บทที่ 2
วารสารปริทัศน์

กุ้งกุลาดำหรือกุ้งกะลาหรือกุ้งม้าลาย มีชื่อวิทยาศาสตร์ว่า *Penaeus monodon* Fabricius หรือมีชื่อเป็นภาษาอังกฤษว่า Tiger prawn หรือ Black tiger prawn หรือ Jumbo tiger prawn กุ้งชนิดนี้จัดอยู่ในวงศ์ Penaeidae (วัลลภ คงเพิ่มพูน, 2532) ในขณะที่ยังมีชีวิตอยู่ลำตัวจะเป็นสีม่วงแดง มีแถบสีน้ำตาลหรือดำพาดขวางลำตัวเป็นปล้อง ๆ และโคนขาว่ายน้ำจะมีแถบสีเหลืองเป็นปล้อง ๆ หนวดมีสีดำและไม่มีลาย มีเปลือกหัวเกลี้ยงไม่มีขน ฟันกรีด้านบนมี 7-8 ซี่ ด้านล่างมี 3 ซี่

กุ้งกุลาดำเป็นกุ้งที่มีขนาดใหญ่ที่สุดในวงศ์ Penaeidae ถิ่นอาศัยของกุ้งกุลาดำได้แก่ น่านน้ำแถบไต้หวัน ฟิลิปปินส์ อินโดนีเซีย ไทย มาเลเซีย และที่พบมากได้แก่ ออสเตรเลีย และอินเดีย กุ้งชนิดนี้อยู่ในเขตร้อน สามารถทนอยู่ได้ในน้ำที่มีอุณหภูมิสูงและความเค็มต่ำ เช่น บริเวณปากชายเลน กุ้งชนิดนี้มีการเจริญเติบโตที่รวดเร็ว ชอบอาศัยอยู่ในบริเวณที่ดินเป็นทรายปนโคลน กินอาหารได้ทั้งพืชและสัตว์ (กรมประมง, 2536)

กุ้งกุลาดำวางไข่ในทะเล กุ้งที่มีอายุประมาณ 12-18 เดือน จะวางไข่ในทะเลที่มีระดับน้ำลึกประมาณ 15-30 ม. ใกล้กับพื้นท้องทะเล กุ้งขนาด 70-180 กรัม จะวางไข่ครั้งละประมาณ 100,000-1,200,000 ฟอง กุ้งชนิดนี้ส่วนมากจะผสมพันธุ์ในเวลากลางคืน โดยที่ตัวผู้จะสอดอวัยวะที่เรียกว่า พีเทสมา (petesma) เข้าไปในอวัยวะเพศเมียเรียกว่า ทีไลคัม (thelycum) พร้อมกับปล่อยถุงน้ำเชื้อเข้าไปเก็บไว้ในถุงเก็บน้ำเชื้อ เมื่อไข่แก่และสุกเต็มที่ก็จะถูกขับออกมาทางช่องเพศไข่ และจะได้รับการผสมกับน้ำเชื้อตัวผู้ซึ่งไหลออกจากถุงเก็บน้ำเชื้อทางรูเปิดเล็ก ๆ ที่บริเวณโคนขาเดินคู่ที่สี่ของตัวเมีย แม่กุ้งใช้เวลาวางไข่ครั้งหนึ่ง ๆ ประมาณ 3-5 นาที ไข่ที่ผสมแล้วขณะที่ปล่อยสู่น้ำทะเลใหม่ ๆ จะมีลักษณะกลม ไข่จะค่อย ๆ พัฒนาจนฟักเป็นตัว กุ้งวัยอ่อนจะถูกกระแสน้ำเข้าหาฝั่ง เมื่อถึงบริเวณชายฝั่งก็จะเลี้ยงตัวอยู่ในบริเวณนี้จนกระทั่งโตเต็มวัยจึงอพยพกลับสู่ทะเลและผสมพันธุ์วางไข่ต่อไปอีก

วิวัฒนาการของลูกกุ้งกุลาดำวัยอ่อน

ลูกกุ้งกุลาดำวัยอ่อนมีวิวัฒนาการออกเป็น 4 ขั้นตอนใหญ่ ๆ ดังนี้

1. ลูกกุ้งวัยอ่อนระยะที่ 1 เรียกว่า "นอร์เพลียส" (Nauplius) เป็นลูกกุ้งที่ฟักออกเป็นตัวใหม่ ลูกกุ้งระยะนี้ยังไม่กินอาหารจากภายนอกตัว แต่จะใช้อาหารที่สะสมภายในตัว ระยะ

นอร์เพลียสนี้แบ่งออกเป็น 6 ระยะย่อย ซึ่งลูกกุ้งจะลอกคราบอีก 6 ครั้ง ในแต่ละระยะกินเวลาประมาณ 6-8 ชม.เมื่อลอกคราบครั้งสุดท้ายก็จะเจริญเติบโตเข้าสู่วัยอ่อนระยะที่ 2

2. ลูกกุ้งวัยอ่อนระยะที่ 2 เรียกว่า "ซูเอีย" (Zoea) ลูกกุ้งระยะนี้จะเริ่มกินอาหารจากภายนอกตัว ได้แก่อาหารจำพวกแพลงค์ตอนพืชต่าง ๆ เช่น *Chaetoceros* sp. ,*Skeletonema* sp. และ *Tetraselmis* sp. ระยะนี้ลูกกุ้งแบ่งออกเป็น 3 ระยะย่อย มีการลอกคราบ 3 ครั้ง แต่ละครั้งกินเวลาประมาณ 36 ชม.

3. ลูกกุ้งวัยอ่อนระยะที่ 3 เรียกว่า "ไมซิส" (Mysis) ลูกกุ้งระยะนี้จะมีนิสัยในการกินอาหารจำพวกไรน้ำเค็ม เช่น Rotifer , Artemia ระยะไมซิสนี้แบ่งออกเป็น 3 ระยะย่อย มีการลอกคราบ 3 ครั้ง ในแต่ละระยะย่อยกินเวลาประมาณ 24 ชม.

4. ลูกกุ้งวัยอ่อนระยะสุดท้าย เรียกว่า "โพสลาวา" (Postlarva) ลูกกุ้งวัยอ่อนระยะสุดท้ายเป็นลูกกุ้งที่เปลี่ยนนิสัยการกินมากินเนื้อสัตว์ การนับอายุลูกกุ้งระยะสุดท้ายนับเป็นวัน ๆ เช่น ลูกกุ้ง Postlarva 1 วัน (P_1) และ Postlarva 2 วัน (P_2) เป็นต้น

การเลี้ยงกุ้งกุลาดำแบ่งเป็นประเภทต่าง ๆ ตามวิธีการเลี้ยง (พนมรักษ์ ผดุงกุล, 2532) ได้ 3 ประเภท คือ

1. การเลี้ยงแบบธรรมชาติ (Conventional or extensive culture) เป็นการเลี้ยงแบบดั้งเดิม บ่อมีขนาดตั้งแต่ 20-60 ไร่ ขุดแบบมีขาวัง (Periferal canal) กว้าง 10-20 ม. ลึก 30-60 ซม. ตรงกลางเป็นพื้นเรียบ ใช้วิธีดันน้ำเข้านาเวลาน้ำขึ้น เพื่อให้ลูกกุ้งและอาหารธรรมชาติติดเข้ามากับน้ำทะเล แล้วเก็บกักน้ำไว้ประมาณ 1-2 เดือน เพื่อให้กุ้งเจริญเติบโตโดยกินอาหารจากธรรมชาติ ไม่มีการให้อาหารหรือทำลายศัตรูกุ้ง การเลี้ยงวิธีนี้ไม่สามารถควบคุมผลผลิตได้ เพราะลูกกุ้งที่เข้ามากับน้ำมีปริมาณไม่แน่นอน อัตราการรอดตายต่ำ ผลผลิตขึ้นกับความอุดมสมบูรณ์ของธรรมชาติ โดยทั่วไปให้ผลผลิตประมาณ 60-100 กก./ไร่/ปี

2. การเลี้ยงแบบกึ่งพัฒนา (Semi-intensive culture) หรือการเลี้ยงแบบกึ่งหนาแน่น เป็นการเลี้ยงที่สามารถควบคุมปัจจัยการผลิตบางอย่าง บ่อมีขนาด 6-20 ไร่ ขุดขาวังลึกมากขึ้นเป็น 0.8-1.20 ม.มีความลาดชันเพื่อความสะดวกในการจับ มีความหนาแน่นของลูกกุ้งมากขึ้นโดยการรวบรวมจากแหล่งธรรมชาติเพิ่มเติมจากที่ได้รับเวลาเปิดน้ำเข้า หรือปล่อยลูกกุ้งจากการเพาะพักเสริม 5-10 ตัว/ตร.ม. ให้อาหารสมทบ ไม่มีเครื่องให้อากาศ อาจมีการดัดแปลงประตูน้ำให้แข็งแรงมีการป้องกันกำจัดศัตรูกุ้ง การเปลี่ยนถ่ายน้ำ ใส่ปุ๋ย การควบคุมโรค ใช้เวลาเลี้ยงนานประมาณ 5 เดือน ผลผลิตประมาณ 200-600 กก./ไร่/ปี

หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

3. การเลี้ยงแบบพัฒนา (Intensive culture) หรือการเลี้ยงแบบหนาแน่น เป็นการเลี้ยงที่มีการนำเทคโนโลยีที่ทันสมัยเข้ามาจัดการในเรื่องคุณภาพน้ำ นำลูกกุ้งที่ได้จากการเพาะฟักมาปล่อยในบ่อแทนการใช้ลูกกุ้งจากแหล่งธรรมชาติทั้งหมด ใช้อาหารเม็ดที่มีคุณภาพสูง มีปริมาณโปรตีนมากกว่า 40% ประกอบด้วยสารอาหารหลายชนิดที่อำนวยต่อการเจริญของกุ้ง มีการเพิ่มจำนวนอาหารและจำนวนมื้ออาหารทำให้กุ้งเจริญเติบโตได้เร็วยิ่งขึ้น เพื่อให้ได้ผลผลิตต่อพื้นที่สูงสุดภายในเวลาสั้นที่สุด (ลิลา เรืองแป้น, 2534) บ่อมีขนาด 2-6 ไร่ มีคันดินแยกเฉพาะบ่อ แยกทางน้ำเข้า-ออก มีเครื่องให้อากาศ เพื่อให้เกิดการหมุนเวียนดีขึ้น พื้นมีความลาดลงในบริเวณทางน้ำเข้าออกเพื่อสะดวกในการจับกุ้ง มีการเปลี่ยนถ่ายน้ำ กำจัดศัตรูกุ้ง การควบคุมโรค อัตราการปล่อยกุ้ง 20-30 ตัว/ตร.ม. ใช้เวลาเลี้ยงประมาณ 3-5 เดือน ผลผลิตประมาณ 2000-3000 กก./ไร่ต่อปี

