บทที่ 2
วารสารปริทัศน์

ลักษณะของกุ้งทะเล

ลักษณะโดยทั่วไปของกุ้งทะเลจะมีลำตัวเป็นข้อปล้อง มีทั้งหมด 19 ปล้อง แต่ละปล้องมีระยางค์อยู่หนึ่งคู่ แต่ละคู่มีหน้าที่แตกต่างกันไป ลำตัวกุ้งแบ่งออกเป็นสามส่วนใหญ่ๆ คือ หัว (head) อก (thorax) และส่วนท้อง (abdomen) ส่วนหัวมีห้าปล้อง แต่จะมีเปลือกหุ้มรวมเป็นปล้องเดียวกัน (cephalic segments) ที่ปล้องแรกหน้าสุดของเปลือกหุ้มจะมีฟันแหลมยื่นออกมาที่เรียกว่า กรี ที่ใต้กรีจะมีตาหนึ่งคู่ ระยางค์สองคู่แรกเป็นหนวดใช้ในการสัมผัส มีปากอยู่ระหว่าง ระยางค์คู่ที่สามกับคู่ที่สี่และห้า ซึ่งเป็นขากรรไกรบนและล่าง ทำหน้าที่ในการบดเคี้ยวอาหาร

ส่วนอกนั้นมีแปดปล้อง ได้แก่ ระยางค์คู่ที่ 6-13 ระยางค์คู่ที่ 6, 7 และ 8 มีหน้าที่ช่วยในการกินอาหาร ระยางค์คู่ที่ 9, 10 และ 11 มีลักษณะเป็นก้าม ก้ามแต่ละคู่มีขนาดและความยาวใกล้เคียงกัน ทำหน้าที่ในการจับอาหารเข้าปาก และป้องกันอันตรายต่างๆ ส่วนระยางค์คู่ที่ 12 และ 13 เป็นขาเดิน (pereiopods) ที่ใช้ในการเคลื่อนไหวและทำความสะอาดตัว

ส่วนลำตัวหรือท้องมีหกปล้อง เปลือกปล้องที่สองไม่ทับปล้องแรก ระยางค์คู่ที่ 14, 15 16 17 และ 18 เป็นขามีลักษณะคล้ายใบพาย (pleopods) ทำหน้าที่ช่วยในการว่ายน้ำ ส่วนระยางค์ที่ 19 เป็นหาง ซึ่งประกอบด้วยแพนหางและหางรูปพัด เคลื่อนขึ้นลงได้ (ประจวบ หลำอุบล, 2532)

กุ้งทะเลที่มีค่าทางเศรษฐกิจ และพบในประเทศไทยได้แก่ กุ้งกุลาดำ (*Penaeus monodon*) กุ้งแชบ๊วย (*Penaeus merguiensis*) กุ้งกุลาลาย (*Penaeus semisulcatus*) กุ้งเหลืองหางฟ้า (*Penaeus latisulcatus*) และกุ้งตะกาด (*Metapenaeus mutatus*)

กุ้งทะเลกำลังเป็นที่นิยมเลี้ยงกันอย่างกว้างขวางในปัจจุบัน โดยเฉพาะอย่างยิ่งการเพาะเลี้ยงกุ้งกุลาดำ เพราะมีการเจริญเติบโตเร็ว ทนทานต่อสภาวะแวดล้อมได้ดี และเป็นที่ต้องการของตลาดทั้งภายในและภายนอกประเทศ

กุ้งกุลาดำ (*Penaeus monodon* Fabricius)

มีชื่อเรียกทั่วไปว่า grass shrimp หรือ giant tiger prawn ในขณะที่มีชีวิตอยู่ลำตัวจะสีม่วงแดงมีแถบสีดำหรือสีน้ำตาลพาดขวางเป็นปล้องๆ โคนขาว่ายน้ำมีแถบสีเหลืองสลับ หนวดสีเข้มไม่มีลาย เปลือกหุ้มหัวเกลี้ยงไม่มีขน ฟันกรีด้านบนมี 6-9 ซี่ (ปรกติพบ 7 ซี่) และด้านล่างมี 2-4 ซี่ (ปรกติพบ 3 ซี่) (ประจวบ หลำอุบล, 2532)

วงจรชีวิตของกุ้งกุลาดำ

วงจรชีวิตของกุ้งกุลาดำเริ่มจากไข่โดยกุ้งที่มีอายุประมาณ 18-24 เดือนจะวางไข่ในทะเลน้ำลึกประมาณ 20-70 เมตรใกล้กับพื้นท้องทะเล หลังจากนั้นไข่ที่ได้รับการผสมจะฟักเป็นตัวอ่อน กุ้งวัยอ่อนจะถูกกระแสน้ำพัดเข้าหาฝั่งและเมื่อถึงฝั่งก็จะเลี้ยงตัวอยู่ในบริเวณนั้นจนเติบโตเป็นกุ้งวัยรุ่นจึงอพยพลงสู่ทะเลลึกต่อไป (วัลลภ คงเพิ่มพูน, 2532)

วิวัฒนาการของกุ้งกุลาดำ

กุ้งกุลาดำมีวิวัฒนาการเป็น 5 ระยะ (Motoh, 1980) คือระยะแรกเป็นระยะวัยอ่อนในไข่ (embryo) เริ่มตั้งแต่ไข่ที่ได้รับการผสม แบ่งตัวเพิ่มจำนวนเซลล์จนฟักเป็นตัวใช้ระยะเวลาประมาณ 12 ชั่วโมง ระยะเวลาต่อมาเป็นระยะลูกกุ้งวัยอ่อน (larva) เริ่มจากลูกกุ้งวัยอ่อนระยะแรก หรือ Nauplius I พัฒนาเป็น Nauplius VI และ Protozoea I ใช้เวลาประมาณ 36 ชั่วโมง ประมาณ 5 วัน จะพัฒนาจาก Protozoe II, III เป็น Mysis I แล้วพัฒนาต่อไปเป็น Mysis II,III สู่ Post larva โดยใช้เวลา 4-5 วัน จึงเข้าสู่ระยะกุ้งวัยรุ่น (Juvenile) หรือกุ้ง Postlarva กุ้งระยะนี้มีระบบเหงือกสมบูรณ์ เมื่อเลี้ยงต่อไปร่างกายเริ่มมีสัดส่วนความยาวของท่อนหัว กลางลำตัวและท่อนหางเหมือนกุ้งใหญ่ และเริ่มมีอวัยวะเพศ ระยะนี้กินเวลา 4 เดือน โดยมากจะมีการเลี้ยงกุ้งในระยะนี้ จากระยะวัยรุ่นจะเจริญเข้าสู่ระยะก่อนตัวเต็มวัย (subaduit) เป็นระยะที่กุ้งมีการพัฒนาของระบบสืบพันธุ์แต่ยังไม่สมบูรณ์ และระยะสุดท้ายคือ ระยะตัวเต็มวัย (adult) เป็นระยะที่กุ้งมีการพัฒนาการสืบพันธุ์สมบูรณ์เต็มที่

หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รูปแบบการเลี้ยงกุ้งกุลาดำ

เนื่องจากกุ้งกุลาดำเป็นกุ้งที่เลี้ยงง่าย มีอัตราการเจริญเติบโตสูงกว่ากุ้งทะเลชนิดอื่นจึงมีผู้นิยมเลี้ยงกันมาก รูปแบบการเลี้ยงในประเทศไทยมี 3 รูปแบบ (พนมรักษ์ ผดุงกุล, 2532)

1. การเลี้ยงแบบธรรมชาติ (Conventional or extensive culture) เป็นการเลี้ยงแบบดั้งเดิม บ่อมีขนาดตั้งแต่ 20-60 ไร่ ขุดแบบมีขาวัง (Periferal canal) กว้าง 10-20 เมตร ลึก 30-60 เซนติเมตร ตรงกลางเป็นพื้นเรียบ ใช้วิธีดันน้ำเข้านาเวลาน้ำขึ้น เพื่อให้ลูกกุ้งและอาหารธรรมชาติติดเข้ามากับน้ำทะเล แล้วเก็บกักน้ำไว้ประมาณ 1-2 เดือน เพื่อให้กุ้งเจริญเติบโตโดยกินอาหารจากธรรมชาติ ไม่มีการให้อาหารหรือทำลายศัตรูกุ้ง การเลี้ยงวิธีนี้ผลผลิตไม่สามารถควบคุมได้ เพราะลูกกุ้งที่เข้าไปกับน้ำมีปริมาณไม่แน่นอน อัตราการรอดตายมีเปอร์เซ็นต์ต่ำ ผลผลิตจะขึ้นกับความอุดมสมบูรณ์ของธรรมชาติ โดยทั่วไปให้ผลผลิตต่ำประมาณ 60-100 กิโลกรัมต่อไร่ต่อปี

2. การเลี้ยงแบบกึ่งพัฒนากึ่งหนาแน่น (Semi-intensive culture)เป็นการเลี้ยงที่สามารถควบคุมปัจจัยการผลิตบางส่วน บ่อมีขนาด 6-20 ไร่ ขุดขาวังลึกมากขึ้นเป็น 0.80-1.20 เมตร มีความลาดชันเพื่อความสะดวกในการจับ มีความหนาแน่นของลูกกุ้งมากขึ้นโดยการรวบรวมจากแหล่งธรรมชาติเพิ่มเติมจากที่ได้รับเวลาเปิดน้ำเข้า หรือปล่อยลูกกุ้งจากการเพาะฟักเสริมกุ้งจากธรรมชาติ 5 -10 ตัวต่อตารางเมตร ให้อาหารสมทบ ไม่มีเครื่องให้อากาศ อาจมีการดัดแปลงประตูน้ำให้แข็งแรง มีการป้องกันกำจัดศัตรูกุ้ง การเปลี่ยนถ่ายน้ำ ใส่ปุ๋ย การควบคุมโรค ใช้เวลาเลี้ยงนานประมาณ 5 เดือน จึงจับขาย ผลผลิตอยู่ระหว่าง 200-600 กิโลกรัมต่อไร่ต่อปี

3. การเลี้ยงแบบพัฒนา (Intensive culture) หรือการเลี้ยงแบบหนาแน่น เป็นการเลี้ยงที่มีการนำเทคโนโลยีที่ทันสมัยเข้ามาจัดการในเรื่องคุณภาพน้ำ นำลูกกุ้งที่ได้จากการเพาะฟักมาปล่อยในนาแทนการใช้ลูกกุ้งจากแหล่งน้ำธรรมชาติทั้งหมด ใช้อาหารเม็ดสำเร็จรูปที่มีคุณภาพสูง มีปริมาณโปรตีนมากกว่า 40 % ประกอบด้วยสารอาหารหลายชนิด ที่เอื้ออำนวยต่อการเจริญเติบโตของกุ้ง มีสูตรการให้อาหารที่เพิ่มจำนวนมื้อและจำนวนอาหารเพื่อช่วยเร่งการเจริญเติบโต เพื่อให้ได้ผลผลิตต่อหน่วยพื้นที่สูงสุดภายในระยะเวลาที่สั้นเท่าที่จะทำได้ (ลิลา เรืองแป้น, 2534) บ่อมีขนาดตั้งแต่ 2-6 ไร่ มีคันดินแยกเฉพาะบ่อ มีทางน้ำเข้า และออกคนละด้าน มีเครื่องให้อากาศและพัดน้ำ เพื่อช่วยให้มีการหมุนเวียนได้ดีขึ้น มีลานลาดชันลงบริเวณทางน้ำเข้าออกเพื่อสะดวกในการจับกุ้ง มีการเปลี่ยนถ่ายน้ำทุกวัน วันละ 20-50 % กำจัดศัตรูกุ้ง ควบคุมโรค อัตราการปล่อยกุ้ง 20-30 ตัวต่อตารางเมตร ใช้เวลาเลี้ยงนาน 3 - 5 เดือน ผลผลิตสูงประมาณ 1000-2000 กิโลกรัมต่อไร่ต่อปี

หลักการเลี้ยงกุ้งกุลาดำ

ในการเลี้ยงกุ้งกุลาดำควรมีการควบคุมปัจจัยต่างๆ ดังต่อไปนี้

1. จะต้องมีการเตรียมบ่อที่ดี กล่าวคือพื้นที่บ่อต้องสะอาด มีการกำจัดตะกอนเลนที่ก้นบ่อ สภาพดินควรเป็นดินเหนียวปนทราย มีพีเอชที่เหมาะสมและตากแดดเป็นเวลานาน บ่อควรมีขนาดไม่เกิน 5 ไร่ เพื่อสะดวกในการจัดการและดูแล ระดับความลึกควรจะให้ได้ประมาณ 2 เมตร ซึ่งจะสามารถกักเก็บน้ำได้ประมาณ 1.80 เมตร (Thongrak, 1992) บ่ออาจจะเป็นบ่อสี่เหลี่ยมผืนผ้าหรือรูปแบบอื่นได้ตามความเหมาะสมและควรมีบ่อพักน้ำ เพื่อปรับปรุงคุณภาพน้ำเพื่อใช้เลี้ยงกุ้ง โดยควรมีพื้นที่ 20 - 30 % ของพื้นที่เลี้ยง (สิริ ทุกวินาศ และลิลา เรืองแป้น, 2536)

2. ต้องเลือกลูกกุ้งที่มีคุณภาพดี ถ้าได้ลูกกุ้งจากไข่ชุดแรกของแม่กุ้ง จะเป็นลูกกุ้งที่แข็งแรงและเจริญเติบโตดี ขนาดลูกกุ้งต้องเสมอกัน ลำตัวสะอาดยาว ว่ายน้ำเป็นปรกติ เมื่อได้ลูกกุ้งที่ดีแล้ว ก่อนปล่อยควรปรับความเค็มให้เท่ากับในบ่อเลี้ยงโดยให้ทางโรงเพาะฟักปรับมาให้เรียบร้อย อัตราการปล่อยลูกกุ้งที่เหมาะสมควรประมาณ 30 ตัวต่อตารางเมตร

3. เตรียมสีน้ำให้เหมาะสม การเตรียมสีน้ำให้อยู่ในเกณฑ์ที่เหมาะสมจะช่วยเพิ่มอัตราการรอดของกุ้งได้ และจะทำให้กุ้งได้รับอาหารธรรมชาติด้วย แพลงค์ตอนที่มีจำนวนเหมาะสมในบ่อนอกจากจะให้ผลผลิตสุทธิ (Net primary production) ในรูปของออกซิเจนได้สูงแล้ว ยังสามารถลดความเข้มข้นของแอมโมเนียที่ละลายในน้ำโดยการดูดซับเข้าไปในเซลล์ อัตราการดูดซับจะมากขึ้นเมื่อออกซิเจนถูกผลิตออกมามากขึ้น (Smith และ Piedrahita, 1988)

4. มีการเปลี่ยนถ่ายน้ำอย่างเหมาะสม อัตราการเปลี่ยนน้ำและระยะเวลาลดน้ำภายในบ่อควรดำเนินการตั้งแต่เลี้ยงจากเดือนที่ 2 โดยถ่ายเทน้ำในเดือนที่ 2 ประมาณ 10 % และเพิ่มขึ้นเป็น 30 % ในเดือนที่ 3 และเดือนที่ 4

5. มีเครื่องให้อากาศอย่างเพียงพอ ควรวางตำแหน่งเครื่องตีน้ำให้เหมาะสมเพื่อให้น้ำไหลเวียนได้ทั่วทั้งบ่อ โดยใช้เครื่องตีน้ำ 1 ตัวต่อพื้นที่บ่อเลี้ยง 1 ไร่ ในระยะเวลาการเลี้ยงเดือนที่ 3 เป็นต้นไป การติดตั้งเครื่องตีน้ำเพียงอย่างเดียวอาจจะไม่สามารถทำให้ก๊าซออกซิเจนแพร่กระจายบริเวณก้นบ่อได้ทั่วถึง จึงต้องมีเครื่องให้อากาศเพิ่มเติม

6. ให้อาหารที่มีคุณภาพดี และให้อาหารได้ตรงกับปริมาณกุ้งที่มีอยู่จริง ถ้าให้อาหารปริมาณที่มากเกินไปกุ้งจะกินไม่หมด ทำให้เกิดการสะสมของเศษอาหาร เป็นสาเหตุให้น้ำในบ่อเกิดการเน่าเสียได้

คุณภาพน้ำสำหรับการเลี้ยงกุ้งกุลาดำ

คุณภาพของน้ำนับว่าเป็นสิ่งสำคัญอย่างยิ่งต่อการเลี้ยงกุ้งกุลาดำและสัตว์น้ำต่างๆ เพราะถ้าน้ำไม่เหมาะสมกับการเลี้ยงแล้วสัตว์น้ำก็จะอ่อนแอ เติบโตช้า เกิดความเครียดและติดโรคได้ง่าย ลักษณะคุณภาพน้ำที่เหมาะสมในการเลี้ยงกุ้งกุลาดำมีหลายประการ คือ

1. ความเป็นกรดเป็นด่างของน้ำ (pH) ควรจะอยู่ในช่วง 7.5 - 8.5 ค่าพีเอชจะเปลี่ยนแปลงเนื่องจากแอมโมเนียที่อยู่ในน้ำ ถ้ามีแอมโมเนียสูงพีเอชจะเป็นด่างเพิ่มขึ้น ซึ่งจะเป็นพิษกับกุ้งโดยตรง ทำให้กุ้งอ่อนแอได้ ในเวลากลางวันแพลงค์ตอนจะใช้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ดังนั้นพีเอชของน้ำจะสูงขึ้น เมื่อถึงเวลากลางคืนแพลงค์ตอนไม่ใช้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ แต่สิ่งมีชีวิตต่างๆ จะหายใจแล้วให้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ออกมา ก๊าซนี้ทำปฏิกริยากับคาร์บอเนตและน้ำจะกลายเป็นไบคาร์บอเนต ทำให้ค่าพีเอชลดลง นอกจากนี้นากุ้งบางแห่งจะสร้างในบริเวณที่เคยเป็นป่าชายเลน สภาพดินเป็นกรด ดินนี้ประกอบด้วยดินไพไรท์ เมื่อสัมผัสอากาศจะออกซิไดซ์เป็นกรดซัลฟูริก ดินที่มีพีเอชต่ำบางครั้งจะทำความยุ่งยากให้ในบ่อกุ้ง การแก้ไขก็คือการใช้วัสดุปูนต่างๆ เพื่อปรับค่า พีเอชให้เหมาะสม

2. ความเค็ม (Salinity) ควรอยู่ในช่วง 15 - 30 ส่วนในพันส่วนตลอดปี ในฤดูร้อนจะมีปัญหาเกี่ยวกับการเจริญของกุ้ง คือน้ำที่มีความเค็มสูงจะจำกัดอาหารธรรมชาติของกุ้งซึ่งเป็นแพลงค์ตอน น้ำที่เหมาะสมจะมีสีน้ำตาลขุ่นที่ความเค็มประมาณ 15-25 ส่วนในพันส่วน ในระดับความเค็มต่ำๆ ก็สร้างปัญหาได้เช่นกันคือเชื้อโรคจำพวกแบคทีเรีย โปรโตซัว จะเจริญได้ง่ายและสภาพก้นบ่อจะเสียเร็ว ถ้าความเค็มต่ำกว่า 10 ส่วนในพันส่วน กุ้งจะเสียเกลือแร่จากร่างกาย ทำให้อ่อนแอ และมีอัตราการตายสูง นอกจากนี้จะมีแพลงค์ตอนพืชบางชนิด เช่น คลอเรลลา เจริญเติบโตมากขึ้น จึงเกิดการตายทับทมกัน ทำให้น้ำมีพีเอชสูงกว่า 10 ไม่เหมาะกับการเลี้ยงกุ้ง

3. ปริมาณออกซิเจนที่ละลายน้ำ (Dissolved oxygen) เป็นองค์ประกอบที่สำคัญที่สุดของคุณภาพน้ำในบ่อเลี้ยง การละลายของออกซิเจนจะขึ้นอยู่กับอุณหภูมิของน้ำ ความกดอากาศและความเค็ม การละลายของออกซิเจนจะลดลงขึ้นเมื่ออุณหภูมิของน้ำสูงขึ้น ออกซิเจนที่ละลายอยู่ในน้ำได้มาจากอากาศ และการสังเคราะห์แสงของพืชน้ำโดยเฉพาะแพลงค์ตอนพืช โดยทั่วไปปริมาณออกซิเจนจะมีค่าต่ำสุดในตอนเช้ามืด ส่วนเวลากลางวันการสังเคราะห์แสงจะทำให้ปริมาณออกซิเจนเพิ่มขึ้นและสูงสุดในช่วงบ่าย ในเวลากลางคืนการสังเคราะห์แสงจะหยุดแต่มีการหายใจโดยสิ่งมีชีวิตในบ่อซึ่งต้องการออกซิเจน จึงทำให้ปริมาณออกซิเจนลดต่ำลง การเปลี่ยนแปลงออกซิเจนในรอบวันจะมีมากในบ่อที่มีแพลงค์ตอนพืชขึ้นมากๆ ถ้าวันใดอากาศครึ้มฝนจะมี

ผลต่อปริมาณออกซิเจน โดยออกซิเจนในบ่อจะไม่มากเท่ากับในวันที่ฟ้าแจ่มใส โดยทั่วไปก๊าซออกซิเจนจะละลายที่จุดอิ่มตัวประมาณ 6-7 มิลลิกรัมต่อลิตร ในการเลี้ยงกุ้งปริมาณออกซิเจนไม่ควรต่ำกว่า 3 มิลลิกรัมต่อลิตร ถ้าต่ำกว่านี้ สามารถทำให้กุ้งอ่อนแอและตายได้ โดยเฉพาะกุ้งที่กำลังลอกคราบใหม่ เพราะกุ้งในช่วงนี้ต้องการออกซิเจนมากกว่าปกติ (สิริ ทุกข์วินาศ และลิลา เรืองแป้น, 2536)

4. ความขุ่นใสของน้ำ (Turbidity) ความขุ่นของน้ำในบ่อเลี้ยงมักเกิดจากการเจริญเติบโตของแพลงค์ตอนพืชในบ่อและอนุภาคดินที่ล่องลอยอยู่ในน้ำ (Boyd, 1989) น้ำที่ดีควรมีความขุ่นปานกลางที่มีความอุดมสมบูรณ์ของแพลงค์ตอนพอเหมาะ ควรรักษาให้อยู่ในระดับความขุ่นใสประมาณ 25 - 35 เซนติเมตร

5. อุณหภูมิของน้ำ (Temperature) อุณหภูมิของน้ำมีผลอย่างยิ่งในการลอกคราบและการกินอาหารของกุ้ง อุณหภูมิที่เหมาะสมในการเจริญของกุ้งควรอยู่ในช่วง 28-30 °ซ (เชียง ปีเตอร์, ชิง มิง กัว และชิน ฟาลิว, 2532) ถ้าอุณหภูมิน้ำสูงเกินไปจะทำให้กุ้งช็อคได้ และถ้าน้ำเย็นเกินไปคือต่ำกว่า 24 °ซ จะทำให้อัตราการลอกคราบของกุ้งช้า กุ้งจะหยุดการเจริญเติบโต กินอาหารน้อยลง ไม่ว่ายน้ำ และฝังตัวอยู่ก้นบ่อ

6. ไม่มีสารพิษต่างๆ เช่น ยาฆ่าแมลง ยาฆ่าวัชพืช ตลอดจนก๊าซพิษที่ทำอันตรายต่อกุ้ง เช่น แอมโมเนีย (NH_3) คาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) และไฮโดรเจนซัลไฟด์ (H_2S)

คาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) สัตว์น้ำส่วนใหญ่จะอยู่ในน้ำที่มีคาร์บอนไดออกไซด์สูงถึง 60 มิลลิกรัมต่อลิตร ถ้าปริมาณออกซิเจนในน้ำสูง แต่เมื่อความเข้มข้นของออกซิเจนต่ำคาร์บอนไดออกไซด์จะเป็นตัวขัดขวางการนำออกซิเจนไปใช้ในสิ่งมีชีวิต ส่วนมากไม่ค่อยมีการกำจัดคาร์บอนไดออกไซด์ออกจากบ่อ แต่บางครั้งก็มีความจำเป็นที่จะต้องกำจัดโดยใช้พวกวัสดุปูนต่างๆ เช่น ปูนขาว ($Ca(OH)_2$) หรือปูนเผา (CaO)

แอมโมเนีย (NH_3) เกิดจากการขับถ่ายของเสียของสัตว์เลี้ยงและการเน่าสลายของสารอินทรีย์ แอมโมเนีย-ไนโตรเจนในน้ำมี 2 รูปแบบ คือแอมโมเนียในรูป NH_3 และแอมโมเนียในรูป NH_4^+ ความเป็นพิษของแอมโมเนีย-ไนโตรเจนส่วนมากเกิดจากแอมโมเนียในรูป NH_3 เมื่อปริมาณของแอมโมเนียในน้ำเพิ่มขึ้น แอมโมเนียที่ถูกขับถ่ายออกมาจากสัตว์น้ำจะลดลง และระดับแอมโมเนียในเลือดและในเนื้อเยื่ออื่นๆ จะเพิ่มขึ้น ทำให้พีเอชของเลือดเพิ่มขึ้นซึ่งจะมีผลกระทบต่อปฏิกิริยาที่เร่งโดยเอนไซม์และเนื้อเยื่อ แอมโมเนียจะไปเพิ่มการใช้ออกซิเจนของเนื้อเยื่อ ทำลายเหงือกและลดความสามารถในการขนส่งออกซิเจน สัตว์น้ำมีโอกาสติดโรคได้ง่าย

ปริมาณที่ทำให้เกิดการตายภายในช่วงสั้น (24-72 ชั่วโมง) อยู่ระหว่าง 0.4-2.0 มิลลิกรัมต่อลิตรของแอมโมเนียที่อยู่ในรูป NH_3 โดยปรกติแอมโมเนียจะสูงในบ่อที่มีการให้อาหารปริมาณมาก วิธีที่ดีที่สามารถลดปริมาณแอมโมเนียลงได้โดยการเปลี่ยนถ่ายน้ำให้เหมาะสม

ไฮโดรเจนซัลไฟด์ (H_2S) ภายใต้สภาวะที่ไม่มีอากาศแบคทีเรียบางชนิดสามารถใช้ซัลเฟตและสารประกอบซัลเฟอร์ออกไซด์เป็นตัวรับอิเลคตรอนในขบวนการเมตาบอลิซึม ซึ่งจะให้ซัลไฟด์ออกมา โดยระดับพีเอชจะเป็นตัวควบคุมว่าซัลไฟด์ทั้งหมดจะอยู่ในรูปแบบใด H_2S HS^- S^{2-} และมีปริมาณเท่าใด ซัลไฟด์ในรูปของไฮโดรเจนซัลไฟด์ (H_2S) เป็นรูปแบบที่มีพิษต่อสิ่งมีชีวิตในน้ำ โดยจะไปสกัดกั้นการแพร่กระจายออกซิเจนภายในเซลล์ โดยปริมาณไฮโดรเจนซัลไฟด์ที่อยู่ในช่วง 0.01-0.05 มิลลิกรัมต่อลิตรจะมีความเป็นพิษต่อสัตว์น้ำ ถ้ามีการตรวจพบไฮโดรเจนซัลไฟด์ไม่ว่าจะมีปริมาณน้อยเพียงใดก็ตาม ก็ไม่เป็นสิ่งดีในการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ ซึ่งจะสังเกตได้โดยง่ายเนื่องจากกลิ่นของไฮโดรเจนซัลไฟด์จะมีกลิ่นเหม็นเหมือนกลิ่นไข่เน่า จึงสามารถรับรู้ได้แม้ที่ระดับความเข้มข้นต่ำ วิธีที่จะลดปริมาณไฮโดรเจนซัลไฟด์คือการเพิ่มพีเอชของน้ำโดยใช้วัสดุปูนต่างๆ (วรรณา รัตนโกสีย์กิจ, 2534)

การตรวจวัดคุณภาพน้ำ

การวัดคุณภาพน้ำในบ่อเลี้ยงสัตว์น้ำส่วนใหญ่จะวัดค่า พีเอช (Pote, Cathacrt และ Deliman, 1990) อุณหภูมิ ปริมาณออกซิเจนที่ละลายน้ำ (Dissolved Oxygen, DO) ความขุ่น ความเค็ม ปริมาณไนไตรต์ ไนเตรต แอมโมเนีย ฟอสฟอรัส ไฮโดรเจนซัลไฟด์ และปริมาณสารอินทรีย์ที่มีอยู่ในน้ำ (Lee, Sweeney และ Richards, 1986)

การวัดปริมาณสารอินทรีย์ที่มีอยู่ในน้ำนิยมวัดค่า บีโอดี (Biochemical Oxygen Demand, BOD) และ ซีโอดี (Chemical Oxygen Demand, COD) ซึ่งเป็นวิธีที่ใช้วัดปริมาณออกซิเจนที่ใช้ในการย่อยสลายสารอินทรีย์

บีโอดี (Biochemical Oxygen Demand, BOD)

BOD คือค่าความต้องการออกซิเจนของน้ำทิ้งที่หาโดยขบวนการทางชีววิทยา ปกตินิยมค่าที่ 5 วัน (BOD_5) และอุณหภูมิ 20°ซ

ในการวิเคราะห์หาค่า BOD เป็นการหาปริมาณออกซิเจนที่ต้องการโดยจุลินทรีย์ เพื่อใช้ในปฏิกริยาการย่อยสลายสารอินทรีย์ในน้ำเสีย ค่า BOD นี้จะบอกถึงลักษณะของน้ำเสียว่ามีสารอินทรีย์ปะปนอยู่มากน้อยเพียงใด ถ้ามีสารอินทรีย์ปนอยู่มาก ค่า BOD ก็จะมาก และในทำนองเดียวกันถ้ามีสารอินทรีย์ปนอยู่น้อย ค่า BOD ก็จะน้อยด้วย (Millamena, 1990) อัตราการย่อยสลายของจุลินทรีย์เป็นไปอย่างช้าๆ ไม่เหมือนกับการออกซิไดซ์สารอินทรีย์ด้วยสารเคมี (Chiang, 1986) ระยะเวลาที่สารอินทรีย์จะถูกย่อยสลายหมดจึงใช้เวลาหลายวัน ตามมาตรฐานสากลจึงวัดค่า BOD ทั้งหมดในเวลา 5 วัน ที่อุณหภูมิ 20°ซ ค่า BOD นี้จึงใช้ได้โดยตรงในการประมาณจำนวนสารอินทรีย์ในน้ำ แต่มีข้อจำกัดเนื่องจากปริมาณออกซิเจนในน้ำสามารถละลายได้ถึงจุดอิ่มตัวประมาณ 9 มิลลิกรัมต่อลิตร ในน้ำบริสุทธิ์ที่อุณหภูมิ 20°ซ ดังนั้นถ้าน้ำเสียมีความสกปรกมากกว่า คือมีค่า BOD เกินกว่า 9 มิลลิกรัมต่อลิตร ออกซิเจนที่มีอยู่จะถูกใช้หมดไปไม่มีเหลืออยู่หลังจากครบ 5 วัน การคำนวณหาค่า BOD จึงไม่สามารถทำได้ จำเป็นต้องเจือจางตัวอย่างน้ำที่จะวิเคราะห์จนทำให้ BOD ของน้ำตัวอย่างที่เจือจางไม่มากกว่า 9 มิลลิกรัมต่อลิตร นอกจากนี้การหาค่า BOD เป็นวิธีทางชีววิทยา จำเป็นต้องปรับสภาวะแวดล้อมของน้ำตัวอย่างให้เหมาะสมกับการดำรงชีวิตของจุลินทรีย์ กล่าวคือไม่มีสารพิษ แต่มีอาหารเสริมเพียงพอสำหรับจุลินทรีย์ เช่น ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส รวมทั้งแร่ธาตุต่างๆ ที่จำเป็นต่อการเจริญ และในการย่อยสลายสารอินทรีย์ให้เป็นคาร์บอนไดออกไซด์และน้ำจะกระทำโดยจุลินทรีย์หลายชนิดถ้าไม่มีหรือมีปริมาณน้อยเกินไปจำเป็นต้องเติมจุลินทรีย์ซึ่งเรียกว่าหัวเชื้อ (Seed) ลงไปด้วย (ธงชัย พรรณสวัสดิ์ และอุษา วิเศษสุมน, 2535)

ซีโอดี (Chemical Oxygen Demand, COD)

COD คือค่าความต้องการออกซิเจนในการย่อยสลายสารอินทรีย์โดยวิธีทางเคมี

การวิเคราะห์ค่า COD เป็นการวัดความสกปรกของน้ำโดยคิดเปรียบเทียบในรูปของออกซิเจนที่ต้องการใช้ในการย่อยสลายสารทั้งหมดทั้งที่จุลินทรีย์ย่อยได้และย่อยไม่ได้ โดยการกลั่นกลับคืน (Reflux) สารเคมีที่มีอำนาจในการออกซิไดซ์สูงคือ โพแทสเซียมไดโครเมต ($K_2Cr_2O_7$) ในสารละลายที่เป็นกรด ดังสมการ

$$\text{Organic matter} + Cr_2O_7^{2-} + H^+ \longrightarrow 2Cr^{3+} + CO_2 + H_2O$$

หลังจากการกลั่นประมาณ 2 ชั่วโมง วิเคราะห์หาปริมาณโพแทสเซียมไดโครเมตที่เหลืออยู่ (เนื่องจากระหว่างการกลั่นโพแทสเซียมไดโครเมตบางส่วนจะถูกใช้ในการออกซิไดซ์สารอินทรีย์) ด้วยการไตเตรทกับสารละลายเฟอรัสแอมโมเนียมซัลเฟต $(Fe(NH_4)_2(SO_4)_2)$ โดยใช้เฟอร์โรอิน (Ferroin) เป็นอินดิเคเตอร์ จะเกิดปฏิกิริยาดังสมการ

$$(Fe(NH_4)_2(SO_4)_2) \rightleftharpoons FeSO_4 + (NH_4)_2SO_4$$

$$6FeSO_4 + K_2Cr_2O_7 + 7H_2SO_4 \rightleftharpoons 3Fe_2(SO_4)_3 + K_2SO_4 + Cr_2(SO_4)_3 + 7H_2O$$

หรือ $$6Fe^{2+} + Cr_2O_7^{2-} + 14H^+ \rightleftharpoons 6Fe^{3+} + 2Cr^{3+} + 7H_2O$$

ค่า COD และ BOD ได้ใช้ในการวัดคุณภาพของแหล่งน้ำต่างๆรวมทั้งใช้วัดในระบบบำบัดน้ำเสีย Avnimelech และคณะ (1995) พบว่าค่าทั้งสองจะมีความสัมพันธ์กันในบ่อเลี้ยงปลาและบ่อเลี้ยงสัตว์น้ำต่างๆ โดยทั่วไปค่า COD จะสูงกว่าค่า BOD เสมอ ในการวัดค่า BOD ค่าที่ได้ค่อนข้างหยาบเนื่องจาก BOD ต้องใช้เวลาวัดถึง 5 วันและมีอัตราการย่อยสลายที่ไม่จำเพาะ เนื่องจากขึ้นอยู่กับความสามารถในการย่อยสลายของจุลินทรีย์ในการย่อยสลายสารต่างๆ ทำให้ค่าที่ได้คลาดเคลื่อนไปจากความเป็นจริง ดังนั้นจึงนิยมหาปริมาณสารอินทรีย์ทั้งหมดที่มีอยู่ด้วยวิธี COD จะให้ผลแน่นอนมากกว่า

มลภาวะที่เกิดในการเลี้ยงกุ้งกุลาดำ

ปัจจุบันการเลี้ยงกุ้งกุลาดำประสบปัญหาต่างๆ มากมาย เช่นเลี้ยงกุ้งไม่โต และกุ้งเป็นโรคตาย สาเหตุส่วนใหญ่เนื่องมาจากมลพิษทางน้ำ ตลอดจนสภาพแวดล้อมไม่เหมาะสม ปัญหาสำคัญเกิดจากการที่น้ำที่ใช้ในการเลี้ยงกุ้งเกิดการเน่าเสีย เนื่องจากมีการเลี้ยงกุ้งแบบหนาแน่น ทำให้มีการสะสมของสารอินทรีย์ต่างๆ ส่งผลกระทบไปสู่แหล่งน้ำและสิ่งแวดล้อมเป็นอย่างมาก

ของเสียที่เกิดจากการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำเป็นปัญหารุนแรงปัญหาหนึ่งในการทำฟาร์มเลี้ยงสัตว์ สารอินทรีย์ที่ตกค้างภายในบ่อจะเกิดการเน่าเสีย ทำให้สภาพน้ำไม่เหมาะสมต่อการเพาะเลี้ยง (Taiganides, 1967) ได้มีรายงานว่าอินทรีย์สารที่เป็นของเสียจากการเพาะเลี้ยงกุ้งเกิดจากเศษ

อาหารที่เหลือจากการกินของกุ้ง สิ่งขับถ่ายของกุ้ง ซากสิ่งมีชีวิตต่างๆที่ตายอยู่ในน้ำ และตะกอนต่างๆที่ติดมากับน้ำ แต่ที่เป็นอินทรีย์สารมากที่สุดคืออาหารที่กุ้งกินเหลือ เพราะปัจจุบันมีการเลี้ยงกุ้งอย่างหนาแน่น ต้องใช้อาหารมากตามจำนวนกุ้ง ทำให้มีโอกาสที่จะมีอาหารตกค้างภายในบ่อเกิดขึ้นจำนวนมาก (วิชัย ลาภจตุพร, 2535) อาหารที่ใช้เลี้ยงกุ้งนี้มีไนโตรเจน และฟอสฟอรัสประกอบอยู่ในปริมาณสูง (Degain และ Gallagher, 1985) มีรายงานว่าประมาณ 88 % ของไนโตรเจนที่เข้าไปสู่บ่อกุ้งนั้นมาจากอาหารที่ใช้เลี้ยงกุ้ง (Wang, 1990) และไนโตรเจนเหล่านี้จะถูกขับถ่ายออกมาประมาณ 13-32% ของปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดที่กุ้งบริโภคเข้าไป สิ่งขับถ่ายเหล่านี้จะอยู่ใน รูปแอมโมเนีย-ไนโตรเจนถึงประมาณ 90 % (Wickins, 1985) นอกจากนี้อาหารที่เหลือตกค้างที่พื้นก้นบ่อจะเพิ่มปริมาณตามปริมาณอาหารที่ให้ ซึ่งทำให้ปริมาณไนโตรเจนและฟอสฟอรัสในดินเพิ่มขึ้นมากตามไปด้วย (พุทธ ส่องแสงจินดา และคณะ, 2533)

แนวทางแก้ปัญหามลภาวะที่เกิดในบ่อเลี้ยงกุ้ง

ของเสียที่เกิดขึ้นภายในบ่อเลี้ยงกุ้งประกอบด้วย 2 ส่วนใหญ่ๆ ด้วยกัน ส่วนแรกคือตะกอนเลนก้นบ่อ และส่วนที่สองคือน้ำทิ้งจากบ่อเลี้ยง ดินเลนหรือตะกอนเลนก้นบ่อนิยมกำจัดออกโดยการฉีดเลน โดยใช้แรงของน้ำดันเลนออกทางประตูระบายน้ำสู่แหล่งน้ำภายนอก หรือแยกเก็บไว้ในร่องตากเลนต่างหาก ส่วนที่สองคือน้ำทิ้งจากบ่อเลี้ยงส่วนใหญ่จะประกอบด้วย แพลงค์ตอนพืช ธาตุอาหาร และตะกอนแขวนลอยต่างๆ ในการปรับสภาพน้ำมักจะแก้ไขโดยการเปลี่ยนถ่ายน้ำให้มากขึ้น มีการใช้วัสดุปูน ยาฆ่าเชื้อโรค หรือสารเคมีต่างๆ เพื่อปรับปรุงคุณภาพน้ำ หากขาดการจัดการและการดูแลอย่างเหมาะสมแล้วจะก่อให้เกิดการตกค้างของสารเคมีต่างๆ โดยเฉพาะอย่างยิ่งการใช้สารปฏิชีวนะเพื่อฆ่าเชื้อโรคในบ่อกุ้งเช่น ออกซีเตตราซัยคลิน ออกโซลินิกแอซิด ไนโตรฟูราโซน มาลาไคกรีน และคลอแรมฟินิคอล ถ้าใช้ไม่ถูกวิธีจะทำให้เกิดการตกค้างในเนื้อกุ้งซึ่งจะเป็นอันตรายต่อผู้บริโภคได้ นอกจากนี้การปล่อยอินทรีย์สารลงในแหล่งน้ำ จะทำให้แพลงค์ตอนเจริญอย่างรวดเร็ว (Eutrophication) ซึ่งอาจเป็นอันตรายต่อการเพาะเลี้ยงกุ้ง

เมื่อพิจารณาถึงสารอินทรีย์ที่อยู่ในบ่อกุ้ง พบว่าสารอินทรีย์เหล่านั้นสามารถถูกย่อยสลายโดยขบวนการทำงานของจุลินทรีย์ได้ โดยจุลินทรีย์ที่มีบทบาทสำคัญในการย่อยสลายกลุ่มใหญ่จะเป็นแบคทีเรีย ยีสต์ และราเป็นกลุ่มที่มีความสามารถรองลงมา (Horan, 1990)

กระบวนการย่อยสลายของจุลินทรีย์เกิดขึ้นได้ 2 ลักษณะ

1. การย่อยสลายในสภาพที่มีออกซิเจน (Aerobic)

เกิดขึ้นโดยจุลินทรีย์ที่ต้องการออกซิเจนเพื่อย่อยสลายสารอินทรีย์ โดยวิธีนี้สารอินทรีย์จะถูกย่อยสลายให้หมดโดยไม่เกิดก๊าซพิษ และกลิ่นเหม็นเน่า

2. การย่อยสลายในสภาพที่ไม่มีออกซิเจน (Anaerobic)

เกิดขึ้นโดยจุลินทรีย์ที่ไม่ต้องการออกซิเจน สารอินทรีย์ที่ถูกย่อยสลายโดยวิธีนี้จะสลายตัวไม่หมด เกิดก๊าซพิษที่มีกลิ่นเหม็น เช่น มีเทน แอมโมเนีย และไฮโดรเจนซัลไฟด์

ปัจจัยที่มีผลต่อการย่อยสลายของจุลินทรีย์

1. แหล่งพลังงาน และอาหาร (Energy and substrate source)

สำหรับแหล่งพลังงานจุลินทรีย์จะได้พลังงานจากปฏิกริยาออกซิเดชันของสารประกอบเคมี (Chemotroph) หรือได้พลังงานจากแสง (Phototroph) ดังนั้นจึงสามารถแบ่งจุลินทรีย์โดยอาศัยแหล่งพลังงาน และแหล่งคาร์บอนเป็นหลักดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 แหล่งพลังงานและแหล่งคาร์บอนของจุลินทรีย์ชนิดต่างๆ

แหล่งที่มา : Grega, Buckingham และ Evans (1994)

จุลินทรีย์	แหล่งพลังงาน ในการสร้าง ATP	แหล่งคาร์บอน ในการสร้างส่วนประกอบของเซลล์
Photoautotroph (Photolithotroph)	แสง (Light)	คาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2)
Chemoautotroph (Chemolithotroph)	สารประกอบอนินทรีย์ (Inorganic compounds)	คาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2)
Photoheterotroph (Photoorganotroph)	แสง (Light)	สารประกอบอินทรีย์ (Organic compounds)
Heterotroph (Chemoorganotroph)	สารประกอบอินทรีย์ (Organic compounds)	สารประกอบอินทรีย์ (Organic compounds)

2. กระบวนการทำงานของเอนไซม์ (Enzymatic processes)

จุลินทรีย์ย่อยสลายสารอินทรีย์ต่าง ๆ โดยการสร้างเอนไซม์ซึ่งจะปล่อยออกภายนอกเซลล์ (Extracellular enzyme) เพื่อย่อยสลายสารต่างๆ เอนไซม์ที่สำคัญได้แก่ โปรตีเอส อะไมเลส และไลเปส

<u>โปรตีเอส (Protease)</u> เป็นเอนไซม์ที่เร่งปฏิกริยาการย่อยสลายโปรตีนซึ่งเป็นโมเลกุลใหญ่ให้เป็นเปปไทด์และกรดอะมิโน จากนั้นกรดอะมิโนจะถูกย่อยสลายต่อไปเป็น เอมีน กรดคีโต แอมโมเนีย และคาร์บอนไดออกไซด์ Keay (1971) แบ่งเอนไซม์โปรตีเอสที่ได้จากจุลินทรีย์เป็น 3 ประเภทใหญ่ๆ คือ

1. แอซิดโปรตีเอส (Acid protease) เร่งปฏิกริยาได้ดีในช่วงพีเอชประมาณ 2 - 5 ส่วนใหญ่ได้จากจุลินทรีย์พวกเชื้อรา และยีสต์ ไม่ค่อยพบในแบคทีเรีย มีกรดอะมิโนแอสปาเทตอยู่ที่บริเวณเร่ง ไม่ถูกยับยั้งโดยสารพวก Ethylenediaminetetraacetic acid (EDTA) และ Diisopropyl fluorophosphate (DFP) แต่ถูกยับยั้งโดยสารพวก Diazoketone compounds (Mizube, Takahashi และ Ando, 1973)

2. อัลคาไลน์โปรตีเอส (Alkaline protease) เร่งปฏิกริยาได้ดีในช่วงพีเอช 7 - 11 พบทั้งในแบคทีเรีย รา และยีสต์ มีสมบัติคล้ายเอนไซม์ทริปซินและไคโมทริปซินในสัตว์ น้ำหนักโมเลกุลในช่วง 15,000 - 30,000 เป็นเอนไซม์ที่มีกรดอะมิโนซีรีนที่บริเวณเร่ง ซึ่งจะพบมากในแบคทีเรียตระกูลบาซิลลัส

3. นิวทรัลโปรตีเอส (Neutral protease) เร่งปฏิกริยาได้ดีที่พีเอชเป็นกลาง พบทั่วไปทั้งในแบคทีเรียและรา ในแบคทีเรีย *Bacillus polymyxa B. megaterium B. cereus* และ *B. thermoproteolyticus* มีการผลิตเฉพาะเอนไซม์นิวทรัลโปรตีเอสเพียงอย่างเดียว แต่ใน *B. subtilis* พบว่าผลิตทั้งเอนไซม์นิวทรัลและอัลคาไลน์โปรตีเอส (อุดมลักษณ์ ธิติรักษ์พาณิชย์, 2534)

<u>อะไมเลส (Amylase</u> เป็นกลุ่มเอนไซม์ซึ่งย่อยสลายพันธะแอลฟา 1,4 กลูโคซิดิก (α-1,4- glucosidic linkage) ของโพลีแซคคาไรด์ (Polysaccharide) เช่น แป้ง ไกลโคเจน หรือ โอลิโกแซคคาไรค์ (Oligosaccharide) อะไมเลสสามารถแบ่งได้เป็น 2 กลุ่มตามกลไกการทำงาน คือ เอกโซอะไมเลส (Exoamylase) และเอนโดอะไมเลส (Endoamylase) โดยเอกโซอะไมเลสจะย่อยสลายพันธะของโพลีแซคคาไรค์จากปลาย Non-reducing end เท่านั้น ซึ่งถ้าย่อยสลายพันธะให้แอลฟากลูโคส (α-Glucose) เพียงอย่างเดียวจะเรียกว่า กลูโคอะไมเลส หรือแกมมาอะไมเลส (Glucoamylase or δ-amylase) แต่ถ้าย่อยสลายพันธะเว้นพันธะและให้มอลโตส (Maltose) เพียงอย่างเดียวจะเรียกว่า เบตาอะไมเลส (β-Amylase) และเนื่องจากเอนไซม์ทั้งสองชนิดดังกล่าว

ไม่สามารถย่อยสลายพันธะแอลฟา 1,6 กลูโคซิดิกซึ่งเป็นพันธะที่โซ่กิ่ง (Branch chain) ของสายอะไมโลเพคติน (Amylopectin) และไกลโคเจนทำให้ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีลิมิตเดกซ์ตริน (Limit dextrin) สำหรับเอนโดอะไมเลสจะย่อยสลายพันธะ 1,4 กลูโคซิดิกแบบสุ่ม (Random) และไม่สามารถย่อยสลายพันธะแอลฟา 1,6 กลูโคซิดิกได้ ผลจากการทำงานของเอนไซม์คือความหนืดของสารละลายแป้งจะลดลงอย่างรวดเร็วเป็นผลให้มีน้ำตาลรีดิวซ์ (Reducing sugar) และเดกซ์ตรินขนาดต่างๆ เกิดขึ้น เอนไซม์นี้เรียกว่าแอลฟาอะไมเลส (α-Amylase) นอกจากนี้ยังพบอะไมเลสบางชนิดที่สามารถย่อยสลายแอลฟา 1,6 กลูโคซิดิกได้เรียกว่า ไอโซอะไมเลส (Isoamylase) (Windish และ Mhatre, 1965)

จุลินทรีย์ที่สามารถสร้างเอนไซม์อะไมเลสได้แก่ *Aspergillus oryzae A. niger Rhizopus sp. Bacillus subtilis B. stearothermophilus B. licheniformis B. amyloliquefaciens B. coagulan B. lentus* เป็นต้น

ไลเปส (Lipase) มีชื่ออีกชื่อหนึ่งว่า กลีเซอรอลเอสเทอร์ไฮโดรเลส (Glycerol ester hydrolase) หรือ เอซิลกลีเซอรอลไฮโดรเลส (Acylglycerol hydrolase) เป็นเอนไซม์ที่เร่งปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสโมเลกุลของไตรกลีเซอไรด์ (Triglyceride) ได้กลีเซอรอล (Glycerol) กรดไขมัน (Fatty acid) และ Partial glycerides โดยที่ไลเปสจะเร่งปฏิกิริยาการย่อยสลายพันธะเอสเทอร์ (Ester bonds) ที่พันธะระหว่างกรดไขมันโมเลกุลยาว (Long chain aliphatic acid) กับกลีเซอรอลของโมเลกุลไตรกลีเซอไรด์ ไลเปสจะทำปฏิกิริยาดังกล่าวได้เมื่อไตรกลีเซอไรด์อยู่ในสภาพ Oil-water interface (Jensen, 1983 และ Macrae, 1983) ดังนั้นไลเปสจึงไม่ใช่เอนไซม์ที่ไฮโดรไลซ์ฟอสโฟลิปิด (Phospholipid) และ Choleryl ester ถึงแม้ว่าจะมีไลเปสบางตัวที่สามารถไฮโดรไลซ์ฟอสโฟลิปิด และคลอเรสเตอรอล ได้

ไลเปสสามารถผลิตได้จากจุลินทรีย์หลายชนิด แต่ละชนิดผลิตไลเปสที่มีสมบัติต่างกัน จุลินทรีย์บางพวกจะผลิตอัลคาไลน์ไลเปส (Alkaline lipase) เช่น *Alcaligenes* sp. No 679 (Kokusho, Machida และ Iwasaki, 1982) บางพวกจะผลิตนิวทรัลไลเปส (Neutral lipase) เช่น *Chromobacterium* sp. (Yamaguchi และคณะ, 1973) และบางพวกก็จะผลิตไลเปสที่ทนอุณหภูมิสูงได้ (Thermostable lipase) เช่น *Humicola lanuginosa* (Omar, Nishio และ Nagai, 1987) นอกจากนี้จุลินทรีย์บางชนิดยังสามารถผลิตไลเปสได้หลายชนิดที่มีสมบัติแตกต่างกันเช่น *Saccharomyces lipolytica* สามารถผลิตไลเปส I ที่มี Optimum pH ที่ 8.2 และไลเปส II ที่มี Optimum pH ที่ 8.0 (Ota และคณะ, 1982) เชื้อรา *Rhizopus delemar* ก็สามารถผลิตไลเปสได้ 3 ชนิด คือ A B และ C ที่มีสมบัติแตกต่างกัน และพบว่าไลเปส B และ C สามารถเปลี่ยนแปลงกลับไปมาระหว่างกันได้ด้วย

(Iwai และ Tsujisaka, 1974) และการที่จุลินทรีย์ผลิตไลเปสที่มีสมบัติแตกต่างกันนี้เอง ทำให้สามารถเลือกไลเปสมาใช้ประโยชน์ให้เหมาะกับอุตสาหกรรมต่างๆ มากมาย

3. ความสามารถในการย่อยสลายอาหาร (Substrate biodegradability)

ในการย่อยสลายสารนั้นโครงสร้างทางเคมีของสารประกอบต่างๆ จะมีผลอย่างยิ่งในการย่อยสลาย ถ้าเป็นสารประกอบที่มีโครงสร้างทางเคมีที่จำเพาะและซับซ้อนก็จะทำให้การย่อยสลายเกิดขึ้นได้ยาก (Robert,1979) เช่นสารประกอบที่เป็นพวกฮาโลเจน (Halogen) สารประกอบที่มีหมู่ฮาโลเจนประกอบอยู่มาก (Large number of halogens) สารประกอบที่ละลายน้ำได้น้อย (Low solubility in water) สารประกอบที่มีหลายพันธะ (Highly branched compound) และสารประกอบที่มีประจุแตกต่างกัน (Atomic charge difference)

4. ตัวยับยั้งและความที่เป็นพิษ (Inhibitor and toxicity)

ภาวะแวดล้อมจะมีผลโดยตรงต่อการเจริญของจุลินทรีย์ โดยถ้าระดับพีเอช อุณหภูมิ ความเค็ม ตลอดจนสารเคมีต่างๆ ถ้าอยู่ในภาวะที่ไม่เหมาะสมแล้วการเจริญเติบโตและการย่อยสลายสารอินทรีย์ต่างๆก็จะไม่ดีเท่าที่ควร และอาจทำให้เซลล์จุลินทรีย์ตายได้ Bettina และ Kalff (1993) รายงานว่าจุลินทรีย์ที่มีอยู่ในแหล่งน้ำธรรมชาติหรือในทะเล อัตราการสร้างเซลล์จะมีความสัมพันธ์กับมวลชีวภาพของมันตลอดจนปริมาณของจุลินทรีย์ แหล่งคาร์บอนจากสาหร่าย ความเข้มข้นของฟอสฟอรัส สิ่งมีชีวิตที่กินจุลินทรีย์เป็นอาหาร ตะกอนของสารอินทรีย์ อุณหภูมิ รวมทั้งคลอโรฟิลเอ ถ้าอยู่ในสภาวะที่ไม่เหมาะสม จะทำให้การย่อยสลายและการสร้างเซลล์ของจุลินทรีย์เกิดอย่างไม่สมบูรณ์ นอกจากนี้ความเข้มข้นของสารอินทรีย์ก็มีผลต่อการย่อยสลาย Jannasch (1967) พบว่าการย่อยสลายโดยทั่วไปของจุลินทรีย์ในทะเล จะมีอัตราการย่อยสลายอย่างไม่มีนัยสำคัญกับความเข้มข้นของสารประกอบอินทรีย์ต่างๆ ที่มีอยู่ในระดับต่ำ Van der Meer และคณะ (1987) และ Zaidi, Murakami และ Alexander (1988) ศึกษาพบว่าในแหล่งน้ำที่มีความเข้มข้นของสารอินทรีย์ต่ำเกินไป จะมีผลต่อการย่อยสลายของสารอินทรีย์ โดยจุลินทรีย์จะไม่สามารถแบ่งตัวแบบทวีคูณได้ สารประกอบที่มีอยู่ไม่ถูกย่อยสลายจึงทำให้เซลล์จุลินทรีย์ตายในที่สุด (Pahm และ Alexander, 1993) ในทางตรงข้ามถ้ามีปริมาณสารอินทรีย์อยู่มากเกินไปก็จะสามารถยับยั้งการย่อยสลายได้ ในภาวะนี้จะมีการสร้างสารที่เป็นพิษต่อการเจริญทำให้จำนวนเซลล์ของจุลินทรีย์ลดลง

5. กลุ่มจุลินทรีย์ (Microbial community)

ขบวนการย่อยสลายในทางชีวภาพจะเกี่ยวข้องกับปฏิกิริยาต่างๆที่เกิดขึ้นในกลุ่มจุลินทรีย์ต่างๆ ที่ปะปนกัน อัตราการเจริญและการย่อยสลายสารต่างๆ จะมีเปอร์เซ็นต์ความถี่สูงขึ้นเมื่อใช้จุลินทรีย์หลายชนิดผสมกัน จุลินทรีย์ชนิดแรกสามารถย่อยสลายสารตั้งต้นได้ ให้ผลผลิตเป็นสารที่ถูกย่อยเกิดขึ้น แล้วมีจุลินทรีย์ชนิดที่สองสามารถย่อยสลายสารที่เกิดขึ้นต่อไปได้ จึงเป็นการเกี่ยวข้องกันทางเมตาบอลิซึม (Metabolism) ที่เรียกว่า โคเมตาบอลิซึม (Cometabolism) ทำให้การย่อยสลายสมบูรณ์แบบยิ่งขึ้น (Stoner , 1994) ในการย่อยสลายสารนั้นจุลินทรีย์ที่มีบทบาทสำคัญได้แก่ Autotrophic microorganism และ Heterotrophic microorganism การที่จุลินทรีย์หลายสายพันธุ์มาอยู่ร่วมกันนั้น จะมีการย่อยสลายสารต่างๆ แล้วสร้างเป็นกรดอะมิโน เปปไทด์ น้ำตาล โพลีแอลกอฮอล์ วิตามิน เอนไซม์ สารควบคุมการเจริญ (Growth factor) สารปฏิชีวนะ และสารพิษ (Toxin) (Murakami และ Alexander, 1989) ซึ่งจะมีผลช่วยกระตุ้นให้การย่อยสลายเกิดได้ดีขึ้นหรือไม่ก็ยับยั้งการย่อยสลาย (Lewis, Hodson และ Freeman, 1984)

ปัจจัยด้านสิ่งแวดล้อมจะมีผลโดยตรงต่อปฏิกิริยาต่างๆ ที่เกิดขึ้นภายในกลุ่มของจุลินทรีย์ เช่น อุณหภูมิ ความเข้มข้นอาหาร และการขนส่งมวลสาร (Wiggins และ Alexander, 1988) ช่วงระยะเวลา Lag phase ในการย่อยสลายสารต่างๆจะขึ้นอยู่กับ ความเข้มข้นของสาร โคแฟกเตอร์ และสารอาหารที่จำเป็นเช่น ไนโตรเจนและฟอสฟอรัส (Lewis, Kollig และ Hodson, 1986) ดังนั้นการเติมสารอนินทรีย์บางชนิดลงไปจะทำให้เกิดการย่อยสลายได้ดีขึ้น ซึ่งจุลินทรีย์แต่ละสายพันธุ์จะมีความต้องการสารอนินทรีย์ในการย่อยสลายสารที่ย่อยได้ยาก (Xenobiotic) แตกต่างกัน (Swindoll, Aelion และ Pfaender, 1988)

Steffensen และ Alexander (1995) ได้รายงานว่า การย่อยสลายของจุลินทรีย์เกิดได้ช้า เนื่องจากจุลินทรีย์ต้องการสารบางอย่างในการเจริญ โดยทำการทดลองใช้ *Pseudomonas putida* ย่อยสลาย Benzylamine และ Caprolactum การย่อยสลายจะเกิดได้ไม่ดีนักแต่เมื่อเติมฟอสฟอรัสลงไป การย่อยสลายจะเกิดอย่างรวดเร็ว เมื่อทดลองเลี้ยงเชื้อ *Pseudomonas aeruginosa* ร่วมด้วย โดยไม่ใส่ฟอสฟอรัสประสิทธิภาพในการย่อยสลาย Benzylamine ก็จะดีเหมือนกับการเติมฟอสฟอรัสลงไปด้วย แสดงให้เห็นว่า *P. aeruginosa* มีส่วนช่วยทำให้การย่อยสลาย Benzylamine ดีขึ้น

Murakami และ Alexander (1989) ได้ทดลองเลี้ยง *Pseudomonas* sp. 2 สายพันธุ์ ที่สามารถเจริญใน Phenol หรือ p-Nitrophenol (PNP) *Pseudomonas* sp. PN101 จะย่อยสลาย PNP ให้ NO_2^- และ phenol แต่ไม่ย่อยสลาย Phenol ส่วนเชื้ออีกสายพันธุ์คือ *Pseudomonas* sp. PN111 จะย่อยสลาย Phenol แต่จะไม่ย่อย PNP เมื่อระดับ Phenol เพิ่มขึ้น *Pseudomonas* sp. PN111 ก็จะทำการย่อยสลายต่อไป จึงเป็นการควบคุมระดับของ Phenol ไม่ให้เป็นอันตรายต่อ *Pseudomonas* sp. PN101

ได้มีการพัฒนาการใช้จุลินทรีย์หลายสายพันธุ์ในการย่อยสลายสารไฮโดรคาร์บอน สารย่อยสลายยาก (Recalcitrance) สารสังเคราะห์ เช่น Polyvinyl chloride nylon polydichlorostyrene และ polyurethane รวมทั้งยาปราบศัตรูพืช เนื่องจากการใช้จุลินทรีย์เพียงสายพันธุ์เดียวไม่สามารถย่อยสลายได้อย่างสมบูรณ์ จึงได้ปรับปรุงวิธีการและเพิ่มจุลินทรีย์หลายสายพันธุ์เพื่อทำให้การย่อยสลายเกิดได้ดีขึ้น (Perry, 1979)

Galic และ Vogel (1987) ได้ใช้กลุ่มจุลินทรีย์ที่สร้างมีเทน (Mixed methanogenic cultures) ในการย่อยสลาย Toluene และ Benzene ในสภาพไร้อากาศ (Anaerobe) ภายในเวลา 60 วัน จะเกิดการสร้าง คาร์บอนไดออกไซด์ น้อยกว่า 50% และมีการสร้างมีเทนมากกว่า 60%

Pedro Alvaraz และ Timothy (1991) ได้เปรียบเทียบการใช้จุลินทรีย์สายพันธุ์เดียว (Pure culture) กับการใช้จุลินทรีย์หลายสายพันธุ์ (Mixed culture) ที่แยกได้จากน้ำมันและ phenol พบว่าการใช้จุลินทรีย์หลายสายพันธุ์สามารถย่อยสลาย Benzene toluene และ Xylene ได้ดีกว่าการใช้จุลินทรีย์เพียงสายพันธุ์เดียว

ในการบำบัดน้ำเสียทางชีวภาพมักจะใช้จุลินทรีย์หลายสายพันธุ์ในการย่อยสลายเพราะจุลินทรีย์แต่ละสายพันธุ์มีความสามารถในการย่อยสลายสารได้ต่างกัน ดังนั้นการนำเอาจุลินทรีย์หลายสายพันธุ์มาใช้ในการบำบัดน้ำเสีย จะทำให้ประสิทธิภาพในการย่อยสลายของเสียในน้ำดีขึ้น จุลินทรีย์ที่อยู่ในน้ำจะย่อยสลายสารอินทรีย์โดยมันจะสร้างเอนไซม์แล้วปล่อยออกมาย่อยสลายสารอินทรีย์ต่างๆ เอนไซม์ที่สำคัญมีหลายชนิดเช่น Amylase Glucose isomerase Protease Rennet Pectinase Glucose oxidase และ Lipase แหล่งในการสร้างเอนไซม์ส่วนใหญ่จะเป็น รา และ *Bacillus* sp. (Staley และ Stanley , 1986) โดยเฉพาะ *Bacillus* sp. จะพบในน้ำทะเล น้ำจืด หรือในดินตะกอน มันจะสามารถสร้างเอนไซม์ที่มีประโยชน์ในการที่จะนำไปใช้ในอุตสาหกรรมต่างๆ รวมทั้งอุตสาหกรรมการบำบัดน้ำเสีย (Taylor และ Richardson, 1979)

การเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำแบบพัฒนา (Intensive aquaculture) มีความจำเป็นที่จะต้องมีการจัดการคุณภาพน้ำที่ดี ได้มีการใช้จุลินทรีย์ในบ่อเลี้ยงสัตว์น้ำซึ่งเป็นแบคทีเรียพวก Autotroph และ Heterotroph โดย Heterotroph จะมีบทบาทสำคัญในการย่อยสลายสารอินทรีย์ในน้ำ (Schroeder, 1978) บ่อเลี้ยงปลาที่มีการใส่ปุ๋ยคอกจากมูลวัวและมูลไก่ จะเป็นแหล่งของไนโตรเจน และฟอสฟอรัสของจุลินทรีย์ ปุ๋ยคอกนี้จะไม่เป็นแหล่งอาหารที่ดีของปลาแต่จะเป็นแหล่งอาหารที่สมบูรณ์ของจุลินทรีย์ ทำให้จำนวนของ Autotroph Heterotroph Plankton และ สัตว์หน้าดินเล็กๆ มีจำนวนมากพอที่จะเป็นอาหารของปลาโดยตรง (Biro, 1995)

Pruder (1986) ได้ทดลองใช้จุลินทรีย์ Autotroph และ Heterotroph ปรับปรุงคุณภาพน้ำในโครงการ Sea Grant Aquaculture Plan 1983-1987 Research โดยได้มีการควบคุมระบบน้ำ การให้อากาศ การให้อาหาร ควบคุมโรค ผลผลิตปลาที่ได้มีปริมาณมากกว่าบ่อที่ไม่ได้ใช้จุลินทรีย์ถึง 6 เท่า ระบบการเพาะเลี้ยงได้มีการพัฒนาเพิ่มมากขึ้นโดยมีการเลี้ยงหอย เช่น หอยนางรม เพื่อเป็นตัวกรองสารอินทรีย์ต่างๆ รวมทั้งสาหร่ายที่มากเกินไป (Wang, 1990) จนปัจจุบันได้มีการพัฒนาเป็นการเพาะเลี้ยงแบบระบบปิด (Closed system) ทำให้สามารถนำน้ำที่ผ่านการเพาะเลี้ยงแล้วมาใช้ได้อีก (Menasveta และคณะ, 1991 ; Wickins, 1985)

การใช้จุลินทรีย์ในการบำบัดน้ำเสียควรมีการจัดปัจจัยต่างๆ ให้เหมาะสมกับการเจริญของจุลินทรีย์ ได้แก่ การให้อากาศที่เพียงพอ ยิ่งให้อากาศมากการย่อยสลายของเสียย่อมเกิดได้ดี นอกจากนี้ต้องปรับระดับพีเอชในน้ำให้เหมาะสม จุลินทรีย์ทำงานได้ดีในช่วงพีเอช 7.0 - 8.2 จึงต้องมีการปรับสภาพน้ำโดยใช้วัสดุปูนต่างๆ เพื่อให้พีเอชอยู่ในช่วงดังกล่าว (ธนิต ผิวนิ่ม, 2536)

ในการศึกษาของ Bird และ Kalff (1984) พบว่าการย่อยสลายของเสียในทะเลสาบตามธรรมชาติจะเกิดช้ามากและไม่สามารถสร้างความอุดมสมบูรณ์หรือทำให้เกิดสิ่งมีชีวิตมากมายได้ ดังนั้นการเติมจุลินทรีย์เข้าไปในสภาพแวดล้อมที่มีการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ ย่อมจะมีส่วนช่วยให้คุณภาพน้ำในบ่อดีขึ้น Elser และคณะ (1995) ได้รายงานว่าจุลินทรีย์ที่อยู่ในน้ำจะมีวงจรการใช้ไนโตรเจนและฟอสฟอรัสขึ้นอยู่กับปริมาณแร่ธาตุ และแหล่งอาหารที่ใช้เป็นสารอินทรีย์ การใช้ฟอสฟอรัสและไนโตรเจนในแหล่งน้ำ จะเกี่ยวข้องกับปัจจัยต่างๆ ทั้งทางด้านเคมี ฟิสิกส์ และจุลชีววิทยา โดยเฉพาะทางด้านจุลชีววิทยา จุลินทรีย์สามารถเก็บรักษาหรือปลดปล่อยสารอาหารที่ได้จากการย่อยสลายไว้ใช้ในสภาพที่ไม่เหมาะสมได้ (Kairesalo และคณะ, 1995) ถ้าสารอินทรีย์ประกอบด้วยฟอสฟอรัสมาก จุลินทรีย์จะปลดปล่อยฟอสฟอรัสและเก็บไนโตรเจนไว้ ในทางตรงข้ามถ้ามีฟอสฟอรัสต่ำ จุลินทรีย์ก็จะเก็บฟอสฟอรัสและปลดปล่อยไนโตรเจนออกมาแทน (Tezuka,1990) จุลินทรีย์จะใช้สารอินทรีย์ต่างๆ ที่อยู่ในแหล่งน้ำนำไปสร้างเป็นโปรตีนซึ่งจะกลาย

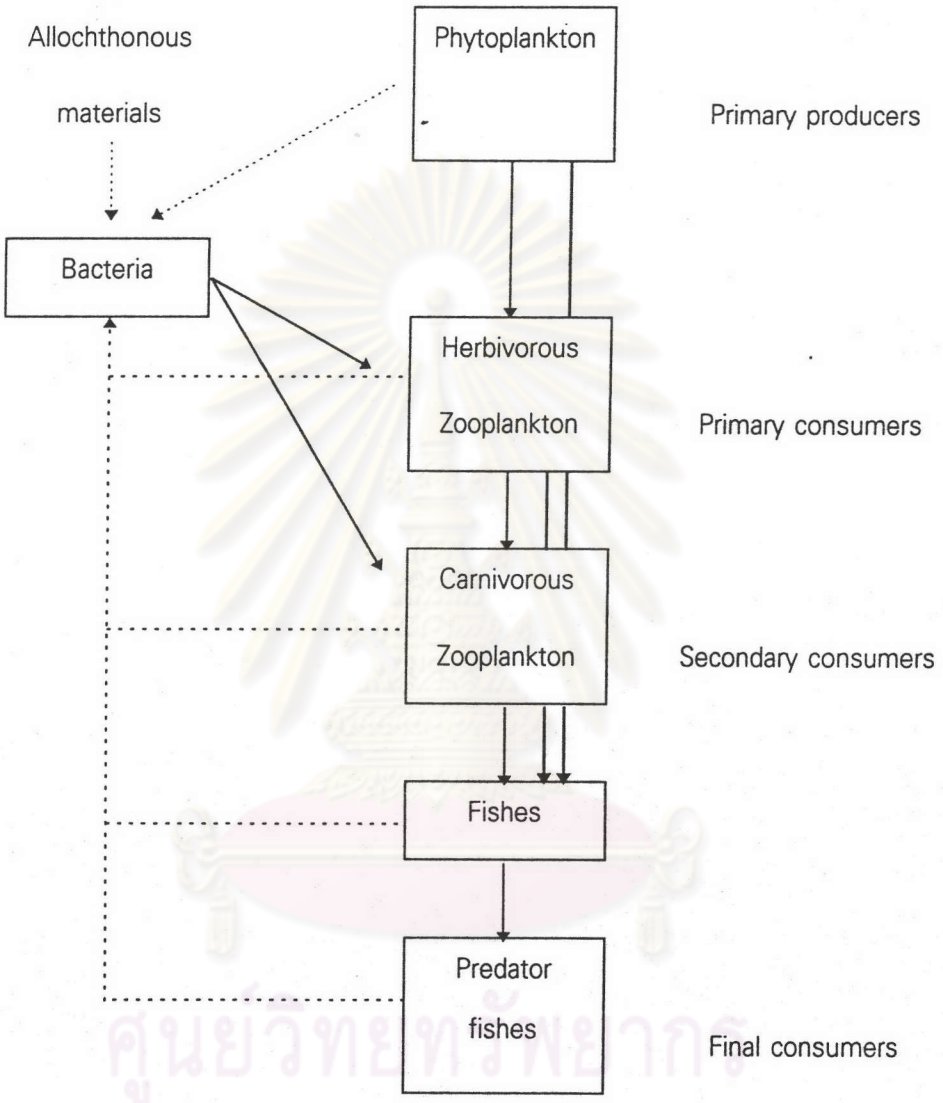
เป็นแหล่งอาหารที่สำคัญของสัตว์น้ำ (Schroeder, 1978) รวมทั้งสิ่งมีชีวิตเล็กๆพวก meiofauna และโปรโตซัว (Moriarty, 1986) สิ่งมีชีวิตเหล่านี้จะเป็นตัวสร้างไนโตรเจนและฟอสฟอรัสซึ่งจะเป็นแหล่งอาหารสำคัญของสาหร่าย (Ferchel และ Harrison, 1976 ; Lee, 1980)

จากการทดลองของ Ehrlich Cantin และ Horsfall (1989) ในการใช้แบคทีเรีย 1 % ในบ่อเลี้ยงปลาเทราท์จะสามารถลดปริมาณแอมโมเนียลงได้ 90 % และลดค่าปริมาณฟอสฟอรัสลงได้ 85 % เมื่อเทียบกับบ่อปลาเทราท์ที่ไม่ได้ใส่แบคทีเรีย Fushs และคณะ (1972) พบว่าการใช้ฟอสฟอรัสของแบคทีเรียบางชนิดเช่น *Bacillus* sp. จะสามารถดูดซับฟอสฟอรัสได้ดีกว่าพืชน้ำดังนั้นปริมาณ ของแบคทีเรียจะสามารถควบคุมปริมาณฟอสฟอรัสได้ดี และเป็นการควบคุมปริมาณการเพิ่มของพืชน้ำได้ดีด้วย

การใช้แบคทีเรียในการปรับปรุงคุณภาพน้ำ จะทำให้ปริมาณออกซิเจนที่ตรวจพบในบ่อที่ปริมาณเพียงพอหรือเหมาะสมในการดำรงชีวิตของสัตว์น้ำ Boyd และคณะ (1984) ได้รายงานว่าการใช้แบคทีเรียร่วมกับการเลี้ยงสัตว์น้ำ จะทำให้ผลผลิตของสัตว์น้ำมีค่าสูงกว่าบ่อที่ไม่ได้ใช้แบคทีเรียถึง 5 % กล่าวคือการควบคุมปริมาณพืชน้ำไม่ให้มีมากเกินไปจะทำให้ค่าออกซิเจนในบ่อไม่มีการเปลี่ยนแปลงมากนัก และผลผลิตของแบคทีเรียยังเป็นอาหารของสัตว์หน้าดินชนิดอื่นๆ ตามห่วงโซ่อาหาร (รูปที่ 1) Schroeder (1983) กล่าวว่าการเลี้ยงสัตว์น้ำร่วมชนิดกันเช่น เลี้ยงปลากับกุ้ง แบคทีเรียจะมีส่วนช่วยให้ห่วงโซ่อาหารสมบูรณ์แบบยิ่งขึ้น จึงเป็นการปรับสภาพแวดล้อมให้เหมาะสมในการเลี้ยงสัตว์น้ำได้

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 1 ความสัมพันธ์ของจุลินทรีย์แบบลูกโซ่อาหารในบ่อเลี้ยงสัตว์น้ำ

แหล่งที่มา: Rheinheimer (1991)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย