกันอยู่ (ชมรมถ่ายทอดเทคโนโลยีการเกษตร, 2541)



ภาพที่ 1 แสดงลักษณะและส่วนต่างๆ ของกุ้งกุลาดำ (ศุภชัย นิลวานิช, 2540)

ในวงจรชีวิตของกุ้งจะมีพัฒนาการการเปลี่ยนแปลงรูปร่างการเจริญเติบโต โดยอาศัยการลอกครบตั้งแต่ฟักเป็นตัว จนกระทั่งโตเต็มวัย ซึ่งสามารถอธิบายการเปลี่ยนแปลงระยะต่างๆ ได้ดังนี้ หลังจากการวางไข่ ไข่ที่ได้รับการผสมพันธ์แล้วจะฟักออกเป็นตัวอ่อนระยะแรกภายในเวลา 14-15 ชม. เรียกวัยอ่อนระยะแรกว่า นอเพลียส (nauplius) ในระยะนี้จะมีขนาด 0.3-0.6 มิลลิเมตร จะลอกคราบ 6 ครั้ง โดยใช้ระยะเวลา 2-3 วัน ในระยะนี้กุ้งยังไม่กินอาหาร ระยะที่สองเรียกว่า ซูเอีย (zoea) มีขนาด 1-1.3 มิลลิเมตร มีการลอกคราบ 3 ครั้ง ภายในเวลา 4-5 วัน กินแพลงค์ตอนพืชเป็นอาหาร ระยะที่สามเรียกว่า ไมซิส (mysis) มีขนาด 3.3-5.0 มิลลิเมตร ลอกคราบ 3 ครั้ง ใช้ระยะเวลา 3-4 วัน ในระยะนี้จะกินได้ทั้งพืชและสัตว์ขนาดเล็ก ลูกกุ้งที่อยู่ในวัยนี้จะแขวนตัวอยู่ในน้ำห้อยหัวลง ปลายหางชี้ขึ้นที่ผิวน้ำ ระยะที่สี่เรียกว่า โพสท์ลาว่า หรือเรียกว่ากุ้ง P อยู่ในระยะ P_1-P_{20} และระยะสุดท้ายเรียกว่า กุ้งวัยรุ่น (juvenile) นับตั้งแต่กุ้ง P_{20} มีขนาดตั้งแต่ 2-3 เซนติเมตรขึ้นไป (ประจวบ หลำอุบล,2531 ; ศุภชัย นิลวานิช, 2540 ; ชมรมถ่ายทอดเทคโนโลยีการเกษตร, 2541)



ภาพที่ 2 วงจรชีวิตของกุ้งกุลาดำ (*Penaeus monodon*) (ศุภชัย นิลวานิช, 2540)

รูปแบบการเลี้ยงกุ้งกุลาดำ

รูปแบบของการเลี้ยงกุ้งทะเลอาจแบ่งได้เป็นแบบต่าง ๆ คือ

1. การเลี้ยงแบบของการเลี้ยงกุ้งทะเลอาจแบ่งได้เป็นแบบต่าง ๆ ดังนี้ คือ

1.1 การเลี้ยงแบบธรรมชาติ (extensive) มีขนาดบ่อตั้งแต่ 60-200 ไร่ โดยการสูบน้ำจากธรรมชาติเข้าบ่อเลี้ยงและในน้ำนั้นจะมีพันธุ์กุ้งจากธรรมชาติ พร้อมทั้งอาหารธรรมชาติเข้าสู่บ่อเลี้ยงโดยตรง ไม่มีการปล่อยพันธุ์กุ้งกุลาดำลงในบ่อ ไม่มีการให้อาหารเสริมธรรมชาติ เช่น ปลาหรือหอย ไม่มีการให้อาหารเม็ด ไม่มีการใช้เครื่องให้อากาศ ระยะเวลาในการเลี้ยงไม่แน่นอน ผลผลิตที่ได้อยู่ระหว่าง 5-50 กิโลกรัม/ไร่

1.2 การเลี้ยงแบบกึ่งพัฒนา (semi-intensive) มีขนาดการเลี้ยงตั้งแต่ 15-60 ไร่ต่อบ่อ มีการปล่อยกุ้งลงเสริม 5-12 ตัว/ตารางเมตร มีการให้อาหาร 1-2 มื้อต่อวัน โดยใช้อาหารสดหรืออาหารเม็ด ไม่มีการใช้เครื่องให้อากาศ ผลผลิตที่ได้อยู่ระหว่าง 50-150 กิโลกรัม/ไร่

1. 3 การเลี้ยงแบบพัฒนา (intensive) มีขนาดตั้งแต่ 2-8 ไร่/บ่อ อัตราการปล่อยอยู่ระหว่าง 25-40 ตัว/ตารางเมตร มีการให้อาหารเม็ด 5-6 มื้อ/วัน และมีการใช้เครื่องให้อากาศ 1-2 ตัว/ไร่ ผลผลิตที่ได้อยู่ระหว่าง 600-1,800 กิโลกรัม/ไร่ (ชลอ ลิ้มสุวรรณ, 2534)

2. ระบบการเลี้ยงกุ้งกุลาดำแบ่งเป็น 3 ระบบ

2.1 การเลี้ยงระบบเปิด (open water system) การเลี้ยงกุ้งระบบเปิด เป็นการเลี้ยงโดยการเปลี่ยนถ่ายน้ำเป็นระยะ ๆ เพื่อควบคุมรักษาคุณสมบัติของน้ำภายในบ่อให้มีสภาพที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของกุ้งที่เลี้ยง การเลี้ยงระบบเปิดใช้น้ำปริมาณมากจากแหล่งน้ำภายนอก ซึ่งอาจก่อให้เกิดปัญหาต่อสภาพแวดล้อมในบ่อเลี้ยงได้

2.2 การเลี้ยงระบบปิด (close water system) การเลี้ยงกุ้งระบบปิด เป็นการเลี้ยงโดยใช้กระบวนการเลี้ยงโดยใช้กระบวนการต่าง ๆ ทั้งทางชีวะเคมี และกายภาพในการควบคุมรักษาคุณสมบัติของน้ำ โดยมีการแก้ปัญหาต่างๆ ของคุณภาพน้ำในบ่อ ระหว่างการเลี้ยงให้อยู่ในสภาพที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโต โดยไม่ต้องเปลี่ยนถ่ายน้ำ แต่มีการชดเชยน้ำในส่วนที่ระเหยไปรวมทั้งส่วนที่รั่วซึม และส่วนที่นำไปใช้ประโยชน์อื่น ๆ

2.3 การเลี้ยงในระบบหมุนเวียนน้ำกลับมาใช้ใหม่ (recycle water system) การเลี้ยงในระบบหมุนเวียนน้ำกลับมาใช้ใหม่ เป็นการเลี้ยงโดยใช้กระบวนการต่าง ทั้งทางชีวะเคมีและกายภาพในการบำบัดน้ำที่ระบายออกจากบ่อเลี้ยงแล้วหมุนเวียนน้ำกลับไปใช้ใหม่อย่าง ต่อเนื่อง

การเลี้ยงกุ้งกุลาดำระบบปิด และระบบหมุนเวียนน้ำกลับมาใช้ใหม่ ปริมาณการใช้น้ำในระหว่างการเลี้ยงจะน้อยกว่าการเลี้ยงในระบบเปิด ประมาณ 50-60 เท่า (อนันต์ ตันสุตะพานิช, 2537)

เทคโนโลยีการเลี้ยงกุ้งกุลาดำแบบพัฒนา

1. การเตรียมบ่อ ลักษณะบ่อเลี้ยงเป็นรูปสี่เหลี่ยม มีขนาดตั้งแต่ 1-10 ไร่ และความลึกของบ่อประมาณ 2 เมตร หลังจากผลิตผลในแต่ละรุ่นแล้ว ต้องทำความสะอาดพื้นบ่อก่อน โดยการฉีดเลนชะล้างบ่อให้สะอาด และตากแดดให้แห้งประมาณ 1-2 สัปดาห์ การตากบ่อเป็นสิ่งจำเป็นมาก หลังจากตากบ่อเรียบร้อยแล้วทำการโรยปูนขาวที่พื้นบ่อเพื่อทำลายความเป็นกรดของดิน (ไชยา อุ้ยสูงเนิน, 2532)

2. แหล่งพันธุ์กุ้ง การพิจารณาว่าลูกกุ้งพันธุ์มีสุขภาพแข็งแรงหรือไม่ ให้สังเกตจากข้อเหล่านี้ในการเปรียบเทียบ

2.1 การว่ายน้ำของลูกกุ้ง หากสุขภาพแข็งแรงจะว่ายทวนกระแสน้ำได้ดี

2.2 ลำตัวลูกกุ้งควรโปร่งใส ถ้ามีสีขาวขุ่นอาจเป็นโรคได้

2.3 มีอาหารอยู่ในลำไส้กุ้ง โดยจะมองเห็นเป็นสีน้ำตาลทอดตามความยาวของลำตัว

2.4 ลักษณะภายนอกอื่นๆ ต้องปกติสมบูรณ์ ที่กรีจะต้องไม่หักหรือพับงอ (ไชยา อุ้ยสูงเนิน, 2532)

3. อัตราการปล่อยลูกกุ้ง 50,000 – 100,000 ตัว/ไร่ (ไชยา อุ้ยสูงเนิน, 2532)

4. การเพิ่มอากาศ ใช้เครื่องมือเพิ่มอากาศเป็นกังหันแกนหมุนหลังจากปล่อยกุ้งเลี้ยงได้ 20 วัน การเพิ่มอากาศในน้ำจะเป็นการช่วยให้ออกซิเจนในอากาศละลายลงไปในน้ำได้ดีขึ้น ทำให้น้ำในบ่อมีปริมาณออกซิเจนเพียงพอต่อการดำรงชีวิตของสัตว์น้ำอย่างต่อเนื่องและยังช่วยป้องกันการแบ่งชั้นของอุณหภูมิให้สม่ำเสมอเท่ากันทั้งบ่อ (Apud, 1988) นอกจากนี้ การตีน้ำยังช่วยให้เศษอาหาร ของเสียที่กุ้งขับถ่าย และซากสิ่งมีชีวิตต่าง ๆ เปลี่ยนสภาพกลับเป็นอาหารของพวกจุลินทรีย์อย่างต่อเนื่อง เป็นการลดการเน่าเสียบริเวณพื้นบ่อ

5. การจัดการคุณภาพน้ำ ในช่วง 15 วันแรกของการเลี้ยงกุ้ง ยังไม่ต้องเปลี่ยนถ่ายน้ำ แต่หลังจากนั้นแล้ว การเปลี่ยนถ่ายน้ำมีความจำเป็นมาก เนื่องจากจะเป็นการเพิ่มประสิทธิภาพให้กุ้งกินอาหารได้ดีและโตเร็วขึ้น การเปลี่ยนถ่ายน้ำยังช่วยชะล้างธาตุอาหารและแพลงตอนพืชในบ่อ (Boyd, 1987 ; สุวิทย์ ชื่นสินธุ์, 2531) เป็นการช่วยปรับสภาพน้ำในบ่อให้สะอาดขึ้น ทำให้กุ้งลอกคราบสม่ำเสมอและเจริญเติบโตได้ดี ในการเปลี่ยนถ่ายน้ำในระบบการเลี้ยงกุ้งแบบพัฒนานั้นมี 2 วิธีด้วยกันคือ วิธีแรก สูบน้ำใหม่เข้าขณะเดียวกันก็ปล่อยน้ำออกมาด้วย วิธีที่สอง ปล่อยน้ำในบ่อเลี้ยงออกก่อนแล้วจึงสูบน้ำใหม่เข้าโดยการเปลี่ยนถ่ายจะทำประมาณ 20-50% ของปริมาณน้ำในบ่อ

ปริมาณการเปลี่ยนถ่ายน้ำในระหว่างการเลี้ยงกุ้งกุลาดำนั้น ขึ้นอยู่กับความหนาแน่นกุ้งที่เลี้ยง คุณภาพน้ำในบ่อ การให้อาหาร ความถี่ของการถ่ายน้ำนั้นอย่างน้อยจะเปลี่ยนถ่าย 1-2 ครั้งต่อเดือน ในเดือนแรกของการเลี้ยงและ 3-4 ครั้งในเดือนที่สอง เดือนที่สามเปลี่ยนถ่ายเพิ่มขึ้นเป็น 2 ครั้งต่อสัปดาห์ และในเดือนที่สี่เปลี่ยนทุก ๆ 4-5 วันเปลี่ยนครั้งหนึ่ง การเปลี่ยนถ่ายน้ำบ่อย ๆ มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของค่าความเป็นกรดด่าง, ความเค็ม และความโปร่งใสของน้ำ (Apud, 1988)

6. การให้อาหาร การให้อาหารมีความสำคัญต่อผลผลิตเป็นอย่างมาก อาหารที่มีคุณภาพดี มีผลให้กุ้งแข็งแรงและมีอัตราการรอดสูง อาหารที่ใช้เลี้ยงแบ่งเป็น 3 ประเภท คือ อาหารตามธรรมชาติ เช่น แพลงตอนต่าง ๆ อาหารที่ได้จากธรรมชาติ เช่น ปลาสด หรือหอยสด และอาหารสำเร็จรูป ซึ่งในการเลี้ยงแบบพัฒนานั้นอาหารสำเร็จรูปจะมีบทบาทสำคัญมาก อาหารชนิดนี้จะมีส่วนประกอบที่สำคัญของโปรตีนและแร่ธาตุต่าง ๆ ที่กุ้งต้องการในการเจริญเติบโตอย่างครบถ้วน (ไชยา อุ้ยสูงเนิน, 2532) ซึ่งการให้อาหารในเดือนแรกของการเลี้ยงนั้นจะให้ 2 เวลา ตอนเช้าร้อยละ 40 ตอนเย็นร้อยละ 60 ในเดือนที่สองให้อาหาร 3-4 ครั้งต่อวัน เดือนที่สามและเดือนที่สี่ให้อาหาร 5 ครั้งต่อวัน เปอร์เซ็นต์การให้อาหารขึ้นอยู่กับคุณภาพน้ำ ปริมาณกุ้ง ความเค็มและสภาพของกุ้ง (Apud, 1988)

คุณภาพของน้ำที่เหมาะสมต่อการเลี้ยงกุ้งกุลาดำ

คุณภาพน้ำเป็นสิ่งสำคัญต่อการเจริญเติบโต และผลผลิตของกุ้งในระบบการเลี้ยงแบบพัฒนา ซึ่งเป็นการเลี้ยงแบบหนาแน่นและใช้อาหารเม็ดสำเร็จรูปเป็นหลักในการเลี้ยงปริมาณการให้อาหารจึงมีความสำคัญ หากมีระบบการจัดการที่ไม่ดีพอก่อจะก่อให้เกิดปัญหาเกี่ยวกับคุณภาพน้ำในบ่อเลี้ยงได้

1. อุณหภูมิ (temperature) อุณหภูมิของน้ำเป็นปัจจัยหนึ่งที่มีผลการเจริญเติบโตของกุ้ง บ่อกุ้งที่มีความลึกระหว่าง 0.50 – 1.50 เมตร ในช่วง 24 ชั่วโมง จะมีอุณหภูมิของน้ำเฉลี่ยอยู่ระหว่าง 26 – 35 องศาเซลเซียส อุณหภูมิที่เหมาะต่อการเจริญของกุ้งในบ่อดินอยู่ระหว่าง 28 – 32 องศาเซลเซียส (บรรจง เทียนส่งรัศมี, 2542) และ กุงแวนกิจ และ ชัว (Kungvankij & Chua, 1986) กล่าวว่า อุณหภูมิที่สูงกว่า 25 องศาเซลเซียส ทำให้กุ้งเกิดอาการเครียดและช็อกตาย ถ้าต่ำกว่า 18 องศาเซลเซียส กุ้งจะไม่กินอาหาร นอกจากนี้ อุณหภูมิมีผลเกี่ยวเนื่องกับปริมาณออกซิเจนน้ำ และอินทรียสารที่เกิดขึ้นในบ่อเลี้ยง (ยนต์ มุสิก, 2530 : Boyd, 1982) ปัจจัยที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิของน้ำในบ่อได้แก่ ความลึกของน้ำในบ่อ ฤดูกาลที่เลี้ยงกุ้ง ช่วงเวลาของวัน การเคลื่อนไหวของน้ำในบ่อและความโปร่งใสของน้ำ (Conroy & Herman, 1970)

2. ความเค็ม (salinity) ความเค็มที่กุ้งกุลาดำเจริญเติบโตได้ดีที่สุดอยู่ระหว่าง 10 – 20 ส่วนในพัน แต่กุ้งกุลาดำก็สามารถดำรงชีวิตอยู่ได้ในน้ำที่มีความเค็มระหว่าง 40 – 70 ส่วนในพัน หรือในน้ำที่มีความเค็มระหว่าง 0.0 – 0.5 ส่วนในพัน ถ้าการเปลี่ยนความเค็มของน้ำเป็นไปอย่างช้าๆ ค่อยเป็นค่อยไป กุ้งกุลาดำสามารถปรับตัวให้เข้ากับสภาพแวดล้อมนั้นและสามารถดำรงชีวิตอยู่ได้ แต่การเจริญเติบโตของกุ้งจะช้าลง (บรรจง เทียนส่งรัศมี, 2542) ถ้ามีการเปลี่ยนแปลงความเค็มอย่างกะทันหัน ทำให้กุ้งกุลาดำไม่สามารถปรับตัวได้ทัน ดังนั้นในการเลี้ยงกุ้งกุลาดำจึงควรรักษาความเค็มของน้ำในบ่อให้คงที่ หรือจะมีการเปลี่ยนแปลงความเค็มก็ให้เปลี่ยนแปลงอย่างช้า ๆ ซึ่งความเค็มก่อนและหลังการเปลี่ยนแปลงไม่ควรแตกต่างกันมากเกินกว่า 5 – 10 ส่วนในพัน (Kungvankij & Chua, 1986)

3. ความโปร่งใส (transparency) คือความสามารถของน้ำที่จะให้แสงส่องผ่านได้ แสดงถึงปริมาณอาหารธรรมชาติ ความโปร่งใสน้อยทำให้แสงส่องไม่ถึงก้นบ่อ ซึ่งจะช่วยไม่ให้สาหร่ายที่พื้นบ่อลอยขึ้นมาเหนือน้ำที่เรียกว่า "ขี้แดด" ถ้าน้ำใสแสดงว่าอาหารธรรมชาติในบ่อมีไม่เพียงพอ ซึ่งควรใส่ปุ๋ยหมักเพื่อให้แพลงตอนเจริญเติบโต (Boyd, 1989) ความโปร่งใสของน้ำที่ เหมาะสมควรอยู่ระหว่า 30 – 40 เซนติเมตร

ความขุ่นใสของน้ำในบ่อมีความสัมพันธ์กับความหนาแน่นของกุ้งและระยะเวลาที่เลี้ยงกุ้ง น้ำในบ่อระยะแรกที่ปล่อยกุ้งลงเลี้ยงจะค่อนข้างใส มีความโปร่งใสระหว่าง 99 –107 เซนติเมตร ความโปร่งในของน้ำจะลดลงตามระยะเวลาที่เลี้ยง ในสัปดาห์ที่ 20 ความโปร่งใสจะลดเหลือประมาณ 30 – 31 เซนติเมตร ทั้งนี้เนื่องมาจากอาหารกุ้งที่เหลือตกค้างและสิ่งปฏิกูลที่กุ้งขับถ่ายออกมามีปริมาณสูงตามระยะเวลาที่เลี้ยง (บรรจง เทียนส่งรัศมี, 2542)

4. ความเป็นกรดด่าง (pH) ปลาและสิ่งมีชีวิตในน้ำสามารถดำรงชีวิตอยู่ได้อย่างสบายที่พีเอชเหมาะสมคือ ในช่วงพีเอชที่เป็นกลางประมาณ 6 – 9 เท่านั้น พีเอชสูงหรือต่ำเกินไปจะสร้างความเครียดให้กับปลาและสิ่งมีชีวิตในน้ำทั้งหลายได้ บางครั้งถึงกับทำให้สิ่งมีชีวิตในน้ำตายได้ทันที (มั่นสิน ตัณฑุลเวศม์ และไพพรรณ พรประภา, 2536) กุ้งเจริญเติบโตได้ดี กินอาหารเก่ง มีสุขภาพอนามัยสมบูรณ์ ถ้าน้ำในบ่อเลี้ยงกุ้งมีพีเอชระหว่าง 7.5 – 8.5 กุ้งจะไม่กินอาหาร อ่อนแอ ติดเชื้อ(โรค)ง่าย ถ้าน้ำในบ่อมีพีเอช ระหว่าง 9.0 – 11.0 กุ้งจะเริ่มตายเมื่อน้ำมีพีเอชสูงกว่า 11.0 ถ้าพีเอชในบ่อกุ้งอยู่ที่ระดับ 6.9 – 7.4 ปริมาณของก๊าซแอมโมเนีย, ไนไตรต์และก๊าซไข่เน่าจะมีมากและความเป็นพิษก็จะสูงขึ้นด้วย กุ้งจะเริ่มมีอาการเครียด กินอาหารน้อย โตช้า ที่พีเอชระหว่าง 6.1 – 6.8 เมื่อพีเอชระหว่าง 4.0 – 6.0 กุ้งจะไม่กินอาหาร อ่อนแอ ติดเชื้อ(โรค)ง่าย ตัวนิ่ม และกุ้งจะลอยหัวและเริ่มตายถ้าน้ำในบ่อกุ้งมีพีเอชต่ำกว่า 4.0 (บรรจง เทียนส่งรัศมี, 2542)

5. แอมโมเนีย (NH_3) ในบ่อเลี้ยงกุ้งกุลาดำแบบพัฒนาซึ่งมีการใช้อาหารเม็ดสำเร็จรูปนั้น อาหารประเภทนี้จะมีส่วนประกอบของโปรตีนในปริมาณค่อนข้างสูง ดังนั้นในบ่อเลี้ยงกุ้งแบบพัฒนาหากมีการจัดการที่ไม่ดีอาจก่อให้เกิดการสะสมของปริมาณแอมโมเนียในระดับสูง (Chien, 1989) เนื่องจากมีปริมาณของสารประกอบไนโตรเจนที่ก้นบ่อเป็นจำนวนมาก ซึ่งอาจจะเกิดจากกระบวนการเน่าสลายของเศษอาหารที่เหลือโดยจุลินทรีย์แล้วปล่อยแอมโมเนียออกมา นอกจากนี้สัตว์น้ำยังปล่อยของเสียออกมาในรูปของแอมโมเนียสู่แหล่งน้ำโดยตรง ในสภาวะที่มีออกซิเจนแบคทีเรียจำพวกไนตริไฟอิ้งแบคทีเรียจะเปลี่ยนแอมโมเนียไปเป็น ไนไตรต์และไนเตรท (ชลอ ลิ้มสุวรรณ, 2534) แอมโมเนียที่พบในน้ำจะมีอยู่สองรูป คือ แอมโมเนีย ซึ่งเป็นพิษต่อสัตว์น้ำและแอมโมเนียมอิออน ซึ่งไม่เป็นพิษต่อสัตว์น้ำ (Boyd, 1982) แอมโมเนียทั้งสองรูปนี้จะเปลี่ยนกลับไปมาตามพีเอช และอุณหภูมิของน้ำ เมื่อพีเอชของน้ำสูงขึ้น ปริมาณแอมโมเนียก็จะสูงขึ้นตามไปด้วย ทำให้ความเป็นพิษต่อสัตว์น้ำมีมากขึ้น ในทางตรงกันข้ามเมื่อพีเอชของน้ำต่ำลง ปริมาณแอมโมเนียก็จะต่ำลง และความเป็นพิษต่อสัตว์น้ำก็จะต่ำลงด้วย (ชลอ ลิ้มสุวรรณ, 2534 : Boyd, 1989) ถ้ามีแอมโมเนียในน้ำ 0.45 มิลลิกรัมต่อลิตร จะลดอัตราการเจริญเติบโตของกุ้งกุลาดำลง 50% (Kungvankij & Chun, 1986)

6. ไนไตรต์ (NO_2^-) ความเป็นพิษของแอมโมเนียมีความสัมพันธ์กับไนไตรต์ที่ละลายอยู่ในน้ำโดยถ้าพบว่า มีความเข้มข้นของไนไตรต์ในน้ำจะทำให้ความเป็นพิษของแอมโมเนียเพิ่มขึ้น ไนไตรต์มีผลต่อการเลี้ยงสัตว์น้ำโดยไนไตรต์สามารถรวมตัวกับ Hemoglobin ในเลือดทำให้เกิดเป็น Methemoglobin ซึ่งลดความสามารถในการรับออกซิเจน ทำให้ร่างกายของสัตว์น้ำขาดออกซิเจน แต่ในเลือดกุ้งไม่มี Hemoglobin แต่มี Hemocyanin ซึ่งมีผลในการทำปฏิกิริยากับไนไตรต์น้อยกว่า Hemoglobin (วราห์ เทพาหุดี, 2534) อาร์มสตอง (Armstrong, 1981) ได้รายงานค่า LC_{50} ที่ 96 ชั่วโมง ของไนเตรต์ในกุ้งว่าอยู่ระหว่าง 8.5 –15.4 มิลลิกรัมต่อลิตร ในบ่อเลี้ยงสัตว์ทะเลที่มีพีเอชในระดับค่อนข้างสูง จะทำให้การเจริญของแบคทีเรียที่เปลี่ยนไนไตรต์เป็น ไนเตรทหยุดชะงักการทำงานลง ทำให้เกิดการสะสมของไนไตรต์ในบ่อในระดับสูง ไนไตรต์ที่ระดับความเข้มข้น 6.4 มิลลิกรัมต่อลิตร จะมีผลทำให้กุ้ง *Penaeus indicus* ลดการเจริญเติบโตลงได้ถึง 50% (Wickin, 1985) ดังนั้น ในการเลี้ยงกุ้งกุลาดำระบบปิดนั้นปริมาณแอมโมเนียและไนไตรต์ที่สะสมในบ่อกุ้งจะเป็นสารพิษที่สามารถทำลายการเลี้ยงกุ้งได้ (Chen & Chin, 1986)

7. ไนเตรท (NO_3^-) เกิดจากการย่อยสลายแอมโมเนียโดยแบคทีเรีย ซึ่งเป็นธาตุอาหารที่แพลงค์ตอนสามารถนำเอาไปใช้ในการสร้างสารชีวโมเลกุลขนาดใหญ่ พิษของไนเตรทที่มีต่อกุ้งที่เลี้ยงในบ่อนั้นยังไม่ทราบแน่ชัด เพราะกุ้งสามารถอยู่ได้อย่างสบาย แม้น้ำในบ่อจะมีปริมาณไนเตรทสูงถึง 300 มิลลิกรัมต่อลิตร โดยที่การเจริญเติบโตเป็นปรกติไม่ชะงัก (บรรจง เทียนส่งรัศมี, 2542)

8. ปริมาณออกซิเจนละลายในน้ำ (dissolved Oxygen ; DO) ออกซิเจนที่ละลายในน้ำมีความสำคัญต่อการเจริญเติบโตของกุ้งเป็นอย่างมาก ทั้งนี้นอกจากกุ้งกุลาดำจะใช้ออกซิเจนในการหายใจโดยตรงแล้ว ออกซิเจนยังช่วยในการย่อยสลายอินทรีย์สารต่าง ๆ ที่เกิดในบ่อเลี้ยงกุ้งกุลาดำ การเปลี่ยนแปลงปริมาณออกซิเจนในรอบวันจะเป็นวัฏจักร โดยมีค่าต่ำสุดในตอนเช้า ส่วนตอนกลางวันการสังเคราะห์แสงจะทำให้ปริมาณออกซิเจนเพิ่มขึ้นมาก (สุริยัน ธัญกิจจานุกิจ, 2532)

ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อปริมาณออกซิเจนในบ่อได้แก่

1. ความเค็ม น้ำที่มีความเค็มสูงจะมีปริมาณออกซิเจนในน้ำน้อยกว่าในน้ำจืด

2. ความโปร่งใส ความโปร่งใสของน้ำเป็นตัวชี้บ่งปริมาณของแพลงค์ตอน ค่าความโปร่งใสจะลดลงขณะที่ปริมาณของออกซิเจนที่ละลายน้ำมากขึ้น

3. ปริมาณอาหารที่ให้กุ้งในบ่อ (บรรจง เทียนส่งรัศมี, 2542)

จารุวัฒน์ นภีตะภัฏ และสมนึก กบิลรัมย์ (2530) ได้รายงานว่าค่าปัจจัยจำกัดของปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำสำหรับกุ้งกุลาดำระยะวัยรุ่นถึงระยะโตเต็มวัยนั้น มีค่าเท่ากับ 4 มิลลิกรัมต่อลิตร ค่าออกซิเจนที่ละลายในน้ำขึ้นอยู่กับการสูญเสียออกซิเจนที่ละลายในน้ำนั่นเอง การสูญเสียปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำเกิดขึ้นจาก

ประการที่หนึ่ง ออกซิเจนถูกใช้ไปในการหายใจของแพลงตอนหรือสิ่งมีชีวิตอื่นๆ ในน้ำ

ประการที่สอง ออกซิเจนถูกใช้ไปโดยกุ้ง

ประการที่สาม ออกซิเจนถูกใช้โดยแบคทีเรียในกระบวนการสลายอินทรียสารที่บริเวณก้นบ่อ (Boyd, 1989)

ความหนาแน่นของกุ้งที่ปล่อยลงในบ่อก็เป็นปัจจัยหลักที่มีผลกระทบต่อการเปลี่ยนแปลงปริมาณออกซิเจนภายในบ่อ หากมีการปล่อยกุ้งในปริมาณมาก ก็จะมีผลทำให้มีการใช้ออกซิเจนมาก ออกซิเจนที่ละลายในน้ำก็มีค่าลดลง (ยนต์ มุสิก และคณะ, 2531) ปริมาณออกซิเจนที่ละลายในบ่อเลี้ยงกุ้งควรมีค่า 5 มิลลิกรัมต่อลิตร (ยนต์ มุสิก, 2530) ความเข้มของปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำ 3.7 มิลลิกรัมต่อลิตร ถือเป็นระดับวิกฤตสำหรับการดำรงชีวิตโดยปรกติของกุ้งกุลาดำ

นอกจากนี้ ในบ่อที่มีปริมาณออกซิเจนละลายในน้ำในระดับต่ำ จะมีผลทำให้เกิดความเป็นพิษของแอมโมเนียสูงขึ้น (Boyd, 1989)

ตารางที่ 1 แสดงผลกระทบของออกซิเจนในน้ำที่มีผลต่อการดำรงชีวิตของกุ้งในบ่อ (บรรจง เทียนส่งรัศมี, 2542)

ระดับออกซิเจนในน้ำ (mg/l)	ผลกระทบที่มีต่อกุ้ง
สูงกว่า 12	กุ้งอาจจะลอยหัวตอนเช้ามืด
5.1 - 11.9	ปริมาณแพลงคตอนพืชสูง
3.6 – 5.0	เหมาะสมกับการดำรงชีวิตของกุ้ง
3.1 – 3.5	มีอาการเครียด กินอาหารน้อย
ต่ำกว่า 3.0	ไม่กินอาหาร อ่อนแอ ติดเชื้อ(โรค)ง่าย
2.6 – 2.9	กุ้งลอยหัว
ต่ำกว่า 2.5	กุ้งเริ่มตาย

9. บีโอดี (biochemical oxygen demand) หมายถึงปริมาณของออกซิเจนที่แบคทีเรียต้องการใช้ย่อยสลายอินทรีย์สารต่างๆ ในน้ำและตามหน้าดินพื้นบ่อ สามารถใช้เป็นดัชนีบอกสภาพมลภาวะของน้ำในบ่อกุ้งได้ ปริมาณของบี.โอ.ดี.ในบ่อกุ้งจะสัมพันธ์กับความหนาแน่นของกุ้งที่เลี้ยง ปริมาณสารอาหารที่ให้และการถ่ายน้ำในบ่อบี.โอ.ดี.ในบ่อกุ้งจะมีแนวโน้มสูงขึ้นตามระยะเวลาที่เลี้ยง (บรรจง เทียนส่งรัศมี, 2542)

กระบวนการใช้ออกซิเจนของแบคทีเรียในการย่อยสลายสารอินทรีย์ แบ่งเป็น 2 ระยะ (กรรณิการ์ สิริสิงห, 2525) ดังนี้

ระยะที่ 1 $\text{Carbohydrate} + O_2 \xrightarrow{\text{Saprophytic bact.}} CO_2 + H_2O$

$\text{Protein} + O_2 \xrightarrow{\text{Saprophytic bact.}} CO_2 + NH_3$

ระยะที่ 2 $NH_3 \longrightarrow NO_2^- \longrightarrow NO_3^-$

ระยะที่ 1 เป็นการออกซิไดซ์ของสารประกอบคาร์บอน ซึ่งใช้เวลา 5 – 10 วันที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส ค่าของออกซิเจนในตัวอย่างน้ำจะลดลงเนื่องจากแบคทีเรียใช้ไปคือ บี.โอ.ดี.

ระยะที่ 2 เป็นการออกซิไดซ์ในสารประกอบไนโตรเจนโดยพวก autotrophic bacteria ซึ่งมีชื่อว่า nitrifying bacteria โดยใช้เวลา 20 วัน ที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส ซึ่งเป็นอุณหภูมิที่ใช้หาค่าบี.โอ.ดี.นั้น มีการแบ่งตัวของ nitrifying bacteria น้อยมาก หลังจาก 10 วันแบคทีเรียเหล่านี้จึงมีจำนวนมากพอที่จะใช้ออกซิเจนในการออกซิไดซ์สารประกอบไนโตรเจน (กรรณิการ์ สิริสิงห, 2525)

10. ไฮโดรเจนซัลไฟด์ หรือก๊าซไข่เน่า (H_2S) ในอาหารกุ้งนั้นจะมีโปรตีนเป็นส่วนประกอบที่สำคัญ และในโปรตีนที่มีอยู่มากมายหลายชนิดก็จะมีส่วนประกอบย่อยลงมา คือ กรดอะมิโน ซึ่งก็มีอยู่ 3 ชนิด ที่เมื่อเน่าสลายก็จะปล่อยก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ หรือก๊าซไข่เน่าออกมา นั่นคือ เมทไธโอนีน ซีสติน และซีสเตอิน (ดีพร้อม ไชยวงศ์เกียรติ, 2531) ในบ่อกุ้งจะพบก๊าซไข่เน่าละลายอยู่ในน้ำและแตกตัวอยู่ในรูปอิสระไม่มีประจุไฟฟ้า (H_2S) และในรูปที่มีประจุไฟฟ้าลบ (HS^-) และซัลไฟด์ (S_2^-) การแตกตัวของไอออนขึ้นอยู่กับค่าพีเอชและอุณหภูมิของน้ำ ก๊าซไข่เน่าที่อยู่ในรูปอิสระไม่มีประจุไฟฟ้า (H_2S) มีความเป็นพิษต่อกุ้งในบ่อมากกว่าในรูปของ HS^- และ S_2^- ก๊าซไข่เน่าที่มีไม่มีประจุ มีพิษเมื่อน้ำมีค่าความเป็นกรดเป็นด่างต่ำ น้ำในบ่อกุ้งไม่ควรมีก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์เกิน 0.1 มิลลิกรัมต่อลิตร (บรรจง เทียนส่งรัศมี, 2542)

สแควเลอร์ และคณะ (Scwedler et. al., 1985) กล่าวว่าโดยส่วนมากแล้วซัลเฟอร์ในรูปของสารอินทรีย์ได้มาจากซัลเฟอร์ที่เป็นองค์ประกอบของโปรตีน แบคทีเรียจะเป็นตัวใช้อินทรีย์ซัลเฟอร์เพื่อเป็นองค์ประกอบของเนื้อเยื่อ และใช้เป็นแร่ธาตุ ในภาวะที่มีออกซิเจนซัลเฟอร์จะอยู่ในรูป

ของซัลเฟตและสภาพที่ไม่มีออกซิเจนจะอยู่ในรูปของไฮโดรเจนซัลไฟด์ (H_2S) ในภาวะที่มีอินทรีย์ซัลเฟอร์ในธรรมชาติน้อย แบคทีเรียจะเปลี่ยนซัลเฟตให้เป็นอินทรีย์ซัลเฟอร์แทน และพืชยังเปลี่ยนซัลเฟตให้เป็นซัลเฟอร์ได้ด้วย เป็นแหล่งที่มาของซัลเฟอร์ในห่วงโซ่อาหาร ในท้ายที่สุดซัลเฟอร์จะหมดไป เนื่องจากการเปลี่ยนรูปของสารอินทรีย์ (Swingle, 1969)

11. ฟอสฟอรัส อยู่ในรูปของ orthophosphate เป็นสารประกอบที่จำเป็นในการเจริญเติบโตของพืชน้ำ ซึ่งพืชสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้โดยง่าย ฟอสฟอรัสในรูปตะกอนแขวนลอยประกอบด้วยฟอสฟอรัสจากตัวแพลงตอน จุลชีพ และสารแขวนลอยต่าง ๆ ฟอสฟอรัสในรูปของสารอินทรีย์ที่สามารถละลายในน้ำเกิดจากการสลายตัวของสิ่งมีชีวิต และสิ่งขับถ่ายจากสิ่งมีชีวิตในน้ำ ส่วนใหญ่เป็นสารประกอบเคมีไม่ทำปฏิกิริยาฟอสฟอรัสที่ แพลงตอนพืชสามารถนำไปใช้ได้นั่นอยู่ในรูปของอนินทรีย์ออร์โธฟอสเฟต (inorganic orthophosphate) แต่ฟอสฟอรัสในรูปอื่น ๆ เช่น ฟอสฟอรัสในตะกอนแขวนลอย อินทรีย์ฟอสฟอรัสที่ละลายน้ำจะถูกแบคทีเรียดึงไปใช้และถูกย่อยสลายในรูปออร์โธฟอสเฟต ดังนั้นฟอสฟอรัสจึงเป็นธาตุอาหารที่สำคัญ และมีเสถียรภาพในแหล่งน้ำ เป็นตัวชี้ความอุดมสมบูรณ์ของแหล่งน้ำ ในแหล่งน้ำธรรมชาติมีออร์โธฟอสเฟตอยู่ระหว่าง 5 – 20 ไมโครกรัมต่อลิตร และค่าฟอสฟอรัสรวมไม่เกิน 1 มิลลิกรัมต่อลิตร แต่ในแหล่งน้ำที่มีภาวะธาตุอาหารเกินสมดุลย์ (eutrophication) มีค่าออร์โธฟอสเฟตเกิน 0.1 มิลลิกรัมต่อลิตร (มั่นสิน ตัณฑุลเวศม์ และไพพรรณ พรประพา 2536) ฟอสฟอรัสในบ่อกุ้ง ละลายอยู่ในน้ำสภาพของอิออนในรูปต่าง ๆ แต่รูปที่พบมากคือกรดออร์โธฟอสเฟอริค (H_3PO_4) ในบ่อกุ้งออร์โธฟอสเฟตมีหลายรูปขึ้นอยู่กับความเป็นกรดของน้ำ ในน้ำที่มีความเป็นกรดต่ำ จะพบในรูปของ H_3PO_4 ในน้ำที่มีความเป็นกรดปานกลางจะพบในรูป $H_2PO_4^-$ และ HPO_4^- ถ้าน้ำมีความเป็นกรดสูงจะพบในรูป PO_4^{3-} ฟอสฟอรัสในบ่อกุ้งในรูปของสารละลายที่ละลายในน้ำมีปริมาณ 0.1 มิลลิกรัมต่อลิตร ส่วนใหญ่จะตกตะกอนและถูกดูดซับอยู่ระหว่างอนุภาคของดินตามพื้นบ่อ (บรรจง เทียนส่งรัศมี, 2542)

คุณภาพดิน

ดินก้นบ่อในการเลี้ยงกุ้งแบบพัฒนามีความสำคัญมาก เพราะเป็นที่ใช้ฝังตัวอยู่อาศัยของกุ้ง คุณภาพดินที่ควรศึกษา คือ

1. อินทรียวัตถุในดิน หมายถึงสารอินทรีย์ทุกชนิดที่มีอยู่ในดิน โดยจะอยู่ในรูปต่าง ๆ ตั้งแต่ที่มีขนาดของโมเลกุลใหญ่ ๆ เช่น humus, lignin, cellulose จนถึงที่มีขนาดของโมเลกุลเล็ก ๆ เช่น น้ำตาลบางชนิด กรดอะมิโน และกรดอินทรีย์บางชนิด (สมศักดิ์ วังใน, 2528)

ในบ่อเลี้ยงสัตว์น้ำ ปริมาณอินทรียวัตถุในดินมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามความลึกของบ่อ (Boyd, 1979) โดยปริมาณสารอินทรียวัตถุของดินบริเวณขอบบ่ออยู่ระหว่างร้อยละ 1- 2

และปริมาณอินทรียวัตถุของดินบริเวณพื้นบ่ออยู่ระหว่างร้อยละ 4-5 (Boyd, 1987) สารอินทรีย์ในบ่อเลี้ยงกุ้งแบบพัฒนาสะสมมากขึ้น ซึ่งสารอินทรีย์เหล่านี้ ส่วนหนึ่งมาจากน้ำตกตะกอนในบ่อ (ยนต์ มุสิก และพรพันธ์ ยุทธรักษานุกูล, 2534 ; Boyd, 1989) จากอาหารที่ตกค้าง (หัสนัย กองแก้ว, 2531) และจากการขับถ่ายของกุ้งรวมทั้งซากของสิ่งมีชีวิต เมื่อย่อยสลายไม่หมดจะเกิดการสะสมบริเวณพื้นก้นบ่อ (ยนต์ มุสิก และคณะ 2532 : สุริยัน ธัญกิจจานุกิจ, 2532) สารอินทรีย์จะมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงคุณภาพน้ำในบ่อกุ้ง เช่น ค่าปริมาณออกซิเจนละลาย, บีโอดี, ปริมาณแอมโมเนีย ไนเตรต ไนไตรต์ และไฮโดรเจนซัลไฟด์ (ยนต์ มุสิก, 2530 ; Boyd, 1979 ; Boyd, 1989)

ดินบนส่วนใหญ่นำมาทำเป็นคันบ่อ ทำให้ดินพื้นบ่อส่วนใหญ่มีสารอินทรีย์ต่ำกว่าดินบริเวณคันบ่อ การสะสมของสารอินทรีย์ในดินพื้นบ่อเมื่อมีการเลี้ยงสัตว์น้ำไม่ได้เพิ่มสูงมากอย่างที่เข้าใจกัน เพราะว่าสารอินทรีย์ที่เติมลงในบ่อเป็นพวกที่สลายได้ง่าย มีค่า C/N ratio แคบ และมีช่วงตากบ่อ (Boyd, 1995) โครงสร้างของสารอินทรีย์ในดินพื้นบ่อมีการเปลี่ยนแปลงไป เมื่อบ่อมีอายุมากขึ้น แต่การเปลี่ยนสภาพจากสารอินทรีย์ที่สลายตัวง่ายไปเป็นสารอินทรีย์ที่มีโครงสร้างซับซ้อนในสภาพน้ำขังเกิดขึ้นน้อยกว่าดินไร่ เนื่องจากราและ actinomycetes เจริญไม่ดีในที่น้ำขัง (ทัศนีย์ ฉันทาดิสัย, 2531)

กุลศักดิ์ โชติปุตตะ และคณะ (2530) ได้ศึกษาปริมาณอินทรีย์วัตถุของดินในบริเวณแหล่งเลี้ยงกุ้งของจังหวัดประจวบคีรีขันธ์ สุราษฎร์ธานี และนครศรีธรรมราช พบว่าปริมาณสารอินทรียวัตถุในดินมีค่าระหว่างร้อยละ 0.002 – 7.15 พยุง ภัทรกุลชัย (2532) ได้ศึกษาปริมาณสารอินทรียวัตถุของดินในบริเวณนากุ้งจังหวัดตราด พบว่า มีค่าร้อยละ 0.10 – 20.60 นิวุฒิ หวังชัย (2534) ได้ศึกษาปริมาณสารอินทรียวัตถุในดินพื้นบ่อเลี้ยงกุ้งกุลาดำแบบหนาแน่นรอบ ๆ บริเวณป่าชายเลน และบ่อเลี้ยงป่าชายเลนเป็นเวลา 4 เดือน พบว่าปริมาณสารอินทรียวัตถุที่ระดับผิวดินพื้นบ่อบริเวณป่าชายเลนมีระดับสูงมาก มีค่าอยู่ระหว่างร้อยละ 5.05-6.01 ตลอดการเลี้ยง ส่วนที่ระดับผิวดินพื้นบ่อบริเวณรอบ ๆ ป่าชายเลน ปริมาณสารอินทรีย์ตลอดการเลี้ยงอยู่ในช่วงร้อยละ 1.76-2.05 และพบว่าปริมาณสารอินทรียวัตถุที่ความลึก 3 ระดับ คือ ระดับผิว ระดับความลึก 10 และ 20 เซนติเมตร ของพื้นบ่อ ที่ระดับความลึก 20 เซนติเมตร มีปริมาณสารอินทรียวัตถุสูงสุด ขณะที่ระดับผิวมีปริมาณสารอินทรียวัตถุน้อยที่สุด แฟรดาซ์ มาเหล็ม (2537) ได้ศึกษาปริมาณสารอินทรียวัตถุของดินในบริเวณนากุ้ง คลองส่งน้ำ และคลองทิ้งน้ำจังหวัดจันทบุรี พบว่า ปริมาณสารอินทรีย์ในนากุ้งมีค่าร้อยละ 0.6 – 26.2 คลองส่งน้ำมีค่าร้อยละ 3.4 – 26.3 และคลองทิ้งน้ำมีค่าร้อยละ 0.4 – 26.5

2. ความเป็นกรดด่างในดิน pH ดินหรือค่าความเป็นกรดเป็นด่างของดิน (soil pH) ชี้ถึงความเป็นกรด (acidity) หรือความเป็นด่าง (bacidity) ของดิน (Miller & Donahue, 1990) เกี่ยวข้อง

กับไฮโดรเจนไอออน (H^+) และไฮดรอกซิลไอออน (OH^-) ในสารละลายดิน (soil solution) (คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา, 2536)

ดินที่เป็นกรดจัดจะทำให้น้ำเป็นกรดจนเป็นอันตรายต่อสัตว์น้ำ ในสภาพดินเป็นกรดก็จะมีธาตุโลหะต่างๆ เช่น อลูมินั่ม เหล็ก แมงกานีส ละลายออกมาในน้ำมากทำให้เป็นอันตรายต่อสัตว์น้ำได้ บ่อเลี้ยงสัตว์น้ำนั้นเจริญเติบโตช้า เกิดโรคและมีปรสิตเกาะได้ง่าย กุ้งที่เลี้ยงในบ่อที่ดินเป็นกรดจัดจะมีเปลือกนิ่มเนื่องจากขาดแคลเซียมและแร่ธาตุที่จำเป็นต่อการสร้างเปลือก (ยนต์ มุสิก, 2529) แฟรดาซ์ มาเหล็ม (2537) ได้ศึกษาความเป็นกรดด่างในดินในบริเวณนากุ้งที่มีความหนาแน่นของกุ้งกุลาดำแตกต่างกัน พบว่า ค่าเฉลี่ยของความเป็นกรดด่างในนากุ้งที่มีความหนาแน่นของกุ้งกุลาดำแตกต่างกันมีค่าเท่ากับ 6.3

คุณลักษณะของน้ำทิ้งจากบ่อเลี้ยงกุ้งกุลาดำ

ของเสียจากบ่อเลี้ยงกุ้งกุลาดำแบ่งเป็น 2 ประเภทใหญ่ ๆ ได้แก่

1. ของเสียที่เป็นของแข็ง (solid matter) ส่วนใหญ่เกิดจากอาหารกุ้งที่ตกค้างในบ่อ สิ่งขับถ่าย แพลงตอนพืช และแบคทีเรีย

2. ของเสียละลายได้ (dissolved matter) เช่น แอมโมเนีย, ยูเรีย, คาร์บอนไดออกไซด์ ฟอสฟอรัส, กรดอะมิโน, โปรตีน, ไขมัน, คาร์โบไฮเดรต, เกลือแร่ และแบคทีเรีย (Kriengkrai, 1993 ; Macintosh & Phillips, 1992)

เกรียงไกร (Kriengkrai, 1993) ได้รายงานว่า น้ำทิ้งจากบ่อเลี้ยงกุ้งกุลาดำอุดมไปด้วยสารอาหารและสารอินทรีย์ ซึ่งไนโตรเจนและฟอสฟอรัสที่มีอยู่ในอาหารกุ้งนั้น กุ้งจะนำไปใช้เพียง 21.08±2.635 และ 5.81±0.76 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ส่วนที่เหลือจะตกค้างอยู่ในบ่อเลี้ยงกุ้งส่งผลให้แพลงตอนพืชและแบคทีเรียมีการเจริญเติบโตอย่างมาก นอกจากนี้ยังพบว่าน้ำทิ้งจากนากุ้งจะมีแอมโมเนีย-ไนโตรเจนในปริมาณสูงอีกด้วย

น้ำทิ้งจากบ่อเลี้ยงกุ้งกุลาดำและผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม

คณิต ไชยาคำ และพุทธ ส่องแสงจินดา (2535) ได้ให้คำจำกัดความของน้ำทิ้งจากบ่อเลี้ยงกุ้งว่า หมายถึงน้ำที่ใช้ในกิจกรรมต่างๆ ของบ่อเลี้ยงกุ้งกุลาดำและถูกถ่ายลงสู่คลองระบายน้ำสาธารณะ หรือแหล่งน้ำธรรมชาติโดยคุณสมบัติน้ำบางอย่างเปลี่ยนไป ทั้งด้านเคมี ฟิสิกส์ และชีวภาพ น้ำที่ปล่อยออกมาอาจจะมีผลกระทบต่อสภาวะแวดล้อมธรรมชาติ

1. ปัญหาน้ำทิ้งจากบ่อเลี้ยงกุ้งกุลาดำ อาหารที่เหลือตกค้างในก้นบ่อ จะเพิ่มปริมาณตามปริมาณอาหารที่ ซึ่งจะทำให้ปริมาณไนโตรเจนและฟอสฟอรัสในดินเพิ่มมากขึ้นตามไปด้วย

สิ่งขับถ่าย และอาหารที่เหลือตกค้างในบ่อเลี้ยงกุ้งจึงส่งผลกระทบถึงคุณภาพน้ำ (คณิต ไชยาคำ และพุทธ ส่องแสงจินดา, 2535) อาหารที่ใช้เลี้ยงกุ้งมีส่วนประกอบที่สำคัญคือมีไนโตรเจนและฟอสฟอรัสอยู่ในปริมาณสูง มีรายงานว่าประมาณร้อยละ 88 ของไนโตรเจนที่เข้าสู่บ่อเลี้ยงกุ้งมาจากอาหารที่ใช้เลี้ยงกุ้ง (Wang, 1990 cited in Danials & Boyd, 1989) ซึ่งไนโตรเจนเหล่านี้จะถูกขับออกมาประมาณร้อยละ 13-32 ของไนโตรเจนทั้งหมดที่กุ้งบริโภคเข้าไป สิ่งขับถ่ายเหล่านี้อยู่ในรูปแอมโมเนีย-ไนโตรเจนถึงประมาณร้อยละ 75 (Wickins, 1985)

น้ำในบ่อเลี้ยงกุ้งจะมีสารอินทรีย์อยู่ในปริมาณสูงตามระยะเวลาในการเลี้ยงสารอินทรีย์เหล่านั้นได้แก่ เศษอาหารที่เหลือจากการให้อาหารมากเกินไป (Schroder, 1975) ซากแพลงตอนพืชและแพลงตอนสัตว์ (Boyd, 1982) ของเสียที่กุ้งและเปลือกกุ้งที่เกิดจากการลอกคราบ เป็นต้น (ธนาคารกสิกรไทย, 2535) สารอินทรีย์เหล่านี้มีผลทำให้เกิดน้ำเสีย เนื่องจากการเจริญของจุลินทรีย์ซึ่งต้องมีการใช้ออกซิเจน ผลผลิตที่ได้จากการใช้ออกซิเจนคือ คาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) และน้ำ (H_2O) และในสภาวะที่ไม่มีออกซิเจนอิสระหรือมีไม่เพียงพอก็จะเกิดการสลายตัวแบบไม่ใช้ออกซิเจน ผลผลิตที่ได้คือแอมโมเนีย (NH_3) และคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) ผลผลิตสุดท้ายของการเปลี่ยนแปลงทางชีวเคมีที่สมบูรณ์ของน้ำเสีย จะเกิดคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2), น้ำ (H_2O) และฟอสเฟต (PO_4^{3-}) ซึ่งสารเหล่านี้นับเป็นธาตุอาหารที่สำคัญ (สุวิทย์ ชื่นสินธุ์, 2531) ซึ่งจะกระตุ้นให้เกิดการแพร่ขยายพันธุ์อย่างรวดเร็วของแพลงตอน (Plankton bloom) ทำให้ธาตุอาหารในแหล่งน้ำมีความสมบูรณ์ และเมื่อแพลงตอนพืชเหล่านี้ตายลงก็ยิ่งจะเป็นการเพิ่มให้มีการใช้ออกซิเจนในการย่อยสลายซากแพลงตอนเหล่านี้ มีผลทำให้เกิดปัญหาการขาดออกซิเจนที่ละลายในน้ำ ถ้าออกซิเจนมีปริมาณลดลงในระดับต่ำต่อเนื่องกันเป็นระยะเวลานานก็จะมีผลต่อการเจริญเติบโตของกุ้ง (บรรจง เทียนส่งรัศมี, 2542) เมื่อปริมาณออกซิเจนละลายในน้ำมีระดับต่ำ เกษตรกรจึงแก้ปัญหาโดยการใช้เครื่องตีน้ำช่วยเพิ่มออกซิเจนและเปลี่ยนถ่ายน้ำ (ดีพร้อม ไชยวงศ์เกียรติ, 2531) ซึ่งการถ่ายน้ำเพื่อการเลี้ยงกุ้งต้องใช้น้ำปริมาณมาก เกษตรกรบางรายปล่อยน้ำทิ้งจากบ่อกุ้งลงแหล่งน้ำรองรับตามธรรมชาติ มีผลทำให้คุณภาพน้ำในแหล่งรองรับน้ำทิ้งจากบ่อกุ้งเปลี่ยนแปลงไป โดยสังเกตได้จากสีของน้ำจะมีสีเขียวหรือสีน้ำตาลเข้มขึ้น ความเข้มข้นของแอมโมเนีย-ไนโตรเจน ไนไตรท์-ไนโตรเจน ออร์โธฟอสเฟต บีโอดี มีความเข้มข้นเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาการเลี้ยง (ยงยุทธ ปรีดาลัมพะบุตร และคณะ, 2532)

2. ปริมาณน้ำทิ้งจากการเลี้ยงกุ้งกุลาดำ คณิต ไชยาคำ และพุทธ ส่องแสงจินดา (2535) ได้รายงานว่าปริมาณน้ำทิ้งจากบ่อเลี้ยงกุ้งกุลาดำแบบพัฒนา ในพื้นที่อำเภอระโนด จังหวัดสงขลา ในขนาดบ่อเลี้ยง 6 ไร่ จะมีปริมาณน้ำทิ้งประมาณ 898.13 ตันต่อวัน บ่อขนาด 2.5-4.0 ไร่ ปริมาณน้ำทิ้งประมาณ 339.65 ตันต่อวัน และบ่อเลี้ยงขนาด 0.91-2.0 ไร่ ปริมาณน้ำทิ้งประมาณ 145.02 ตัน

ต่อวัน ซึ่งใกล้เคียงกับข้อมูลของดุสิต ตันวิไลย และคณะ (2536) ในบ่อเลี้ยงกุ้งขนาด 2 ไร่ จะมีอัตราการถ่ายน้ำทิ้งประมาณ 17,851.5 ตันต่อการเลี้ยง หรือประมาณ 164.95 ตันต่อวัน

3. ผลกระทบสิ่งแวดล้อมจากการเลี้ยงกุ้งกุลาดำ

การเลี้ยงกุ้งกุลาดำแบบพัฒนาหรือแบบหนาแน่นเป็นจำนวนมากย่อมก่อให้เกิดผลกระทบสิ่งแวดล้อมขึ้น ซึ่งสรุปได้ดังนี้

3.1 ผลกระทบต่อคุณภาพน้ำในแหล่งน้ำธรรมชาติเนื่องจากการรองรับน้ำทิ้งจากการเลี้ยงกุ้งกุลาดำ (สินีนุช ศิรวุฒินานนท์, 2535) ผลกระทบต่อแหล่งน้ำจืด เนื่องจากการปล่อยน้ำทิ้งจากบ่อเลี้ยงกุ้งกุลาดำเป็นปริมาณมากรวมถึงตะกอนเลนจากบ่อเลี้ยงกุ้งซึ่งมีความเค็มสูง ทำให้แหล่งน้ำจืดแหล่งน้ำใต้ดินและแหล่งน้ำผิวดินถูกลุกล้ำจากน้ำเค็มจนไม่สามารถใช้ประโยชน์ได้ดังเดิม

3.2 ผลกระทบต่อพื้นที่เกษตรกรรมประเภทอื่น เนื่องมาจากการขาดการจัดการระบบน้ำที่ดี ทำให้คุณภาพน้ำเสื่อมโทรมลง ทำให้ดินเค็มซึ่งส่งผลกระทบต่อพื้นที่ทำนาข้าว ทำให้ผลผลิตต่ำจนถึงขั้นไม่สามารถทำนาได้ (แสงไทย เค้าภูไทย, 2544)

3.3 ผลกระทบต่อพื้นที่ป่าชายเลน

3.3.1 ผลกระทบต่อคุณภาพน้ำในป่าชายเลน การเลี้ยงกุ้งกุลาดำมีผลโดยตรงต่อคุณภาพน้ำบริเวณป่าชายเลนและชายฝั่งทะเล โดยทำให้ค่าความเป็นกรดด่างของน้ำมากกว่า 8 ซึ่งธรรมชาติแล้วดินบริเวณพื้นที่ป่าชายเลนจะมีสภาพเป็นกรดอ่อน นอกจากนี้ยังมีการเพิ่มขึ้นของแอมโมเนียไนโตรเจนบริเวณพื้นที่ป่าชายเลน และริมฝั่งทะเล เมื่อค่าความเป็นกรดด่างของน้ำมีค่าสูงกว่า 8.2 จะพบว่าแอมโมเนียในรูปแอมโมเนียอิสระ (unionized ammonia, NH_3) ซึ่งจะเป็นพิษต่อสัตว์น้ำ (ชนินทร์ อัมพรสถิร, 2536)

3.3.2 ผลกระทบต่อคุณภาพดินในป่าชายเลน การเปลี่ยนพื้นที่ป่าชายเลนมาเป็นบ่อเลี้ยงกุ้งจะทำให้สารประกอบกำมะถัน (pyrite) ในดินตะกอนชั้นล่างถูกเคลื่อนย้ายขึ้นมาสัมผัสกับอากาศเกิดเป็นกรดกำมะถันทำให้ค่าปฏิกริยาดินลดลงอยู่ในระดับเป็นกรดอย่างรุนแรง ทั้งยังทำให้สูญเสียแหล่งให้อินทรียวัตถุแก่ดิน และมีความสัมพันธ์กับการลดลงของฟอสฟอรัสปริมาณความจุในการแลกเปลี่ยนประจุบวกในดิน นอกจากนี้การปล่อยน้ำเสียลงสู่ป่าชายเลนมากเกินไปอาจทำให้สมดุลของ aerobic-anaerobic system ของแบคทีเรียในดินเสียสมดุลและเปลี่ยนไปเป็น anaerobic system ซึ่งมีประสิทธิภาพในการหมุนเวียนธาตุอาหารต่ำ (Robertson & Phillips, 1995)

3.3.3 ผลกระทบต่อสิ่งมีชีวิตในป่าชายเลน ปริมาณและคุณสมบัติของดินตะกอนของน้ำทิ้งจากการเลี้ยงกุ้งกุลาดำมีผลกระทบต่อโครงสร้างและการเจริญเติบโตของไม้ชายเลนบริเวณอ่าวคุ้งกระเบน จังหวัดจันทบุรี คือ พบชนิดพันธุ์ไม้น้อยลง และทำให้การขึ้นอยู่ของพรรณ

ไม้เปลี่ยนแปลงไป กล่าวคือ ไม้ตะบูนจะขึ้นอยู่ห่างจากริมอ่าวมากขึ้น การสืบพันธุ์ตามธรรมชาติโดยรวมลดลง (ศิริพร วรกุลดำรงชัย, 2540)

3.3.4 ปริมาณและชนิดของแพลงตอนสัตว์ในป่าชายเลนที่มีการทำนากุ้ง ต.อ่างศิลา จ.ชลบุรี มีจำนวนลดลงทั้งชนิดและปริมาณ ซึ่งแสดงให้เห็นว่าความสมบูรณ์ของป่าชายเลนลดลงด้วย นอกจากนั้น ของเสียพวกอนินทรีย์ที่ปล่อยลงสู่ทะเลทำให้เกิดการเพิ่มจำนวนของแพลงตอนพืช ซึ่งจะมีผลให้เกิดการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติของน้ำและส่งผลกระทบต่อปริมาณสัตว์น้ำ (ศรินทร์ ตันติพกนนท์ และณิฎฐารัตน์ ปภาวสิทธิ์, 2534)

การทำนากุ้งทำให้เกิดผลกระทบต่อพวกครัสเตเชียนที่อาศัยอยู่บริเวณป่าชายเลนทำให้มีจำนวนลดน้อยลง โดยการทำลายวงจรชีวิตของสัตว์น้ำวัยอ่อน เช่น ปู กุ้ง และกั้ง (ไพบูลย์ นัยเนตร, 2534)

3.3.5 ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมและทรัพยากรธรรมชาติชายฝั่งทะเลน้ำทิ้งและตะกอนดินเลนจากการเลี้ยงกุ้งกุลาดำที่ปล่อยออกสู่ชายฝั่งทะเลทำให้มีผลกระทบต่อชายฝั่งทะเล คือ จะทำให้เกิดแพลงตอนพืชจำนวนมากตามบริเวณชายฝั่งทะเล ถ้าการเพิ่มธาตุอาหารบริเวณชายฝั่งมีไม่มากจะไม่เป็นโทษและก่อให้ประโยชน์ต่อระบบนิเวศน์วิทยา โดยเฉพาะพวกแพลงตอน แต่เนื่องจากการเลี้ยงกุ้งส่วนใหญ่เป็นการเลี้ยงกุ้งแบบพัฒนา ดังนั้นสารอาหารและธาตุอาหารจึงมีมากเกินกว่าที่ทะเลบริเวณชายฝั่งรับไว้ได้ ทั้งนี้อาจเป็นสาเหตุหนึ่งที่ทำให้แพลงตอนตาย เกิดสะสมย่อยสลายแบบไม่ใช้ออกซิเจนในบริเวณพื้นที่ท้องทะเลจนเกิดการไฮโดรเจนซัลไฟด์ขึ้น (รตีวรรณ อ่อนรัศมี, 2541)

การบำบัดน้ำทิ้งจากนากุ้ง

น้ำทิ้ง และตะกอนเลนจากนากุ้งเป็นน้ำที่มีความสกปรกค่อนข้างสูงมีปริมาณสารอินทรีย์และสารอาหารปริมาณมาก หากจะปล่อยสู่แหล่งรองรับน้ำตามธรรมชาติโดยไม่ผ่านการบำบัดจะก่อให้เกิดปัญหาสิ่งแวดล้อมทางน้ำ การหาแนวทางในการบำบัดน้ำทิ้งและตะกอนเลนจากนากุ้งจึงเป็นสิ่งที่สำคัญ และแนวทางหนึ่งในการลดปัญหาสิ่งแวดล้อมทางน้ำที่อาจเกิดขึ้นได้จากการเลี้ยงกุ้งกุลาดำได้แก่

1. ตะกอนเลนหรือดินเลน

1.1 ภายหลังการจับกุ้งแล้วควรตากบ่อให้แห้ง ถ้าตะกอนมีสีดำควรใช้รถปาดหน้าดินไปเก็บในพื้นที่ที่จัดเตรียมไว้ สำหรับบ่อที่ไม่สามารถตากบ่อให้แห้งได้ควรทำที่เก็บเลนไว้ข้าง ๆ บ่อเลี้ยง หรือบนคันบ่อ เพื่อรอการขนไปทิ้งต่อไป (สินีนุช ศิรวุฒินานนท์, 2535)

1.2 การย่อยตะกอนก้นบ่อ โดยใช้เชื้อจุลินทรีย์สำเร็จรูป เป็นการลดปริมาณสารอินทรีย์ของตะกอนเลนให้น้อยลง นอกจากการใช้จุลินทรีย์แล้วอาจใช้เอนไซม์เข้าทำการบำบัดได้เช่นกัน (ดีพร้อม ไชยวงศ์เกียรติ, 2531)

1.3 การใช้เครื่องดูดเลน นิยมใช้ปั๊มหอยโข่งมาดัดแปลงในการดูดตะกอนเลน ก้นบ่อออกไป หลังจากนั้นควรนำตะกอนเลนที่ได้ไปเก็บไว้ในที่ ๆ จัดเตรียม (ดีพร้อม ไชยวงศ์เกียรติ, 2531)

2. น้ำทิ้งจากการเปลี่ยนถ่าย

2.1 การบำบัดโดยวิธีทางกายภาพ ได้แก่ การทำบ่อตกตะกอน โดยบ่อนี้จะต้องมีขนาดเพียงพอที่จะรองรับน้ำทิ้งในแต่ละวัน และปล่อยให้น้ำที่เปลี่ยนถ่ายจากนากุ้งมีเวลาตกตะกอนอยู่ในบ่อนี้ 1 ถึง 2 วัน เพื่อให้แพลงตอน สารอาหาร ตะกอนแขวนลอยและสารต่าง ๆ เกิดการตกตะกอน ก่อนปล่อยน้ำลงสู่แหล่งรองรับน้ำตามธรรมชาติต่อไป (สินีนุช ศิรวุฒินานนท์, 2535)

2.2 การบำบัดโดยวิธีทางเคมี ได้มีการนำเอาสารเคมีชนิดต่าง ๆ มาใช้ในการปรับปรุงคุณภาพน้ำในนากุ้งและการบำบัดน้ำทิ้งจากนากุ้ง ได้แก่ แคลเซียมเปอร์ออกไซด์ เหล็กออกไซด์ ด่างทับทิม (พัฒนา มูลพฤกษ์, 2539) ซีโอไลท์ (ดุจนภา คำเพชรและคณะ, 2541) คลอรีน โอโซน ไคโตซาน (สัตว์น้ำ, 2543) เป็นต้น

2.3 การบำบัดโดยวิธีทางชีวภาพ น้ำเสียที่ปล่อยออกจากบ่อกุ้งหรือนากุ้ง ส่วนใหญ่แล้วเป็นน้ำเสียที่มีค่าความสกปรกค่อนข้างสูงและยังมีปริมาณสารอินทรีย์มากอีกด้วย ดังนั้นจึงควรที่จะผ่านระบบบำบัดน้ำเสียก่อนที่จะปล่อยออกสู่สิ่งแวดล้อม วิธีการบำบัดน้ำเสียด้วยวิธีทางชีววิทยาเป็นวิธีหนึ่งที่มีประสิทธิภาพลดค่าความสกปรกและกำจัดสารอินทรีย์ในน้ำได้ดี เนื่องจากในระบบบำบัดน้ำเสียด้วยวิธีทางชีววิทยา เป็นการใช้แบคทีเรียในการกำจัดสารอินทรีย์โดยจะมีการเปลี่ยนสภาพของเสียในน้ำให้อยู่ในสภาพที่ไม่ก่อให้เกิดความเป็นพิษต่อ สิ่งแวดล้อม โดยแบคทีเรียจะทำการย่อยสลายสารอินทรย์ในสภาวะที่มีออกซิเจนละลายน้ำหรือไม่มีออกซิเจนละลายอยู่ได้ ซึ่งแบคทีเรียที่มีผลต่อการกำจัดสารประกอบอินทรีย์คือไนตริฟายอิ้ง แบคทีเรีย ซึ่งจะทำหน้าที่เปลี่ยนแอมโมเนียในน้ำให้กลายเป็นไนไตรต์ และไนเตรท เรียกกระบวนการที่เกิดขึ้นว่า ไนตริฟิเคชั่น หลังจากนั้นก็จะเปลี่ยนจากไนเตรทเป็นแก๊สไนโตรเจนในสภาวะขาดออกซิเจนเรียกกระบวนการที่เกิดขึ้นว่าดีไนตริฟิเคชั่น เพื่อให้ได้แก๊สไนโตรเจนออกสู่บรรยากาศ (พัฒนา มูลพฤกษ์, 2539)

วิธีการบำบัดทางชีวภาพที่ใช้ในการบำบัดน้ำทิ้งจากนากุ้งมีด้วยกันหลายวิธี ได้แก่

1. การใช้สัตว์น้ำบางชนิดเลี้ยงในน้ำทิ้งเพื่อลดปริมาณแพลงตอนและสารอินทรีย์ สัตว์น้ำที่มีการนำมาทดลองเลี้ยง ได้แก่ ปลานิล หอยแมลงภู่ หอยนางรม หอยตะโกม ปลาหางนกยูง ปลาบู่แคระ ปลาบู่ใส เป็นต้น (ศุภชัย นิลวานิช, 2540 ; พัฒนา มูลพฤกษ์, 2539)

2. การใช้พืชน้ำมาบำบัดน้ำทิ้ง เพื่อลดปริมาณสารอาหารต่างๆ ที่มีอยู่ในน้ำ พืชที่มีการทดลองใช้ในการบำบัด ได้แก่ สาหร่ายผมนาง สาหร่ายเม็ด พริกไทย ปรงทะเล เป็นต้น (อนันต์ ตันสุตะพานิช และคณะ, 2539)

3. การบำบัดโดยจุลินทรีย์ เป็นการบำบัดโดยกลุ่มจุลินทรีย์ที่มีอยู่ในน้ำซึ่งส่วนใหญ่เป็นพวกแบคทีเรีย โดยแบคทีเรียจะย่อยสลายสารอินทรีย์ทำให้ปริมาณสิ่งสกปรกในรูปของสารอินทรีย์นั้นลดลง นอกจากนี้ยังสามารถลดอาหาร เช่น ไนโตรเจนและฟอสฟอรัสลงได้เช่นกัน (พัฒนา มูลพฤกษ์, 2539)

จุลินทรีย์และการหมุนเวียนของสารอินทรีย์ในบ่อเลี้ยงกุ้ง

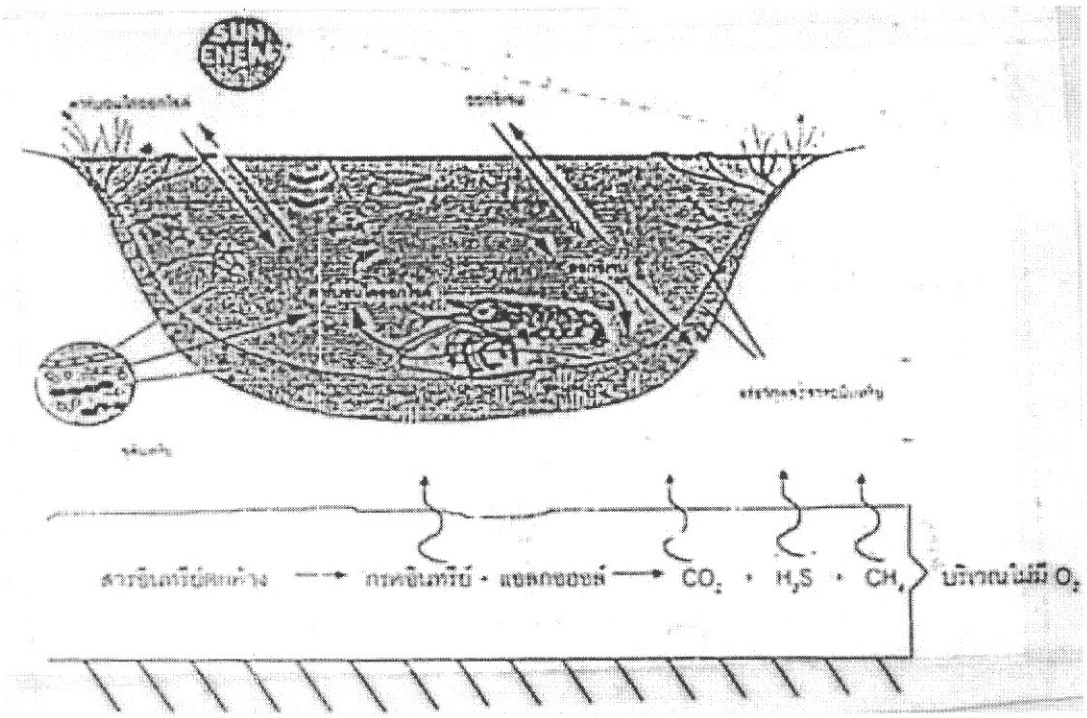
จุลินทรีย์มีหลายประเภท และสามารถจำแนกกลุ่มของจุลินทรีย์ว่าเป็น แบคทีเรีย, ยีสต์ actinomycetes, สาหร่าย (algae), โปรโตซัว (protozoa) ได้โดยดูจากขนาดรูปร่าง รงควัตถุ (pigment) ภายในเซลล์ และการเคลื่อนที่ (motility) ซึ่งในจำนวนนี้แบคทีเรียมีมากที่สุด และมีประสิทธิภาพในการย่อยสลายสารอินทรีย์ที่มีอยู่ตามธรรมชาติได้เป็นอย่างดี (วิทยา มะเสนา, 2526)

ในบ่อเลี้ยงกุ้งนอกจากจะมีจุลินทรีย์อาศัยอยู่แล้ว ยังมีสิ่งมีชีวิตหลายชนิดที่เกี่ยวข้องกันในระบบนิเวศน์ เช่น แพลงตอนพืช แพลงตอนสัตว์ สัตว์หน้าดิน ปลา กุ้ง หอย ปู เป็นต้น ความสัมพันธ์นี้ต่อเนื่องกันเป็นวงจรทั้งแบบพึ่งพาอาศัยกัน และแก่งแย่งกัน โดยแพลงตอนพืชเป็นอาหารปฐมภูมิ (primary producer) ในระบบให้แก่แพลงตอนสัตว์ กุ้ง ปู ปลา และสิ่งมีชีวิตอื่นที่อยู่ในระดับห่วงโซ่อาหารที่สูงขึ้นไป เมื่อสิ่งมีชีวิตเหล่านี้ตายไป จุลินทรีย์ที่อยู่ในน้ำ ในดิน จะทำหน้าที่ย่อยสลายสิ่งมีชีวิตนั้น โดยมีแบคทีเรียที่เป็นสิ่งมีชีวิตหลักในการย่อยสลาย ทำให้สสารเชิงซับซ้อนถูกย่อยสลายเป็นสารที่ซับซ้อนน้อยลง กิจกรรมของแบคทีเรียที่เกิดขึ้นในแต่ละวัฏจักรที่เกิดขึ้นจากแบคทีเรียหลายประเภท ส่งผลให้วัฏจักรเกิดความสมบูรณ์และสมดุลย์

จุลินทรีย์ในบ่อกุ้งมีหลายสกุลที่ทำหน้าที่ในวัฏจักรต่าง ๆ ส่วนใหญ่จุลินทรีย์สามารถหลั่งเอ็นไซม์ออกจากเซลล์ (extracellular enzyme) เช่น อะไมเลส โปรติเอส และไลเปส ที่ช่วยย่อยสลายคาร์โบไฮเดรต โปรตีน และไขมัน ตามลำดับ จากโครงสร้างของสารที่ซับซ้อนให้ได้หน่วยที่เล็กลง เช่น กรดอินทรีย์ กรดไขมัน แอลกอฮอล์ เอสเทอร์ คาร์บอนไดออกไซด์ มีเทน และไฮโดรเจนซัลไฟด์ กล่าวคือ จุลินทรีย์สามารถย่อยสลายอาหารกุ้ง ซากกุ้ง และขี้กุ้ง โดยใช้เป็นแหล่งคาร์บอนและพลังงานสำหรับการดำรงชีวิต ซึ่งอาจทำให้น้ำในบ่อมีค่าพีเอชและออกซิเจนละลายน้ำแปรปรวน เนื่องจากการใช้ออกซิเจนเหล่านี้ในสภาพที่บ่อเลี้ยงกุ้งเป็น aerobic condition ในกรณีที่บ่อมีจุลินทรีย์ชนิดไม่ใช้ออกซิเจนในการดำรงชีวิต เนื่องจากมีการทับถมของสารอินทรีย์ในชั้นผิวหน้าดินที่เกิดจากการสะสมของอาหารกุ้งเกินความจำเป็น ของเสียที่ขับถ่ายจากกุ้งตลอดจนซากพืช

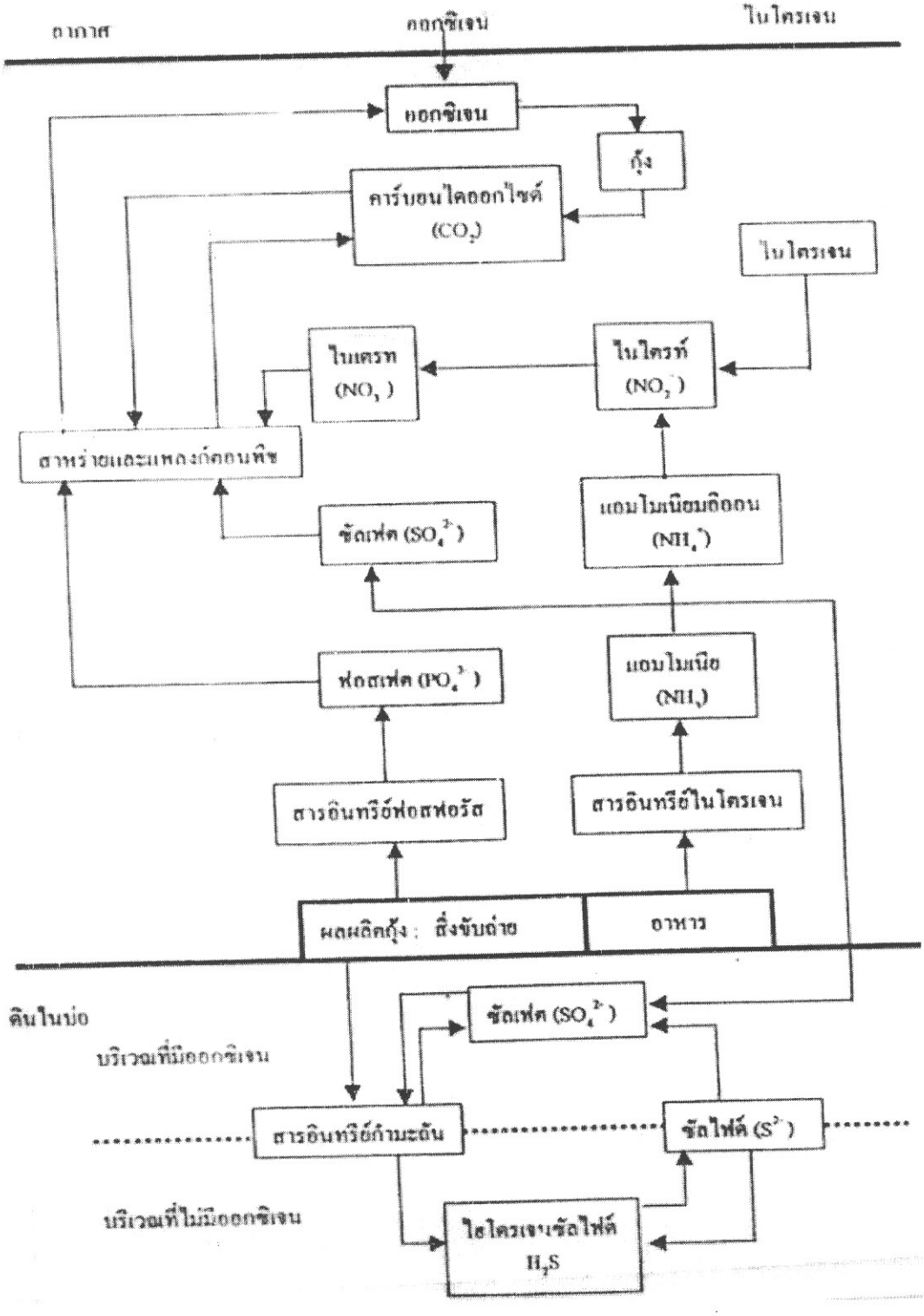
สำนักหอสมุด มหาวิทยาลัยบูรพา
วิทยาเขต อ.เมือง จ.ชลบุรี 2013

และซากสัตว์ ทำให้ผิวหน้าดินมีปริมาณออกซิเจนต่ำหรือไม่มีออกซิเจน จะมีผลทำให้ผิวดินมีสภาพเป็น anaerobic condition จุลินทรีย์เหล่านี้จะทำหน้าที่ย่อยสลายสารอินทรีย์ดังกล่าวให้ได้กรดอินทรีย์ แอมโมเนีย แอลกอฮอล์ คาร์บอนไดออกไซด์ ไฮโดรเจนซัลไฟด์และมีเธน (ภาพที่ 3) ซึ่งสารบางชนิดจะเป็นอันตรายต่อกุ้งได้ (ศิริรัตน์ เร่งพิพัฒน์, 2539) กระบวนการเหล่านี้รวมเรียกว่า carbon-mineralization ซึ่งเกิดได้ดีที่สภาพพีเอชเป็นกลางถึงด่างเล็กน้อย การย่อยสลายสารอินทรีย์ไนโตรเจนในดินจะช้าหรือเร็วยังขึ้นกับอัตราส่วนของ C/N สารอินทรีย์ที่มี C/N ต่ำ จะมีการย่อยสลายได้เร็วกว่าสารอินทรีย์ที่มี C/N สูง (สมศักดิ์ วังใน, 2528) ซึ่งจะมีผลทำให้สารประกอบไนโตรเจนถูกปล่อยออกมาในรูปของแอมโมเนียสู่สิ่งแวดล้อมมากกว่า และเมื่ออัตราส่วนของ C/N ในสารอินทรีย์ต่ำ แอมโมเนียก็จะถูกเปลี่ยนไปเป็นไนเตรทต่อไปด้วยปฏิกิริยา nitrification (Moriaty et al., 1987)



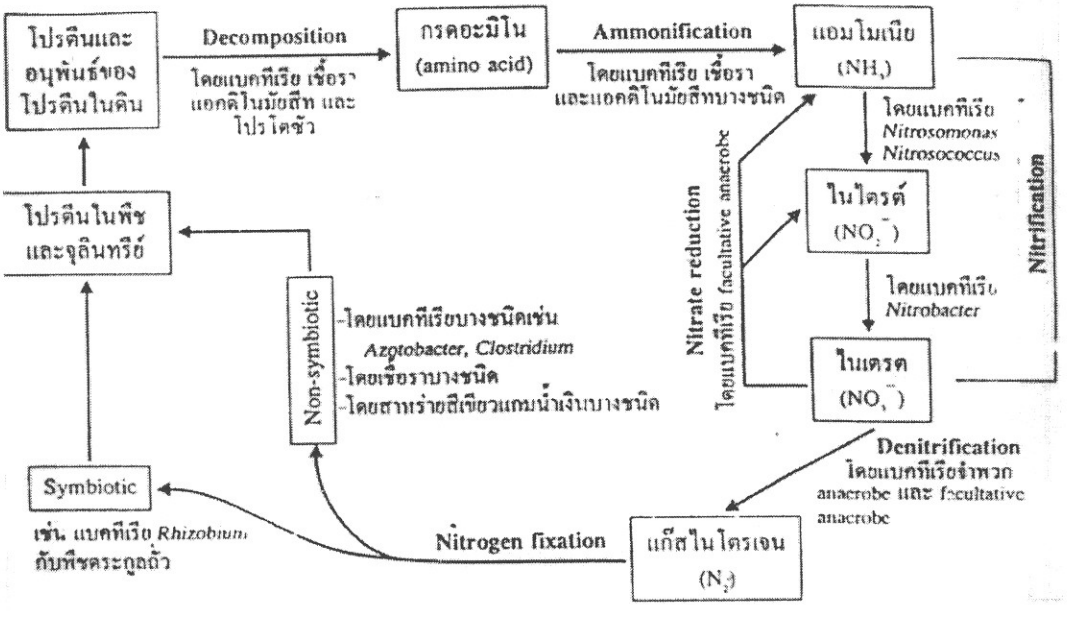
ภาพที่ 3 ความสัมพันธ์ระหว่างสิ่งมีชีวิตในบ่อเลี้ยงกุ้ง (ศิริรัตน์ เร่งพิพัฒน์, 2539)

169969



ภาพที่ 4 ภาพรวมการหมุนเวียนของสารอินทรีย์ต่าง ๆ ในบ่อเลี้ยงกุ้ง (บรรจง เทียนส่งรัศมี, 2542)

1. ไนโตรเจน ส่วนใหญ่ที่พบอยู่ในแหล่งน้ำ คือ สารอินทรีย์ไนโตรเจนซึ่งเป็นสิ่งขับถ่ายของสิ่งมีชีวิตและซากที่ตายแล้ว สารอินทรีย์ไนโตรเจนมักเป็นโปรตีนที่สามารถสลายตัวกลายเป็นแอมโมเนียอิสระ หรืออิออนแอมโมเนีย (NH_4^+) ด้วยกระบวนการ ammonification ซึ่งเป็นกระบวนการผลิตแอมโมเนียที่สำคัญที่สุดของแหล่งน้ำส่วนใหญ่ แอมโมเนียอาจเกิดจากไนเตรทโดยผ่านกระบวนการ nitrate dissimilation ซึ่งเกิดขึ้นได้เฉพาะในสภาวะไร้ออกซิเจน แอมโมเนียจะถูกปล่อยออกจากชั้นดินและขึ้นสู่ชั้นน้ำ ซึ่งไม่มีออกซิเจน แอมโมเนียในน้ำที่มีออกซิเจน อาจถูกเปลี่ยนเป็นไนเตรทได้ด้วยกระบวน nitrification (มั่นสิน ตัณฑุลเวศม์ และไพพรรณ พรประภา, 2539)



ภาพที่ 5 วัฏจักรของไนโตรเจนในบ่อเลี้ยงกุ้งกุลาดำ (นิวส์, 2544)

เนื่องจากไนโตรเจนเป็นสารประกอบหลักของโปรตีน เป็นองค์ประกอบหลักของ สิ่งมีชีวิต และโปรตีนประกอบด้วยโมเลกุลขนาดใหญ่ซึ่งมีกรดอะมิโนหลายชนิดจับตัวต่อกันเป็นเส้นยาว สูตรทั่วไปของกรดอะมิโนคือ $H_2NCHRCOOH$ ในโมเลกุลหนึ่งๆ ของโปรตีนจะมีกรดอะมิโนประมาณ 20 ชนิด จับกันอยู่โดยมีพันธะเปปไทด์ (peptide bond) (CO-NH) เป็นตัวเชื่อม (วิทยา มะเสนา, 2526) เนื่องจากโปรตีนมีโมเลกุลขนาดใหญ่มาก จุลินทรีย์ไม่สามารถนำเข้าเซลล์ได้ ดังนั้นจึงต้องมีการย่อยสลายให้เป็นหน่วยย่อยเสียก่อน ในการย่อยสลาย proteolytic enzymes จะย่อยสลายให้เป็นเปปโทน (peptone), เปปไทด์และกรดอะมิโนอิสระ

กลไกการย่อยสลายกรดอะมิโนแบ่งออกเป็น 4 แบบ

ก. Deamination by Direct Removal of Ammonia :

$$RCH_2CHNH_2COOH \longrightarrow RCH = CHCOOH + NH_3$$

ข. Oxidation Deamination :

$$RCHNH_2COOH + {}^1/_2O_2 \longrightarrow RCOCOOH + NH_3$$

ค. Reductive Deamination :

$$RCHNH_2COOH + 2H \longrightarrow RCH_2COOH + NH_3$$

ง. Decarboxylation :

$$RCHNH_2COOH \longrightarrow RCH_2NH_2 + CO_2$$

(Alexander, 1961)

1.1 การแปรสภาพจากอินทรีย์ไนโตรเจนเป็นอนินทรีย์ไนโตรเจน (mineralization) ไนโตรเจนที่มีอยู่ในดินชั้นบนโดยทั่วไปนั้น จะอยู่ในรูปอินทรีย์ไนโตรเจน มีองค์ประกอบพวกอะมิโน ซึ่งเกือบทั้งหมดจะอยู่ในรูป combined amino acids จะมีกรดอะมิโนอิสระเป็นส่วนน้อย กระบวนการแปรสภาพจากอินทรีย์ไนโตรเจนเป็นอนินทรีย์ไนโตรเจน จะเกิดขึ้นมากเมื่อมีการใส่ปุ๋ยอินทรีย์ชนิดอื่น ๆ เพิ่มเติมลงไปในดิน (สมศักดิ์ วังใน, 2528)

การเปลี่ยนแปลงปริมาณของอนินทรีย์ไนโตรเจน เกิดขึ้นดังสมการ

$$\Delta Ni = N_m - (N_a + N_c + N_l + N_d)$$

เมื่อ ΔNi = ปริมาณการเปลี่ยนแปลงของอนินทรีย์ไนโตรเจน

N_m = อินทรีย์ไนโตรเจนที่เปลี่ยนเป็นอนินทรีย์ไนโตรเจน

N_a = อนินทรีย์ไนโตรเจนที่ถูกจุลินทรีย์นำไปใช้

N_c = อนินทรีย์ไนโตรเจนที่ถูกพืชดูดไปใช้

N_l = อนินทรีย์ไนโตรเจนที่สูญเสียไปโดยการชะล้าง

N_d = อนินทรีย์ไนโตรเจนที่สูญเสียไปโดยการเปลี่ยนเป็นแก๊ส

(วิทยา มะเสนา, 2526)

จุลินทรีย์ที่ทำการแปรสภาพอินทรีย์ไนโตรเจนให้เป็นอนินทรีย์ไนโตรเจนนั้นมีมากมายหลายชนิด ส่วนผลพลอยได้จากกระบวนการเปลี่ยนแปลงจะทำให้ได้อนินทรีย์ไนโตรเจนในรูปของแอมโมเนียมเป็นส่วนใหญ่ จึงมักจะเรียกจุลินทรีย์ที่เกี่ยวข้องว่า ammonifiers (สมศักดิ์ วังใน, 2528) ในการย่อยสลาย ถ้าหากสภาพแวดล้อมมีอากาศเพียงพอก็จะทำให้ได้คาร์บอนไดออกไซด์, แอมโมเนีย, ซัลเฟตและน้ำ แต่ในสภาพที่ปราศจากอากาศก็จะได้แอมโมเนีย, เอมีน, คาร์บอนไดออกไซด์, กรดอินทรีย์, อินโดล, สเกตอลเมอแคปแทนและไฮโดรเจนซัลไฟด์ ซึ่งสารเหล่านี้จะมีกลิ่นเหม็น กระบวนการเน่าเปื่อยเช่นนี้เรียกว่า putrefaction (วิทยา มะเสนา, 2526 ; Alexander, 1961) แอมโมเนียที่เกิดขึ้นสามารถเปลี่ยนรูปหรือถูกนำไปใช้ได้หลายทาง เช่น ถูกออกซิไดซ์เป็นไนเตรทซึ่งสิ่งมีชีวิตชั้นสูงนำไปใช้, จุลินทรีย์นำไปใช้สร้างเซลล์และแร่ดินเหนียวหรือฮิวมัสเกาะยึดไว้ ปัจจัยที่ควบคุมการแปรสภาพอินทรีย์ไนโตรเจนให้เป็นอนินทรีย์ไนโตรเจน ได้แก่ ความเป็นกรดด่าง อุณหภูมิ ความชื้น การถ่ายเทอากาศ ปริมาณของไนโตรเจนทั้งหมดในดิน และปริมาณธาตุไนโตรเจนที่ใส่ลงไปในดิน (เพิ่มพูน กีรติกสิกร, 2528)

1.2 การแปรสภาพอนินทรีย์ไนโตรเจนเป็นอินทรีย์ไนโตรเจน (immobilization) กระบวนการนี้เป็นการสังเคราะห์ไนโตรเจนในรูปแอมโมเนียและไนเตรทให้เป็นองค์ประกอบอินทรีย์ไนโตรเจนในเซลล์ของจุลินทรีย์ (ศุภมาศ พนิชศักดิ์พัฒนา, 2529) กระบวนการ immobilization จะเป็นผลมาจากการที่แอมโมเนียและไนเตรทถูกเปลี่ยนให้เป็นโปรตีน กรดนิวคลีอิก และสารประกอบอินทรีย์ต่างๆ ภายในเซลล์ของจุลินทรีย์ ถ้าหากไม่มีการดูดเอาไนโตรเจนเข้าไปใช้ในเซลล์แล้ว ก็ย่อมจะเป็นไปไม่ได้ที่จุลินทรีย์จะสามารถเจริญเติบโตได้ และสารอินทรีย์ก็จะไม่ถูกย่อยสลาย (Alexander, 1961)

1.3 ไนตริฟิเคชั่น (Nitrification) เป็นกระบวนการแปรสภาพแอมโมเนียมให้เป็นไนเตรท โดยกิจกรรมของ จุลินทรีย์ (วิทยา มะเสนา, 2526) ซึ่งกระบวนการนี้จะเกี่ยวข้องกับกระบวนการ amminization ซึ่งเป็นกระบวนการที่สารประกอบโปรตีนสลายตัว คือถูกจุลินทรีย์ย่อยสลาย

เป็นสารประกอบไนโตรเจนพวก amino compounds ต่าง ๆ และในที่สุดจะเป็นเอมีนและกรดอะมิโน อีกกระบวนการหนึ่งที่เกี่ยวข้องกัน คือกระบวนการ ammonification เป็นการเกิดต่อเนื่องจาก amminization สารประกอบพวกอามีนหรือกรดอะมิโนให้เป็นแอมโมเนีย แอลกอฮอล์และพลังงาน (วิทยา มะเสนา, 2526)

การแปรสภาพแอมโมเนียมจะเกิดขึ้นโดย enzymatic oxidation ซึ่งเป็นกิจกรรมของ nitrifying bacteria ซึ่งเป็นพวกที่ต้องการออกซิเจน กระบวนการแปรสภาพจะมีอยู่ 2 ขั้นตอน คือ

ก. NH_3 หรือ NH_4^+ จะถูกออกซิไดซ์เป็นไนไตรท์

$$2NH_4^+ + 3O_2 \xrightarrow[\text{oxidation}]{\text{Enzymatic}} 2NO_2^- + 2H_2O + 4H + \text{พลังงาน}$$

จุลินทรีย์ที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการนี้ได้แก่ *Nitrosomonas, Nitrosococcus*

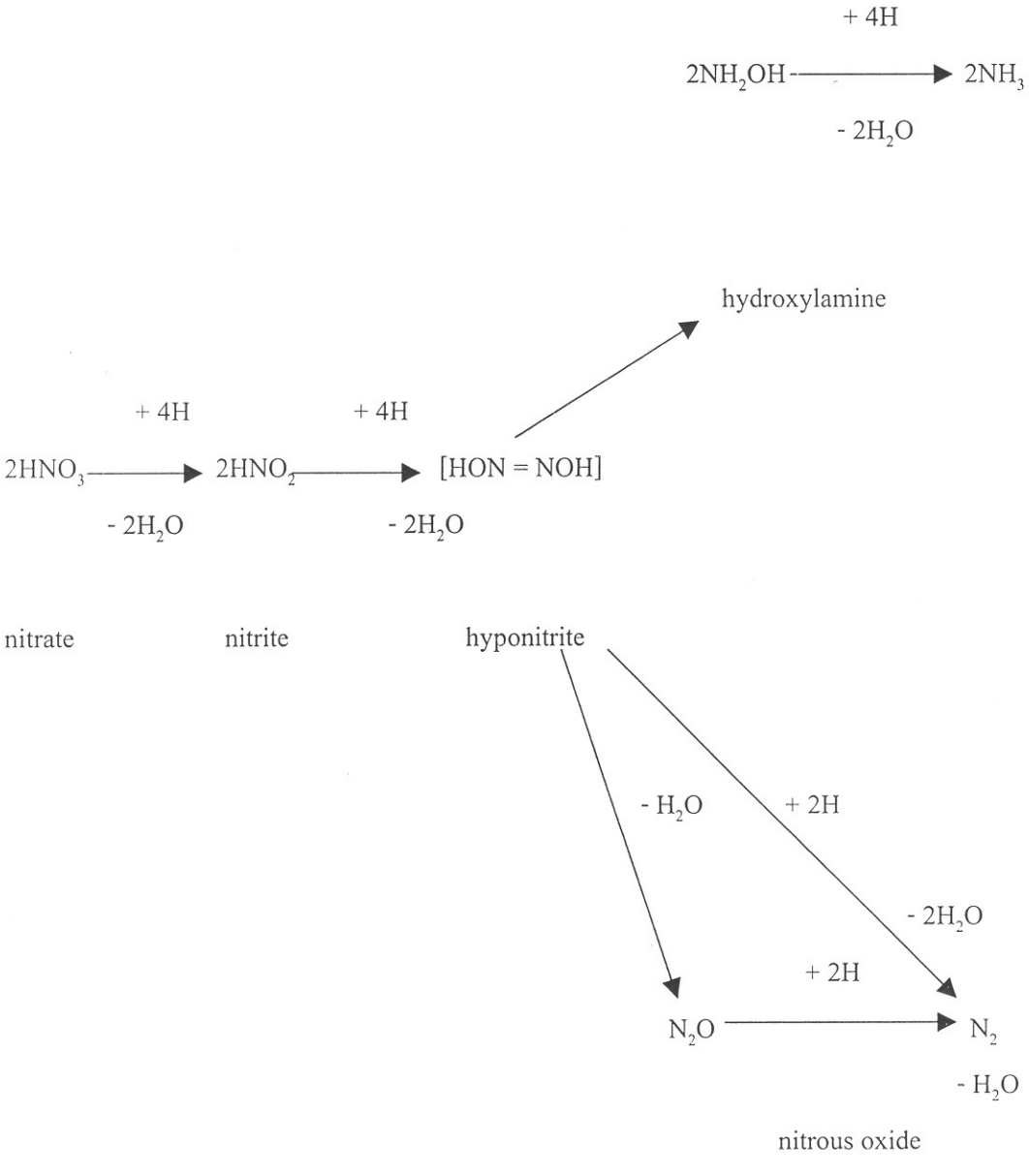
ข. ไนไตรท์จะถูกออกซิไดซ์เป็นไนเตรท

$$NO_2^- + O_2 \xrightarrow[\text{oxidation}]{\text{Enzymatic}} 2NO_3^- + \text{พลังงาน}$$

จุลินทรีย์ที่เกี่ยวข้องได้แก่ *Nitrobacter*

1.4 Denitrification เป็นการแปรสภาพไนไตรท์หรือไนเตรทให้เป็นแก๊สไนโตรเจน โดยจุลินทรีย์ ซึ่งจุลินทรีย์ที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการนี้ได้แก่ *Pseudomonas, Achromobacter, Bacillus, Micrococcus,* และ *Thiobacillus denitrificans* (สมศักดิ์ วังใน, 2528)

Alexander (1961) ได้สรุปปฏิกิริยา Denitrification ไว้ดังสมการต่อไปนี้



2. ฟอสฟอรัส ฟอสฟอรัสในธรรมชาติมักเกิดจากการแตกตัวเป็นอิออนอิสระของกรดออโธฟอสฟอริกดังนี้

$$H_3PO_4 \longrightarrow H^+ + H_2PO_4^-$$

$$H_2PO_4^- \longrightarrow H^+ + HPO_4^{2-}$$

$$HPO_4^- \longrightarrow H^+ + PO_4^{3-}$$

น้ำธรรมชาติจะมี $H_2PO_4^-$ หรือ HPO_4^{2-} เป็นส่วนประกอบสำคัญทั้งนี้ขึ้นอยู่กับพีเอช ถ้าน้ำมีพีเอชอยู่ระหว่าง 2-7 ฟอสเฟตจะอยู่ในรูป $H_2PO_4^-$ แต่ถ้าพีเอชอยู่ในช่วง 7-12 ฟอสเฟตจะอยู่ในรูป HPO_4^{2-} ฟอสฟอรัสในน้ำมีความสัมพันธ์กับฟอสฟอรัสในดินก้นบ่อ เนื่องจากดินก้นบ่อเป็นแหล่งรองรับสารที่เหลือตกค้างอยู่ภายในบ่อ สารที่สะสมอยู่นี้ทำให้ดินก้นบ่อมีหน้าที่เสมือนเป็นแหล่งสารอาหารที่สามารถจะปลดปล่อยออกสู่น้ำในบ่อได้อีกด้วย โดยเฉพาะสารประกอบฟอสฟอรัสซึ่งสามารถสะสมในดินได้เป็นอย่างดี โดยจะตกตะกอนอยู่ในรูปแคลเซียมฟอสเฟต อลูมินัมฟอสเฟต หรือไอรอนฟอสเฟต (Chien, 1989) และฟอสฟอรัสที่สะสมอยู่ในดินส่วนหนึ่งน่าจะมาจากการให้อาหาร ฟอสฟอรัสเหล่านี้เมื่อถูกปลดปล่อยออกมาจากดินก้นบ่ออีกครั้งก็ไปเร่งการเจริญเติบโตของแพลงตอนทำให้น้ำในบ่อเกิดสภาพ eutrophication (Hakanson & Jansson, 1983) ฟอสฟอรัสอาจพบได้ในรูปที่ละลายน้ำ หรืออนุภาคแขวนลอย ฟอสฟอรัสที่ละลายน้ำได้มีทั้งสารอินทรีย์และสารอนินทรีย์ สารอินทรีย์ฟอสเฟตที่ละลายน้ำได้มักเกิดจากการเน่าเปื่อยของพืชหรือสิ่งมีชีวิตอื่น ๆ ส่วนสารอนินทรีย์ฟอสฟอรัสที่ละลายน้ำได้มักเป็นออร์โธฟอสเฟต (มั่นสิน ตัณฑุลเวศม์ และไพพรรณ พรประภา, 2539) แบคทีเรียสามารถย่อยสลายอินทรีย์ฟอสเฟตที่อยู่ในรูปของสารละลายหรือตะกอนแขวนลอยให้กลายเป็นออร์โธฟอสเฟตได้หลายวิธี เช่น การละลาย การแปรสภาพจากอินทรีย์ฟอสฟอรัสเป็นอนินทรีย์ฟอสฟอรัส การเปลี่ยนอนินทรีย์ฟอสฟอรัสเป็นฟอสฟอรัสในเซลล์ของสิ่งมีชีวิต และการเพิ่มและลดออกซิเจนแก่อนินทรีย์ฟอสฟอรัส (สมศักดิ์ วังใน, 2528)

2.1 การแปรสภาพจากอินทรีย์ฟอสฟอรัสเป็นอนินทรีย์ฟอสฟอรัส (mineralization of organic phosphrus) เกิดขึ้นโดยอิทธิพลของแบคทีเรีย รา และแอคติโนมายซีท จำพวก heterothrophic ที่สามารถผลิตเอนไซม์ phytase ประกอบด้วย *Aspergillus*, *Penicillium, Rhizopus, Cunninghamella, Arthrobacter* และ *Bacillus* ซึ่งจะเกิดขึ้นได้ดีในดินที่มีอุณหภูมิมากกว่า 30 องศาเซลเซียส พีเอชเป็นกลาง แต่การแปรสภาพจะเกิดขึ้นช้า เมื่อในดินมีเหล็กและอะลูมินั่ม เนื่องจากเอนไซม์ไปจับตัวเป็นสารประกอบเชิงซ้อนกับเหล็กและอะลูมินั่มในดิน ทำให้เอนไซม์ไม่สามารถย่อยได้ (สมศักดิ์ วังใน, 2528 ; Atlas & Bartha, 1997)

2.2 การแปรสภาพจากอนินทรีย์ฟอสฟอรัสเป็นอินทรีย์ฟอสฟอรัส (immobilization of phosphorus) จะเกิดขึ้นเมื่ออินทรีย์วัตถุในดินบริเวณนั้นมีฟอสฟอรัสอยู่น้อย โดยเฉพาะที่อยู่ในรูปของอนินทรีย์ฟอสฟอรัสที่ใช้เป็นประโยชน์ได้ไปใช้ทำให้เกิดกระบวนการที่เรียกว่า Immobilization of phosphorus เมื่อกระบวนการย่อยสลายอินทรีย์วัตถุดำเนินต่อไปเรื่อย ๆ CO_2 จะถูกปลดปล่อยออกมา จากนั้นจะมีการปลดปล่อยฟอสฟอรัสจากการเน่าสลายอินทรีย์วัตถุ (Mine-alization) (สมศักดิ์ วังใน, 2528 ; Atlas & Bartha, 1997)

2.3 การละลายของอนินทรีย์ฟอสฟอรัส (solubilization of inorganic phosphorus) จุลินทรีย์หลายชนิดสามารถทำให้ฟอสฟอรัสละลายอยู่ในน้ำหรือสารละลายได้ (phophate-dissolving microorganism) จุลินทรีย์เหล่านั้นส่วนใหญ่จัดอยู่ใน genus *Pseudomonas, Mycobacterium, Micrococcus, Flavobacterium, Penicillium, Aspergillus* จุลินทรีย์ต่าง ๆ เหล่านี้เจริญเติบโตได้ในสภาพที่มี $Ca_3(PO_4)_2$ หรือที่เรียกว่า apatite ซึ่งละลายน้ำผสมอยู่ จุลินทรีย์จะละลายสารประกอบหรือแร่นี้นำเอาฟอสฟอรัสมาใช้อย่างเพียงพอ และที่สำคัญที่สุดคือละลายออกมาเกินความต้องการของจุลินทรีย์และเหลือสะสมอยู่ในสภาพนั้น ถ้ามีพืชขึ้นอยู่พืชก็จะสามารถดูดนำไปใช้เป็นประโยชน์ได้ (สมศักดิ์ วังใน, 2528 ; Atlas & Bartha, 1997)

2.4 การเพิ่มและลดออกซิเจนแก่ฟอสฟอรัส (oxidation reduction of phosphorus) ฟอสฟอรัสเป็นธาตุที่ถูกเปลี่ยน oxidation state ได้ตั้งแต่ –3 (phosphine, PH_3) จนถึง –5 (orthophosphate, H_3PO_4) ในช่วงของการลดและเพิ่ม oxidation state นี้มีบางช่วงจุลินทรีย์มีส่วนเกี่ยวข้องด้วยโดยถือว่าเป็นกระบวนการทางชีวภาพ (biological reaction) ว่าการเพิ่มออกซิเจนแก่ phosphite (HPO_3^{2-}) เป็นฟอสเฟตดังสมการ

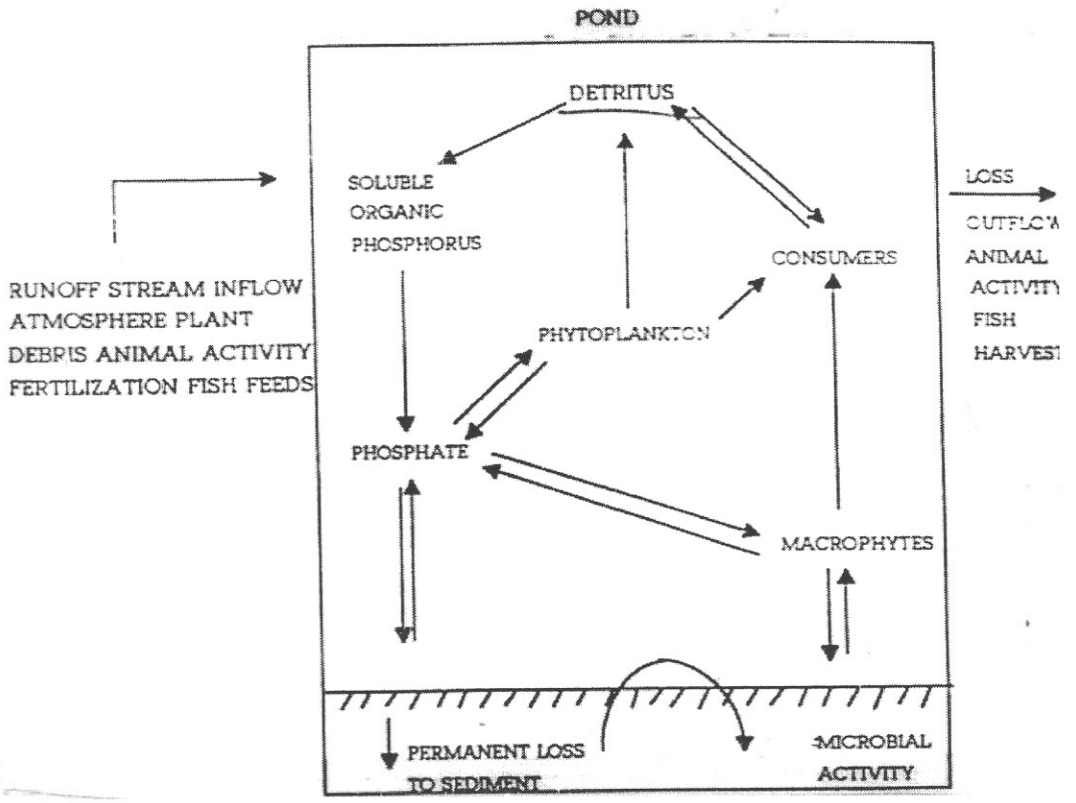
$$HPO_3^{2-} \longrightarrow HPO_4^{2-}$$

นอกจากนี้มีจุลินทรีย์อีกหลายพวก เช่น แบคทีเรีย ราและแอคติโนมัยซีท สามารถเพิ่มออกซิเจนให้แก่ phosphite ได้ ซึ่งเกิดขึ้นโดยการดูดเอา phosphite เข้าไปใช้ในเซลล์แล้วเพิ่มออกซิเจนเปลี่ยนเป็นสารอินทรีย์ฟอสเฟตในเซลล์

ส่วนการลดออกซิเจนแก่ฟอสฟอรัสนั้นมีข้อมูลจากผลการวิจัยโดยใช้ mannitol-$NH_4H_2PO_4$ medium ปล่อยให้เกิดการลดออกซิเจนโดยจุลินทรีย์ดินในสภาพปราศจากอากาศ ปรากฏว่าจุลินทรีย์สามารถลดออกซิเจนจากฟอสเฟต (H_2PO_4) เป็น phosphite (H_3PO_3), hypophosphate (H_3PO_2) และ phosphine (PH_3) ดังสมการต่อไปนี้

$$\underset{+5}{H_3PO_4} \longrightarrow \underset{+3}{H_3PO_3} \longrightarrow \underset{+1}{H_3PO_2} \longrightarrow \underset{-3}{PH_3}$$

นอกจากนี้ยังปรากฏว่ามีแบคทีเรีย *Clostridium butyricum* และ *Escherichia coli* สามารถลดออกซิเจนแก่ orthophosphate เป็น phosphite และ hypophosphate ได้ด้วย (สมศักดิ์ วังใน, 2528 ; Atlas & Bartha, 1997)



ภาพที่ 6 วัฏจักรฟอสฟอรัสในแหล่งน้ำและบ่อเลี้ยงสัตว์น้ำ (Boyd, 1979)

รายงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการศึกษาค้นคว้า

นวลพรรณ ณ ระนอง (2524) ได้ศึกษาแบคทีเรียที่มีบทบาทในการย่อยสลายเซลลูโลสในบริเวณป่าชายเลน อำเภอขลุง จังหวัดจันทบุรี มี 4 สกุล คือ *Cellvibrio, Cytophage, Pseudomonas* และ *Cellulomonas*

จูอะดี พงศ์มณีรัตน์, สิริ ทุกขวินาศ และสถาพร ดิเรกบุษราคม (2528) ได้ศึกษาคุณภาพบางประการของน้ำทางเคมี-ฟิสิกส์ในนากุ้งจังหวัดนครศรีธรรมราช พบว่าความเข้มข้นของไนเตรท ฟอสเฟตและซิลิเกต มีค่าอยู่ในช่วง 0.000 – 0.076, 0.000 – 1.635 และ 0.000 – 2.6 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ

จารุวัฒน์ นภีตะภัฏ และสมนึก กบิลรัมย์ (2530) ได้ศึกษาคุณภาพน้ำในบ่อเลี้ยงกุ้งแบบพัฒนา พบว่า ปริมาณออกซิเจนภายในบ่อเฉลี่ย 6.31 $\pm$ 0.32 มิลลิกรัมต่อลิตร อุณหภูมิ 30.15 $\pm$ 0.58 องศาเซลเซียส พีเอช 7.53 $\pm$ 0.21 ความเค็ม 20.50 $\pm$ 4.69 ppt ผลผลิตออกซิเจนของน้ำเฉลี่ย 0.027 $\pm$ 0.050 กรัมต่อลูกบาศก์เมตร และอัตรการบริโภคออกซิเจนของสัตว์หน้าดิน 0.077 $\pm$ 0.014 กรัมต่อลูกบาศก์เมตร

สิริ ทุกขวินาศ, เพิ่มศักดิ์ เพิงมากและเจิดแสง บุญแท้ (2531) ได้รายงานผลการศึกษาภาวะสิ่งแวดล้อมบางประการของน้ำและตะกอนดินในบ่อเลี้ยงกุ้งทะเล จังหวัดนครศรีธรรมราช พบว่า บ่อเลี้ยงกุ้งกุลาดำแบบหนาแน่น บ่อเลี้ยงแบบกึ่งธรรมชาติ และคลองส่งน้ำธรรมชาติ ปรากฏค่าขอคุณสมบัติน้ำเฉลี่ยดังนี้ ความขุ่นใส 15 – 42 เซนติเมตร,ความเค็ม 15.02 – 16.66 ppt, พีเอช 7.02 – 8.15 ออกซิเจนละลายในน้ำ 4.88 – 7.2 มิลลิกรัมต่อลิตร และตะกอนดินมีเปอร์เซนต์ของสารอินทรีย์ 2.75 – 6.27

สุริยัน ธัญกิจจานุกิจ (2532) ศึกษาพบว่าค่า BOD ของบ่อเลี้ยงกุ้งกุลาดำแบบพัฒนามีค่าอยู่ในช่วง 2.8 – 24.5 มิลลิกรัมออกซิเจนต่อลิตร ในคลองส่งน้ำมีค่าเปลี่ยนแปลงอยู่ในช่วงระหว่าง 1.0 – 11.5 มิลลิกรัมออกซิเจนต่อลิตร และในบ่อพักน้ำมีค่าอยู่ระหว่าง 2.0 – 6.7 มิลลิกรัมออกซิเจนต่อลิตร

รัตนาวดี ทับทิม (2535) ได้ศึกษาแบคทีเรียที่ช่วยย่อยสลายเศษอาหารในนากุ้ง โดยเก็บตัวอย่างจากนากุ้งมาแยกเชื้อ พบว่าส่วนใหญ่เป็นเชื้อสกุล *Bacillus* โดยพบว่า *Bacillus subtilis* ย่อยสลายเซลลูโลสและโปรตีนได้

ชลิต โนระดี (2535) ได้ศึกษาผลของการใช้แบคทีเรีย *B. subtilis* ในการย่อยสลายสารอินทรีย์ในบ่อเลี้ยงกุ้งกุลาดำที่มีพื้นเป็นบ่อดินเหนียว พบว่า *B. subtilis* มีประสิทธิภาพในการย่อยสลายขี้กุ้งและเศษอาหารซึ่งเป็นสารอินทรีย์ในบ่อได้ดี นอกจากนี้ในการทดลองที่มีการเติมแบคทีเรีย พบว่ากุ้งจะมีอัตราการรอดตายสูงกว่าการทดลองที่ไม่มีการเติมแบคทีเรีย

คณิต ไชยาคำ และพุทธ ส่องแสงจินดา (2535) ได้ทำการศึกษาการเปลี่ยนแปลงคุณภาพน้ำในบ่อเลี้ยงกุ้งกุลาดำแบบพัฒนา ที่อำเภอระโนด จังหวัดสงขลา พบว่าคุณสมบัติของน้ำมีการเปลี่ยนแปลงอย่างเห็นได้ชัด ได้แก่ ปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำ ความเค็มของน้ำ แอมโมเนีย ออร์โธฟอสเฟต บีโอดี ตะกอนแขวนลอย และคลอโรฟิล-เอ มีค่าระหว่าง 3.5 – 13.5 มิลลิกรัมต่อลิตร, 15 – 42 ppt, 0.000 – 4.268 มิลลิกรัมต่อลิตร, 0.000 – 0.1755 มิลลิกรัมต่อลิตร, 1.02 – 17.97, 24 – 792 มิลลิกรัมต่อลิตร และ 7.52 – 679.3 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ

สมพร ธนวิริยะกุล (2535) ได้ทำการศึกษาการคัดเลือกแบคทีเรียเฮตเทอโรโทรปจากบ่อเลี้ยงกุ้งกุลาดำที่มีความสามารถในการย่อยสลายโปรตีน ไขมัน แป้งและอาหารกุ้งใน imhoff cone เมื่อจัดจำแนกชนิดแล้วพบ เป็น B. *sutilis* จากนั้นได้นำแบคทีเรียดังกล่าวไปทดสอบความสามารถในการย่อยสลายในบ่อเลี้ยงกุ้งจำลอง พบว่าในบ่อที่มีการเติมแบคทีเรียปริมาณไนไตรต์ ไฮโดรเจนซัลไฟด์และบีโอดีลดลงมากกว่าบ่อที่ไม่ได้เติมแบคทีเรีย

ศิริโฉม เหลืองอ่อน (2536) ได้ทำการศึกษาโดยการแยกและคัดเลือกจุลินทรีย์ที่มีบทบาทในการย่อยสลายสารอินทรีย์ประเภทต่าง ๆ ได้แก่ โปรตีน ไขมัน แป้งและเซลลูโลสจากนากุ้งและจุลินทรีย์สำเร็จรูปชนิดผงที่ใช้กำจัดของเสียในนากุ้ง พบว่า จุลินทรีย์ที่ย่อยสลายโปรตีนได้ดีได้แก่

Coryneform, Aeromonas, และ *Pseudomonas* ที่แยกได้จากนากุ้ง และ *Micrococcus* จากจุลินทรีย์สำเร็จรูป ส่วนจุลินทรีย์ที่ย่อยสลายไขมันได้ดีคือ *Aeromonas,* และ *Pseudomonas* ส่วนผลการแยกจุลินทรีย์ที่ย่อยสลายแป้งได้แก่ *Bacillus* และ *Pseudomonas* แต่จากการวิจัยนี้ไม่พบ จุลินทรีย์ที่ย่อยสลายเซลลูโลสในตัวอย่างที่นำมาศึกษา

แฟรดาซ์ มาเหล็ม (2537) ได้ทำการศึกษาคุณภาพน้ำ คุณภาพดิน และปริมาณน้ำทิ้งในบ่อเลี้ยงกุ้งแบบพัฒนา คลองส่งน้ำ และคลองน้ำทิ้งในพื้นที่โครงการของศูนย์ศึกษาการพัฒนาอ่าวคุ้งกระเบนอันเนื่องมาจากพระราชดำริ ตำบลคลองขุด อำเภอท่าใหม่ จังหวัดจันทบุรี โดยทำการศึกษาค่าต่าง ๆ ดังต่อไปนี้ ความเค็ม, อุณหภูมิ, พีเอชในน้ำ, ไนไตรท์-ไนโตรเจน, แอมโมเนีย-ไนโตรเจน, ออกซิเจนละลายน้ำ, ซิลิเกต, ออร์โธฟอสเฟต, พีเอชในดิน และเปอร์เซนต์ของสารอินทรีย์ พบว่าคุณภาพน้ำและดินในบ่อเลี้ยงกุ้งกุลาดำ มีค่า 16 – 47 ppt, 26-35 องศาเซลเซียส, 6.5-9.2 มิลลิกรัมต่อลิตร, 0-0.292 มิลลิกรัมต่อลิตร, 0-2.928 มิลลิกรัมต่อลิตร, 2.8-12.8 มิลลิกรัมต่อลิตร, 0-2.38 มิลลิกรัมต่อลิตร, 0.027-3.4 มิลลิกรัมต่อลิตร, 0.3-34.5 มิลลิกรัมต่อลิตร, 3.4-8.4 และ 0.6-26.2 ตามลำดับ และมีค่าความโปร่งใส 10-154 เซนติเมตร คุณภาพน้ำและดินในคลองส่งน้ำมีค่า 10 – 48 ppt, 26-39 องศาเซลเซียส, 7.0-8.6 มิลลิกรัมต่อลิตร, 0.003-0.221 มิลลิกรัมต่อลิตร, 0.006-1.757 มิลลิกรัมต่อลิตร, 3.1-18 มิลลิกรัมต่อลิตร, 0-8.23 มิลลิกรัมต่อลิตร, 0.162-0.986 มิลลิกรัมต่อลิตร, 0.6-16.8 มิลลิกรัมต่อลิตร, 4.6-7.5 และ 3.4-26.4 ตามลำดับ และคลองน้ำทิ้งมีค่า 7-44 ppt, 26-39 องศาเซลเซียส, 6.6-8.8 มิลลิกรัมต่อลิตร, 0.003-0.032 มิลลิกรัมต่อลิตร, 0.013-0.615 มิลลิกรัมต่อลิตร, 4.9-16.3มิลลิกรัมต่อลิตร, 0-2.08 มิลลิกรัมต่อลิตร, 0.113-0.774 มิลลิกรัมต่อลิตร, 3.6-27.2 มิลลิกรัมต่อลิตร, 6.6-7.9 และ 0.4-26.5 ตามลำดับ

เปรมสุดา สมาน (2539) ได้ทำการศึกษาเกี่ยวกับประสิทธิภาพของแบคทีเรียที่มีส่วนช่วยในการบำบัดน้ำเสียที่เกิดจากการเลี้ยงกุ้งทะเล โดยนำแบคทีเรีย *Bacillus subtilis, B. megaterium, B. firmus, B. lentus* และ B. *marinus* ทั้ง 5 สายพันธุ์มาทำการทดสอบประสิทธิภาพในการย่อยสลายสารอินทรีย์ พบว่าสามารถลดปริมาณสารอินทรีย์ได้มากกว่าการใช้แบคทีเรียสายพันธุ์เดี่ยวและยังสามารถลดปริมาณสารอินทรีย์ของอาหารเลี้ยงกุ้งที่ตกค้างอยู่ภายในบ่อเลี้ยงได้

อภิรักษ์ มาซา (2540) ได้ทำการศึกษาความสัมพันธ์รหว่างอัตราการให้อาหารและคุณภาพน้ำในบ่อเลี้ยงกุ้งกุลาดำ พบว่า อัตราการเฉลี่ยของการให้อาหารต่อวันต่ำที่สุดเท่ากับ 34.21 กิโลกรัมต่อวันในสัปดาห์แรก และอัตราเฉลี่ยสูงสุดเท่ากับ 132.61 กิโลกรัมต่อวันในสัปดาห์ที่ 21 เมื่อคิดเป็นอัตราเฉลี่ยต่อพื้นที่ 1 ไร่ จะพบว่ามีอัตราการให้อาหารต่ำสุดเท่ากับ 5.47 กิโลกรัมต่อไร่ต่อวัน และสูงสุดเท่ากับ 21.21 กิโลกรัมต่อไร่ต่อวัน และเมื่อทำการวิเคราะห์คุณภาพน้ำในบ่อเลี้ยงกุ้งกุลาดำ พบว่า ปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำในช่วงเช้ามีค่าเฉลี่ย 4.94+0.15 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำในช่วงบ่ายมีค่าเฉลี่ย 7.71+0.23 มิลลิกรัมต่อลิตร พีเอชในช่วงเช้า

7.81+0.11 พีเอชในช่วงบ่าย 8.29+0.28 อุณหภูมิของน้ำ 31.09+0.34 องศาเซลเซียส ความโปร่งแสงของน้ำ 50.25+7.0 เซนติเมตร ความเค็ม 23.70+2.55 ppt ปริมาณแอมโมเนีย 0.35+0.20 มิลลิกรัมไนโตรเจนต่อลิตร ปริมาณไนไตรท์ 0.10+0.05 มิลลิกรัมไนโตรเจนต่อลิตร ความเป็นด่าง 114+7.42 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ 8.16+2.40 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาณไฮโดรเจนซัลไฟด์ 0.0025+0.0029 มิลลิกรัมต่อลิตร COD 532.71+78.10 มิลลิกรัมต่อลิตร

สิริ ทุกข์วินาศ และคณะ (2542) ได้ศึกษาการบำบัดน้ำและปรับปรุงน้ำเพื่อใช้ในการเพาะเลี้ยงกุ้งทะเล แบบวิธีย่อยสลายโดยใช้ออกซิเจนและไม่ใช้ออกซิเจน พบว่าค่าความสกปรกลดลงจาก 7.05 เป็น 1.67 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาณไนโตรเจนรวมลดจาก 4.212 เป็น 2.7332 มิลลิกรัมต่อลิตร คลอโรฟิลล์ เอ ลดลงจาก 58.40 เป็น 14.96 มิลลิกรัมต่อลิตร ตะกอนลดลงจาก 68.48 เป็น 11.84 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาณแบคทีเรียรวมลดจาก $2.0x10^4$ เป็น $1.1x10^4$ CFU/มิลลิลิตร โดยมีประสิทธิภาพการบำบัดอยู่ในช่วง 24.8 ถึง 84.8 เปอร์เซ็นต์

เมอร์เคล (Merkel, 1964) ได้ศึกษาวิธีการขั้นต้นในการแยกและตรวจหาแบคทีเรียในทะเลที่มีความสามารถในการย่อยสลายโปรตีน (marine proteolytic bacteria) โดยดูการย่อยสลาย chromoprotein 2 ชนิด คือ phycocyanin และ allophycocyanin ของสาหร่ายสีแดง Porphyra ที่ผสมในอาหาร nutrient agar ซึ่งใช้น้ำทะเลเป็นส่วนผสม โดยแบคทีเรียที่ย่อยสลายโปรตีนได้จะสังเกตได้จากการเกิดบริเวณใน (clear zone) รอบโคโลนี

นิทโคลสกี และคณะ (Nitkowski et al., 1977) ได้ศึกษาแบคทีเรียที่ย่อยสลายไขมันและแบคทีเรียที่ย่อยสลายโปรตีน ซึ่งแยกได้จากตะกอนที่เก็บตัวอย่างใน New York Bight Apex จำนวน 2 สถานี และตะกอนที่เก็บตัวอย่างใน Sandy Hock Bay และ Great Bay รัฐ New Jersey แห่งละ 1 สถานี โดยสถานีเก็บตัวอย่างใน Bight Apex และ Sandy Hock Bay ได้รับน้ำทิ้งและของโสโครกจากโรงงานอุตสาหกรรมมาเป็นระยะเวลานาน ในขณะที่ ได้รับน้ำทิ้งและของโสโครกจากโรงงานอุตสาหกรรมเพียงเล็กน้อย พบว่าพื้นที่ที่มีมลภาวะสูงจะพบแบคทีเรียที่ย่อยสลายโปรตีนมากกว่าพื้นที่ที่มีมลภาวะต่ำ 2-4 เท่า และพบแบคทีเรียที่ย่อยสลายไขมันมากกว่า 4 เท่า โดยแบคทีเรียที่ย่อยสลายโปรตีนแยกโดยใช้อาหารเลี้ยงเชื้อผสมเคซีน ส่วนแบคทีเรียที่ย่อยสลายไขมันแยกได้โดยใช้อาหารเลี้ยงเชื้อที่ผสม lipase reagent และพบว่าส่วนใหญ่ (76 เปอร์เซ็นต์) ของแบคทีเรียที่แยกได้เป็นแบคทีเรียแกรมลบ รูปท่อน และแบคทีเรียที่ย่อยสลายไขมันส่วนใหญ่ (80 เปอร์เซ็นต์) อยู่ในสกุล *Vibrio* และ *Pseudomonas*

บอยด์ และคณะ (Boyd et al., 1984) ได้รายงานว่า การใช้แบคทีเรียร่วมกับการเลี้ยงสัตว์น้ำมีค่าสูงกว่าบ่อที่ไม่ได้ใช้แบคทีเรียถึง 5 เปอร์เซ็นต์ กล่าวคือการควบคุมปริมาณพืชน้ำไม่ให้มีมากเกินไปจะทำให้ค่าออกซิเจนในบ่อไม่มีการเปลี่ยนแปลงมากนัก และผลผลิตของแบคทีเรียยังเป็นอาหารของสัตว์หน้าดินชนิดอื่น ๆ ตามห่วงโซ่อาหาร

เบิร์ด และกัฟฟ์ (Bird & Kalff, 1984) พบว่าการย่อยสลายของเสียในทะเลสาบตามธรรมชาติจะเกิดช้ามากและไม่สามารถสร้างความอุดมสมบูรณ์ หรือทำให้เกิดสิ่งมีชีวิตมากมายได้ ดังนั้นการเติมจุลินทรีย์เข้าไปในสภาพแวดล้อมที่มีการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ ย่อมมีส่วนช่วยให้คุณภาพน้ำในบ่อดีขึ้น

พรูเดอร์ (Pruder, 1986) ได้ทดลองใช้จุลินทรีย์ autotrophy และ heterotroph ปรับปรุงคุณภาพน้ำในโครงการ Sea Grant Aquaculture Plan 1983-1987 Research โดยได้มีการควบคุมระบบน้ำ การให้อากาศ การให้อาหาร ควบคุมโรค ผลผลิตปลาที่ได้มีปริมาณมากกว่าบ่อที่ไม่ได้ใช้จุลินทรีย์ถึง 6 เท่า ระบบการเพาะเลี้ยงได้มีการพัฒนาเพิ่มมากขึ้น โดยมีการเลี้ยงหอย เช่น หอยนางรมเพื่อเป็นตัวกรองสารอินทรีย์ต่าง ๆ รวมทั้งสาหร่ายที่มากเกินไป

เออร์ลิท และคณะ (Ehrlich et al., 1988) ใช้แบคทีเรีย 1 เปอร์เซ็นต์ ในบ่อเลี้ยงปลาเทราท์จะสามารถลดปริมาณแอมโมเนียลงได้ 90 เปอร์เซ็นต์ และลดค่าปริมาณฟอสฟอรัสลงได้ 85 เปอร์เซ็นต์ เมื่อเปรียบเทียบกับบ่อปลาเทราท์ที่ไม่ได้เติมแบคทีเรีย

เออร์ลิท และคณะ (Ehrlich et al., 1989) ได้ทดลองนำ Bacta-Pur™ ซึ่งเป็นผลิตภัณฑ์แบคทีเรียชนิดหนึ่งมาใช้ในการปรับปรุงคุณภาพน้ำ ในการเลี้ยงปลา Small mouth bass ในถังที่มีน้ำไหลเวียนตลอดเวลา พบว่า Bacta-Pur™ สามารถที่จะลดปริมาณแอมโมเนียและไนไตรต์ในน้ำลงได้ นอกจากนี้ยังมีการทดลองใช้ Bacta-Pur™ ในการลดปริมาณตะกอนในน้ำ พบว่าปริมาณตะกอนสามารถลดลงได้อย่างมีนัยสำคัญ

ไชยวารีศักดิ์จา และบอยด์ (Chiayvareesajja & Boyd, 1993) ได้ศึกษาผลของการใช้แบคทีเรียในการลดปริมาณแอมโมเนียไนโตรเจนในน้ำ โดยทดลองในบ่อดินขนาด 0.04 เฮกตาร์ ลึก 1 เมตร ผลิตภัณฑ์แบคทีเรียที่ใช้ คือ accelobac อัตราการใช้คือ เริ่มต้นใส่ลงไปในอัตรา 5 มิลลิกรัมต่อลิตร หลังจากนั้น 1 สัปดาห์ใส่ลงไป 2.5 มิลลิกรัมต่อลิตร ส่วนในสัปดาห์ที่ 2 และ 3 เติมลงไปในอัตรา 0.5 มิลลิกรัมต่อลิตร Accelobac ถูกผสมลงไปในน้ำด้วยเครื่องตีน้ำ พบว่าผลิตภัณฑ์แบคทีเรียชนิดนี้สามารถลดความเข้มข้นของแอมโมเนียได้ใน 4 วันแรกเท่านั้นเมื่อเปรียบเทียบกับบ่อควบคุม หลังจากนั้นการใช้แบคทีเรียไม่มีผลต่อความเข้มข้นของแอมโมเนียเลย เนื่องจากในระยะสัปดาห์หลัง ๆ ปริมาณแอมโมเนียในน้ำต่ำ ซึ่งแสดงให้เห็นว่าการเติมแบคทีเรียลงไปในบ่อที่มีความเข้มข้นของแอมโมเนียต่ำจะไม่มีประโยชน์