การจัดการการเลี้ยงกุ้งแบบพัฒนา

กุ้งกุลาดำเป็นกุ้งทะเลที่นิยมเลี้ยงกันอย่างแพร่หลายในการเลี้ยงแบบหนาแน่นและให้ผลตอบแทนสูง สาเหตุที่ยังคงมีการเลี้ยงแบบหนาแน่นเพราะคุณสมบัติพิเศษบางประการของกุ้งกุลาดำ คือ

1. สามารถทนต่อสภาพการเปลี่ยนแปลงความเค็มในช่วงที่กว้างมาก ตั้งแต่ 5-50 ส่วนในพัน และถ้าหากให้เวลาในการปรับตัวของกุ้งก็สามารถอยู่ในน้ำที่มีความเค็มต่ำกว่านี้ได้ ซึ่งกุ้งชนิดอื่น ๆ เช่น กุ้งแชบ๊วยไม่สามารถปรับตัวได้

2. สามารถทนทานต่ออุณหภูมิของน้ำได้ ตั้งแต่ 16-35 °C ซึ่งจะเห็นว่าเหมาะสมกับการนำมาเลี้ยงได้เป็นอย่างดี

3.ชอบพื้นที่ที่มีลักษณะดินปนทรายและชอบฝังตัวในเวลากลางวันและกลางคืนหรือเวลาหากิน ชอบเคลื่อนที่บริเวณผิวดินโดยการเดิน ไม่เหมือนกุ้งตะกาดหรือกุ้งแชบ๊วยที่มักเคลื่อนตัวโดยการว่ายน้ำอย่างรวดเร็ว

วิธีดำเนินการเลี้ยงกุ้งกุลาดำแบบพัฒนามีหลักการดังต่อไปนี้ (กรมประมง, 2536)

1. การพิจารณาลักษณะพันธุ์กุ้งที่ดี

กุ้งที่ดีควรมีลำตัวยาวใส ไม่ดำเข้ม ระยางค์ไม่กุดขาด มีลักษณะแข็งแรง ไม่นอนอยู่ก้นถุงเวลาขนส่งลำเลียง ขณะว่ายน้ำแพนหางต้องแผ่กว้าง ไม่มีพยาธิเกาะบริเวณตัวกุ้ง ขนาดลูกกุ้งต้องใกล้เคียงกันไม่แตกต่างกันมาก ซึ่งจะทำให้การให้อาหารและการจับไม่มีปัญหา ควร

ตรวจสอบแหล่งซื้อว่าใช้สารปฏิชีวนะมากหรือไม่ เพราะลูกกุ้งอาจมีลักษณะอ่อนแอเมื่ออยู่ในสภาพธรรมชาติ

2. การเตรียมบ่อเลี้ยง

2.1 บ่อที่ขุดใหม่ สิ่งที่ควรคำนึงถึงได้แก่ ความลาดชัน บ่อที่มีความลาดชันมากอาจพบปัญหาของพื้นที่ได้รับแสงมากเกินไป ทำให้เกิดชั้นแดดและตะไคร่น้ำอย่างรวดเร็ว ก่อให้เกิดปัญหาพื้นบ่อเสื่อมโทรมได้เร็วกว่าบ่อที่มีความลาดชันน้อย นอกจากเรื่องความลาดชันแล้วควรรักษาความเป็นกรด-ด่างให้มีค่าไม่ต่ำกว่า 8.0

2.2 บ่อที่ผ่านการเลี้ยงมาแล้ว อาจมีสภาพเสื่อมโทรม ดังนั้นหลังจากจับกุ้งแล้วต้องปรับสภาพพื้นบ่อให้ดีเสียก่อนด้วยการดูดเลนและของเสียก้นบ่อทิ้งแล้วตากให้แห้ง จากนั้นไถหน้าดินออกอีกครั้งหนึ่ง โรยปูนมาร์ล 80-100 กก./ไร่ ตากให้แห้งประมาณ 2-3 สัปดาห์ การตากบ่อมีความจำเป็นสำหรับบ่อที่ใช้งานมาหลายครั้ง เพื่อกำจัดแอมโมเนียและไฮโดรเจนซัลไฟด์ที่หมักหมมอยู่ในดิน (กรมประมง, 2538) ล้างบ่อด้วยน้ำจากบ่อพักน้ำผ่านอวนตาถี่ 1 ครั้ง แล้วจึงกักน้ำสำหรับเลี้ยงต่อไป

2.3 การกำจัดศัตรูในบ่อเลี้ยง ในกรณีที่บ่อไม่สามารถตากให้แห้งได้ อาจเพราะมีการรั่วซึม จะใช้กากชาโรยบริเวณที่มีน้ำขังในปริมาณ 20 กก./ไร่ ทิ้งไว้ 24 ชม. จึงใช้เครื่องสูบน้ำหรือท่อพญานาคดูดน้ำบริเวณนั้นทิ้ง ไม่จำเป็นต้องล้างบ่ออีกครั้ง

2.4 ตะแกรงที่ประตูน้ำ ควรใช้ตาถี่มาก ๆ ขนาด 500-600 ไมครอน หรือใช้มุ้งไนล่อนเขียวอย่างดี 2-3 ชั้น ถ้าใช้เครื่องสูบน้ำแบบท่อพญานาคจะใช้ถุงอวนทำด้วยมุ้งเขียวที่ปลายอีกชั้นเพื่อป้องกันศัตรูเข้ามากับน้ำ

3. การเตรียมน้ำ

น้ำในบ่อควรมีความลึกไม่ต่ำกว่า 1.50 ม. เพื่อช่วยชะลอการเปลี่ยนแปลงของความเค็มและอุณหภูมิ เพราะในช่วงที่มีการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิมาก ๆ หากอุณหภูมิสูงเกินไปในช่วงที่ร้อนจัด กุ้งจะเกิดอาการงอตัวและการเกร็งของกล้ามเนื้อทำให้ช็อคตายในที่สุด อีกทั้งระดับน้ำต่ำมาก ๆ แสงแดดสามารถส่องถึงพื้นก้นบ่อ จึงเกิดการเพิ่มจำนวนแพลงค์ตอนพืชอย่างรวดเร็ว แพลงค์ตอนพืชจะแย่งออกซิเจนในบ่อเลี้ยงกุ้งในช่วงกลางคืน เกิดเป็นตะไคร่น้ำและชั้นแดดในเวลากลางวัน ในที่สุดเมื่อแพลงค์ตอนตายลงจะเกิดการสลายตัวทำให้พื้นบ่อเน่าเสียเกิดกาซไฮโดรเจนซัลไฟด์อันเป็นอันตรายต่อกุ้งได้โดยตรง ดังนั้นระดับน้ำที่เหมาะสมสำหรับการเลี้ยงกุ้งแบบหนาแน่นควรใช้ระดับน้ำอย่างน้อย 1.50 ม. และเพิ่มเครื่องสูบน้ำแบบท่อพญานาคเป็นการเพิ่มระดับน้ำในบ่อเลี้ยงได้รวดเร็วทันกับความต้องการ

4. การเพิ่มอากาศในน้ำ

เนื่องจากการเลี้ยงแบบหนาแน่น ปริมาณออกซิเจนในบ่ออาจไม่เพียงพอต่อลูกกุ้ง การใช้เครื่องตีเพิ่มอากาศจะทำให้ปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำไม่ต่ำเกินไป (กรมประมง, 2538)

5. การใช้น้ำสำหรับการเลี้ยงกุ้ง

การเปลี่ยนถ่ายน้ำในบ่อเลี้ยงเป็นการถ่ายเทของเสียต่าง ๆ ที่เกิดจากการเลี้ยงกุ้งเพื่อให้น้ำมีคุณภาพดี ทำให้กุ้งมีอัตรารอดตายดี เจริญเติบโตรวดเร็ว ในช่วง 0- 6 สัปดาห์หลังจากปล่อยกุ้งลงเลี้ยงไม่มีความจำเป็นต้องเปลี่ยนถ่ายน้ำ เพียงแต่เติมน้ำเพิ่มขึ้น เมื่อน้ำในบ่อลดลง เพราะการเปลี่ยนถ่ายน้ำจะทำให้กุ้งบอบช้ำจากการกระแทกกับตาข่ายที่ป้องกันลูกกุ้งออกจากบ่อ ยกเว้นในกรณีที่คุณภาพน้ำไม่เหมาะสม เช่น น้ำเค็มจัดเกินไป หรือตรวจพบปรสิตจำนวนมาก เช่น ซูโอแทมเนียม (*Zoothamnium*) นิสเซีย (*Witzschia* sp.) หรือพวกที่ทำให้เกิดขี้ปลาวาฬ (Red Tide) การถ่ายน้ำควรทำอย่างช้า ๆ หลังจาก 6 สัปดาห์ถ้าคุณภาพน้ำไม่เปลี่ยนแปลงมากนัก ก็จะไม่มีการเปลี่ยนถ่ายน้ำ หรือถ้าจะมีการเปลี่ยนถ่ายน้ำก็กระทำได้ 1-7 วัน/ครั้ง ครั้งละ 30% ทั้งนี้ต้องทราบคุณภาพน้ำที่จะนำมาใช้ด้วย เพื่อไม่ให้เกิดปัญหาจากการนำน้ำเสียเข้าบ่อ ตะแกรงกันกุ้งหรือศัตรูกุ้งต้องคอยทำความสะอาดและเปลี่ยนขนาดตามขนาดกุ้งด้วย เพื่อให้การถ่ายน้ำสะดวกและมีประสิทธิภาพ

6. อาหารกุ้งและการให้อาหาร

ลักษณะอาหารกุ้งที่ดีจะต้องมีกลิ่นรสดี มีคุณค่าทางโภชนาการครบ ย่อยง่าย ไม่เหม็นหืนหรือขึ้นรา จมน้ำเร็ว มีขนาดพอเหมาะกับขนาดกุ้งและทนอยู่ในน้ำได้ไม่น้อยกว่า 3 ชม.

6.1 ประเภทของอาหารกุ้ง

6.1.1 อาหารธรรมชาติ หมายถึง พืชน้ำ สัตว์น้ำเล็ก ๆ ที่มีอยู่ในบ่อหรือติดมากับน้ำทะเลที่ใช้ถ่ายเทเข้าสู่บ่อ กุ้งที่เลี้ยงจะได้รับอาหารนี้ส่วนหนึ่งเพื่อการเจริญเติบโตและการดำรงชีวิตในสภาพปกติ

6.1.2 อาหารสด หมายถึง อาหารที่ผู้เลี้ยงนำมาให้กุ้งในบ่อดินโดยไม่ผ่านขบวนการใด ๆ เป็นอาหารดิบ เช่น ปลาสด หอย ปลาหมึก อาร์ทีเมีย เป็นต้น

6.1.3 อาหารสำเร็จรูป เป็นอาหารที่ปรุงแต่งขึ้นจากวัตถุดิบหลาย ๆ อย่างมารวมกัน เช่น ปลาป่น ปลาหมึก กากถั่ว แป้ง วิตามินและแร่ธาตุชนิดต่าง ๆ แล้วผ่านขบวนการอัดเม็ดให้มีขนาดพอเหมาะกับวัยและขนาดกุ้ง

6.2 การให้อาหาร

เนื่องจากอาหารเป็นต้นทุนที่สูงที่สุดในการเลี้ยงกุ้งแบบพัฒนา ดังนั้นผู้เลี้ยงควร

ให้ความสนใจในการควบคุมปริมาณอาหารเพื่อลดการสูญเสียอาหารให้เปล่าประโยชน์ให้น้อยที่สุด และการให้อาหารในปริมาณมากเกินไป ทำให้น้ำเน่าเสียได้มากตามไปด้วย ก่อให้เกิดปัญหาต่อการเลี้ยงและภาวะแวดล้อมในการกำจัดอาหารส่วนเกินเหล่านี้

ตารางที่ 1 ปริมาณการให้อาหารกุ้งกุลาดำ/วัน

น้ำหนักกุ้ง/ตัว (กรัม)	อายุกุ้ง (เดือน)	% การกินอาหาร
2.0-2.5	1	9.0-10.0
2.5-5.0	1.5	8.0-9.0
5.0-9.0	2	6.0-8.0
9.0-12.0	2.5	5.0-6.0
12.0-22.0	3	4.0-5.0
22.0-27.0	3.5	3.0-4.0
27.0-30.0	4	2.5-3.0

Sedwick (1979) ศึกษาอัตราการให้อาหารที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของกุ้ง *P. monodon* และ *P. merguiensis* พบว่ากุ้งขนาด 0.1-1.8 กรัม อัตราการให้อาหารที่ทำให้กุ้งมีอัตราการเจริญเติบโตสูงสุดคือ 11-12% ของนน.กุ้ง/วัน

Moriarty (1986) ได้ศึกษาการทำบ่อกุ้งในประเทศมาเลเซีย พบว่ามีการให้อาหารในปริมาณที่สูงมาก และที่อุณหภูมิสูงอาหารเม็ดจะถูกย่อยสลายโดยแบคทีเรียอย่างรวดเร็ว

Boyd (1986) ศึกษาพบว่าการให้อาหารมากเกินไปทำให้มีสารอินทรีย์มากขึ้น และเป็นอาหารสำหรับแพลงค์ตอนพืช แบคทีเรีย และโปรโตซัว ทำให้มีปริมาณสูงขึ้น การออกซิไดซ์สารอินทรีย์ของแบคทีเรียทำให้ค่าออกซิเจนที่ละลายน้ำลดลง และเกิดของเสียจากกระบวนการเมตาโบลิสมมากขึ้น (Boyd,1990) ทำให้กุ้งเกิดความเครียด อัตรารอดของกุ้งจึงต่ำลง (Costa-Pierce, et al., 1983)

คุณภาพน้ำสำหรับการเลี้ยงกุ้งกุลาดำ

องค์ประกอบของน้ำที่สำคัญในบ่อเลี้ยงกุ้งกุลาดำได้แก่

1. ออกซิเจนละลายในน้ำ (DO)

เป็นสิ่งสำคัญเกี่ยวกับคุณภาพน้ำในบ่อเพาะเลี้ยง ออกซิเจนเป็นกาซองค์ประกอบในอากาศซึ่งจำเป็นสำหรับสิ่งมีชีวิตทั้งพืชและสัตว์ เพื่อใช้ในการหายใจ กุ้งกุลาดำใช้ออกซิเจนที่ละลายในน้ำ ส่วนหนึ่งได้จากการแพร่จากอากาศ อีกส่วนหนึ่งได้จากการสังเคราะห์แสงของแพลงค์ตอนพืช สาหร่ายและพันธุ์ไม้น้ำ และจากเครื่องตีอากาศ การละลายของออกซิเจนขึ้นกับความกดอากาศ อุณหภูมิและความเค็ม ถ้าปริมาณออกซิเจนต่ำมาก ๆ กุ้งจะอ่อนแอ ชะงักการเจริญเติบโต และเริ่มตายในที่สุด

ปริมาณออกซิเจนจะมีการเปลี่ยนแปลงในรอบวัน จะมีค่าต่ำสุดในตอนเช้า (2-5 นาฬิกา) ส่วนในเวลากลางวันการสังเคราะห์แสงที่เกิดจากพืชเล็ก ๆ ในน้ำทะให้ปริมาณออกซิเจน เพิ่มขึ้นและสูงสุดในช่วงบ่าย ในเวลากลางคืนปริมาณออกซิเจนลดต่ำลงอีกครั้ง เนื่องจากพืชหยุดสังเคราะห์แสงและจากกาหายใจของสัตว์น้ำ

ค่าออกซิเจนละลายน้ำลดลง มีสาเหตุหลายประการได้แก่ การหายใจของกุ้งและสัตว์น้ำอื่นๆ การเน่าสลายของอินทรีย์วัตถุในบ่อ ในภาวะที่มีอุณหภูมิ ความเค็มสูง หรือจากขบวนการทางเคมีของสารประกอบและแร่ธาตุต่างๆ

ผลกระทบของปริมาณออกซิเจนต่อกุ้ง (กลุ่มบัณฑิตเกษตรก้าวหน้า, 2531)

ปริมาณออกซิเจน (ppm)	ผลกระทบ
ต่ำกว่า 1 มก./ล.	กุ้งตายภายใน 2-3 ชม.
น้อยกว่า 2 มก/ล.	กุ้งเริ่มว่ายมบริเวณผิวน้ำ กระโดด ถ้าเป็นเวลานานจะตาย
2-3 มก./ล.	ไม่ค่อยกินอาหาร เติบโตช้า
5-7.5 มก./ล.	เป็นสภาพที่ดี เหมาะสำหรับการเจริญเติบโต
มากกว่า 7.5 (จุดอิ่มตัว)	อาจเป็นอันตรายได้ ถ้าภาวะอิ่มตัวนี้เกิดทั่วทั้งบ่อ โดยทั่วไปไม่เกิดปัญหา

ปริมาณออกซิเจนที่เหมาะสมต่อการเลี้ยงกุ้งไม่ควรต่ำกว่า 4 ppm (Chui, 1988)

Boyd (1986) รายงานว่าการหายใจของสาหร่าย แบคทีเรีย และการย่อยสลายของเศษซากพืชและสัตว์ใช้ออกซิเจนถึง 75% ในน้ำในบ่อเลี้ยงปลา

2. ความเป็นกรด-ด่าง

ค่าความเป็นกรด-ด่างของน้ำมีการเปลี่ยนแปลงตลอดเวลา เนื่องจากการสะสมของเสียที่กุ้งถ่ายออกมา เศษอาหารที่ตกค้าง แพลงค์ตอนพืชที่ตาย และการสังเคราะห์แสงของพืชน้ำ ช่วงกลางวันค่าความเป็นกรดด่างของน้ำจะค่อนข้างสูง ช่วงบ่ายพืชมีการสังเคราะห์แสงได้ดี ทำให้ค่าพีเอชสูง และช่วงกลางคืนพืชหยุดสังเคราะห์แสง มีเพียงการหายใจทำให้ค่าพีเอชลดลง ช่วงของค่าความเป็นกรดด่างของน้ำที่เหมาะสมต่อการเลี้ยงกุ้งควรมีค่าประมาณ 7.5-8.5 (พรเลิศ จันทร์รัชชกูล , เจ เอฟ เทอร์นบอล และ ชลอ ลิ้มสุวรรณ, 2537)

ผลของความเป็นกรด-ด่างที่กระทบต่อการเลี้ยงกุ้ง (กลุ่มบัณฑิตเกษตรก้าวหน้า, 2531)

ระดับพีเอช	ผลกระทบ
ต่ำกว่า 5	เป็นกรดรุนแรง กุ้งตาย
6-7	เจริญเติบโตช้า บางส่วนตาย
7.5-8.5	เจริญเติบโตได้ดี
9-10	เจริญเติบโตช้า บางส่วนตาย
11 หรือ สูงกว่า	เป็นด่างรุนแรง กุ้งตาย

แม้การเปลี่ยนแปลงสภาพความเป็นกรดด่างจะมีอยู่ตลอดเวลา แต่ในสภาพน้ำกร่อยจะมีคุณสมบัติในการต้านไม่ให้สภาพความเป็นกรด-ด่างเปลี่ยน ดังนั้นค่าความเป็นกรดด่างจะไม่ต่ำกว่า 6 หรือสูงกว่า 9 จึงไม่ค่อยเป็นปัญหากับการเลี้ยงกุ้ง

3. ความเค็มของน้ำ

ความเค็มของน้ำหมายถึงปริมาณของแข็งหรือเกลือแร่ต่างๆ โดยเฉพาะโซเดียมคลอไรด์ที่ละลายในน้ำ โดยคิดเป็นหน่วยน้ำหนัก กรัม/กก.ของน้ำ หรือส่วนในพัน (ppt) กุ้งกุลาดำสามารถเจริญได้ในน้ำที่มีความเค็ม 15-30 ppt แต่เจริญเติบโตได้ดีในช่วงความเค็ม 15-30 ppt ถ้าความเค็มสูงกว่า 30 ppt จะมีผลต่อการเจริญเติบโตและอัตราการรอดตายต่ำ

4. อุณหภูมิ

อุณหภูมิของน้ำในบ่อเลี้ยงกุ้งมีผลต่อการเผาผลาญอาหารและการสร้างพลังงาน ซึ่งจะ

มีผลกระทบต่ออัตราการเจริญเติบโตของกุ้ง อุณหภูมิที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของกุ้งอยู่ในช่วง 25-30 °ซ ถ้าอุณหภูมิน้ำสูงกว่า 30 °ซ กุ้งก็สามารถเจริญเติบโตอยู่ได้ แต่จะอ่อนแอและตายได้ในที่สุด ถ้าอุณหภูมิต่ำกว่า 12 °ซ กุ้งจะหนาวตายได้ การถ่ายเทน้ำและระดับความลึกของน้ำในบ่อจะช่วยในการปรับอุณหภูมิได้

5. ไนโตรเจน

สารประกอบไนโตรเจนในแหล่งน้ำมีหลายรูปแบบ ซึ่งมีความสำคัญแตกต่างกัน สำหรับด้านการเพาะเลี้ยง รูปที่สำคัญมี 3 รูปแบบ ได้แก่แอมโมเนีย (NH_3) ไนไตรท์ (NO_2^-) และไนเตรต (NO_3^-) แอมโมเนียที่สะสมอยู่ในบ่อเลี้ยงสัตว์น้ำส่วนใหญ่เกิดจากการเน่าสลายของสารอินทรีย์ พวกเศษอาหารและของเสียจากสัตว์น้ำ แอมโมเนียจะมีผลต่อการเจริญเติบโตของกุ้ง ทำให้ประสิทธิภาพการใช้อาหารลดลง (Soderberg, Flynn and Schmitton, 1983) ค่าแอมโมเนียที่ละลายในน้ำ ที่พีเอชของน้ำในช่วงประมาณ 8.0-8.5 ควรมีค่าไม่เกิน 1.93 มก./ล. (Boyd, 1989) ทั้งนี้เพราะกาซแอมโมเนียในน้ำจะแตกตัวในรูป Ionize (NH_4^+) และรูป Un-ionize (NH_3) ซึ่งแอมโมเนียในรูป Un-ionize จะเป็นพิษต่อสัตว์น้ำ เปอร์เซนต์การแตกตัว (Ionization) ขึ้นกับพีเอชของน้ำดังสมการ

$$NH_3 + H_2O \rightleftharpoons NH_4^+ + OH^-$$

จากสมการเมื่อพีเอชน้ำสูงขึ้นเปอร์เซนต์การแตกตัวของรูป Ionize เป็นรูป Un-ionize มีสูงขึ้น จึงมีโอกาสแสดงความเป็นพิษต่อสัตว์น้ำได้มากขึ้น (ไมตรี ดวงสวัสดิ์ และจารุวรรณ สมศิริ, 2529)

ไนไตรท์ โดยปกติมีพิษต่อสัตว์น้ำได้เช่นเดียวกับแอมโมเนีย แต่มักจะเกิดขึ้นไม่มากนัก เว้นแต่ในบ่อเลี้ยงกุ้งที่มีการให้อาหารเหลือในปริมาณมาก เพราะไนไตรท์จะเกิดขึ้นเป็นปฏิกิริยาระหว่างกลาง ซึ่งจะถูกแบคทีเรียทำการเปลี่ยนรูปเป็นไนเตรต ซึ่งไม่เป็นพิษต่อเจริญของกุ้ง

6. คาร์บอนไดออกไซด์

คาร์บอนไดออกไซด์จะมีปริมาณสูงเมื่อน้ำในบ่อเลี้ยงเกิดการเน่าเสียอย่างรุนแรง สัตว์น้ำส่วนใหญ่จะอยู่ได้ในน้ำที่มีคาร์บอนไดออกไซด์สูงถึง 60 มก./ล. ถ้าปริมาณออกซิเจนในน้ำสูง แต่เมื่อปริมาณออกซิเจนในน้ำต่ำ คาร์บอนไดออกไซด์จะเป็นตัวขัดขวางการนำออกซิเจนไปใช้ของสิ่งมีชีวิต ปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์จะเพิ่มขึ้นในเวลากลางคืนและลดลงในเวลากลางวัน

7. ไฮโดรเจนซัลไฟด์

ปริมาณไฮโดรเจนซัลไฟด์อยู่ในช่วง 0.01-0.05 มก./ล. มีความเป็นพิษต่อสัตว์น้ำ การตรวจพบไฮโดรเจนซัลไฟด์ไม่ว่าจะในปริมาณน้อยเพียงใดก็ไม่เป็นสิ่งที่ดีในการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ

อาจสังเกตได้จากการมีกลิ่นเหมือนไข่เน่า กาซนี้เกิดจากการเน่าสลายของสารอินทรีย์ โดยเฉพาะอย่างยิ่งในสภาพไร้อากาศ เปอร์เซนต์ไฮโดรเจนซัลไฟด์จะลดลงถ้าพีเอชเพิ่มขึ้น การเปลี่ยนน้ำจะช่วยลดไฮโดรเจนซัลไฟด์ในน้ำและถ้าใช้ปูนขาวจะช่วยเพิ่มพีเอชของน้ำ อัตราส่วนของไฮโดรเจนซัลไฟด์จะลดลง

8. สารแขวนลอยและสารอนินทรีย์

สารแขวนลอยมักจะมาพร้อมกับน้ำที่สูบมาใช้เลี้ยงกุ้ง ประกอบด้วยอนุภาคดินและสารอินทรีย์ เมื่อมีการสะสมของตะกอนบริเวณก้นบ่อ นานไปทำให้บ่อตื้นเขิน ตะกอนส่วนใหญ่ประกอบด้วยสารอินทรีย์เป็นส่วนใหญ่ สารอินทรีย์เมื่อถูกย่อยสลายโดยแบคทีเรีย อาจเป็นตัวที่ใช้ออกซิเจนที่สำคัญส่วนหนึ่ง นอกจากนี้การเน่าสลายของตะกอนอินทรีย์จะทำให้เกิดกาซแอมโมเนียและไฮโดรเจนซัลไฟด์บริเวณพื้นบ่อ ซึ่งเป็นอันตรายต่อกุ้ง

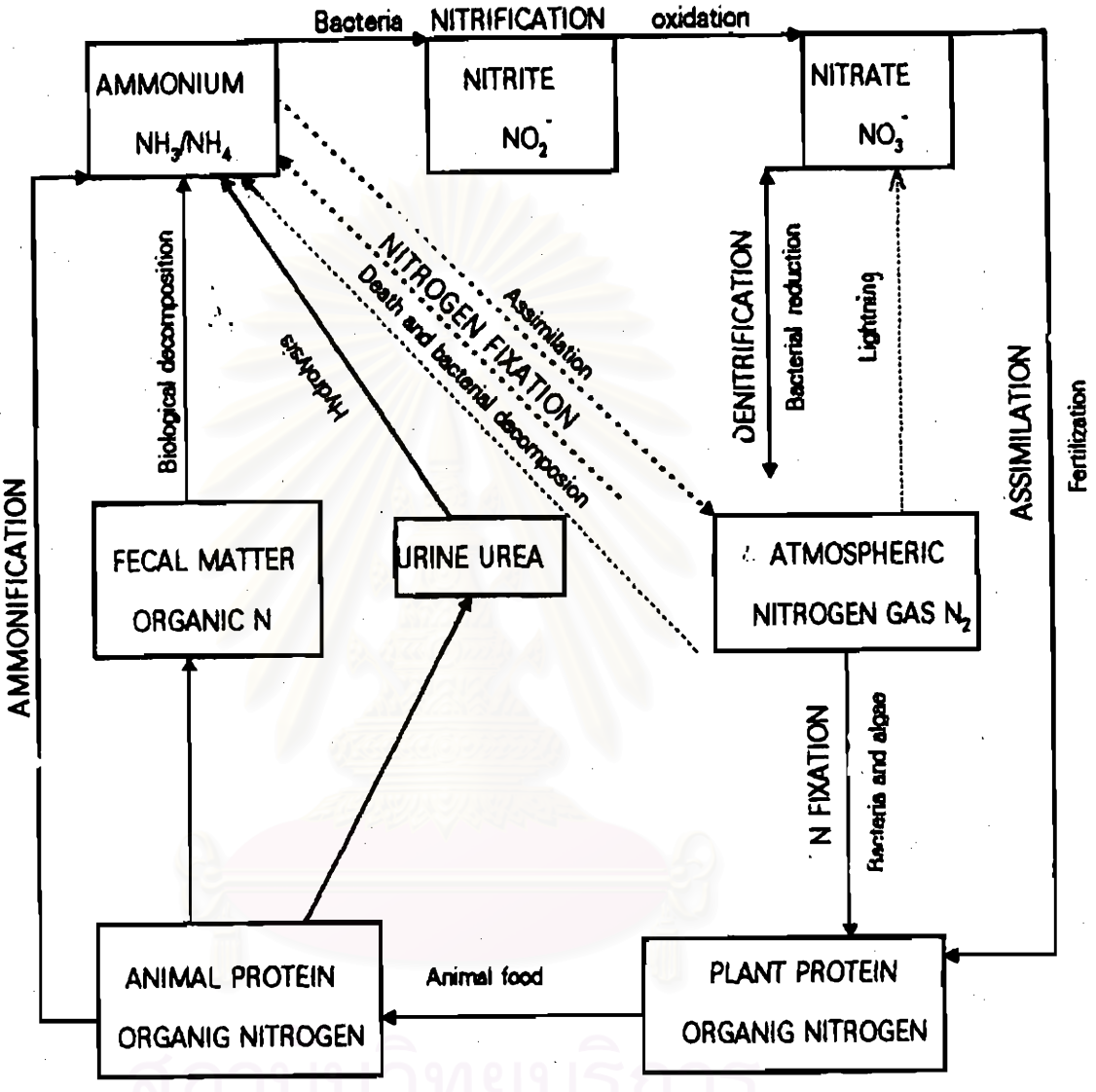
Millamena (1990) ได้ศึกษาพบว่าอัตรารอดของลูกกุ้งในระยะโพสลาวาขึ้นกับปริมาณสารอินทรีย์และค่าออกซิเจนละลายน้ำเป็นสำคัญ ของเสียและตะกอนจากการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำมีลักษณะเป็นโคลนเหนียว มีปริมาณสัมพันธ์กับปริมาณการให้อาหาร (Mudrak,1981; Boyd, 1992) เกิดจากเศษอาหาร ไฟโตแพลงค์ตอน เศษซากพืช ของเสียจากสัตว์ พวกตะกอนแร่ธาตุ สิ่งมีชีวิตพวกโปรโตซัว แบคทีเรียและรา การสะสมของตะกอนของเสียเป็น 11-38% ของอาหารที่ให้ (Mc Laughlin, 1981; Mudrak, 1981)

การสะสมของตะกอนของเสียในบริเวณก้นบ่อมากเกินไป ทำให้ที่อยู่ของกุ้งลดลง ปริมาณ อาหารหน้าดินน้อยลง ทำให้เกิดกาซไฮโดรเจนซัลไฟด์ และสารจากการเผาไหม้ที่ไม่ใช้อากาศเพิ่มขึ้น (Hopkins et al.,1988)

วัฏจักรไนโตรเจนและฟอสฟอรัส

ไนโตรเจนเป็นธาตุที่มีความสำคัญ ทั้งนี้เพราะเป็นส่วนประกอบของโปรตีน และกรดนิวคลีอิกในเซลล์ของจุลินทรีย์ สัตว์ และพืช และเป็นกาซที่มีมากที่สุดในอากาศ (79%) เป็นธาตุอาหารที่จำกัดการเจริญของพืชในสิ่งแวดล้อมและในน้ำจุลินทรีย์ไม่สามารถใช้กาซไนโตรเจนได้โดยตรงจนกว่าจะมีการเปลี่ยนแปลงเป็นแอมโมเนีย เพราะกาซไนโตรเจนมีความเสถียรสูง เว้นในภาวะที่มีกระแสไฟฟ้า อุณหภูมิ และความดันสูง ๆ (Barnes and Bliss, 1983)

จุลินทรีย์มีบทบาทสำคัญในวัฏจักรของไนโตรเจน ดังรูปที่ 1 จุลินทรีย์บทบาทในกระบวนการไนโตรเจนฟิกเซชัน (Nitrogen fixation) แอสซิมิเลชัน (Assimilation) มิเนอรัลไลเซชัน (Mineralization) ไนตริฟิเคชัน (Nitrification) และดีไนตริฟิเคชัน (Denitrification) (Barnes and Bliss, 1983) กระบวนการต่าง ๆ อธิบายโดยสรุปดังนี้



รูปที่ 1 วัฏจักรไนโตรเจน ที่มา : Barnes และ Bliss, 1983

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

1. ไนโตรเจนฟิกเซชัน (Nitrogen Fixation)

เกิดขึ้นโดยแบคทีเรียและไซยาโนแบคทีเรีย (Bluegreen algae) บางชนิดสามารถเปลี่ยนไนโตรเจนเป็นแอมโมเนียได้ ปริมาณการเปลี่ยนแปลงกาซไนโตรเจนเป็นแอมโมเนียบนผิวโลกมีประมาณ $2x10^8$ เมตริกตันไนโตรเจนต่อปี

2. ไนโตรเจนแอสซิมิเลชัน (Nitrogen Assimilation)

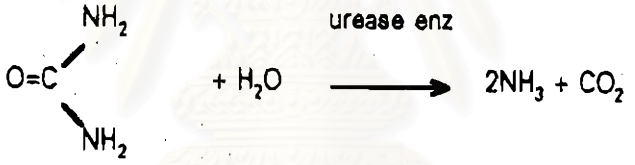
จุลินทรีย์พวกออโตโทรปและเฮเทโรโทรปสามารถใช้แอมโมเนีย (NH_4^+) และไนเตรต (NO_3^-) เป็นสารตั้งต้นเพื่อเปลี่ยนแปลงเป็นโปรตีน

3. ไนโตรเจนมิเนอรัลไลเซชันหรือแอมโมนิฟิเคชัน (Mineralization)

กระบวนการเปลี่ยนแปลงสารอินทรีย์ไนโตรเจนเป็นสารอนินทรีย์ไนโตรเจน เกิดจากจุลินทรีย์หลายประเภท (แบคทีเรีย แอคทิโนมัยซิส และรา) แต่มีสารอินทรีย์บางชนิดไม่ถูกย่อยสลาย เพราะมีการรวมตัวกับสารพวกฟีนอลและโพลีฟีนอล

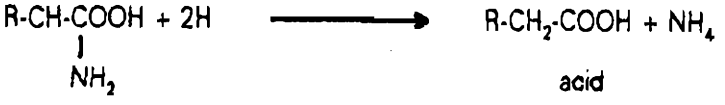
โปรตีนผ่านกระบวนการมิเนอรัลไลซันเป็นแอมโมเนีย (NH_4^+) โดยผ่านกระบวนการ

โปรตีน → กรดอะมิโน → NH_4 ตัวอย่าง เช่น ยูเรีย → แอมโมเนีย :



Oxidation Deamination

Reductive Deamination



แอมโมเนียมอิออน (NH_4^+) เป็นรูปที่มีมากในน้ำทะเลที่มีความเป็นกรดหรือกลาง เมื่อพีเอชเพิ่มขึ้นรูปอันไอออไนซ์ (NH_3) จะมีมากขึ้นตามสมการ

$$NH_4^+ \longrightarrow NH_3+H^+$$

4. ไนตริฟิเคชัน

เป็นการเปลี่ยนแปลงแอมโมเนียเป็นไนเตรต โดยจุลินทรีย์ 2 ประเภท คือ จุลินทรีย์จำพวกไนโตรโซโมแนส (Nitrosomonas) เปลี่ยนแอมโมเนียเป็นไนไตรท์ และจุลินทรีย์ไนโตรแบคเตอร์ (Nitrobacter) เปลี่ยนไนไตรท์เป็นไนเตรต

Nishio, Koike และ Hottori (1982) ได้ศึกษาถึงกระบวนการในระบบของธรรมชาติ พบว่า 27-57% ของไนเตรตที่ได้จากกระบวนการไนตริฟิเคชัน (Nitrification) ของตะกอน จะถูกใช้โดยกระบวนการดีไนตริฟิเคชัน (Denitrification) เพื่อให้เกิดสมดุลย์และแพร่สู่น้ำส่วนบนและสู่อากาศ กระบวนการดีไนตริฟิเคชัน (Denitrification) สามารถเปลี่ยนไนเตรตกลับเป็นแอมโมเนียได้ แต่เกิดในอัตราส่วนที่น้อยมากเมื่อเทียบกับสารประกอบไนโตรเจนในรูปอื่นๆ ขณะเดียวกันไนโตรเจนสามารถสูญเสียออกจากระบบโดยบางกระบวนการ เช่นการระเหยจากน้ำสู่บรรยากาศในช่วงเวลาที่พีเอชสูงขึ้น เมื่อมีการให้อากาศในน้ำอย่างแรง (Reeves, 1972)

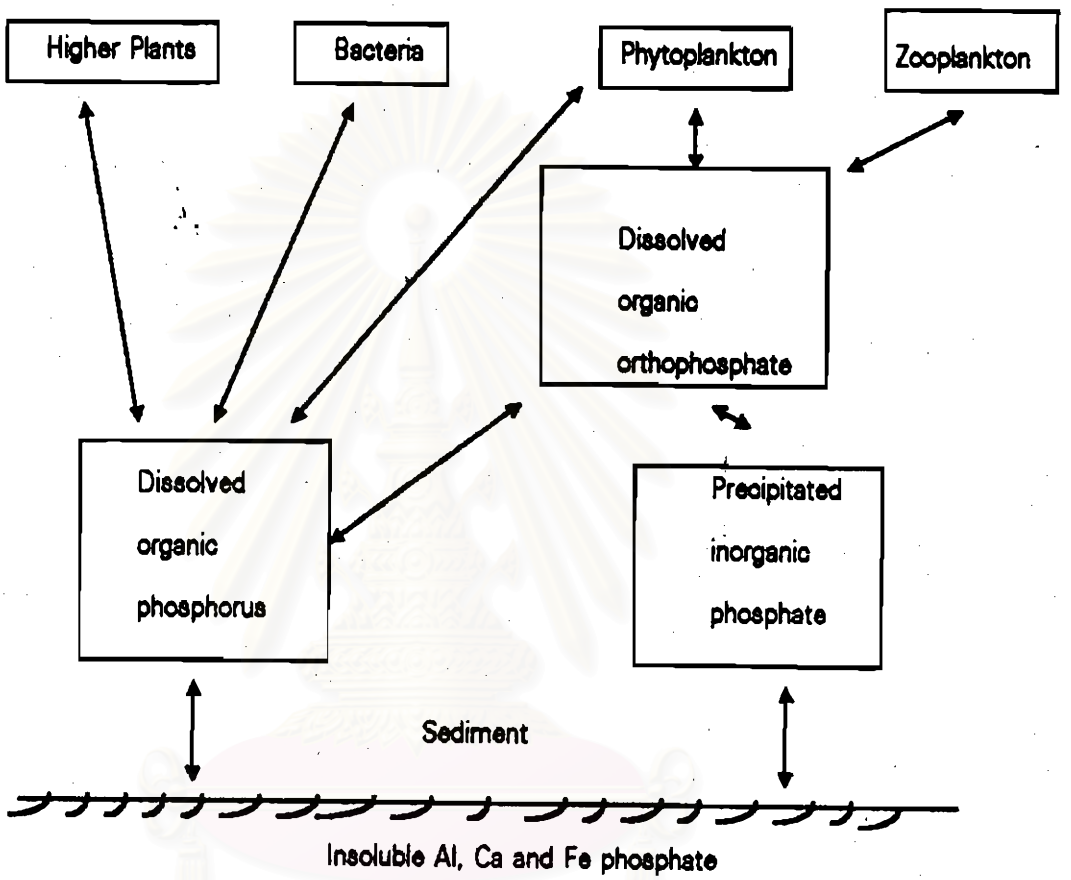
สำหรับน้ำทะเลกระบวนการไนตริฟิเคชัน (Nitrification) การเปลี่ยนแปลงแอมโมเนียเป็นไนไตรท์ และไนเตรต ไม่ทำให้ผลรวมไนโตรเจนในระบบเปลี่ยนแปลงมากนัก แต่การเกิดดีไนตริฟิเคชัน (Denitrification) ทำให้เกิดกาซไนโตรเจนสู่สมดุลย์ในบรรยากาศ และเกิดการสร้างกาซ N_2O เป็นกระบวนการที่สำคัญทำให้ระบบสูญเสียไนโตรเจนมากกว่า (Seitzinger, Nixon and Pilson, 1984 ; Nishio, Koike and Hottori, 1983)

วัฏจักรฟอสฟอรัส

ฟอสฟอรัสเป็นธาตุที่มีความสำคัญและจำเป็นต่อสิ่งมีชีวิต เป็นส่วนประกอบสำคัญของอะดีนอซีนไตรฟอสเฟต (Adenosine triphosphate, ATP) กรดนิวคลีอิก (DNA,RNA) และเป็นส่วนประกอบของฟอสโฟไลปิดในส่วนผนังเซลล์ ฟอสฟอรัสถูกเก็บในรูปโพลีฟอสเฟตในแกรนูลของสัตว์ยูคาริโอทและโปรคาริโอท เป็นธาตุที่จำเป็นต่อการเจริญของสาหร่าย ค่าเฉลี่ยของฟอสฟอรัสในน้ำไม่เกิน 10-20 มก./ลิตร วงจรของฟอสฟอรัสแสดงดังรูปที่ 2 ซึ่งมีกระบวนการเปลี่ยนแปลงดังนี้

1. มิเนอรัลไลเซชัน (Mineralization)

สารประกอบอินทรีย์ฟอสฟอรัส เช่น ไฟติน อินออซิทอลฟอสฟอรัส กรดนิวคลีอิก



รูปที่ 2 การถ่ายทอดฟอสฟอรัสในน้ำ ที่มา : Bitton, 1994

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ฟอสโฟไลปิด ถูกย่อยสลายเป็นออร์โธฟอสเฟตโดยจุลินทรีย์หลายชนิด รวมทั้งแบคทีเรีย (*Bacillus subtilis, Arthrobacter*) แอคทิโนมัยซิทิส (*Streptomyces*) และรา (*Aspergillus, Penniclium*) โดยเอนไซม์ฟอสฟาเทส

2. กระบวนการแอสซิมิเลชัน (Assimilation)

จุลินทรีย์สามารถดูดซับและจับกับฟอสฟอรัส โดยการสะสมในส่วนประกอบของโมเลกุลขนาดใหญ่ในเซลล์ จุลินทรีย์บางชนิดเก็บฟอสเฟตในรูปโพลีฟอสเฟตในแกรนูลพิเศษ

3. การตกตะกอนของฟอสฟอรัส (Precipitation)

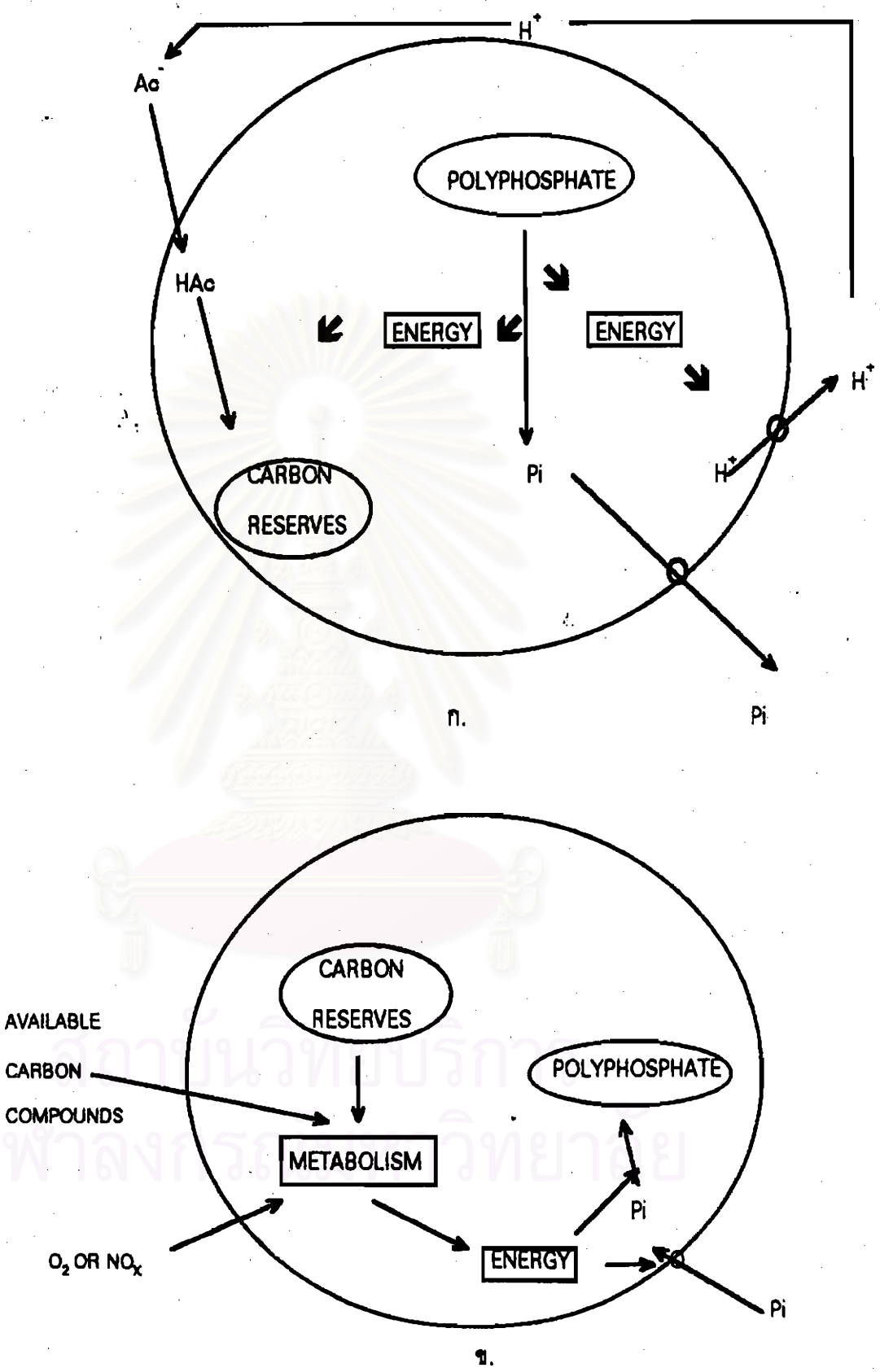
การสลายตัวของออร์โธฟอสเฟตโดยการตกตะกอนในน้ำ ขึ้นอยู่กับพีเอชของน้ำ และปริมาณแคทไอออนบางชนิด เช่น Ca^{2+}, Mg^{2+}, Fe^{3+} และ Al^{3+} เมื่อออร์โธฟอสเฟตเกิดปฏิกิริยากับแคทไอออนได้รูปที่ไม่ละลายน้ำ เช่น ไฮดรอกซีอะพาไทท์ (Hydroxyapatite) $(Ca_{10}(PO_4)_6(OH)_2)$, วิเวียไนท์ (Vivianite) $(Fe_3(PO_4)_2.8H_2O)$ หรือ เวริสไซท์ (Variscite) $(AlPO_4.2H_2O)$

4. จุลินทรีย์เปลี่ยนแปลงฟอสฟอรัสจากรูปไม่ละลายน้ำ (Solubilization)

กระบวนการเผาผลาญพลังงานของจุลินทรีย์ ทำให้เกิดการเปลี่ยนสารประกอบฟอสฟอรัสที่ไม่ละลายน้ำให้เป็นรูปที่ละลายน้ำ โดยอาศัยเอนไซม์ หรือโดยการสร้างกรดอินทรีย์และกรดอนินทรีย์ เช่น กรดซัคซินิค กรดออกซาลิค กรดไนตริกและกรดซัลฟุริก เป็นต้น หรือการสร้างคาร์บอนไดออกไซด์ทำให้พีเอชต่ำลง การสร้างไฮโดรเจนซัลไฟด์ ที่สามารถทำปฏิกิริยากับไอออนฟอสเฟตได้ออร์โธฟอสเฟตในที่สุด และการสร้างคีเลตทั้งหลาย ที่สามารถรวมตัวกับแคลเซียม อะลูมิเนียม และเหล็กได้

แบบจำลองทางชีวเคมีอธิบายการกำจัดฟอสฟอรัสในการกำจัดตะกอนแบบเร่ง (Comeau et al., 1986; Wentzel et al., 1986) ดังรูปที่ 3 ในภาวะไม่มีอากาศแบคทีเรียใช้พลังงานจากการสลายโพลีฟอสเฟตเพื่อการจับสารคาร์บอนตั้งต้น ซึ่งสารตั้งต้นจะอยู่ในรูปโพลีเบตาไฮดรอกซีบิวทีเรต (poly-β-hydroxybutylate, PHB) และทำให้เกิดการควบคุมระดับพีเอชระหว่างผนังของไซโตพลาสมิค ปรากฏการณ์นี้ทำให้เกิดการปลดปล่อยสารอนินทรีย์ฟอสฟอรัส

สารอินทรีย์ทั่วไป เช่น อะซีเตตถูกใช้โดยจุลินทรีย์และเปลี่ยนแปลงเป็นรูป PHB ทำหน้าที่เป็นแหล่งคาร์บอนในช่วงที่มีอากาศต่อไป อะซีเตตถูกเปลี่ยนเป็นอะเซทิลโคเอ (Acetyl CoA) ปฏิกิริยาเกิดขึ้นโดยอาศัยพลังงานจากการไฮโดรไลซ์โพลีฟอสเฟตภายในเซลล์ อาทิ NADH (Arun, Mino and Matsuo, 1988) วัฏจักรที่ไม่มีอากาศจุลินทรีย์ทำให้เกิดการหมัก (Brodisch and Joyner, 1983 ; Meganck et al., 1984) *Aeromonas* สร้างกรดไขมันชนิดระเหยเป็นไอ (Volatile fatty acid) เช่น อะซีเตตถูกเก็บในรูป PHB (Meganck and Faup, 1988)



รูปที่ 3 แบบจำลองทางชีวเคมีของการกำจัดฟอสฟอรัสใน activated sludge

ก. ภาวะไม่มีอากาศ ข. ภาวะมีอากาศ ที่มา : Comesu et al., 1986

ปริมาณคาร์บอนที่สะสมในภาวะไม่มีอากาศสามารถชักนำให้เกิดได้โดยการเติมแหล่งคาร์บอนง่ายๆ หรือโดยลดตัวรับอิเล็กตรอน (ออกซิเจน ,ไนตรัสออกไซด์) ให้มีน้อยที่สุด (Comeau et al., 1987)

การย่อยสลายพวกคาร์บอนสายสั้นๆ เช่น กรดบิวทิริก กรดไอโซบิวทิริก เอธานอล กรดอะซีติก เมธานอล และโซเดียมอะซีเตต ทำให้เกิดการกำจัดฟอสฟอรัสได้ (Abu-Ghararah and Randall, 1990 ; Jones, Tadwalker and Hsu, 1987)

ในภาวะมีอากาศดังแสดงในรูป 3 ข พลังงานจากการเผาผลาญ PHB หรือจากแหล่งคาร์บอนภายนอก ทำให้เกิดการสะสมโพลีฟอสเฟต สารพิษ เช่น 2,4-ไดไนโตรฟีนอล และกรดไฮโดรเจนซัลไฟด์ มีผลขัดขวางการสะสมฟอสฟอรัสภายในเซลล์จุลินทรีย์ (Comean et al., 1987) ได้การศึกษาแยกโพลีฟอสเฟตภายในเซลล์กับออร์โธฟอสเฟตภายนอกเซลล์ ทำให้ทราบว่ารูปที่มีมากของฟอสฟอรัสในการกำจัดตะกอนแบบเร่งโดยชีววิธี คือรูปโพลีฟอสเฟต

กระบวนการกำจัดฟอสเฟตทางเคมีและชีวภาพในการกำจัดน้ำเสีย (Arvin, 1985)

1. การตกตะกอนด้วยวิธีทางเคมี เกิดขึ้นโดยการปรับพีเอชและปริมาณแคทไอออน เช่น แคลเซียม เหล็ก และอะลูมิเนียม

2. การกำจัดฟอสฟอรัสในน้ำโดยจุลินทรีย์บำบัดน้ำ

3. กาใช้จุลินทรีย์ร่วมกับการตกตะกอนด้วยวิธีทางเคมี

4. การสะสมในรูปโพลีฟอสเฟตโดยจุลินทรีย์

นอกจากการกำจัดฟอสฟอรัสโดยวิธีทางเคมี วิธีทางชีวภาพก็สามารถกำจัดฟอสฟอรัสในน้ำได้เช่นกัน จุลินทรีย์มีบทบาทในการเก็บสะสมและปลดปล่อยฟอสฟอรัสในระบบการกำจัดตะกอนแบบเร่ง (Shapiro, 1967) กลไกในการกำจัดฟอสฟอรัสทางชีววิธีในการบำบัดน้ำเสียมีดังนี้

1. จุลินทรีย์มีบทบาทร่วมในการตกตะกอนทางเคมี

กระบวนการบำบัดตะกอนแบบเร่ง ส่วนถังที่มีการให้อากาศ จุลินทรีย์มีการเจริญได้ดีในส่วนบนของถังทำให้ค่าพีเอชมีค่าต่ำ ทำให้ฟอสเฟตอยู่ในรูปที่ละลาย ในส่วนก้นถังกระบวนการทางชีววิทยาที่เกิดขึ้นทำให้มีค่าพีเอชสูง ทำให้ฟอสเฟตตกตะกอนและรวมตัวกับกลุ่มตะกอน (Menard and Jenkins, 1970)

การตกตะกอนฟอสฟอรัสโดยชีววิธียังเกิดได้ในส่วนที่เกิดการดีไนตริไฟอิง (Denitrifying) ในส่วนนี้จะมีค่าเป็นด่าง ทำให้เกิดการตกตะกอนของแคลเซียมฟอสเฟต (Arvin, 1985)

การตกตะกอนของฟอสฟอรัสสามารถชักนำให้เกิดได้โดยการเพิ่มความเข้มข้นของฟอสฟอรัส โดยการปลดปล่อยจากแหล่งสะสมรูปโพลีฟอสเฟต ภายใต้ภาวะที่ไม่มีอากาศได้

2. จุลินทรีย์มีบทบาทในการสะสมฟอสฟอรัสภายในเซลล์

การกำจัดฟอสฟอรัสในกระบวนการบำบัดตะกอนแบบเร่งเกิดจากการทำงานของจุลินทรีย์ (Toerien et al., 1990) จุลินทรีย์บางชนิด เช่น *Acinetobacter, Pseudomonas, Aerobacter, Moraxella, E. coli, Mycobacyerium* และ *Beggiatoa* จัดเป็นโพลีพีแบคทีเรีย สามารถสะสมฟอสฟอรัสในปริมาณที่เกินกว่าเซลล์ต้องการประมาณ 1-3% น้ำหนักเซลล์แห้ง ฟอสฟอรัสถูกเก็บในแกรนูลพิเศษ เช่น โวลูทินแกรนูล (Volutin granules) เมื่อส่องดูด้วยกล้องจุลทรรศน์จะเห็นได้ชัดเจน โดยการย้อมด้วยวิธี Neisser's (Meganck and Faup, 1988) และสามารถตรวจหาแกรนูลของโพลีฟอสเฟตในจุลินทรีย์ในการบำบัดน้ำเสียได้ด้วยวิธีเอ็นเอ็มอาร์ (Fiorentz and Granger, 1983 ; Suresh et al., 1984) โพลีฟอสเฟตทำหน้าที่เป็นแหล่งฟอสฟอรัสและแหล่งพลังงานให้กับจุลินทรีย์

เอนไซม์โพลีฟอสเฟตไคเนสเป็นตัวเร่งในการสังเคราะห์โพลีฟอสเฟต มีแมกนีเซียมไอออนร่วมในปฏิกิริยา โดยการขนถ่ายกลุ่มฟอสฟอรัสที่ปลาย ATP ไปให้สายโพลีฟอสเฟต การสลายโพลีฟอสเฟตเกิดจากเอนไซม์หลายชนิด ดังสมการ

$$\text{Polyphosphate}_n + \text{AMP} \xrightarrow[\text{(polyphosphate)}_{n-1} + \text{ADP}]{\text{polyphosphate AMP phosphotransferase}} 2\ \text{ADP} \xleftrightarrow{\text{adenylate kinase}} \text{ATP} + \text{AMP}$$

แบคทีเรียสะสมโพลีฟอสเฟตที่ต้องการอากาศ เช่น *Acinetobacter* เก็บฟอสฟอรัสในภาวะมีอากาศ สะสมภายในโมเลกุล และปลดปล่อยออกในภาวะไม่มีอากาศ (Fuhs and Chen, 1975)

การบำบัดตะกอนแบบเร่ง สารอนินทรีย์ฟอสเฟตถูกปลดปล่อยในภาวะไม่มีอากาสและถูกสะสมโดยจุลินทรีย์ในภาวะมีอากาศ (Barnard, 1975)

จากการศึกษาถึงชนิดและจำนวนของแบคทีเรียในระบบบำบัดตะกอนแบบเร่ง พบแบคทีเรีย *Acinetobacter* spp. ในระบบ (Hiraishi, Masamune and Kitamura, 1989) และมีการตรวจพบ *Acinetobacter* spp. เป็นจุลินทรีย์เด่นในระบบบำบัดน้ำที่มีสารอินทรีย์ต่ำ (Auling, 1991) จากการศึกษาด้วยกล้องจุลทรรศน์ (Transmission electron microscopy) แสดงให้เห็นว่าชนิดแบคทีเรียที่มีการสะสมฟอสเฟตขึ้นกับส่วนประกอบของน้ำเสียและกระบวนการที่ใช้ในการ

หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

กำจัดฟอสฟอรัส (Streichan, Golecki and Schon, 1990)

บทบาทของจุลินทรีย์ในการย่อยสลายสารอินทรีย์

การวิเคราะห์หาปริมาณสารอินทรีย์ในน้ำสามารถวัดได้จากค่าซีโอดี (COD) ค่าซีโอดีหาได้จากการวัดปริมาณออกซิเจนทั้งหมดที่ใช้ในการออกซิไดซ์สารอินทรีย์ของน้ำเสียเพื่อให้เกิดคาร์บอนไดออกไซด์และน้ำ กรดอะมิโนถูกเปลี่ยนเป็นแอมโมเนียไนโตรเจนโดยมีออกซิไดซิงเอเจนท์อย่างแรง ภายใต้ภาวะที่เป็นกรดความเข้มข้นสูงและมีอุณหภูมิสูง

แบคทีเรียมีความสำคัญในกระบวนการเผาผลาญพลังงานของระบบนิเวศน์ในน้ำ (Valiela, 1995) มีบทบาทในการใช้คาร์บอน 40-60% ของคาร์บอนทั้งหมดที่ผู้ผลิตสร้างในข่ายใยอาหาร (Cole, Findlay and Pace, 1988) การเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำและในระบบนิเวศน์ในน้ำแบคทีเรียมีบทบาทในการย่อยสลายสารอินทรีย์และการหมุนเวียนสารอาหาร ทำหน้าที่เป็นตัวเชื่อมระหว่างสิ่งมีชีวิตในส่วนก้นบ่อกับตัวกุ้ง (Moriarty, 1986) เมื่อมีการทิ้งตะกอนของเสียจากการเลี้ยงกุ้ง ทำให้น้ำที่ปล่อยออกไปรวมกับน้ำในธรรมชาติมีค่า BOD สูงขึ้น ธาตุอาหารในน้ำมีมากขึ้น (Boyd, 1990)

แบคทีเรียใช้สารอินทรีย์เป็นแหล่งคาร์บอน ซึ่งได้จากแหล่งต่าง ๆ เช่น สารประกอบอินทรีย์รูปละลายน้ำที่ได้จากสิ่งมีชีวิตต่างๆ คาร์บอนจากแหล่งนี้ยังไม่ถึงครึ่งหนึ่งที่แบคทีเรียต้องใช้ในการเจริญ (Baines and Pace, 1991) สารอินทรีย์ส่วนใหญ่แบคทีเรียได้จากการขับเอนไซม์ออกมาย่อยและอีกส่วนหนึ่งได้จากสิ่งมีชีวิตประเภทแฟลเจลเลท ไดอะตอม และไดโนแฟลกเจลเลท (Imai, Ishida and Hata, 1993) แบคทีเรียต้องการทั้งธาตุอาหารและสารอินทรีย์ในการเจริญ (Ducklow and Carlson, 1992)

AQUACOP (1984) รายงานว่าในบ่อที่มีการให้อากาศ มีชีวมวลมากกว่า 0.2 กก./ตร.ม. อาหารในระบบประกอบด้วยแบคทีเรีย แพลงค์ตอนพืช แพลงค์ตอนสัตว์ ซึ่งสามารถเป็นอาหารให้แก่กุ้งได้ และ Moriarty (1976) พบแบคทีเรียถึง 20-35% ของสารอินทรีย์คาร์บอนในบ่อ และยังพบแบคทีเรียนี้ในส่วนทำหน้าที่ย่อยอาหารของกุ้ง แสดงว่ากุ้งสามารถเปลี่ยนอาหารโดยตรงจากแบคทีเรีย ดังนั้นการเพิ่มแบคทีเรียมีความสำคัญในการจัดการบ่อกุ้ง

Kodata,Yoshida and Mitsuhashi (1983) ได้ศึกษาการบำบัดน้ำในทะเลสาบโดยใช้เทคนิค intermittent aeration ประกอบด้วยแบคทีเรียหลายชนิด อาทิ แบคทีเรียที่ย่อยสลายสารอินทรีย์ ไนตริฟิเคชัน (Nitrification) และดีไนตริฟิเคชัน (Denitrification) มีทั้งส่วนให้อากาศและ

ไม่ให้อากาศ สามารถกำจัดไนโตรเจนในน้ำได้ถึง 95-98% และลดปริมาณสารอินทรีย์ได้ดี โดยวัดจากค่าซีโอดีและบีโอดี และผลการให้อากาศแบบเป็นระยะบำบัดน้ำได้ดีกว่าการให้อากาศตลอดเวลา

การย่อยสลายสารอินทรีย์ในสภาพมีและไม่มีอากาศที่ก้นบ่อกุ้งเกิดได้ไม่ดีหรือไม่สมบูรณ์ เช่นเดียวกับในบ่อเลี้ยงปลามีการใช้และหมุนเวียนของสารอินทรีย์จำกัด เพราะการเกิดตะกอนที่มีสะสมในปริมาณมาก ในภาวะไม่มีอากาศ (Avnimelech et al., 1987) ในบ่อปลาที่มีอากาศหมุนเวียนเพียงพอมีปริมาณแบคทีเรียสูงกว่าในภาวะที่ไม่มีอากาศถึง 10 เท่า ทั้งนี้การย่อยสลายในภาวะมีอากาศเกิดได้รวดเร็วกว่าในภาวะไร้อากาศ (Blackburn, 1987)

แบคทีเรีย *Bacillus* spp.

Bacillus spp. มีรูปร่างเป็นท่อน พบได้ทั่วไปในดิน น้ำ และอากาศ เพราะมีการ สร้างสปอร์ซึ่งมีสมบัติทนทานต่อสภาวะแวดล้อมที่ไม่เหมาะสม ความร้อนสูง ความแห้งแล้ง สารฆ่าเชื้อ ได้ดีกว่า vegetative cell สามารถมีชีวิตอยู่ได้นานนับสิบปี มีทั้งแบบต้องการอากาศ และบางชนิดสามารถเจริญได้ในภาวะมีอากาศเพียงเล็กน้อย (Willium O' leary, 1989) *Bacillus* บางชนิดสามารถตรึงไนโตรเจนจากอากาศได้ เช่น *B. polymyxa Bacillus* ส่วนใหญ่เจริญได้ดีในช่วงพีเอชเป็นกลาง แต่มีบางชนิดที่ชอบพีเอชที่สูงหรือต่ำกว่า สามารถเจริญได้ในอุณหภูมิต่างๆ พวกเทอร์โมไฟล์ เจริญได้ในช่วงอุณหภูมิ 45 ° - 75 ° C พวกไซโครไฟล์ เจริญได้ในช่วงอุณหภูมิ -5 ° - 25 ° C ในน้ำทะเลพบแบคทีเรียบาซิลลัสมากกว่า 20% ของจุลินทรีย์จำพวก heterotrophic flora โดยพบมากในบริเวณใกล้ฝั่งและลดลงเมื่อห่างฝั่งออกไป บาซิลลัสที่พบมากได้แก่ *B. lichenniformis* , *B. subtilis* และ *B. pumilis* ตามลำดับ ในดินตะกอนจะพบแบคทีเรียมากกว่าในน้ำทะเล (Austin, 1988) ตารางที่ 1 แสดงการเปรียบเทียบสมบัติบางประการของ *B. subtilis* , *B. Megaterium* และ *B. firmus*

จุลินทรีย์ย่อยสลายอินทรีย์ต่าง ๆ โดยการสร้างเอนไซม์ซึ่งจะขับออกภายนอกเซลล์ (Extracellular enzyme) เพื่อย่อยสลายสารต่าง ๆ เอนไซม์ที่สำคัญได้แก่ โปรติเอส อะไมเลส และไลเปส

<u>โปรติเอส (Protease)</u>

เป็นเอนไซม์ที่เร่งปฏิกิริยาการย่อยสลายโปรตีนซึ่งโมเลกุลใหญ่ให้เป็นเปปไทด์และกรดอะมิโน จากนั้นกรดอะมิโนจะถูกย่อยสลายต่อไปเป็น เอมีน กรดคีโต แอมโมเนีย และคาร์บอนไดออกไซด์ แบ่งเอนไซม์ที่ได้จากจุลินทรีย์ (Keay, 1971) เป็น 3 ประเภทคือ

1. แอซิดโปรติเอส (Acid protease) เร่งปฏิกิริยาได้ดีในช่วงพีเอช 2-5 ส่วนใหญ่ได้จากเชื้อรา ยีสต์

2. อัลคาไลน์โปรติเอส (Alkaline protease) เร่งปฏิกิริยาได้ดีในช่วงพีเอช 7-11 พบได้ในแบคทีเรีย ยีสต์ และรา มีสมบัติคล้ายเอนไซม์ทริปซิน และไคโมทริปซินในสัตว์ น้ำหนักโมเลกุลประมาณ 15,000-30,000 พบมากในแบคทีเรียสกุลบาซิลลัส

3. นิวทรัลโปรติเอส (Neutral protease) เร่งปฏิกิริยาได้ดีในช่วงพีเอชเป็นกลาง พบได้ในแบคทีเรียและรา แบคทีเรีย *B. polymyxa* , *B. megaterium* , *B. cereus* และ *B. thermoproteolyticus* มีการสร้างเอนไซม์นิวทรัลโปรติเอสอย่างเดียว แต่ *B. subtilis* พบได้ทั้งนิวทรัลโปรติเอสและอัลคาไลน์โปรติเอส (อุดมลักษณ์ ธิติรักษ์พานิชย์, 2534)

<u>อะไมเลส (Amylase)</u>

เป็นกลุ่มเอนไซม์ที่ย่อยสลายพันธะแอลฟา 1,4 กลูโคซิดิก (α-1,4-glucosidic linkage) ของโพลีแซคคาไรด์ เช่น แป้ง ไกลโคเจน หรือโอลิโกแซคคาไรด์ สามารถแบ่งได้ 2 ประเภทคือ เอกโซอะไมเลส (Exoamylase) และเอนโดอะไมเลส (Endoamylase)

<u>ไลเปส (Lipase) หรือ กลีเซอรอลเทอร์ไฮโดรเลส (Glycerol ester hydrolase) หรือ เอซิลกลีเซอรอลไฮโดรเลส (Acylglycerol hydrolase)</u>

เป็นเอนไซม์ที่เร่งปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสโมเลกุลของไตรกลีเซอไรด์ได้กลีเซอรอล กรดไขมัน และ partial glycerides

ไลเปสที่สร้างโดยจุลินทรีย์มีหลายชนิด จุลินทรีย์บางพวกผลิตอัลคาไลน์ไลเปส (Alkaline lipase) (Kokusho, Machida and Iwasaki, 1982) บางพวกผลิตนิวทรัลไลเปส (Neutral lipase) เช่น *Chromobacterium* sp. (Yamaguchi et al., 1973)

ภาวะแวดล้อมมีผลโดยตรงต่อการเจริญของจุลินทรีย์ ถ้าระดับพีเอช อุณหภูมิ ความเค็ม ตลอดจนสารเคมีผลขัดขวางการเจริญของจุลินทรีย์หรือไม่สามารถย่อยสลายสารอินทรีย์ได้ อาจทำให้จุลินทรีย์ตายได้ (Pahm and Alexander, 1993) การมีปริมาณสารอินทรีย์มากหรือน้อยเกินไป ก็มีผลให้การเจริญหยุดชะงักได้เช่นเดียวกัน (Jannasch, 1967 ; Van der Meer, et al., 1987)

ตารางที่ 2 เปรียบเทียบสมบัติต่าง ๆ ของ *Bacillus* species (Sneath et al., 1987)

Property	*B.subtilis*	*B. firmus*	*B. megaterium*
Rods			
width (μm)	0.7-0.8	0.6-0.9	1.2-1.5
length (μm)	2-3	1.2-4	2-5
Gram reaction	+	+	+
Unstrained globules in protoplasm	-	-	+
Spores			
ellipsoidal or cylindrical	+	+	+
central or paracentral	+	v	+
subterminal or terminal	-	v	n
swelling the sporangium	-	-	-
Motility	+	a	a
Catalase	+	+	+
Anaerobic growth	-	-	-
V-P reaction	+	-	-
pH in V-P broth	5.4-8.0	6.0-6.8	4.5-6.8
Temperature of growth, °C			
maximum	45-55	40-45	35-45
minimum [a]	5-20	5-20	3-20
Egg york reaction	-	-	-
Growth in			
0.001% lysozyme	b	-	-
media at pH 5.7	+	-	+
7% NaCl	+	+	+

ตารางที่ ๒ (ต่อ) เปรียบเทียบสมบัติต่าง ๆ ของ *Bacillus* species (Sneath et al., 1987)

Property	*B.subtilis*	*B. firmus*	*B. megaterium*
ammonia glucose medium	nd	nd	+
Acid from			
glucose	+	+	+
arabinose	+	b	a
xylose	+	b	a
mannitol	+	+	+
Hydrolysis of starch	+	+	+
Use of citrate	+	-	+
Reduction of NO_3 to NO_2	+	+	b
Decomposition of			
casein	+	+	+
tyrosine	-	b	a

[a] The lowest temperature tested was 3° C.

Symbol code : + = 85 to 100% of the strains positive ; a = 50 to 84% of the strains positive ; b = 15 to 49% of the strains positive ; - = 0 to 14% of the strains positive ; v = character inconstant nd=not done

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย