

ผลของ Sodium Nitrate Base (Nutrilake) ในการเลี้ยงกุ้งกุลาดำ
(*Penaeus monodon* Fabricius) ระบบปิด

The Effect of Sodium Nitrate Base (Nutrilake) on Raising Black Tiger Shrimp
(*Penaeus monodon* Fabricius) in a Closed System

คำนำ

กุ้งกุลาดำ (black tiger shrimp) เป็นสัตว์น้ำเศรษฐกิจที่สำคัญ ในปีหนึ่ง ๆ ประเทศไทยมีรายได้จากการส่งออกสินค้าประเภทกุ้งสดแช่เย็นแช่แข็งให้กับประเทศสหรัฐอเมริกา ญี่ปุ่น สหภาพยุโรปและประเทศอื่น ๆ ในทวีปเอเชียเป็นเงินหลายหมื่นล้านบาท โดยตั้งแต่ปี พ.ศ. 2534 ประเทศไทยสามารถส่งออกกุ้งทะเลเป็นอันดับหนึ่งของโลกโดยส่วนใหญ่เป็นกุ้งกุลาดำที่ได้จากการเพาะเลี้ยง (ชลอ และ พรเลิศ, 2547)

การเลี้ยงกุ้งกุลาดำในประเทศไทยส่วนใหญ่เป็นการเลี้ยงแบบพัฒนา (intensive) คือปล่อยกุ้งลงเลี้ยงในอัตราความหนาแน่นไม่ต่ำกว่า 25 ตัวต่อตารางเมตร เลี้ยงด้วยอาหารเม็ดสำเร็จรูปที่มีระดับโปรตีนสูง มีเครื่องให้อากาศเพื่อรักษาระดับออกซิเจนให้อยู่ในระดับที่เหมาะสมและควบคุมให้พื้นบ่อสะอาด (ชลอ, 2534) ในช่วงแรก ๆ ของการเลี้ยงประมาณปี พ.ศ. 2529-2535 นิยมเลี้ยงกันแบบระบบเปิดที่มีการเปลี่ยนถ่ายน้ำมาก แต่หลังจากเกิดการระบาดของโรคไวรัสหัวเหลืองในปี พ.ศ. 2533 และไวรัสดวงขาวในปี พ.ศ. 2537 ทำให้เกษตรกรส่วนใหญ่เริ่มปรับเปลี่ยนวิธีการเลี้ยงเข้าสู่ระบบปิดที่มีการถ่ายน้ำน้อยลง มีการปล่อยลูกกุ้งหนาแน่นมากขึ้นเพื่อชดเชยกับอัตราการรอดตายที่ต่ำลงแต่เกษตรกรก็ยังคงมีกำไรจากการเลี้ยงกุ้งถึงแม้ต้นทุนการผลิตจะสูงขึ้นก็ตาม และยังคงผลิตกุ้งได้มากกว่าปีละ 300,000 ตัน (ชลอ และ พรเลิศ, 2547) อย่างไรก็ตามตั้งแต่ปี พ.ศ. 2540 เป็นต้นมา พบว่าการเลี้ยงกุ้งกุลาดำเริ่มประสบปัญหาทั้งโตช้า ทำให้ผลผลิตที่ได้ต่ำถึงระดับที่ขาดทุนซึ่งสาเหตุอาจจะมาจากการปล่อยลูกกุ้งหนาแน่นสูงเกินไปหรือเกิดจากสาเหตุการติดเชื้อไวรัสเฮปาทอปานครีติก พาร์วไวรัส (Hepatopancreatic Parvovirus; HPV) (Flegel, 2001) ปัญหาการเตรียมอาหารธรรมชาติไม่ดีพอก่อนการปล่อยลูกกุ้งทำให้มีอัตราการรอดตายต่ำ นอกจากนั้นอาจจะมีปัญหาเกี่ยวกับการสะสมของสารอินทรีย์ในบ่อเป็นจำนวนมากทำให้เกิดการเน่าเสียของพื้นบ่อและมีผลทำให้คุณสมบัติของน้ำเปลี่ยนแปลงไปในทางที่ไม่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตตามปกติที่ผ่าน

มามีความพยายามแก้ปัญหาโดยให้ความสำคัญในการคัดเลือกลูกกุ้งที่มีคุณภาพดีก่อนนำไปเลี้ยง เช่น การคัดเลือกลูกกุ้งวิธีวันสตุณทรและวิธีขมิพไบโอเทค (ชลอ และ พรเลิศ, 2547) ซึ่งได้ผลดี ขึ้นระดับหนึ่ง แต่ยังไม่มีการหาวิธีแก้ปัญหาค่าเน่าเสียของฟาร์มบ่อในขณะที่กำลังเลี้ยงกุ้ง

ในการศึกษาครั้งนี้ทดลองการใช้ sodium nitrate base (Nutrilake) ซึ่งมีโซเดียมไนเตรท (NaNO_3) เป็นองค์ประกอบหลักร่วมกับองค์ประกอบอื่น ๆ คือ ซิลิกา (SiO_2) โพแทสเซียม (K) แมกนีเซียม (Mg) กำมะถันหรือซัลเฟอร์ (S) และโบรอน (B) ซึ่งใช้ในการควบคุมคุณสมบัติของน้ำ โดยเฉพาะการควบคุมปริมาณแพลงก์ตอนพืชในบ่อเลี้ยงกุ้ง นอกจากนี้ยังเป็นแหล่งออกซิเจน สำหรับจุลินทรีย์ในการย่อยสลายสารอินทรีย์ภายในบ่อและป้องกันการเกิดไฮโดรเจนซัลไฟด์ (H_2S) การวิจัยครั้งนี้เป็นแนวทางหนึ่งในการแก้ปัญหาค่าเน่าเสียในบ่อที่มีการเปลี่ยน ถ่ายน้ำน้อยที่กำลังมีปัญหาอยู่ในขณะนี้เพื่อทำให้การเลี้ยงกุ้งกุลาดำได้ผลดีขึ้นจนถึงระดับที่มี ปริมาณเพียงพอที่จะเป็นศูนย์กลางของการซื้อขายกุ้งจากต่างประเทศต่อไป เพื่อจะทำให้ประเทศไทยสามารถรักษาความเป็นผู้นำในการส่งออกกุ้งและอุตสาหกรรมการเพาะเลี้ยงกุ้งจะมั่นคงและ ยั่งยืนตลอดไป

วัตถุประสงค์

1. เปรียบเทียบการเจริญเติบโต อัตราการรอดตายและผลผลิตของบ่อเลี้ยงกุ้งกุลาดำที่ใช้และไม่ใช้ Nutrilake ในระหว่างการเลี้ยง
2. เปรียบเทียบคุณสมบัติของน้ำ ชนิดและปริมาณแพลงก์ตอนในบ่อเลี้ยงกุ้งกุลาดำที่ใช้และไม่ใช้ Nutrilake ในระหว่างการเลี้ยง
3. เปรียบเทียบค่าศักย์ไฟฟ้ารีดอกซ์ของดินพื้นบ่อเลี้ยงกุ้งกุลาดำที่ใช้และไม่ใช้ Nutrilake ในระหว่างการเลี้ยง

การตรวจเอกสาร

1. กุ้งกุลาดำ

กุ้งกุลาดำเป็นกุ้งทะเลที่มีขนาดใหญ่ ลำตัวมีสีเทาหรือสีน้ำตาลเข้มมีแถบสีน้ำตาลหรือมีวงเข้มพาดขวางลำตัว ทำให้เห็นเป็นปล้อง ๆ เปลือกคลุมหัว (carapace) เกือบไม่มีขน กริ (rostrum) โค้งเล็กน้อยฟันกริดด้านบน (upper teeth) มี 7-8 ซี่ ฟันกริดด้านล่าง (lower teeth) มี 3 ซี่ (ปิยะพงศ์, 2528; สนธิ, 2531; วุฒิ, 2538; Grey *et al.*, 1983; Motoh, 1985) ค่อนไปด้านหลังประมาณครึ่งหนึ่งของระยะระหว่างสันข้างแก้ม (hepatic spine) กับขอบหลังของตา (post-orbital margin) สันข้างแก้มอยู่ในแนวระดับ ลำตัวเป็นปล้องทั้งหมด 19 ปล้อง แต่ละปล้องมีระยางค์ 1 คู่ ส่วนหัวมีระยางค์ 5 คู่ สองคู่แรกเป็นหมวดที่ใช้ในการสัมผัส ระยางค์คู่ที่ 3 มีหน้าที่ในการเคี้ยวอาหารหรือขากรรไกร (mandible) ระยางค์คู่ที่ 4 และ 5 ทำหน้าที่ช่วยในการกินอาหาร คือ maxillae และ maxilla (บังอร, 2530) ส่วนอกมี 8 ปล้อง มีระยางค์ 8 คู่ 3 คู่แรก เรียกว่า maxilliped ทำหน้าที่ช่วยกินอาหาร ระยางค์อีก 5 คู่ถัดมาเป็นขาเดิน (pereiopods) ทำหน้าที่เกี่ยวกับการเคลื่อนที่ต่อสู้และป้องกันตัว และส่วนลำตัวมีระยางค์ 6 คู่เป็นขาว่ายน้ำ (pleopods) 5 คู่ แต่ละอันมีปลายเป็น 2 แฉก โดยขาว่ายน้ำมีสีเหลืองสลัดน้ำเงิน (Hall, 1962) ส่วนระยางค์คู่ที่ 6 เปลี่ยนเป็นแผ่นยาวทำหน้าที่คล้ายแพนหาง เรียกว่า uropod

2. ระบบการเลี้ยงกุ้งกุลาดำ

การเลี้ยงกุ้งในประเทศไทยมีการพัฒนาระบบการเลี้ยงจากการเลี้ยงกุ้งแบบดั้งเดิม คือ เปิดน้ำทะเลเข้าบ่อเลี้ยงกุ้งโดยอาศัยลูกกุ้งตามธรรมชาติ (extensive culture) (บรรจง, 2521) มาเป็นวิธีการเลี้ยงแบบกึ่งหนาแน่น (semi-intensive culture) มีการปล่อยลูกกุ้งมากขึ้น ให้อาหารเสริม แต่ยังไม่มีการใช้เครื่องให้อากาศ ต่อมามีการพัฒนาถ่ายทอดความรู้และเทคโนโลยีต่าง ๆ จนถึงการเลี้ยงแบบพัฒนา (intensive culture) ซึ่งปล่อยลูกกุ้งตั้งแต่ 25 ตัวต่อตารางเมตรขึ้นไป มีการใช้เครื่องให้อากาศ ให้อาหารสำเร็จรูป ใช้วิชาความรู้ต่าง ๆ เข้ามาจัดการ โดยทั่วไปขนาดของบ่ออยู่ระหว่าง 2-6 ไร่ และระดับน้ำ 1.5-2.0 เมตร มีบ่อพักน้ำคิดเป็น 30 เปอร์เซ็นต์ของบ่อเลี้ยง ให้อาหาร 4-6 มื้อต่อวัน และมีการใช้เครื่องให้อากาศเพื่อเพิ่มออกซิเจนในบ่อ (ชลอ, 2534) ซึ่งการเลี้ยงกุ้งแบบพัฒนานี้มี 3 รูปแบบ ขึ้นอยู่กับคุณภาพและแหล่งน้ำ

2.1 ระบบเปิด

ระบบนี้ต้องการปริมาณน้ำมากและน้ำต้องมีคุณภาพน้ำดีด้วย เนื่องจากจะต้องเปลี่ยนถ่ายน้ำในปริมาณที่มากต่อการถ่ายน้ำ 1 ครั้ง เพื่อลดปริมาณของเสียและความหนาแน่นของแพลงก์ตอน ระบบนี้สามารถปล่อยลูกกุ้งได้ถึง 60 ตัวต่อตารางเมตร และกุ้งสามารถโตได้ขนาด 25-35 กรัม ในระยะเวลาการเลี้ยง 120 วัน การเลี้ยงระบบนี้อยู่ในระยะแรกของการเลี้ยงกุ้งแบบพัฒนา แต่ในปัจจุบันระบบนี้ได้รับความนิยมลดลงหลังจากเกิดการระบาดของโรคหัวเหลืองในปี พ.ศ. 2533 และโรคไวรัสดวงขาวในปี พ.ศ. 2537 (ชโล, 2543; 2543; พรเลิศ และคณะ, 2537)

2.2 ระบบปิดหรือระบบการถ่ายน้ำน้อย

ฟาร์มส่วนมากในกลุ่มประเทศเอเชียจะเป็นแบบฟาร์มขนาดเล็ก ซึ่งไม่มีพื้นที่มากพอที่จะสร้างบ่อพักน้ำและบ่อบำบัดเหมือนในระบบหมุนเวียน เพื่อเป็นการลดการใช้น้ำจากภายนอก ระบบนี้จะเติมน้ำทะเลที่สะอาด บำบัดด้วยสารเคมีเพื่อกำจัดสัตว์ที่ไม่ต้องการและกลุ่มสัตว์จำพวก กุ้ง ปู ที่อาจจะเป็นพาหะนำเชื้อไวรัส จากนั้นจึงปล่อยกุ้งลงเลี้ยงในอัตราความหนาแน่น 30 ตัวต่อตารางเมตรและเลี้ยงไปประมาณ 100-120 วัน จะได้กุ้งขนาด 15-20 กรัม ถึงแม้ว่าระบบนี้จะไม่ต้องการการถ่ายน้ำ แต่จะต้องรักษาระดับน้ำในบ่อโดยการเติมน้ำเข้าไปเพื่อทดแทนน้ำที่ระเหยหรือรั่วซึมออกด้วยน้ำเค็มหรือน้ำจืด ระบบนี้สามารถใช้ได้กับทุกพื้นที่แม้แต่ในแผ่นดินซึ่งไม่มีน้ำเค็มเข้าถึง ข้อดีของระบบนี้ก็คือ ต้องปล่อยกุ้งจำนวนที่เหมาะสมคือไม่มากกว่า 30 ตัวต่อตารางเมตรหรือไม่เกิน 50,000 ตัวต่อไร่ และต้องการน้ำที่มีคุณภาพดีประกอบกับการจัดการควบคุมการให้อาหารและการบำบัดของเสียที่ดีด้วย อย่างไรก็ตามผลผลิตที่ได้จะไม่สูงมากเพราะมีข้อจำกัดต้องควบคุมปริมาณกุ้งและอาหารให้เหมาะสมตลอดระยะเวลาในการเลี้ยง (ชโล, 2543)

2.3 ระบบปิดแบบน้ำหมุนเวียน

เนื่องจากความเสื่อมโทรมลงของสภาพสิ่งแวดล้อมและปัญหาเรื่องโรคระบาดจากไวรัสหัวเหลืองและดวงขาว ฟาร์มทั่วไปจึงมีการเปลี่ยนแปลงระบบเลี้ยงไปสู่ระบบปิดแบบน้ำหมุนเวียนโดยใช้น้ำจากนอกฟาร์มให้น้อยที่สุด อย่างไรก็ตามฟาร์มก็จะต้องแบ่งพื้นที่ประมาณ 40-50 เปอร์เซ็นต์ของเนื้อที่ทั้งหมดเพื่อทำเป็นบ่อเก็บน้ำ บ่อดกตะกอน บ่อบำบัดและคลองน้ำทิ้งเพื่อให้ระบบทำงาน น้ำทะเลหรือน้ำจากแม่น้ำลำคลองที่สะอาดจะถูกสูบเข้าบ่อและเก็บไว้ในระบบก่อนที่จะ

จะทำการเลี้ยงและในระหว่างการเลี้ยง น้ำจากบ่อเลี้ยงจะถูกถ่ายลงสู่อ่างตกตะกอนและจะบำบัดด้วยสารเคมีหรือด้วยกลไกทางชีวภาพตามความเหมาะสมและความชำนาญของแต่ละฟาร์มแล้วจะสูบไปเก็บในบ่อพักน้ำเพื่อนำไปใช้ในบ่อเลี้ยงอีกครั้ง อัตราความหนาแน่นของกุ้งทั่วไประหว่าง 30-50 ตัวต่อตารางเมตร และใช้เวลาในการเลี้ยงประมาณ 110-130 วัน (ชลอ, 2543)

ชลอ (2543) ได้สรุปรูปแบบการเลี้ยงกุ้งกุลาดำด้วยน้ำความเค็มต่ำในประเทศไทย ดังนี้

1. ใช้น้ำจากแม่น้ำลำคลองที่มีความเค็มไม่เกิน 10 ส่วนในพันส่วน (พีพีที)

ส่วนใหญ่จะเป็นพื้นที่ที่อยู่ไกลจากปากแม่น้ำหรือเป็นการเลี้ยงในช่วงฤดูฝนที่น้ำในแม่น้ำลำคลองมีความเค็มต่ำ ในจังหวัดที่มีแม่น้ำสายใหญ่จะมีการเลี้ยงกุ้งด้วยน้ำความเค็มต่ำกันมาก และได้ผลผลิตสม่ำเสมอดีกว่าพื้นที่ริมชายฝั่งทะเลที่ใช้น้ำทะเลความเค็มปกติ ปัจจุบันมีการขยายพื้นที่การเลี้ยงตามชายฝั่งแม่น้ำต่าง ๆ ที่อยู่ห่างไกลจากทะเลมากขึ้นเรื่อย ๆ

2. เลี้ยงกุ้งกุลาดำด้วยน้ำความเค็มต่ำ แต่เป็นพื้นที่ซึ่งไม่ใช้น้ำมีความเค็มจากแม่น้ำลำคลอง

ต้องมีการบรรทุกน้ำเค็มเข้าไปเติมในบ่อเลี้ยงกุ้งและผสมน้ำจืดจนได้ความเค็มต่ำระหว่างการเลี้ยงมีการเติมน้ำจืดเข้าไปทดแทนน้ำที่หายไปจากการรั่วซึมและการระเหย

การเลี้ยงกุ้งในระบบนี้มีด้วยกัน 2 แบบ คือ

2.1 ปล่อยลูกกุ้งลงไปบ่อที่มีความเค็มประมาณ 5-6 พีพีที

โดยเติมน้ำจืดเข้าไปในบ่อประมาณ 60-80 เซนติเมตร และเติมน้ำเค็มจากนาเกลือที่มีความเค็มสูงระหว่าง 100-250 พีพีที จนได้ความเค็ม 5-6 พีพีที ดังนั้นลูกกุ้งจะต้องมีการปรับความเค็มตั้งแต่โรงเพาะฟักจนได้ความเค็มประมาณ 10 พีพีที หรือต่ำกว่าจึงนำมาปล่อยที่บ่อ หลังจากปล่อยลูกกุ้งแล้วจะมีการเติมน้ำจืดไปเรื่อย ๆ จนกระทั่งเต็มบ่อที่มีระดับความลึกระหว่าง 1.2-1.5 เมตร หลังจากเลี้ยงไปประมาณ 100-110 วัน ความเค็มของน้ำจะลดลงมาในระดับที่ไม่เกิน 1 พีพีที ก็จะจับกุ้งหรือนำนํ้าเค็มมาเติมเพื่อเพิ่มความเค็มของน้ำ ซึ่งจะสามารถเลี้ยงกุ้งได้ขนาดใหญ่ขึ้นมากกว่าเดิม

2.2 ปล่อยลูกกุ้งในคอกที่กั้นด้วยผ้าพลาสติก

คอกจะมีขนาดพื้นที่ 10x10 เมตร อาจเล็กกว่าหรือใหญ่กว่าเล็กน้อยตามความเหมาะสมของจำนวนลูกกุ้งที่ปล่อยในคอก โดยบริเวณที่กั้นคอกจะเติมน้ำเต็มจากนาเกลือจนได้ความเต็มประมาณ 10 ฟิตี ี ระดับความลึกประมาณ 1 เมตร ในขณะที่น้ำในบ่อที่ล้อมรอบคอกควรจะเติมน้ำเต็มจนได้ความเต็มระหว่าง 2-3 ฟิตี ี หลังจากปล่อยกุ้งลงในคอกจึงค่อย ๆ ลดความเต็มของน้ำในคอกโดยเติมน้ำที่อยู่ภายนอกเข้ามาในคอกแล้วระบายน้ำในคอกออกไปอย่างช้า ๆ ใช้เวลาลดความเต็มลงเรื่อย ๆ ประมาณ 5-14 วัน ก็จะเปิดคอกให้กุ้งออกไปอยู่กระจายทั้งบ่อ ดังนั้นความเต็มของน้ำในบ่อทั้งหมดจะเหลือประมาณ 2-4 ฟิตี ี ในระหว่างการเลี้ยงจะมีการเติมน้ำจืดเข้าไปเรื่อย ๆ จนเต็มบ่อและใช้เวลาเลี้ยงประมาณ 100-110 วันจึงจะจับกุ้ง ความเต็มของน้ำตอนจับกุ้งจะต่ำมาก

3. คุณสมบัติของน้ำบางประการที่มีผลต่อการเลี้ยงกุ้งกุลาดำ

การเลี้ยงกุ้งกุลาดำโดยการปล่อยลูกกุ้งอย่างหนาแน่นทำให้คุณภาพน้ำในบ่อเลี้ยงมีการเปลี่ยนแปลงไปในทางที่เลวลงเนื่องจากปริมาณอาหารจะมากตามไปด้วย ดังนั้นของเสียที่ขับถ่ายจากกุ้งและอาหารที่เหลือในบ่อจะสะสมมากขึ้นตามระยะเวลาที่เลี้ยง คุณภาพน้ำที่ลดลง ซึ่งจะมีผลต่อการเจริญเติบโตและอัตราการรอดตายของกุ้งที่เลี้ยงด้วย (คณิต และคณะ, 2537; ชลอ, 2543)

ความโปร่งแสงของน้ำเป็นดัชนีที่บอกถึงปริมาณแพลงก์ตอนในบ่อเลี้ยงกุ้งกุลาดำ วัดโดยใช้ Secchi disc หย่อนลงไปใบบ่อเลี้ยงกุ้งจนถึงความลึกที่เริ่มมองไม่เห็นวัตถุดังกล่าว ค่าความโปร่งแสงที่เหมาะสมอยู่ระหว่าง 30-60 เซนติเมตร นับว่ามีความเหมาะสมต่อการเลี้ยงกุ้งกุลาดำ (ชลอ, 2534; 2543) ความโปร่งแสงยังช่วยป้องกันการเกิดสาหร่ายตามพื้นบ่อหรือจี๊ดแดง (benthic algae) ซึ่งเกิดบ่อยเมื่อน้ำใสหรือมีความโปร่งแสงมาก จี๊ดแดงนี้ทำให้เกิดปัญหา คือ เมื่อจมลงสู่พื้นบ่อและตายลงจะทำให้พื้นบ่อเน่าเสียเกิดแอมโมเนียและสารพิษอื่น ๆ ที่เป็นอันตรายต่อกุ้งได้ (ชลอ, 2534; Boyd, 1989)

อุณหภูมิของน้ำเป็นอีกหนึ่งปัจจัยสำคัญที่มีผลต่อสัตว์น้ำ โดยปกติอุณหภูมิของน้ำตามธรรมชาติจะแปรผันตามอุณหภูมิของอากาศ ซึ่งจะขึ้นอยู่กับฤดูกาล ระดับความสูงและสภาพภูมิประเทศ นอกจากนี้ยังขึ้นอยู่กับความเข้มแสง กระแสลม ปริมาณสารแขวนลอยและความลึก (Conroy and Herman, 1970) อุณหภูมิของน้ำมีผลต่อการกินอาหารและการเจริญเติบโตของกุ้งซึ่งกุ้ง

กลาค่าสามารถทนต่ออุณหภูมิในช่วงกว้าง คือ 18-35 องศาเซลเซียส (วรวิทย์, 2531) ส่วนอุณหภูมิของน้ำที่ทำให้กุ้งเจริญเติบโตได้ดีที่สุดอยู่ในช่วง 25-32 องศาเซลเซียส (Chiang *et al.*, 1989) สำหรับกุ้งกลาค่าจะกินอาหารดีที่สุดเมื่ออุณหภูมิ ระหว่าง 28-30 องศาเซลเซียส (ชลอ, 2534) หากอุณหภูมิสูงกว่านี้จะทำให้น้ำในบ่อเลี้ยงกุ้งมีความร้อนสูงเกินไปและถ้าต่ำกว่า 18 องศาเซลเซียสก็จะไม่กินอาหาร การรักษาระดับน้ำให้ลึกกว่า 1 เมตรจะช่วยไม่ให้อุณหภูมิเปลี่ยนแปลงมากในช่วงวัน ในรอบปีจะมีช่วงที่ควรระมัดระวังในเรื่องอุณหภูมิมากที่สุด คือ ในช่วงที่มีอุณหภูมิสูงมากกว่าปกติ คือ ช่วงเดือนเมษายน-พฤษภาคม และช่วงที่มีอุณหภูมิต่ำ คือ ช่วงเดือนธันวาคม-มกราคม (ปกรณ, 2531)

ความเป็นกรดเป็นด่าง (พีเอช) ของน้ำเป็นค่าที่ชี้ถึงสภาวะความเป็นกรดหรือความเป็นด่างของสารละลายแต่ค่าพีเอชไม่ได้เป็นตัวบอกปริมาณกรด (acidity) หรือ ปริมาณด่าง (alkalinity) โดยแท้จริงแล้วค่าพีเอชเป็นค่าที่วัดความสามารถของไฮโดรเจนไอออน ซึ่งมีความสัมพันธ์โดยตรงกับความเข้มข้นของไฮโดรเจนไอออนในน้ำ มีหน่วยเป็นโมลต่อลิตร แต่เนื่องจากค่าที่วัดได้เป็นค่าที่น้อยมาก จึงได้กำหนดค่าของพีเอชเป็นค่าลบล็อก (-log) ของกิจกรรมของไฮโดรเจนไอออนในน้ำ เพื่อที่จะได้ค่าเป็นจำนวนเต็มที่ง่ายต่อการอ่านค่า (ยนต์, 2530) การเปลี่ยนแปลงของค่าพีเอชในบ่อเลี้ยงกุ้งจะถูกควบคุมโดยปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์และปริมาณไอออนที่อยู่ในน้ำ ในตอนกลางวันแพลงก์ตอนพืชจะใช้คาร์บอนไดออกไซด์ซึ่งได้จากไบคาร์บอเนตเพื่อการสังเคราะห์แสงทำให้ค่าพีเอชสูงขึ้น การที่มีปริมาณแพลงก์ตอนพืชมากจะทำให้ในช่วงตอนบ่ายค่าพีเอชอาจสูงถึง 9 หรือ 10 (ไมตรี และ จารุวรรณ, 2528) ตอนกลางคืนคาร์บอนไดออกไซด์ถูกปล่อยกลับคืนออกมาจากการหายใจของแพลงก์ตอนและสิ่งมีชีวิตในน้ำ ทำให้ปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์สะสมเพิ่มขึ้นและมากที่สุดตอนเช้ามืดทำให้ค่าพีเอชลดลง (Boyd, 1982) ดังนั้นในการวัดค่าพีเอชของน้ำในบ่อเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำจึงควรทำการวัดในตอนเช้าและตอนบ่ายอีกครั้งเพื่อทราบความแตกต่างระหว่างค่าต่ำสุดและสูงสุดในรอบวัน (ไมตรี และ จารุวรรณ, 2528) แหล่งน้ำที่เหมาะสมต่อการดำรงชีวิตของกุ้งไม่ควรมีการเปลี่ยนแปลงของพีเอชเกินกว่า 0.5 หน่วยในรอบวัน (ชลอ, 2543) หากมีความแตกต่างมากเกินไปจะเป็นอันตรายต่อกุ้งในบ่อ Swingle (1969) แนะนำระดับและช่วงของพีเอชที่เหมาะสมต่อการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำไว้ดังนี้ ค่าพีเอช 1-3 หรือ ต่ำกว่าจะเป็นจุดอันตรายที่สามารถทำให้สัตว์น้ำตายได้ ค่าพีเอช ระหว่าง 4-6 สัตว์น้ำบางชนิดอาจไม่ตาย แต่มักจะทำให้ผลผลิตต่ำเนื่องจากการเจริญเติบโตช้า ทำให้การสืบพันธุ์หยุดชะงัก ค่าพีเอช ระหว่าง 6-9 เป็นระดับที่เหมาะสมแก่การเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ ค่าพีเอช 9 ขึ้นไป ไม่เหมาะสมแก่การดำรงชีวิตหากปรากฏว่าสัตว์น้ำต้องอาศัยอยู่เป็นเวลานาน จะมีผลผลิตต่ำและเกิดโรคได้ง่ายและค่าพีเอช 10 หรือมากกว่าเป็นพิษต่อสัตว์น้ำ

นอกจากผลที่มีต่อสัตว์น้ำโดยตรงแล้ว ฟิโอฟยังมีผลทางอ้อม เช่น ทำให้สารพิษชนิดอื่น ๆ มีการแตกตัวเพิ่มขึ้นหรือลดลง ซึ่งเป็นอันตรายต่อสัตว์น้ำ ฟิโอฟที่มีระดับสูงขึ้นจะทำให้ความเป็นพิษของแอมโมเนียเพิ่มมากขึ้น ส่วนค่าฟิโอฟที่มีระดับลดลงจะทำให้เปอร์เซ็นต์ของไฮโดรเจนซัลไฟด์เพิ่มมากขึ้นและการแทรกซึมของสารพิษบางชนิดเข้าสู่ร่างกายของสัตว์น้ำยังขึ้นอยู่กับการไหลของสารละลายต่าง ๆ อีกด้วย (Tucker and Boyd, 1985) นอกจากนี้การใส่ปุ๋ยในบ่อเลี้ยง หากปรากฏว่าน้ำหรือดินในบ่อมีสภาพเป็นกรดมากเกินไป การใส่ปุ๋ยก็จะไม่เกิดผลดีแต่อย่างใดและเป็นการสิ้นเปลืองโดยเปล่าประโยชน์ โดยจะต้องปรับปรุงให้ค่าฟิโอฟสูงขึ้นจนอยู่ในระดับที่เหมาะสมเสียก่อนจึงใส่ปุ๋ยเพื่อให้ปุ๋ยสามารถละลายและถูกนำไปใช้ประโยชน์โดยสิ่งมีชีวิตในน้ำได้อย่างมีประสิทธิภาพ (Colt and Armstrong, 1979)

ออกซิเจนเป็นปัจจัยสำคัญของสิ่งมีชีวิตทุกชนิดในบ่อเลี้ยงกุ้ง การละลายของออกซิเจนในน้ำนั้นจะต้องอาศัยการแพร่ของออกซิเจนในอากาศลงในน้ำโดยอาศัยคลื่นและลม นอกจากนั้นแล้ว การใช้เครื่องให้อากาศเป็นแหล่งสำคัญในการเพิ่มปริมาณออกซิเจนละลายในน้ำในการเลี้ยงกุ้งแบบพัฒนา แต่แหล่งที่ให้ออกซิเจนในน้ำมากที่สุด คือ การสังเคราะห์แสงของแพลงก์ตอนพืชในตอนกลางวัน (Boyd, 1987; Maitland, 1978) ปริมาณออกซิเจนที่ได้จะมากกว่าการใช้สำหรับหายใจของทั้งตัวแพลงก์ตอนพืชเองและสิ่งมีชีวิตอื่น ๆ ในบ่อไม่ว่าจะเป็นกุ้งและแบคทีเรียที่ใช้ออกซิเจน แต่ในตอนกลางคืนกุ้งและแพลงก์ตอนจะใช้ออกซิเจนละลายในน้ำเพื่อการหายใจ ดังนั้นปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำจะค่อย ๆ ลดลงจนถึงจุดต่ำสุดในช่วงตอนเช้าก่อนที่จะมีแสงแดดและหากแพลงก์ตอนมีปริมาณมากเกินไปจะเกิดปรากฏการณ์ขาดออกซิเจนที่ละลายในน้ำในช่วงเช้าและจะมีมากเกินไปในช่วงบ่ายเนื่องจากการสังเคราะห์แสง (ไมตรี และ จารุวรรณ, 2528) ปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำมีผลต่อการกินอาหาร การเจริญเติบโตและสุขภาพกุ้ง ถ้าปริมาณออกซิเจนต่ำเกินไปอาจมีผลทำให้กุ้งตายได้ ปริมาณออกซิเจนในน้ำควรอยู่ระหว่าง 4 มิลลิกรัมต่อลิตรถึงจุดอิ่มตัว การแก้ปัญหาเรื่องการขาดออกซิเจนในบ่อเลี้ยงที่มีกุ้งอยู่อย่างหนาแน่นและกุ้งมีขนาดใหญ่จะต้องมีเครื่องให้อากาศและการเปลี่ยนถ่ายน้ำอย่างเพียงพอ (ชลอ และ พรเลิศ, 2547) ชลอ และ พรเลิศ (2547) ได้สรุปปริมาณออกซิเจนที่ละลายน้ำที่มีผลต่อกุ้งไว้ ดังนี้ ปริมาณออกซิเจนที่ละลายน้ำมากกว่า 4 มิลลิกรัมต่อลิตร กุ้งเจริญเติบโตดี สารอินทรีย์สลายตัวได้เร็ว ปริมาณออกซิเจนที่ละลายน้ำ 3-4 มิลลิกรัมต่อลิตร กุ้งเจริญเติบโตช้าลง การสะสมของสารอินทรีย์เพิ่มขึ้น ปริมาณออกซิเจนที่ละลายน้ำน้อยกว่า 3 มิลลิกรัมต่อลิตร กุ้งกินอาหารน้อยลงการเจริญเติบโตช้า โอกาสป่วยเพิ่มขึ้น ปริมาณออกซิเจนที่ละลายน้ำน้อยกว่า 2 มิลลิกรัมต่อลิตร กุ้งจะขึ้นมาอยู่บริเวณผิวน้ำ กุ้งที่อ่อนแอจะลอกคราบแล้วตายและปริมาณออกซิเจนที่ละลายน้ำน้อยกว่า 1

มิลลิกรัมต่อลิตร กุ้งจะตาย

ความเค็ม คือ ความเข้มข้นของไอออนทั้งหมดที่ละลายอยู่ในน้ำแสดงในรูปมิลลิกรัมต่อลิตร (mg/l) แต่นิยมใช้ในส่วนในพันส่วน (พีพีที) (Boyd, 1987) กุ้งกุลาดำมีความสามารถทนทานต่อการเปลี่ยนแปลงของความเค็มในช่วงกว้างและถ้าความเค็มลดลงอย่างช้า ๆ กุ้งกุลาดำสามารถปรับตัวมีชีวิตอยู่ได้ที่มีความเค็มเป็นศูนย์นานพอสมควรหรือความเค็มที่เพิ่มขึ้นจนถึง 45 พีพีที แต่ความเค็มที่เหมาะสมและกุ้งมีการเจริญเติบโตดีที่สุด คือ อยู่ระหว่าง 15-20 พีพีที ในปัจจุบันพบว่าการเลี้ยงกุ้งที่ความเค็ม 3-10 พีพีทีจะเลี้ยงกุ้งได้ง่าย เนื่องจากมีปัญหาเรื่องความเสียหายจากโรคกุ้งน้อยมากโดยเฉพาะปัญหาจากโรคแบคทีเรียเรืองแสงซึ่งจะไม่พบในน้ำความเค็มต่ำ (ชลอ, 2543)

การนำไฟฟ้าหรือค่าการนำไฟฟ้าเป็นการวัดความสามารถของน้ำที่จะให้กระแสไฟฟ้าไหลผ่าน คุณสมบัติข้อนี้ขึ้นอยู่กับปริมาณและชนิดของไอออนที่มีอยู่ในน้ำ รวมทั้งอุณหภูมิของน้ำ ขณะที่ทำการวัดสารประกอบอนินทรีย์ เช่น กรดอนินทรีย์ เบสและเกลือ เป็นต้นนำไฟฟ้าได้ดีตรงข้ามกับสารอินทรีย์ซึ่งไม่แตกตัวในน้ำ ดังนั้นจึงไม่นำไฟฟ้า ค่าการนำไฟฟ้าของน้ำไม่ได้บอกให้ทราบถึงชนิดของสารในน้ำแต่บอกเพียงว่ามีการเพิ่มขึ้นหรือลดลงของสารในน้ำเท่านั้น (กรรณิการ์, 2522) ค่าการนำไฟฟ้าของน้ำจะแปรผันตามความเข้มข้นของสารละลาย อุณหภูมิและพีเอชของน้ำ น้ำที่มีค่าพีเอชสูงกว่า 9 หรือต่ำกว่า 5 จะมีผลต่อการนำไฟฟ้ามากและถ้าอุณหภูมิสูงขึ้นมากสารต่าง ๆ จะแตกตัวได้ดี ทำให้ค่าการนำไฟฟ้าเพิ่มขึ้น สมเจตน์ และคณะ (2529) รายงานว่า ค่าการนำไฟฟ้าที่น้อยกว่า 1 มิลลิซิเมนส์ต่อเซนติเมตร (mS/cm) หรือมิลลิโหมห์ต่อเซนติเมตร (mmhos/cm) จะไม่มีความเค็ม ส่วนค่าการนำไฟฟ้าที่อยู่ในช่วง 2-4 มิลลิซิเมนส์ต่อเซนติเมตรจะมีความเค็มต่ำ ค่าการนำไฟฟ้าที่อยู่ในช่วง 5-8 มิลลิซิเมนส์ต่อเซนติเมตร จะมีความเค็มปานกลางและค่าการนำไฟฟ้ามากกว่า 9 มิลลิซิเมนส์ต่อเซนติเมตร จะมีความเค็มสูง

ความเป็นด่างของน้ำ หมายถึง ความสามารถหรือคุณสมบัติของน้ำที่จะรับเอาไฮโดรเจนไอออน (H^+) นั่นก็คือในแหล่งน้ำจะประกอบด้วยคาร์บอเนต (CO_3^{2-}) ไบคาร์บอเนต (HCO_3^-) และไฮดรอกไซด์ (OH^-) เป็นส่วนใหญ่ แต่อาจจะมีฟลักบอเรต (borates) ซิลิเกต (silicates) ฟอสเฟต (phosphate) และสารอินทรีย์ต่าง ๆ อยู่บ้าง แต่เป็นจำนวนน้อย (ชาญยุทธ, 2533) สารประกอบเหล่านี้จะทำให้มีค่าพีเอชสูงกว่า 7 โดยที่พีเอชของน้ำนั้นจะเป็นตัวกำหนดสารประกอบที่ละลายอยู่ในน้ำ เมื่อน้ำที่มีพีเอช 7-8.3 จะมีไบคาร์บอเนตมาก น้ำที่มีพีเอชตั้งแต่ 8.3 ขึ้นไปจะเริ่มมีคาร์บอเนต น้ำที่มีพีเอช 9.5-10.5 จะมีคาร์บอเนตมากและน้ำที่มีพีเอช 11 จะมีไฮดรอกไซด์มาก ค่าความเป็นด่าง

เพียงตัวเดียวไม่ถือว่าเป็นสารมลพิษ แต่มีผลเกี่ยวเนื่องกับคุณสมบัติด้านอื่น ๆ เช่น พีเอช ความเป็นกรดและความกระด้าง เป็นต้น (Brawn *et al.*, 1983) ความเป็นด่างของน้ำจึงเป็นค่าแสดงถึงความสามารถของน้ำที่จะป้องกันไม่ให้พีเอชเปลี่ยนแปลง (buffer capacity) (Wedemeyer *et al.*, 1976) หากปรากฏว่าแหล่งน้ำนั้นมีค่าความเป็นด่างต่ำก็แสดงว่ามี buffer capacity น้อย พีเอชของน้ำแห่งนั้นจะเปลี่ยนแปลงได้รวดเร็ว ซึ่งเป็นอันตรายต่อสัตว์น้ำ ความเป็นด่างในแหล่งน้ำธรรมชาติจะแตกต่างกันออกไป โดยมีค่าตั้งแต่ 25 จนถึง 400-500 มิลลิกรัมต่อลิตร (Boyd, 1982; 1990) ชลอและ พรเลิศ (2547) กล่าวว่า ค่าความเป็นด่างมีความสำคัญมากในการเพาะเลี้ยงกุ้ง ซึ่งจะมีความสัมพันธ์กับอัตราการรอดตายและการเจริญเติบโตของกุ้งกุลาดำและกุ้งทะเลทุกชนิดค่าความเป็นด่างที่เหมาะสมกับการเลี้ยงกุ้งกุลาดำอยู่ระหว่าง 80-150 มิลลิกรัมต่อลิตร

ความกระด้างของน้ำ คือ อีออนของโลหะวาเลนซ์สอง ซึ่งได้แก่ แคลเซียมอีออน (Ca^{2+}) แมกนีเซียมอีออน (Mg^{2+}) เป็นส่วนใหญ่ (ยงค์, 2530) หน่วยความเข้มข้นวัดเป็นมิลลิกรัมต่อลิตร ในรูปของหินปูน (mg/l as CaCO_3) ความกระด้างโดยทั่วไปจะสัมพันธ์กับความเป็นด่าง เพราะอีออนลบของความเป็นด่างและอีออนบวกของความกระด้างโดยปกตินี้ได้มาจากการละลายของแร่คาร์บอเนต

แอมโมเนียในบ่อเลี้ยงสัตว์น้ำเกิดจากสิ่งขับถ่ายของสัตว์น้ำ (Tucker and Boyd, 1985; Wickins, 1985) และจากการย่อยสลายสารอินทรีย์ของแบคทีเรีย เนื่องจากการเลี้ยงกุ้งแบบพัฒนาซึ่งมีการให้อาหารในปริมาณมาก ทำให้มีของเสียและเศษอาหารสะสมอยู่ในบ่อตามระยะเวลาการเลี้ยง ส่งผลให้เกิดแอมโมเนีย ซึ่งเป็นสารประกอบของไนโตรเจนถูกปล่อยออกมาจากกระบวนการแอมโมนิฟิเคชัน (ammonification) ซึ่งพบในรูปของแอมโมเนียมที่แตกตัวเป็นอีออน (ionize ammonia; NH_4^+) ซึ่งไม่เป็นพิษต่อสัตว์และแอมโมเนียที่ไม่แตกตัวเป็นอีออน (un-ionize ammonia; NH_3) ซึ่งเป็นพิษต่อสัตว์น้ำ ทั้งสองรูปนั้นจะเปลี่ยนรูปกลับไปกลับมา แต่การที่จะอยู่รูปใดนั้นขึ้นอยู่กับค่าพีเอชและอุณหภูมิ (ตารางที่ 1) แต่จะพบว่าค่าพีเอชจะส่งผลต่อการแตกตัวเป็นแอมโมเนียที่ไม่แตกตัวเป็นอีออนมากกว่าอุณหภูมิ (Boyd, 1989) คือ เมื่อพีเอชสูงขึ้นจะมีผลทำให้แอมโมเนียที่ไม่แตกตัวเป็นอีออนมีปริมาณเพิ่มขึ้นด้วย แต่ถ้าพีเอชต่ำลงจะมีผลทำให้แอมโมเนียที่แตกตัวเป็นอีออนมีปริมาณเพิ่มขึ้น การวัดแอมโมเนียโดยทั่วไปจึงเป็นการวัดแอมโมเนียทั้งสองรูปนี้ ค่าที่วัดได้จะเรียกว่าค่าแอมโมเนียรวม (total ammonia nitrogen; TAN) ตัวอย่างการแตกตัวของแอมโมเนียที่ไม่แตกตัวเป็นอีออนที่อุณหภูมิ 26 องศาเซลเซียส พีเอช 7 มีค่าแอมโมเนียรวม 1 มิลลิกรัมต่อลิตร เพราะฉะนั้นจะมีแอมโมเนียที่ไม่แตกตัวเป็นอีออน $1 \times (0.6/100) = 0.0571$ มิลลิกรัมต่อลิตร

เมื่อแอมโมเนียในน้ำมีปริมาณสูงจะทำให้การขับถ่ายของกุ้งทำได้น้อยเกิดการสะสมของแอมโมเนียในเลือดและเนื้อเยื่อ ส่งผลให้เหงือกกุ้งถูกทำลายเป็นแผลติดเชื้อโรคและความสามารถในการแลกเปลี่ยนก๊าซลดลง ระดับความเข้มข้นของแอมโมเนียที่ทำให้สัตว์น้ำตายโดยปกติอยู่ในช่วง 0.4-2.0 มิลลิกรัมต่อลิตร ในรูปของแอมโมเนียที่ไม่แตกตัวเป็นอามอน แต่แอมโมเนียในช่วงระหว่าง 0.1-0.4 มิลลิกรัมต่อลิตร จะทำให้กุ้งโตช้า สำหรับระดับที่ปลอดภัยต่อการเลี้ยงกุ้งควรน้อยกว่า 0.1 มิลลิกรัมต่อลิตร (ชลอ และ พรเลิศ, 2547)

ตารางที่ 1 ความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์ของแอมโมเนียที่ไม่แตกตัวเป็นอามอนที่มีค่าพีเอชและอุณหภูมิของน้ำแตกต่างกัน

พีเอช	อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)								
	16	18	20	22	24	26	28	30	32
7.0	0.30	0.34	0.40	0.46	0.52	0.60	0.70	0.81	0.95
7.2	0.47	0.54	0.63	0.72	0.82	0.95	1.10	1.27	1.50
7.4	0.74	0.86	0.99	1.14	1.30	1.50	1.73	2.00	2.36
7.6	1.17	1.35	1.56	1.79	2.05	2.35	2.72	3.13	3.69
7.8	1.84	2.12	2.45	2.80	3.21	3.68	4.24	4.88	5.72
8.0	2.88	3.32	3.83	4.37	4.99	5.71	6.55	7.52	8.77
8.2	4.49	5.16	5.94	6.76	7.68	8.75	10.00	11.41	13.22
8.4	6.93	7.94	9.09	10.30	11.65	13.20	14.98	16.96	19.46
8.6	10.56	12.03	13.68	15.40	17.28	19.42	21.83	24.45	27.68
8.8	15.76	17.82	20.08	22.38	24.88	27.64	30.68	33.90	37.76
9.0	22.87	25.57	28.47	31.37	34.42	37.71	41.23	44.84	49.02

ที่มา: Boyd (1982)

ไนโตรที่เกิดจากการย่อยสลายของสารอินทรีย์โดยแบคทีเรีย เช่น *Nitrosomonas* sp. และ *Nitrococcus* sp. ก่อนที่จะเปลี่ยนเป็นไนเตรท โดย *Nitrobacter* sp. โดยปฏิกิริยาไนตริฟิเคชัน (nitrification) เรียกกลุ่มแบคทีเรียนี้ว่า ไนตริไฟอิงแบคทีเรีย (nitrifying bacteria) แต่ไนโตรที่ในบ่ออาจเกิดจากการเปลี่ยนไนเตรทเป็นไนโตรที่โดยแบคทีเรียในบริเวณดินโคลนก้นบ่อหรือ

ในน้ำที่ไม่มีออกซิเจน จึงทำให้ปฏิกิริยาไนตริฟิเคชัน (nitrification) เกิดไม่สมบูรณ์ส่งผลให้เกิดการสะสมไนโตรเจนในน้ำขึ้นได้ (ชลอ และ พรเลิศ, 2547; Boyd, 1982) ไนโตรเจนเป็นพิษต่อสัตว์น้ำ แต่ไนโตรเจนในบ่อเลี้ยงส่วนใหญ่มีปริมาณเพียงเล็กน้อยไม่เป็นอันตรายต่อการเลี้ยงกุ้งกุลาดำ บางครั้งในช่วงที่มีแพลงก์ตอนพืชตายพร้อม ๆ กันเป็นจำนวนมากหรือมีของเสียในบ่อมากจะพบว่า มีค่าไนโตรเจนสูง โดยปริมาณไนโตรเจนสูงประมาณ 0.1 มิลลิกรัมต่อลิตร จะเป็นอันตรายต่อสัตว์น้ำ (ขงยุทธ และ คณิต, 2537; รัชญญนันท์, 2547; EPA, 1973; Wetzel, 1975)

4. แพลงก์ตอนพืชในบ่อเลี้ยงกุ้งกุลาดำ

แพลงก์ตอนเป็นส่วนประกอบของห่วงโซ่อาหาร (food chain) ซึ่งในแหล่งน้ำจะมีแพลงก์ตอนพืชเป็นผู้ผลิตขั้นปฐมภูมิ (primary producer) แพลงก์ตอนพืชจะถูกสัตว์น้ำต่าง ๆ กินโดยตรงหรือถูกแพลงก์ตอนสัตว์กินแล้ว แพลงก์ตอนสัตว์นั้นถูกสัตว์น้ำกินอีกทอดหนึ่ง ซึ่งแพลงก์ตอนเป็นอาหารของลูกกุ้งในระยะซุเอีย เช่น *Skeletonema costatum*, *Thalassiosira* sp., *Cyclotella* sp., *Phaeodactylum* sp., *Dunaliella* sp., *Gymnodinium splendens*, *Chaetoceros* sp., *Tetraselmis* sp., *Isochrysis galbana*, *Exuviella* sp. และ *Chlorella* sp. (มุสดี, 2529) แพลงก์ตอนพืชเป็นแหล่งอาหารธรรมชาติในบ่อเลี้ยงกุ้งโดยเป็นแหล่งอาหารของแพลงก์ตอนสัตว์ เช่น Rotifers, Copepods และ Ostracods เป็นต้น และแพลงก์ตอนสัตว์เหล่านี้จะเป็นอาหารกุ้งกุลาดำต่อไป

ชนิดและปริมาณของแพลงก์ตอนเป็นตัวบ่งบอก (indicator) คุณสมบัติของน้ำ เช่น แพลงก์ตอนพืชพวกไดอะตอม สกุล *Thalassiosira* และ *Coscinodiscus* เป็นตัวชี้ให้เห็นว่าแหล่งน้ำนั้นมีธาตุอาหารอุดมสมบูรณ์ แต่ถ้ามีไดอะตอมสกุล *Rhizosolenia* และ *Planktoniella* แสดงว่าแหล่งน้ำนั้นมีธาตุอาหารต่ำและถ้าแหล่งน้ำใดมีจำนวนชนิดของแพลงก์ตอนน้อย เช่น มีแพลงก์ตอนเพียง 2-3 ชนิด แต่ละชนิดมีปริมาณสูง แสดงว่าแหล่งน้ำนั้นเน่าเสีย (ลัดดา, 2542; Eberly, 1966)

ประโยชน์ที่สำคัญของแพลงก์ตอนพืช คือ กระบวนการสังเคราะห์แสง (photosynthesis) ของแพลงก์ตอนพืชเป็นการเพิ่มปริมาณออกซิเจนในน้ำในตอนกลางวัน การที่มีปริมาณออกซิเจนละลายในน้ำมากจะช่วยให้กุ้งกินอาหารเพิ่มขึ้น ในเวลาเดียวกันก็มีส่วนทำให้ปริมาณของเสียพวกคาร์บอนไดออกไซด์ แอมโมเนีย ไฮโดรเจนซัลไฟด์และมีเทนในน้ำลดลง (สิริ และ สุรางค์, 2533) และแพลงก์ตอนพืชทำให้เกิดสีน้ำ ช่วยลดความโปร่งแสงของน้ำ (transparency)

ช่วยลดปริมาณแสงแดดที่ส่องลงพื้นก้นบ่อ ทำให้กุ้งเคลื่อนไหวน้อย ลดการกีดกันกันเอง กินอาหารดีขึ้น เจริญเติบโตดีกว่าบ่อที่มีน้ำใสและยังช่วยป้องกันการเกิดจืด (benthic algae) ซึ่งเกิดบ่อยเมื่อน้ำใส จืดนี้ทำให้เกิดปัญหา คือ เมื่อดายลงจะเน่าที่พื้นบ่อเกิดแอมโมเนียและสารพิษอื่นที่เป็นอันตรายต่อกุ้งได้ ชลอ (2543) กล่าวว่า ความสัมพันธ์ระหว่างสีน้ำกับชนิดและปริมาณแพลงก์ตอน สีน้ำในบ่อกุ้งส่วนใหญ่ คือ สีของแพลงก์ตอนที่กระจายอยู่ในน้ำซึ่งจะมีสีอะไรนั้นขึ้นอยู่กับชนิดและปริมาณของแพลงก์ตอนในบ่อนั้นเอง แสดงดังตารางที่ 2 โดยสีน้ำที่ดีในการเลี้ยงกุ้งควรจะเป็นสีที่เกิดขึ้นจากแพลงก์ตอนหลาย ๆ ชนิดอยู่รวมกันไม่ใช่เกิดจากแพลงก์ตอนชนิดใดชนิดหนึ่ง

ตารางที่ 2 ชนิดของแพลงก์ตอนที่พบในน้ำสีต่าง ๆ ในบ่อเลี้ยงกุ้งกุลาดำ

สีน้ำในบ่อกุ้ง	ชนิดของแพลงก์ตอนในน้ำ
น้ำตาลใส	<i>Rhizosolenia, Nitzschia</i>
น้ำตาล	<i>Rhizosolenia, Coscinodiscus</i>
น้ำตาลอ่อนจนถึงน้ำตาลเข้มปานกลาง	Dinoflagellate
น้ำตาลเข้ม	<i>Peridinium, Ceratium, Gymnodinium</i>
น้ำตาลเหลืองหรือเขียวน้ำตาล	<i>Oscillatoria, Coscinodiscus</i>
น้ำตาลเขียว	Diatom, <i>Pleurosigma, Gyrosigma</i>
น้ำตาลแดง	<i>Chaetoceros, Skeletonema, Diatom, Dinoflagellate</i>
เขียวอ่อน	Diatom, <i>Chlorella</i>
เขียวเข้ม	<i>Oscillatoria, Microcystis, Anabaena, Oocystis</i>
เขียวเหลือง	<i>Oscillatoria, Nitzschia</i>
น้ำขุ่น	Zooplankton, Rotifer, Copepod

ที่มา: ชลอ (2543)

ปัจจัยที่มีผลต่อการเจริญเติบโตของแพลงก์ตอนพืชประกอบด้วย แสง อุณหภูมิ สารอินทรีย์ ความเค็ม ธาตุอาหาร (แฟรดาซ์, 2537) ธาตุอาหาร (nutrient) เป็นสิ่งจำเป็นต่อแพลงก์ตอนพืช โดยแบ่งออกเป็น 2 กลุ่ม คือ ธาตุอาหารหลัก (macronutrient) และธาตุอาหารรอง (micronutrient)

ธาตุอาหารหลัก คือ ธาตุอาหารที่ประกอบเป็นโครงสร้างของแพลงก์ตอนพืช ดังนั้นจึงต้องการใช้ในปริมาณค่อนข้างมาก ได้แก่ คาร์บอน (C) ไนโตรเจน (N) ฟอสฟอรัส (P) แคลเซียม (Ca) แมกนีเซียม (Mg) ซัลเฟอร์ (S) โพแทสเซียม (K) โซเดียม (Na) และซิลิกอน (Si) ส่วนธาตุอาหารรอง คือ ธาตุอาหารที่แพลงก์ตอนต้องการใช้น้อยมีหน่วยเป็นมิลลิกรัมหรือน้อยกว่า ซึ่งธาตุอาหารรองเป็นส่วนประกอบของโมเลกุลที่จำเป็น เช่น เอนไซม์ ซึ่งเป็นปัจจัยที่เกี่ยวกับการเจริญเติบโต ได้แก่ เหล็ก (Fe) แมงกานีส (Mn) สังกะสี (Zn) ทองแดง (Cu) โบรอน (B) โมลิบดีนัม (Mo) คลอไรด์ (Cl) (Kaplan *et al.*, 1986) ธาตุอาหารที่จะเป็นตัวจำกัดการเจริญเติบโตที่สำคัญ คือ ไนโตรเจนและฟอสฟอรัส (Boyd, 1987)

คาร์บอนที่แพลงก์ตอนพืชนำไปใช้แบ่งออกได้ 2 ประเภท คือ อนินทรีย์คาร์บอนและอินทรีย์คาร์บอน แพลงก์ตอนพืชใช้อินทรีย์คาร์บอนในรูปของคาร์บอนไดออกไซด์ที่ละลายในน้ำหรือในรูปของคาร์บอเนต (CO_3^{2-}) และไบคาร์บอเนต (HCO_3^-) แพลงก์ตอนพืชใช้อินทรีย์คาร์บอนในรูปของสารประกอบอินทรีย์เพื่อการเจริญเติบโต เช่น ซูโครส กลูโคส ฟรุคโตส กาแลคโตส ฯลฯ โดยทั่วไปแพลงก์ตอนพืชต้องการอินทรีย์คาร์บอนในสภาพไร้อากาศ (anaerobic condition) หรือในสภาพที่ไม่มีแสงสว่าง (Kaplan *et al.*, 1986)

ไนโตรเจนเป็นธาตุอาหารที่มีความสำคัญอย่างยิ่งต่อแพลงก์ตอนพืช โดยแพลงก์ตอนพืชจะใช้นิโตรเจนในรูปของแอมโมเนียและไนเตรท Patrick (1977) กล่าวว่า ที่พีเอช 7 หรือต่ำกว่า 7 แอมโมเนีย ไนเตรทและสารประกอบอินทรีย์ของไนโตรเจนจะเป็นประโยชน์ต่อการเจริญเติบโตของไดอะตอม ถ้าพีเอชสูงกว่า 7 แอมโมเนียจะอยู่ในรูปแอมโมเนียมไฮดรอกไซด์ ซึ่งเป็นพิษต่อไดอะตอม ไดอะตอมบางชนิด เช่น *Melosira varians*, *Synedra ulna* และ *Navicula viridula* จะเจริญได้ดีในน้ำที่มีไนเตรทสูง (2-3 มิลลิกรัมต่อลิตร) ถ้าแพลงก์ตอนพืชขาดไนโตรเจนจะทำให้ปริมาณรงควัตถุ (pigments) ของเซลล์และอัตราการสังเคราะห์แสงลดลง (Kaplan *et al.*, 1986)

ฟอสฟอรัส แหล่งน้ำตามธรรมชาติจะพบฟอสฟอรัสในปริมาณเพียงเล็กน้อย ไมตรี และ จารุวรรณ (2528) กล่าวว่า ในแหล่งน้ำไม่ควรมีปริมาณฟอสฟอรัสเกิน 0.03 มิลลิกรัมต่อลิตร และแหล่งน้ำที่มีปัญหามลภาวะจะมีปริมาณฟอสฟอรัสสูงกว่า 0.6 มิลลิกรัมต่อลิตร แต่ในปัจจุบันกิจกรรมของมนุษย์ทำให้ฟอสฟอรัสในรูปต่าง ๆ เช่น ออโรฟอสเฟตและอินทรีย์ฟอสเฟตเข้ามาปะปนในแหล่งน้ำธรรมชาติได้หลายทาง เช่น มาจากการใช้ผงซักฟอกในการชำระล้างและการชะล้างของปุ๋ยซึ่งใช้ในการเกษตรลงสู่แหล่งน้ำ เป็นต้น (กรรณิการ์, 2522) การเพิ่มปริมาณของฟอสเฟตนี้จะมี

ผลทำให้สาหร่ายในแหล่งน้ำเจริญเติบโตเพิ่มจำนวนมากขึ้น (นพรัตน์, 2528) Palmer (1977) รายงานว่า ถ้าปริมาณของฟอสฟอรัสมีค่าสูงกว่า 0.15 มิลลิกรัมต่อลิตร และไนโตรเจนมีค่าสูงกว่า 0.3 มิลลิกรัมต่อลิตร จะมีแนวโน้มทำให้สาหร่ายเจริญเติบโตอย่างรวดเร็ว โดยเฉพาะอย่างยิ่ง สาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินจะเจริญเติบโตได้ดีในปริมาณฟอสฟอรัสเท่ากับ 0.45 มิลลิกรัมต่อลิตร (Round, 1973)

แคลเซียมและแมกนีเซียมมีความสำคัญต่อการเจริญเติบโตและเพิ่มจำนวนของแพลงก์ตอนพืช Patrick (1977) รายงานว่า *Synedra*, *Achnanthes minutissima*, *Gomphonema olivaceum*, *Cymbella* และ *Navicula* เป็นไดอะตอมที่ชอบแคลเซียม ปริมาณของแคลเซียมในน้ำสามารถใช้เป็นดัชนีชี้วัดความอุดมสมบูรณ์ของแหล่งน้ำได้ น้ำที่มีแคลเซียมน้อยกว่า 10 มิลลิกรัมต่อลิตร จัดว่าเป็นน้ำที่มีความอุดมสมบูรณ์ต่ำ น้ำที่มีแคลเซียมระหว่าง 10-25 มิลลิกรัมต่อลิตร จัดว่าเป็นน้ำที่มีความอุดมสมบูรณ์ปานกลางและน้ำที่มีแคลเซียมมากกว่า 25 มิลลิกรัมต่อลิตร จัดว่าเป็นน้ำที่มีความอุดมสมบูรณ์สูง (เปี่ยมศักดิ์, 2525) แมกนีเซียมจัดว่าเป็นธาตุอาหารที่สำคัญต่อกระบวนการเมตาบอลิซึมของเซลล์ในแพลงก์ตอนพืช นอกจากนี้แมกนีเซียมยังมีส่วนในระบบการปรับสมดุลน้ำและออสโมส การสังเคราะห์โปรตีน ช่วยเร่งการเจริญเติบโตของสัตว์น้ำและช่วยควบคุมการทำงานของกล้ามเนื้อเรียบ ถ้ามีมากเกินไปจะทำให้หัวใจเต้นช้าลง ปกติปริมาณของแมกนีเซียมในเลือดจะมีค่าต่ำกว่าในน้ำโดยกุ้งจะขับแมกนีเซียมออกจากร่างกายเพื่อรักษาปริมาณในเลือดให้อยู่ในระดับต่ำกว่าในน้ำ

ซัลเฟอร์หรือกำมะถันเป็นธาตุอาหารที่จำเป็นต่อแพลงก์ตอนพืชทุกชนิด ซึ่งอยู่ในกรดอะมิโน ซัลเฟอร์ที่แพลงก์ตอนพืชใช้จะอยู่ในรูปของสารอนินทรีย์ ได้แก่ ซัลเฟต (SO_4^{2-}) และซัลไฟด์ (HS^-) (Kaplan *et al.*, 1986) ปกติซัลเฟตเป็นธาตุอาหารที่ไดอะตอมต้องการ Patrick (1977) รายงานว่า ไดอะตอมหลายชนิดที่ทนต่อน้ำที่มีไฮโดรเจนซัลไฟด์สูง ๆ ได้ เช่น *Hantzschia amphiozus*, *Nitzschia palea*, *Navicula minima*, *Surirella ovalis* var. *sabina* และ *Cyclotella meneghiniana* นอกจากนี้ อักษร และคณะ (2530) ยังพบว่า *Euglena*, *Trachelomonas* และ *Phacus* สามารถทนต่อสภาวะไฮโดรเจนซัลไฟด์สูงได้เช่นกัน ส่วนหน้าที่ของซัลเฟอร์ที่มีต่อสัตว์น้ำ คือ เป็นสารอิเล็กโทรไลต์ช่วยควบคุมสมดุลของพืชและช่วยในการกำจัดความเป็นพิษของสารประกอบอะโรมาติก (aromatic) ที่มีสูตรโครงสร้างทางเคมีเป็นรูปวงแหวนให้เปลี่ยนเป็นสารที่ไม่เป็นพิษแล้วขับออกนอกร่างกายและเป็นองค์ประกอบของกรดอะมิโนอีก 3 ชนิด ได้แก่ เมไทโอนีน ซีสทีนและซิสเทอีน ซึ่งอยู่ในกล้ามเนื้อและอวัยวะต่าง ๆ นอกจากนี้ซัลเฟอร์ยัง

เป็นส่วนประกอบของวิตามินบี 1 ไบโอตินและโคเอนไซม์ เอ อีกด้วย (Lovell, 1989; Silva and Williams, 2001)

โปแตสเซียมเป็นธาตุอาหารที่เป็นส่วนประกอบของเอนไซม์หลายชนิดและเป็นธาตุอาหารที่แพลงก์ตอนพืชทั่วไปต้องการ (Kaplan *et al.*, 1986) จากการทดลองพบว่าในสภาพที่มีโปแตสเซียมน้อย แพลงก์ตอนพืชมีการเจริญเติบโตและการสังเคราะห์แสงต่ำแต่จะมีการหายใจสูงขึ้น (Round, 1973) และ Wiesser (1962) พบว่าสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินบางชนิด ถ้าไม่มีโซเดียมแล้ว โปแตสเซียมจะสามารถเป็นตัวจำกัดการเจริญเติบโตได้ นอกจากนั้นโปแตสเซียมจะพบอยู่ในเลือดและในเซลล์ทั่วไปของกุ้ง กุ้งมีความต้องการโปแตสเซียมสูง เมื่ออยู่ในระยะที่กำลังสร้างเซลล์เนื้อเยื่อใหม่ เช่น ในระยะที่กุ้งกำลังเจริญเติบโต หน้าที่สำคัญของโปแตสเซียม คือ ช่วยในการรักษาสมดุลของร่างกายโดยควบคุมการเข้าออกของสารและน้ำภายในเซลล์ช่วยรักษาความสมดุลของฟิโอสภายในตัว ช่วยการกระตุ้นการทำงานของกล้ามเนื้อและระบบประสาทและควบคุมการเต้นของหัวใจ

โซเดียมเป็นธาตุอาหารที่แพลงก์ตอนพืชสีเขียวแกมน้ำเงินต้องการปริมาณมากกว่าแพลงก์ตอนพืชชนิดอื่นที่อยู่ในน้ำจืดและถ้าขาดโซเดียมจะทำให้ไปยับยั้งการสร้างไฟโคบิลิน (Humm and Wick, 1980) ซึ่งจะมีผลต่อการเจริญเติบโตของแพลงก์ตอนพืชสีเขียวแกมน้ำเงิน โซเดียมยังทำหน้าที่ในการควบคุมสมดุลเกลือแร่ (osmotic pressure) ในตัวกุ้งร่วมกับโปแตสเซียม รักษาภาวะสมดุลของฟิโอสในตัวกุ้งและยังเป็นส่วนเสริมการทำงานของกล้ามเนื้อและระบบประสาท ถ้าหากมีโซเดียมน้อยเกินไปจะทำให้กุ้งเจริญเติบโตช้าลง เพราะกุ้งจะกินอาหารได้น้อยและใช้ประโยชน์จากโปรตีนลดลง

ซิลิคอนในรูปซิลิเกตเป็นธาตุอาหารที่จำเป็นที่สุดของไดอะตอม ซึ่งซิลิคอนเป็นองค์ประกอบสำคัญของผนังเซลล์ ซิลิคอนที่ไดอะตอมสามารถนำไปใช้ได้จะอยู่ในรูปของ orthosilicic acid (H_4SiO_4) ส่วนสารประกอบซิลิคอนอื่น ๆ นั้นไดอะตอมจะนำไปใช้ได้เมื่ออยู่ในรูป soluble silicate (Kaplan *et al.*, 1986) O'Kelley (1974) พบว่า ไดอะตอมในสกุล *Navicula pelliculosa* และ *Cylindrotheca fusiformis* ต้องการซิลิคอนเพื่อการแบ่งเซลล์แบบไมโทซิส

นอกจากแพลงก์ตอนพืชในบ่อเลี้ยงกุ้งจะมีประโยชน์แล้ว แต่ยังสามารถก่อให้เกิดโทษได้ด้วย เช่น การเพิ่มจำนวนของแพลงก์ตอนพืชบางชนิด นอกจากจะมีผลทำให้น้ำเน่าเสียและมีผลต่อผู้

บริโภคสัตว์น้ำที่กินแพลงก์ตอนพืชชนิดนั้น ๆ เข้าไปยังอาจเป็นสาเหตุที่ทำให้กุ้งตายได้ เช่น การเพิ่มจำนวนมากของไดอะตอมชนิด *Chaetoceros gracilis* ทำให้เกิดพิษแก่ลูกกุ้งวัยอ่อน *Penaeus stylirostris* และ *P. vannamei* สารพิษจะถูกปล่อยออกมาจากไดอะตอมที่กำลังจะตายหรือตายแล้ว (ชลอ และคณะ, 2530) และปัญหาที่สำคัญ คือ ปัญหากลิ่นโคลนเกิดจากสาร 2 ชนิด คือ จีออสมิน (geosmin) และเอ็มบีไอ (MBI : 2-methyl-trans-9-decalol) ซึ่งสารทั้ง 2 ชนิดนี้จะถูกสร้างขึ้นโดยสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินกลุ่มต่าง ๆ ได้แก่ *Anabaena* sp., *Oscillatoria* sp., *Lyngbya* sp., *Symploca* sp. และ *Phormidium* sp. และนอกจากสาหร่ายแล้ว ราชนิด *Actinomycetes* ก็สามารถทำให้เกิดกลิ่นโคลนได้ แต่อย่างไรก็ตามในการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ สาเหตุหลักของกลิ่นโคลนนี้นั้นมักจะเกิดจากสารจีออสมินในสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงิน โดยเฉพาะกลุ่ม *Anabaena* sp. และ *Oscillatoria* sp. ซึ่งมีผลกระทบต่อการส่งออกกุ้งของไทยเนื่องจากผู้บริโภคโดยเฉพาะญี่ปุ่นและอเมริกา ซึ่งเป็นตลาดหลักของกุ้งไทยมีความรู้สึกไวมากต่อกลิ่นดังกล่าว จึงไม่ยอมซื้อกุ้งไปบริโภคส่งผลให้ห้องเย็นที่ส่งกุ้งไปขายถูกลูกค้าตำหนิและเรียกร้องค่าเสียหายหรือมีการส่งสินค้าคืนกลับประเทศสร้างความเสียหายอย่างมากที่สำคัญยังทำให้ราคากุ้งในประเทศตกลงอย่างมาก (จิราพร, 2535)

5. ความสัมพันธ์ระหว่างดินและน้ำในการเลี้ยงกุ้ง

ความสำคัญของดินในการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ คือ ทำหน้าที่เพื่อการเก็บกักน้ำ เป็นที่อยู่อาศัยของสัตว์และพืชน้ำ เป็นที่เก็บสารต่าง ๆ เป็นศูนย์กลางการหมุนเวียนของธาตุอาหารต่าง ๆ ภายในบ่อ (Boyd, 1990; Matida, 1966) เป็นบัฟเฟอร์ (buffer) และเป็นตัวกรองทางชีวภาพโดยดูดซับสารอินทรีย์ตกค้างจากอาหาร สิ่งขับถ่ายและสารเมตาบอไลต์ต่าง ๆ (Ray and Chien, 1992) คุณภาพของดินพื้นบ่อจะส่งผลกระทบต่อคุณภาพน้ำในบ่อและต่อตัวกุ้งโดยตรงเนื่องจากกุ้งใช้เวลาส่วนใหญ่อยู่บริเวณพื้นก้นบ่อ (ยงค์ และ พรพันธ์, 2534; Boyd, 1990; Hajek and Boyd, 1994)

กระบวนการทางฟิสิกส์ เคมี และชีวภาพของดินพื้นบ่อจะเกี่ยวข้องกับคุณภาพน้ำ สภาพดินที่ไม่ดีจะเป็นข้อจำกัดที่รุนแรงต่อการเลี้ยงกุ้งแบบกึ่งพัฒนาและพัฒนา (Boyd, 1992; Ray and Chien, 1992) ปฏิกริยาที่เกิดขึ้นระหว่างดินและน้ำจะส่งผลกระทบต่อคุณภาพน้ำ การเจริญเติบโตและอัตราการรอดตายของสัตว์น้ำ (Hajek and Boyd, 1994) การแลกเปลี่ยนที่เกิดขึ้นระหว่างดินและน้ำจะเกี่ยวข้องกับอินทรีย์วัตถุและออกซิเจน โดยจะเป็นแหล่งพลังงาน แร่ธาตุและอาหารสำหรับสิ่งที่มีชีวิตในดินขนาดเล็กและสัตว์หน้าดิน (Guy, 1992) โดยดินพื้นบ่อสามารถแบ่งออกเป็นชั้นตามระดับความลึกและปริมาณออกซิเจนที่ใช้ในการย่อยสลายสารอินทรีย์ (Barnes and Hughes,

1982; Brown and McLachlan, 1990; Munsiri *et al.*, 1995) ดังภาพที่ 1 คือ

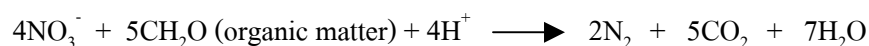
ชั้นบนสุดของดินพื้นบ่อ (floculent layer) เป็นพวกซากแพลงก์ตอนที่ตาย อาหารเหลือ สิ่งขับถ่าย จุลินทรีย์ และอนุภาคขนาดเล็ก การเคลื่อนที่ของน้ำผ่านบริเวณนี้จะช้าเพราะมีความหนืดสูงกว่าน้ำที่หมุนเวียนอยู่ข้างบน (freely-circulating water) สารต่าง ๆ เคลื่อนที่โดยการพา (convection) และการแพร่ โดยเฉพาะการแพร่จะมีบทบาทหลักต่อการปลดปล่อยสารหรือไอออนต่าง ๆ จากน้ำในดิน (interstitial water) สู่น้ำในบ่อ ส่วนการเคลื่อนที่ของสารลงสู่ดินชั้นล่างตามช่องว่างระหว่างอนุภาคดินเกิดโดยการแพร่ และการดูดซึมลงสู่ด้านล่าง (downward seepage) แสดงดังภาพที่ 2 (Boyd, 1995)

ชั้นที่มีออกซิเจน(aerobic zone หรือ oxidized layer) คือ ดินชั้นบนที่มีออกซิเจน ไนโตรเจน และซัลเฟอร์ซึ่งอยู่ในสภาวะออกซิไดซ์ (oxidized states) ได้แก่ ไนเตรตและซัลเฟต ซึ่งมีค่าศักย์ไฟฟ้ารีดอกซ์ระหว่าง 200-400 มิลลิโวลต์ ในดินชั้นนี้จะเกิดกระบวนการไนตริฟิเคชัน (nitrification) โดยกลุ่มแบคทีเรียพวกคีโมลิโทโทรฟ (chemolithotroph) กระบวนการนี้จะเริ่มจากแอมโมเนียมไอออนจะถูกออกซิไดซ์เป็นไนไตรท์โดยแบคทีเรีย *Nitrosomonas* และขั้นที่สองไนไตรท์ถูกออกซิไดซ์เป็นไนเตรตโดยแบคทีเรีย *Nitrobacter* ทั้งสองกระบวนการเป็นการหายใจแบบใช้อากาศ เรียกแบคทีเรียกลุ่มนี้ว่าไนตริไฟอิงแบคทีเรีย (nitrifying bacteria) ดินในชั้นนี้ยังมีกระบวนการตรึงก๊าซไนโตรเจนโดยเปลี่ยนก๊าซไนโตรเจนกลับมาเป็นไนเตรต (ดวงพร, 2545; ชลอ และ พรเลิศ, 2547) และกระบวนการดีซัลเฟอร์เซชัน (desulfurization) คือ กระบวนการกำจัดซัลเฟอร์ออกจากสารอินทรีย์ทำให้เกิดซัลเฟตโดยแบคทีเรียบางชนิดในชั้นที่มีออกซิเจน

ชั้น redox potential discontinuity (RPD) เป็นดินชั้นกลางอยู่ระหว่างชั้นที่มีออกซิเจนและไม่มีออกซิเจนจะมีการเปลี่ยนจากสภาวะออกซิไดซ์เป็นสภาวะรีดิวซ์ ออกซิเจนในดินชั้นนี้จะลดลงจนเกือบหมด ค่าศักย์ไฟฟ้ารีดอกซ์จะมีค่าใกล้เคียง 0 มิลลิโวลต์ (Brown and McLachlan, 1990) เริ่มมีการเกิดกระบวนการดีไนตริฟิเคชัน (denitrification) โดยไนเตรตจะทำหน้าที่เป็นตัวรับอิเล็กตรอนตัวสุดท้าย เรียกว่า การหายใจแบบไร้อากาศ (anaerobic respiration ในที่นี้คือ nitrate respiration) ไนเตรตถูกเปลี่ยนเป็นก๊าซไนโตรเจน สำหรับการใช้กลูโคสโดยการรีดิวซ์ไนเตรตสามารถสรุปเป็นสมการได้ดังนี้

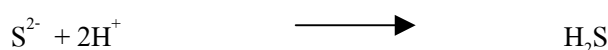
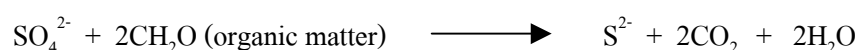


ดังนั้นกระบวนการดีไนตริฟิเคชันที่เกิดโดยแบคทีเรียบางชนิด เช่น *Escherichia coli* ซึ่งมี ความสามารถรีดิวซ์ไนเตรทเป็นไนไตรท์ แต่แบคทีเรียอื่น ๆ สามารถทำขั้นตอนต่อจากนี้ได้อีก 2 ขั้นตอนของการหายใจแบบไร้อากาศ คือ การรีดิวซ์ไนไตรท์เป็นก๊าซไนตรัสออกไซด์ (N_2O) และ รีดิวซ์ต่อเป็นก๊าซไนโตรเจน เมื่อเกิดก๊าซไนตริกออกไซด์หรือไนตรัสออกไซด์หรือไนโตรเจนถือ ว่าเกิดกระบวนการดีไนตริฟิเคชัน ตัวอย่างแบคทีเรียที่ทำให้เกิดกระบวนการนี้ เช่น *Pseudomonas*, *Moraxella*, *Spirillum*, *Thiobacillus* และ *Bacillus* การเกิดไนตรัสออกไซด์เกิดได้ดีเมื่อสิ่งแวดล้อม มีไนเตรทปริมาณมากและมีค่าพีเอชที่ต่ำ แต่การเกิดก๊าซไนโตรเจนจะเกิดได้ดีกว่าเมื่อมีสารอินทรีย์ เพียงพอที่จะเป็นแหล่งพลังงาน สามารถสรุปเป็นสมการได้ ดังนี้



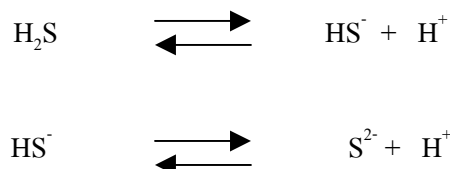
สารอินทรีย์จะถูกแบคทีเรียที่ใช้ออกซิเจนจากไนเตรทเปลี่ยนสารอินทรีย์ไปเป็น คาร์บอนไดออกไซด์ น้ำและก๊าซไนโตรเจน ซึ่งก๊าซไนโตรเจนที่ถูกสร้างขึ้นจะถูกส่งออกไปสู่ บรรยากาศ คาร์บอนไดออกไซด์จะทำปฏิกิริยากับน้ำเกิดเป็นไบคาร์บอเนต (HCO_3^-) ปฏิกิริยานี้ จะทำให้ดินมีความเป็นกรดลดลง (Boyd, 1995)

ชั้นดินที่ไม่มีออกซิเจนเป็นชั้นดินล่างสุดจะเป็นชั้นรีดิวซ์ (reduced layer) ในดินชั้นนี้ จะมีค่าศักย์ไฟฟ้ารีดอกซ์เป็นลบ ภายหลังจากการใช้ไนเตรท (NO_3^-) แมงกานีสออกไซด์ (MnO_2) และเหล็กออกไซด์ (Fe_2O_3) จนหมดแล้ว แบคทีเรียพื้นบ่อหลายชนิดจะใช้ซัลเฟต (SO_4^{2-}) เป็นตัวรับ อิเล็กตรอนแทน ซึ่งการใช้ซัลเฟตในการหายใจเป็นการรีดิวซ์ซัลเฟตแบบสลาย (dissimilatory sulfate reduction) และแบคทีเรียกลุ่มนี้เจริญในสภาวะไร้อากาศเท่านั้น เรียกแบคทีเรียกลุ่มนี้ว่า sulfate reducing bacteria ได้แก่ *Desulfovibrio*, *Desulfotomaculum* และ *Desulfomonas* (ดวงพร, 2545) ผลจากการรีดิวซ์ทำให้เกิดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์หรือก๊าซไข่เน่า ดังสมการ



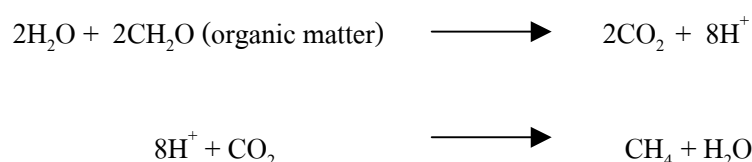
โดยปกติไฮโดรเจนซัลไฟด์เมื่อละลายในน้ำแล้วจะไม่เสถียร จะแตกตัวออกเป็น 2 รูป คือ รูปที่ไม่แตกเป็นไอออน ได้แก่ ไฮโดรเจนซัลไฟด์ที่เป็นพิษต่อสัตว์น้ำ (Boyd and Tucker, 1992) และ

รูปที่แตกเป็นไอออน ได้แก่ ไฮโดรซัลไฟด์ไอออน (HS^-) และไบซัลไฟด์ไอออน (S^{2-}) มีปฏิกิริยาแตกตัวดังนี้



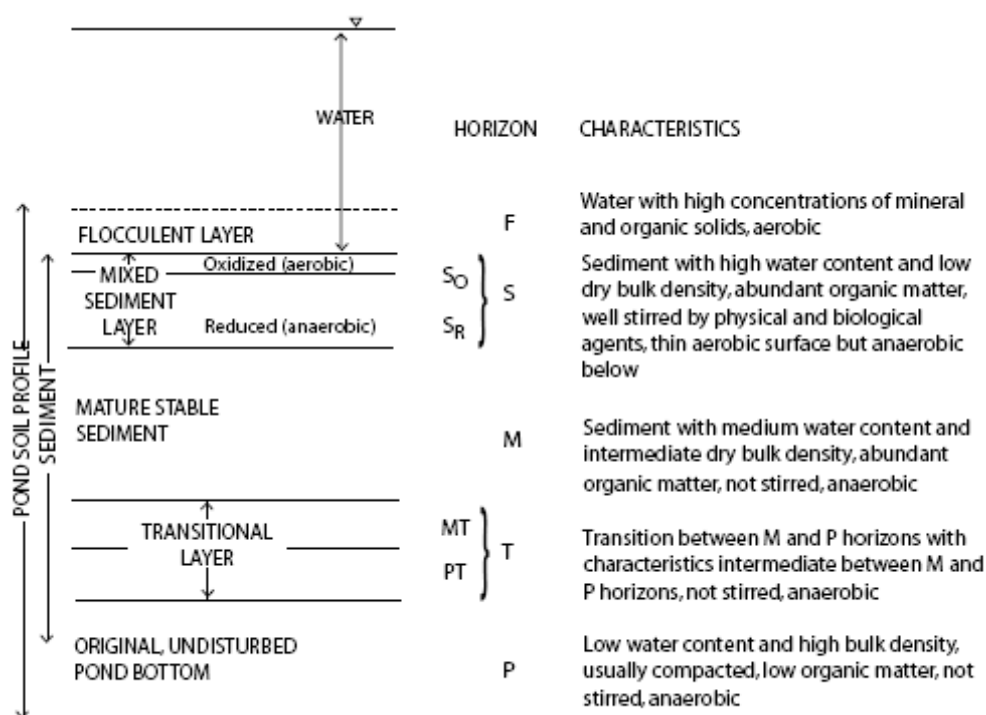
ซัลไฟด์ซึ่งจะอยู่ในสามรูปแบบ คือ ไฮโดรเจนซัลไฟด์ (H_2S) ไฮโดรซัลไฟด์ไอออน (HS^-) และไบซัลไฟด์ไอออน (S^{2-}) ในน้ำที่มีพีเอชต่ำจะมีเปอร์เซ็นต์ของไฮโดรเจนซัลไฟด์สูง แต่ถ้ามีค่าพีเอชสูงขึ้นเปอร์เซ็นต์ของไฮโดรเจนซัลไฟด์จะลดลง แต่ไฮโดรซัลไฟด์ไอออนและไบซัลไฟด์ไอออนมากขึ้นความเป็นพิษต่อสัตว์น้ำลดลงด้วย (ชโล และ พรเลิศ, 2547) พวกโลหะหนักที่มีความว่องไวมากจะรวมตัวกับก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ แล้วอยู่ในรูปตกตะกอนเป็นโลหะซัลไฟด์ซึ่งมีสีดำ (ดวงพร, 2545)

นอกจากแบคทีเรียกลุ่มนี้แล้วยังมีแบคทีเรียบางชนิด เช่น *Bacillus*, *Pseudomonas* และ *Saccharomyces* ทำให้เกิดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์จากซัลเฟตได้เช่นกัน แต่บทบาทจะน้อยมาก การรีดิวซ์ซัลเฟตสามารถเกิดในที่ที่มีค่าพีเอช ความดัน อุณหภูมิและความเค็มในช่วงที่กว้าง ปัจจัยจำกัดการเกิด คือ สารที่ทำหน้าที่เป็นตัวให้อิเล็กตรอนสำหรับรีดิวซ์ซัลเฟต ซึ่งส่วนใหญ่ตัวให้อิเล็กตรอน คือ ไพรูเวต (pyruvate) แลคเตต (lactate) (ชุมพล, 2541) และก๊าซไฮโดรเจน (ดวงพร, 2545) การรีดิวซ์ซัลเฟตจะถูกยับยั้งในที่ที่มีออกซิเจน ไนเตรทหรือเฟอร์ริกไอออน (Fe^{3+}) มีการแข่งขันระหว่างพวกแบคทีเรียที่รีดิวซ์ซัลเฟตกับเมทาโนจิติกแบคทีเรีย (methanogenic bacteria) ในการใช้ตัวให้อิเล็กตรอนภายในโคลนตะกอนการเกิดเมทาโนจีนิซิส (methanogenesis) อยู่บริเวณชั้นล่างบริเวณที่มีซัลเฟต ดังสมการ โดย Boyd (1995) ดังนี้



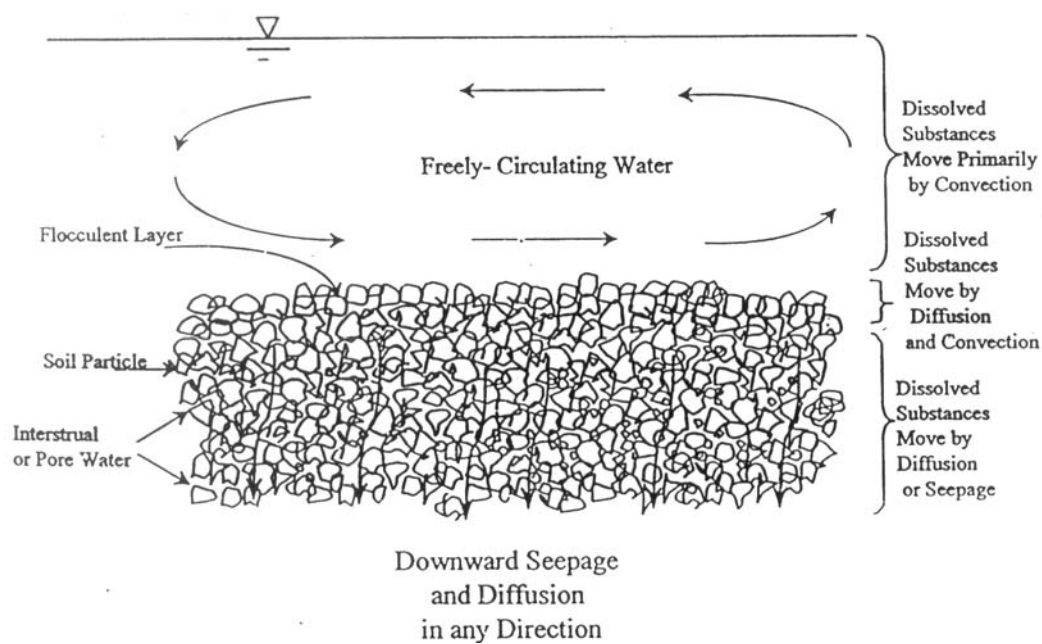
รูปแบบการเคลื่อนย้ายของสารต่าง ๆ ภายในบ่อในทางเคมีมี 2 ลักษณะ คือ ผิวดินพื้นบ่อที่มีออกซิเจน (oxidized layer) แสดงดังภาพที่ 3 และผิวดินพื้นบ่อที่ไม่มีออกซิเจน (reduced layer)

แต่น้ำที่อยู่ข้างบนยังมีอากาศ แสดงดังภาพที่ 4 ชั้นที่มีออกซิเจนจะควบคุมไม่ให้สารรีดิวซ์ เช่น พวกไนไตรท์ เพอร์ไรต์ ไฮโดรเจนซัลไฟด์ ก๊าซมีเทนและสารรีดิวซ์ตัวอื่น ๆ แพร่ขึ้นไปสู่น้ำในบ่อ แต่ถ้าพื้นบ่อมีสารอินทรีย์มากจนขาดชั้นออกซิเจนที่ผิวดินสารรีดิวซ์จะแพร่สู่น้ำข้างบน ถ้าน้ำในบ่อมีออกซิเจน สารรีดิวซ์เหล่านี้จะตกตะกอนลงมาอีกครั้ง อย่างไรก็ตามการตกค้างนาน ๆ จะเป็นอันตรายต่อกุ้งโดยตรง (สุวณิช, 2540 ; Boyd, 1992 ; Masuda and Boyd, 1994a)

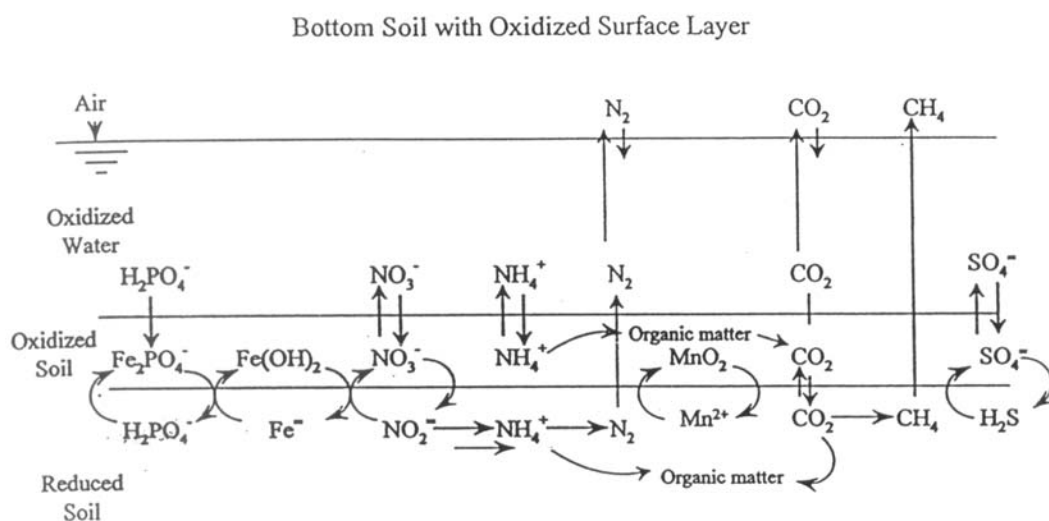


ภาพที่ 1 ชั้นของหน้าตัดดินพื้นบ่อ

ที่มา: Munsiri *et al.* (1995)

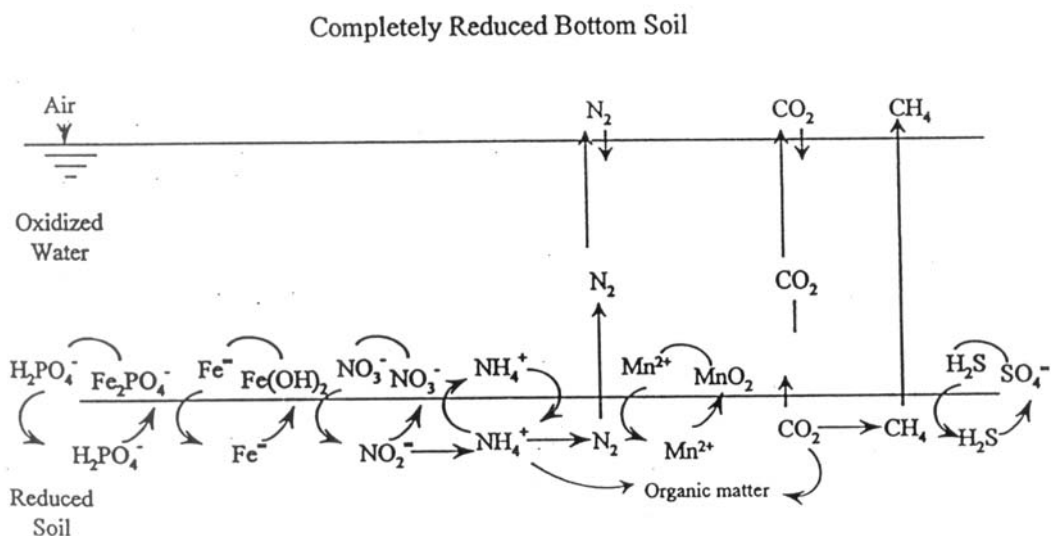


ภาพที่ 2 การเคลื่อนที่ของน้ำและมวลสารต่าง ๆ ภายในบ่อเลี้ยงสัตว์น้ำ
ที่มา: Boyd (1990)



ภาพที่ 3 การเคลื่อนที่ของสารบริเวณระหว่างชั้นดินและน้ำในบ่อที่ผิวพื้นบ่อมีออกซิเจน
(oxidized layer)

ที่มา: Boyd (1995)



ภาพที่ 4 การเคลื่อนที่ของสารบริเวณระหว่างชั้นดินและน้ำในบ่อที่ผิวพื้นบ่อขาดออกซิเจน (reduced layer)

ที่มา: Boyd (1995)

5.1 คุณสมบัติของดิน

พีเอชของดินเป็นคุณสมบัติทางเคมีของดินที่สำคัญมาก ค่าพีเอชของดินบอกถึงความเป็นกรดเป็นด่างหรือเป็นกลางของดิน มีอิทธิพลต่อการละลายของแร่ธาตุต่าง ๆ ในดิน ความเป็นประโยชน์ของธาตุอาหารพืชรวมทั้งกิจกรรมต่าง ๆ ของจุลินทรีย์ในดิน ถ้าดินที่มีพีเอชต่ำกว่า 4 จะมีกรดอิสระ (free acid) ซึ่งเกิดจากการออกซิเดชันของซัลไฟด์สะสมอยู่มาก ดินที่มีพีเอช 5.6 จะมีอะลูมิเนียมที่แลกเปลี่ยนได้สะสมอยู่ในดินและดินที่มีพีเอช 7.8-8.2 จะมีแคลเซียมคาร์บอเนตสะสมอยู่มาก (จรงักษ์, 2536)

เนื้อดิน (soil texture) เป็นสมบัติของดินที่บ่งบอกถึงขนาดของชิ้นส่วนของสารต่าง ๆ ที่ประกอบกันขึ้นเป็นดินโดยบ่งบอกถึงความหยาบหรือความละเอียดขององค์ประกอบหลักของดิน (คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา, 2535) อนุภาคดินสามารถแบ่งออกเป็น 3 กลุ่มโดยใช้ขนาดของเส้นผ่านศูนย์กลางเป็นเกณฑ์ ได้แก่ กลุ่มอนุภาคดินทราย (sand particle) กลุ่มอนุภาคดินทรายแป้งหรือซิลต์ (silt particle) และกลุ่มอนุภาคดินเหนียว (clay particle) ซึ่งระบบการจำแนกขนาดมีด้วยกันอยู่หลายระบบ แต่มีอยู่ 2 ระบบที่นิยมใช้กัน คือ ระบบสหรัฐอเมริกา (United States Department of Agriculture; USDA) และระบบสากล (International Society of Soil Science; ISSS) ดังตารางที่ 3

ตารางที่ 3 การจำแนกกลุ่มขนาดตามระบบสหรัฐอเมริกา (USDA) และระบบสากล (ISSS)

กลุ่มขนาด	เส้นผ่านศูนย์กลางกลาง (มิลลิเมตร)	
	USDA	ISSS
ทราย (very coarse sand)	2.00-1.00	-
ทรายหยาบ (coarse sand)	1.00-0.50	2.00-0.20
ทรายขนาดปานกลาง (medium sand)	0.50-0.25	-
ทรายละเอียด (fine sand)	0.25-0.10	0.20-0.02
ทรายละเอียดมาก (very fine sand)	0.10-0.05	-
ทรายแป้ง (silt)	0.05-0.002	0.02-0.002
ดินเหนียว (clay)	< 0.002	< 0.002

ที่มา: คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา (2541)

อินทรีย์วัตถุในดิน (soil organic matter) หมายถึง อินทรีย์สารทุกชนิดที่มีอยู่ในดิน ซึ่งมีต้นกำเนิดมาจาก ซากพืช ซากสัตว์และสิ่งมีชีวิตอื่น ๆ ที่สลายตัวทับถมอยู่ในดิน รวมทั้งอินทรีย์สารที่รากพืชปลดปล่อยมา (root exudates) และที่จุลินทรีย์ในดิน (soil organisms) สังเคราะห์ขึ้นมาแล้วสะสมอยู่ภายในดิน (คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา, 2535) ธาตุองค์ประกอบที่สำคัญโดยประมาณ คือ คาร์บอน 58 เปอร์เซ็นต์ ไฮโดรเจน 10 เปอร์เซ็นต์ ออกซิเจน 20 เปอร์เซ็นต์ ไนโตรเจน 5 เปอร์เซ็นต์ ฟอสฟอรัสและกำมะถันอย่างละ 1 เปอร์เซ็นต์ นอกจากนี้ยังมีสารอื่นอีกเล็กน้อย (Jackson, 1958) โดยอยู่ในรูปต่าง ๆ ตั้งแต่ที่มีโมเลกุลขนาดใหญ่ เช่น ฮิวมัส ลิกนิน เซลลูโลส จนถึงที่มีโมเลกุลขนาดเล็ก เช่น น้ำตาลบางชนิด กรดอะมิโนและกรดอินทรีย์บางชนิด (สมศักดิ์, 2528) แหล่งที่มาของสารอินทรีย์ในบ่อเลี้ยงสัตว์น้ำ ได้แก่ อาหารที่เหลือ การใช้ปุ๋ยอินทรีย์ การตายของแพลงก์ตอนและของเสียที่สัตว์น้ำปล่อยออกมารวมทั้งตะกอนที่มากับน้ำ ปริมาณสารอินทรีย์มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามความลึกของบ่อ (Boyd, 1990)

ปริมาณสารอินทรีย์ที่วัดได้จากตะกอนดินพื้นบ่อที่เลี้ยงกุ้งกุลาดำในประเทศไทยมีดังนี้ ดินบริเวณโครงการส่งเสริมการเลี้ยงกุ้งของจังหวัดประจวบคีรีขันธ์ สุราษฎร์ธานีและนครศรีธรรมราช อยู่ในช่วง 0.02-7.15, 0.08-8.12 และ 0.48-6.88 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ (กุลศักดิ์และคณะ, 2520) บริเวณนาุ้งและป่าชายเลนจังหวัดตราดอยู่ในช่วง 0.10-80.66 และ 2.10-13.80

เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ (พุง, 2532) นิวุฒิ (2534) ได้ศึกษาปริมาณสารอินทรีย์ในดินพื้นบ่อเลี้ยงกุ้งกุลาดำแบบหนาแน่นรอบ ๆ บริเวณป่าชายเลนและบ่อเลี้ยงบริเวณป่าชายเลนเป็นเวลา 4 เดือน พบว่าปริมาณสารอินทรีย์ที่ระดับผิวดินพื้นบ่อบริเวณป่าชายเลนมีระดับสูงมาก คือ มีค่าอยู่ระหว่าง 5.05-6.01 เปอร์เซ็นต์ตลอดการเลี้ยง ส่วนที่ระดับผิวดินพื้นบ่อบริเวณรอบ ๆ ป่าชายเลน ปริมาณสารอินทรีย์ตลอดการเลี้ยงอยู่ในช่วง 1.76-2.15 เปอร์เซ็นต์ ยนต์ และ พรพันธุ์ (2534) ได้ศึกษาอัตราการตกตะกอน คุณสมบัติของตะกอน และคุณสมบัติของดินพื้นบ่อทั้งในบ่อพักและบ่อเลี้ยงกุ้งกุลาดำแบบพัฒนาในบริเวณก้นอ่าวไทย พบว่า ตะกอนในบ่อพักน้ำมีปริมาณสารอินทรีย์โดยเฉลี่ย 3.20 เปอร์เซ็นต์ สำหรับบ่อเลี้ยงทั้ง 2 บ่อนั้น มีสารอินทรีย์เฉลี่ย 3.76 เปอร์เซ็นต์ และ 4.22 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ชญา (2535) พบว่า ปริมาณสารอินทรีย์ที่บริเวณคันบ่อ พื้นบ่อเลี้ยงกุ้งและป่าชายเลนบริเวณข้างเคียง อำเภอกาญจนดิษฐ์ จังหวัดสุราษฎร์ธานี อยู่ในช่วง 0.40-6.28, 0.20-5.27 และ 7.38-11.2 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ คุณิต และคณะ (2536) ศึกษาคุณภาพตะกอนดินในบ่อพักน้ำและบ่อเลี้ยงกุ้งในอัตราการปล่อยที่แตกต่างกัน คือ 30, 40, 50, 60 และ 70 ตัวต่อตารางเมตร พบว่า มีการเปลี่ยนแปลงค่าสารอินทรีย์อยู่ในช่วงระหว่าง 12.55-20.6, 11.18-17.12, 12.65-20.62, 13.27-21.33, 12.72-17.06 และ 10.04-14.86 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ และ สุวนิช (2540) ได้ศึกษาการเปลี่ยนแปลงสมบัติของดินพื้นบ่อเลี้ยงกุ้งกุลาดำแบบหนาแน่นบริเวณอ่าวไทยตอนใน พบว่า ในบ่อเลี้ยงกุ้งที่มีระยะเวลาการเลี้ยง 5, 6 และ 7 ปี มีสารอินทรีย์ในดินเดิมมีค่าเฉลี่ย 2.78, 2.52 และ 3.25 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ขณะที่บริเวณสารอินทรีย์ดินพื้นบ่อมีค่าเฉลี่ย 3.53, 3.18 และ 4.4 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ

การสลายตัวของอินทรีย์วัตถุ ถ้าเกิดในที่ที่มีอากาศเพียงพอจะถูกออกซิไดซ์ไปเป็นสารประกอบอนินทรีย์ เช่น คาร์บอนไดออกไซด์ น้ำ ไนเตรต ซัลเฟต ฟอสเฟตและสารอื่น ๆ แต่ถ้การสลายสารเกิดในสภาพขาดอากาศ สารอินทรีย์จะถูกออกซิไดซ์ไม่สมบูรณ์ สารอินทรีย์ส่วนใหญ่จะถูกเปลี่ยนเป็นสารตั้งต้น เช่น กรดอินทรีย์ แอลกอฮอล์และก๊าซมีเทน (Boyd, 1990)

5.2 ศักย์ไฟฟ้ารีดอกซ์ (redox potential)

ค่าศักย์ไฟฟ้ารีดอกซ์หรือค่า Eh โดยทั่วไปสามารถแสดงสภาวะออกซิไดซ์ (oxidized) หรือ รีดิวซ์ (reduced) ของดินพื้นบ่ออย่างคร่าว ๆ ได้ ดินพื้นบ่อที่มีค่าศักย์ไฟฟ้ารีดอกซ์เป็นบวกมักเป็นดินที่มีออกซิเจนอยู่เพียงพอ (สำหรับกระบวนการ aerobic metabolisms ต่าง ๆ) ในทางตรงกันข้าม ดินพื้นบ่อที่มีค่าศักย์ไฟฟ้ารีดอกซ์ติดลบมักเป็นดินที่เน่าเสียหรือไม่มีออกซิเจนอยู่ (reduced condition) โดยทั่วไปค่าศักย์ไฟฟ้ารีดอกซ์มีการเปลี่ยนแปลงตามความลึกของดิน สามารถจำแนก

สภาพของดินที่มีออกซิเจนออกจากดินที่ไม่มีออกซิเจนโดยใช้ค่าศักย์ไฟฟ้ารีดอกซ์ โดยดินที่มีออกซิเจนมักจะมีค่าศักย์ไฟฟ้ารีดอกซ์มากกว่า 0-100 มิลลิโวลต์ และอาจสูงถึง +400 มิลลิโวลต์ ดินที่มีออกซิเจนอยู่จะมีสีน้ำตาล น้ำตาลเหลืองหรือเขียวมะกอก เนื่องจากการที่สารประกอบของเหล็กในดินถูกออกซิไดซ์ไป อย่างไรก็ตามโดยทั่วไปปริมาณออกซิเจนในดินจะลดลงอย่างรวดเร็วเมื่อดินส่วนใหญ่จึงอยู่ในสภาพที่ไม่มีออกซิเจนค่าศักย์ไฟฟ้ารีดอกซ์ที่วัดได้อาจต่ำลงจนถึง -200 มิลลิโวลต์ หรือน้อยกว่านี้ และสีของดินจะเปลี่ยนเป็นสีเทาหรือสีดำในที่สุด (จารูมาศ, 2548) ทศนีย์ (2534) พบว่าค่าศักย์ไฟฟ้ารีดอกซ์โดยประมาณที่สารประกอบต่าง ๆ ในดินจะถูกรีดิวซ์นั้นจะเป็นไป ตามสมการ ดังนี้



ค่าศักย์ไฟฟ้ารีดอกซ์ของดินน้ำขังจะเป็นลบตลอดเวลา และจะมีค่ามากขึ้นเมื่อน้ำมีระดับความลึกมากขึ้น (Masuda and Boyd, 1994b) ซึ่งยงค์ และ พรพันธ์ (2534) ได้ศึกษาอัตราการตกตะกอน คุณสมบัติของตะกอนและคุณสมบัติของดินพื้นบ่อในบ่อพักน้ำและบ่อเลี้ยงกุ้งกุลาดำแบบพัฒนาในบริเวณแก่งอ่าวไทย พบว่า ค่าศักย์ไฟฟ้ารีดอกซ์ของดินในบ่อพักน้ำมีค่าอยู่ระหว่าง -185.70 ถึง -62.80 มิลลิโวลต์ของดินในบ่อเลี้ยงที่ 1 มีค่าอยู่ระหว่าง -188.50 ถึง -57.10 มิลลิโวลต์ และดินในบ่อเลี้ยงที่ 2 มีค่าอยู่ระหว่าง -206.96 ถึง -95.20 มิลลิโวลต์ และ ดำรง (2540) ได้ศึกษาการเปลี่ยนแปลงคุณภาพดินในบ่อเลี้ยงกุ้งระบบปิดโดยการให้อากาศแบบที่ไม่รบกวนตะกอนที่พื้นบ่อแบบแขวนลอยตะกอนและหมุนเวียนรวมตะกอน พบว่า ค่าศักย์ไฟฟ้ารีดอกซ์ของดินอยู่ในช่วง +63.01 ถึง -295.00, +61.85 ถึง -171.41 และ +65.99 ถึง -188.34 มิลลิโวลต์ ตามลำดับ

6. Sodium nitrate base (Nutralake)

ในปี ค.ศ. 1990 Sociedad Quimica Minera S.A. (SQM) ได้ดำเนินการวิจัยเพื่อผลิตปุ๋ยธรรมชาติที่เหมาะสมสำหรับการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ ภายใต้การวิจัยของนักชีววิทยา ชื่อ Johnnie Castro และได้ตั้งชื่อทางการค้าของปุ๋ยธรรมชาติชนิดนี้ว่า Nutralake ซึ่งมีโซเดียมไนเตรทของประเทศชิลี (Chilean Sodium Nitrate) สกัดมาจากทะเลทรายใน Atacama ซึ่งอยู่ทางเหนือของประเทศเป็นองค์ประกอบหลัก

Nutralake ของประเทศชิลีประกอบด้วยสารประกอบอนินทรีย์ ดังนี้

ไนโตรเจน (total nitrogen; N)	15	เปอร์เซ็นต์
ไนเตรท-ไนโตรเจน (nitrate nitrogen; NO_3^- - N)	15	เปอร์เซ็นต์
โซเดียม (sodium; Na)	23.2	เปอร์เซ็นต์
ซิลิเกต (soluble silicate; SiO_2)	3.5	เปอร์เซ็นต์
โปแตสเซียม (potassium; K)	0.37	เปอร์เซ็นต์
แมกนีเซียม (magnesium; Mg)	0.15	เปอร์เซ็นต์
ซัลเฟอร์ (sulphur; S)	0.08	เปอร์เซ็นต์
โบรอน (boron; B)	0.035	เปอร์เซ็นต์

คุณสมบัติทางกายภาพและเคมีของ Nutralake คือ มีลักษณะเป็นผลึกของแข็งสีขาว ไม่มีกลิ่น มีน้ำหนักโมเลกุล 84.99 จุดหลอมเหลว (melting point) 308 องศาเซลเซียส จุดเดือด (boiling point) 380 องศาเซลเซียส ความถ่วงจำเพาะ (specific gravity) 2.26 ความสามารถในการละลายน้ำ (solubility) 480 กรัมต่อลิตร ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียสและสามารถละลายในเอทานอล มีพิษเป็นกลางและมีความเสถียร (stable) ภายใต้สภาวะปกติ

ชื่อทางเคมี IUPAC: Sodium nitrate

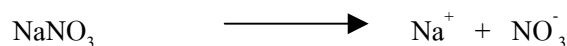
ชื่อทางเคมีทั่วไป: Nitric acid; Sodium salt

ชื่อพ้องอื่น ๆ: Nitrate of soda, Chilean saltpeter, Soda niter, Sodium (I) nitrate และ Sodium salt

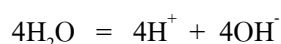
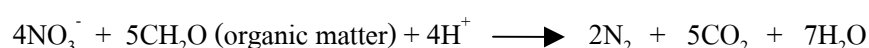
ชื่อทางการค้า: Nutralake , Chilean nitrate และ Bulldog soda

สูตรโมเลกุล: NaNO_3

Nutrilake สามารถออกฤทธิ์ได้ในสภาวะแวดล้อมต่าง ๆ ของการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ ในน้ำทะเล น้ำกร่อย น้ำความเค็มต่ำและน้ำที่มีอินทรีย์สารสูง เป็นต้น โดยเมื่อนำ Nutrilake ละลายในน้ำและใส่ในบ่อเลี้ยงกุ้งจะเกิดปฏิกิริยาการแตกตัวเป็นไอออน ดังสมการ



โซเดียมไอออนจะยึดเกาะกับฟิวอนูภาคดินเหนียว แต่โซเดียมจะถูกชะล้างออกง่ายเนื่องจากมีแรงยึดเกาะต่ำ (วิมลศิริ, 2546) อย่างไรก็ตามโซเดียมและไนเตรทเป็นธาตุอาหารสำหรับแพลงก์ตอนพืชในน้ำ นอกจากนี้ไนเตรทเป็นธาตุอาหารที่สำคัญในการควบคุมกระบวนการสังเคราะห์แสงของแพลงก์ตอนพืช (limiting nutrient) แล้ว ไนเตรทยังมีบทบาทในกระบวนการย่อยสลายของสารอินทรีย์อีกด้วย เนื่องจากไนเตรทจัดเป็นตัวรับอิเล็กตรอนในลำดับที่ถัดจากออกซิเจน และมีความสำคัญมากในระดับดินที่การแทรกซึมของออกซิเจนจากน้ำเบื้องบนนั้นถูกจำกัดเมื่อปริมาณออกซิเจนลดลงจนเกือบหมด กระบวนการดีไนตริฟิเคชัน (denitrification) จะเริ่มเกิดขึ้นโดยแบคทีเรีย กระบวนการนี้จะเกิดเฉพาะในชั้นบาง ๆ ใต้ผิวดินซึ่งอยู่ติดกับชั้นที่มีออกซิเจนต่ำบน (จารุมาศ, 2548) สารอินทรีย์จะถูกแบคทีเรียที่ใช้ออกซิเจนจากไนเตรทเปลี่ยนสารอินทรีย์ไปเป็นคาร์บอนไดออกไซด์ น้ำ และก๊าซไนโตรเจน ซึ่งก๊าซไนโตรเจนที่ถูกสร้างขึ้นจะถูกส่งออกไปสู่บรรยากาศ คาร์บอนไดออกไซด์จะทำปฏิกิริยากับน้ำเกิดเป็นไบคาร์บอเนต (HCO_3^-) ปฏิกิริยานี้จะทำให้ดินมีความเป็นกรดลดลง (Boyd, 1995) ดังสมการ



ดังนั้นถ้ามีไนเตรทเพียงพอจะป้องกันการเกิดไฮโดรเจนซัลไฟด์ได้ เนื่องจากไนเตรทเป็นแหล่งออกซิเจนให้แก่แบคทีเรียในกลุ่ม *Pseudomonas*, *Moraxella*, *Spirillum*, *Thiobacillus* และ *Bacillus* ทำให้แบคทีเรียกลุ่มนี้เป็นชนิดเด่น (dominant species) เพราะว่าถ้าในสภาวะปกติไนเตรท แอมโมเนียออกไซด์และเหล็กออกไซด์เป็นสารประกอบที่มีปริมาณน้อยในตะกอนดินพื้นบ่อ บทบาทของสารเหล่านี้จึงค่อนข้างน้อยเมื่อเทียบกับบทบาทของซัลเฟต การใช้ซัลเฟต

ของแบคทีเรียกลุ่ม sulfate reducing bacteria เช่น *Desulfovibrio*, *Desulfotomaculum* และ *Desulfomonas* จะเกิดหลังจากใช้ในตรพ แมงกานีสออกไซด์และเหล็กออกไซด์ถูกรีดิวซ์ไปเกือบหมดแล้ว ทำให้เกิดกระบวนการซัลเฟตรีดักชันย่อยสลายสารอินทรีย์ในดินแบบไม่ใช้ออกซิเจน โดยใช้ซัลเฟตเป็นตัวรับอิเล็กตรอนตัวสุดท้าย (จารุมาศ, 2548) ผลจากการรีดิวซ์ทำให้เกิดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์หรือก๊าซไข่เน่า

Castro (2000) รายงานผลการทดลองการใช้ Nutrilake ในฟาร์มเลี้ยงกุ้งในประเทศต่าง ๆ ซึ่งในแต่ละการทดลองนั้นพบว่าบ่อเลี้ยงกุ้งส่วนใหญ่ที่ใช้ Nutrilake มีอัตราการรอดตายและอัตราการเจริญเติบโตเพิ่มขึ้น ส่วนอัตราการเปลี่ยนแปลงของอาหารหรืออัตราการแลกเนื้อ (food conversion ratio; FCR) นั้นลดลง

ฟาร์มเลี้ยงกุ้งในประเทศเอกวาดอร์ใช้ Nutrilake ในการเตรียมบ่อ โดยการโรยบริเวณผิวน้ำดินที่มีความชื้น ทำให้เกิดการรีดักชันของสารอินทรีย์ จากผลการทดลองนี้ทำให้ได้อัตราการใช้ซึ่งจะขึ้นอยู่กับเปอร์เซ็นต์ของสารอินทรีย์ที่สะสมตลอดการเลี้ยงที่ผ่านมา (ตารางที่ 4) ดังนี้

ตารางที่ 4 ปริมาณการใช้ Nutrilake ในการเตรียมบ่อของประเทศเอกวาดอร์

ปริมาณอินทรีย์วัตถุในดิน (เปอร์เซ็นต์)	Nutrilake (กิโลกรัมต่อเฮกเตอร์)
2.0-3.0	62-92
3.1-4.0	94-123
4.1-5.0	125-154
5.1-6.0	157-185
6.1-7.0	188-216
7.1-8.0	220-246

ส่วนฟาร์มเลี้ยงกุ้ง Camaronera Angardo ซึ่งอยู่ใน Guayas ประเทศเอกวาดอร์ให้ผลการทดลอง ดังตารางที่ 5

ตารางที่ 5 ผลการใช้ Nutrilake ในบ่อเลี้ยงกุ้งที่ประเทศเอกวาดอร์

รายละเอียด	ปูยูเรีย	Nutrilake
จำนวนไคอะตอม (เซลล์ต่อมิลลิลิตร)	60,000	150,000
Filamentous bacteria (เซลล์ต่อมิลลิลิตร)	350	170
น้ำหนักกุ้งขณะจับ (กรัม)	12.6	16.2
อัตราการรอดตาย (เปอร์เซ็นต์)	49	52

จากตารางข้างต้นแสดงให้เห็นว่า Nutrilake ช่วยเพิ่มจำนวนไคอะตอมมากกว่าปูยูเรียแบบเดิม 1.5 เท่า filamentous bacteria และสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินลดลง 52 เปอร์เซ็นต์ เมื่อเปรียบเทียบกับปูยูเรียแบบเดิม น้ำหนักของกุ้งจากบ่อที่ใช้ Nutrilake มากกว่าบ่อที่ไม่ใช้ Nutrilake และจากผลการทดลองนี้ ทำให้ Nutrilake ได้รับความนิยมสำหรับการเพาะเลี้ยงกุ้งในประเทศเอกวาดอร์เป็นอย่างมาก

ฟาร์มเลี้ยงกุ้งในประเทศเปรูใช้เครื่องให้อาหารอัตโนมัติ ปล่อยูเรียในอัตราความหนาแน่น 15-20 ตัวต่อตารางเมตร เปลี่ยนถ่ายน้ำทุกวันในอัตรา 15-30 เปอร์เซ็นต์ น้ำมีความลึกเฉลี่ย 1.5 เมตร ได้มีการทดลองใช้ Nutrilake ในฟาร์มเลี้ยงกุ้งที่ Langostinera La Bocana เพื่อศึกษาเปรียบเทียบการเจริญเติบโตของแพลงก์ตอนพืชและแพลงก์ตอนสัตว์ระหว่างบ่อที่ใช้ Nutrilake กับบ่อที่ใช้ปูยูเรีย พบว่า Nutrilake ทำให้แพลงก์ตอนพืชมีอัตราการเจริญเติบโตถึง 320,000 เซลล์ต่อมิลลิลิตร ส่วนบ่อที่ใช้ปูยูเรีย พบว่า มีแพลงก์ตอนพืช 90,000 เซลล์ต่อมิลลิลิตร ส่วนการเจริญเติบโตของแพลงก์ตอนสัตว์ในบ่อที่ใช้ Nutrilake มี 64 ตัวต่อมิลลิลิตร และบ่อที่ใช้ปูยูเรียมี 20 ตัวต่อมิลลิลิตร นอกจากนี้ยังมีการใช้ Nutrilake ในประเทศเม็กซิโก ซึ่งประเทศนี้ผลิตกุ้งได้มากเป็นอันดับที่สองของกลุ่มประเทศลาตินอเมริกา รองจากประเทศเอกวาดอร์ ฟาร์มเลี้ยงกุ้งส่วนใหญ่อยู่ในรัฐ Sinaloa และ Baja California สถานที่ทำการทดลอง คือ Granja Las Palmas ในปี ค.ศ. 1995 ซึ่งผลการศึกษาเปรียบเทียบผลผลิตระหว่างบ่อที่ใช้ Nutrilake กับปูยูเรีย แสดงในตารางที่ 6

ตารางที่ 6 ผลผลิตระหว่างบ่อที่ใช้ Nutrilake กับปุ๋ยยูเรีย

รายละเอียด	ปุ๋ยยูเรีย	Nutrilake
อัตราความหนาแน่น (ตัวต่อตารางเมตร)	11	11
ระยะเวลาการเลี้ยง (วัน)	205	110
อัตราการเจริญเติบโต (กรัมต่อสปีดาร์)	0.40	0.95
น้ำหนักกุ้งขณะจับ (กรัม)	13.0	15.0
อัตราการรอดตาย (เปอร์เซ็นต์)	30	55
ปริมาณผลผลิต (กิโลกรัมต่อเฮกเตอร์)	400	825
อัตราการแลกเนื้อ (FCR)	3.0	1.8

จากตารางข้างต้น พบว่า บ่อที่เลี้ยงกุ้งโดยใช้ปุ๋ยยูเรียใช้เวลานาน 7 เดือน แต่บ่อที่ใช้ Nutrilake ใช้เวลาในการเลี้ยงนานเพียง 4 เดือน พบว่า น้ำหนักและอัตราการรอดตายของกุ้งในบ่อที่ใช้ Nutrilake เพิ่มขึ้น 25 เปอร์เซ็นต์และอัตราการแลกเนื้อลดลงเมื่อเปรียบเทียบกับบ่อที่ใช้ปุ๋ยยูเรีย ปริมาณแอมโมเนียในบ่อที่ใช้ Nutrilake มีค่า 0.010-0.015 มิลลิกรัมต่อลิตรน้อยกว่าบ่อที่ใช้ปุ๋ยยูเรีย ซึ่งมีค่า 0.016-0.040 มิลลิกรัมต่อลิตร

ในปี ค.ศ. 1998 ฟาร์มเลี้ยงกุ้ง Camaronera Oceanos ตั้งอยู่ที่ Calombian Caribbean ในประเทศโคลัมเบีย ได้ทำการศึกษาเปรียบเทียบผลผลิตระหว่างบ่อที่ใช้ Nutrilake กับบ่อที่ใช้ปุ๋ยอินทรีย์ที่ผลิตในประเทศเปรูที่เรียกว่า NICO พบว่า ในบ่อที่ใช้ Nutrilake มีปริมาณผลผลิต 1,150 กิโลกรัมต่อเฮกเตอร์มากกว่าบ่อที่ใช้ NICO ที่มีปริมาณผลผลิต 944 กิโลกรัมต่อเฮกเตอร์

ฟาร์มเลี้ยงกุ้งที่ประเทศกัวเตมาลา ใช้ Nutrilake ปริมาณ 50-100 กิโลกรัมต่อเฮกเตอร์ เพื่อควบคุมคุณภาพน้ำ จากการทดลองที่ฟาร์มเลี้ยงกุ้ง Finca Camarsa ซึ่งพบว่าในบ่อมีสาหร่ายสีเขียวและสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินเป็นจำนวนมาก แต่ไดอะตอมมีจำนวนน้อย หลังจากที่ใช้ Nutrilake 15 วัน จำนวนสาหร่ายสีเขียวและสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินลดลง ส่วนไดอะตอมมีจำนวนเพิ่มขึ้นและจากการทดลองใช้ Nutrilake ในฟาร์มเลี้ยงกุ้ง Finca Mayasal พบว่า ได้ปริมาณผลผลิต 631 กิโลกรัมต่อเฮกเตอร์มากกว่าบ่อควบคุมซึ่งมีปริมาณผลผลิต 486 กิโลกรัมต่อเฮกเตอร์ และบ่อที่ใช้ Nutrilake มีอัตราการแลกเนื้อ 1.96 น้อยกว่าบ่อควบคุมซึ่งมีอัตราการแลกเนื้อ 4.43

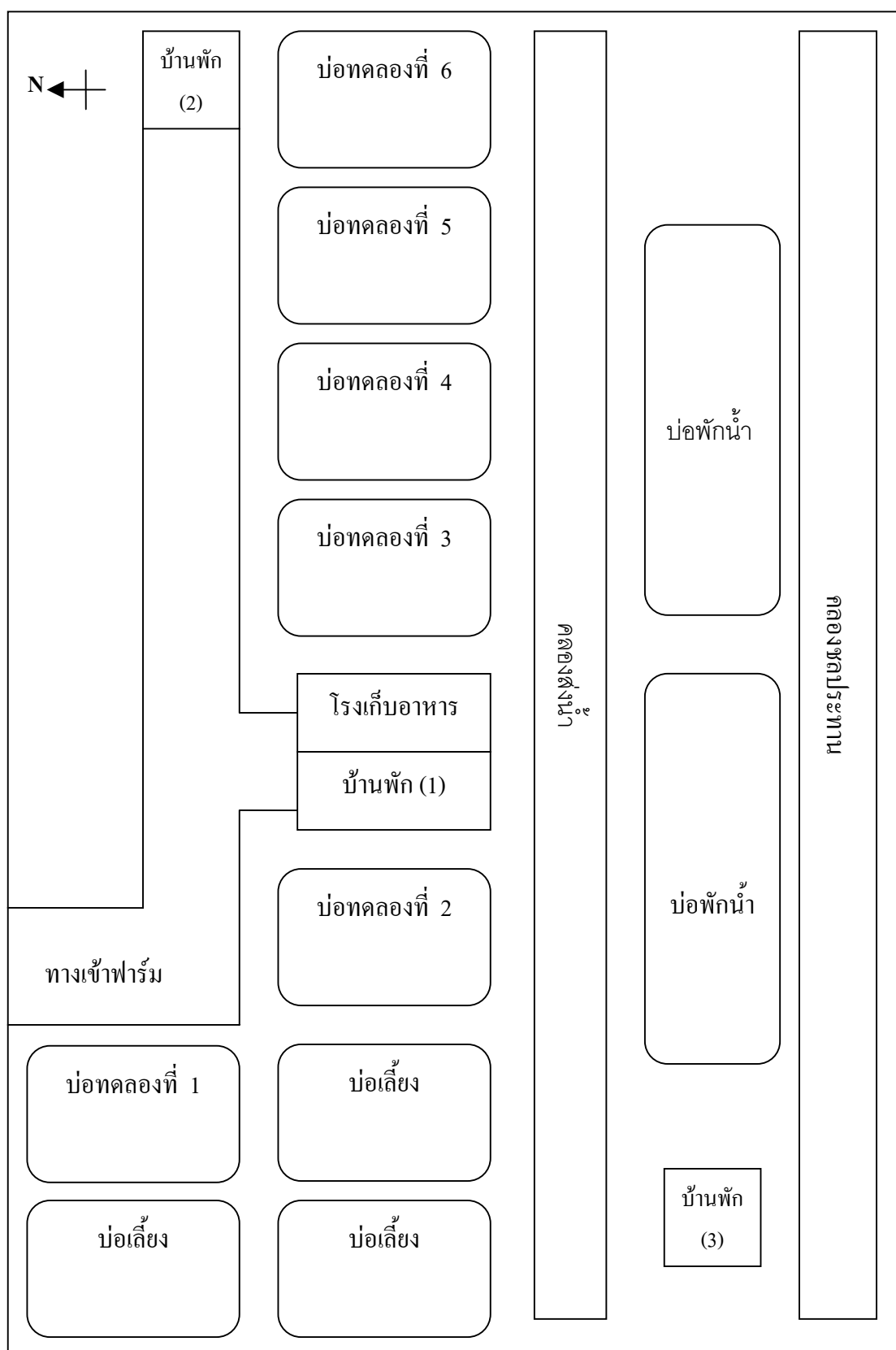
อุปกรณ์และวิธีการ

1. บ่อทดลอง

ทำการศึกษาในฟาร์มเลี้ยงกุ้งเอกชน ที่ตำบลทุ่งลูกนก อำเภอกำแพงแสน จังหวัดนครปฐม ซึ่งเป็นฟาร์มเลี้ยงกุ้งด้วยน้ำความเค็มต่ำเลี้ยงแบบระบบปิด มีพื้นที่ทั้งหมด 40 ไร่ คิดเป็นพื้นที่เลี้ยงกุ้ง 27 ไร่ จำนวนทั้งหมด 9 บ่อ โดยแต่ละบ่อมีพื้นที่บ่อละ 3 ไร่ และมีพื้นที่บ่อพักน้ำ 8 ไร่ (ภาพที่ 5) แต่ละบ่อมีความลึกประมาณ 2 เมตร ใช้เครื่องให้อากาศแบบเครื่องยนต์ขนาด 11 แรงม้า โดยใช้เครื่องยนต์ 2 เครื่องต่อบ่อ ซึ่งแต่ละบ่อมี 4 แขน แขนละ 12-14 ใบพัด การศึกษาครั้งนี้ใช้บ่อทดลองทั้งหมด 6 บ่อ (ภาพที่ 6) โดยแบ่งเป็น 2 กลุ่ม คือ

กลุ่มทดลองประกอบด้วยบ่อเลี้ยงกุ้งกุลาดำ จำนวน 3 บ่อ คือ บ่อที่ 1-3 มีพื้นที่บ่อละ 3 ไร่ ใช้เป็นบ่อทดลองที่มีการใช้ Nutrilake

กลุ่มควบคุมประกอบด้วยบ่อเลี้ยงกุ้งกุลาดำ จำนวน 3 บ่อ คือ บ่อที่ 4-6 มีพื้นที่บ่อละ 3 ไร่ ใช้เป็นบ่อควบคุมที่ไม่มีการใช้ Nutrilake



ภาพที่ 5 _แผนผังฟาร์มที่ทำการทดลอง



บ่อที่ 1



บ่อที่ 2

ภาพที่ 6 บ่อเลี้ยงกุ้งกุลาดำ



บ่อที่ 3 และ 4



บ่อที่ 5 และ 6

ภาพที่ 6 (ต่อ)

2. การเตรียมบ่อ

สำหรับบ่อที่ใช้ Nutrilake หลังจากการเลี้ยงรอบที่ผ่านมา ตากบ่อนาน 2 สัปดาห์และนำดินเลนพื้นบ่อออกก่อนที่จะใช้ Nutrilake (ภาพที่ 7) ซึ่งได้ความอนุเคราะห์จาก บริษัท ชาลีอินคัสตรี้ส์ จำกัด สาดให้ทั่วบนดินพื้นบ่อที่เปียกชื้นในปริมาณ 10-40 กิโลกรัมต่อไร่ ขึ้นอยู่กับเปอร์เซ็นต์ของปริมาณสารอินทรีย์ ดังตารางที่ 7 ใช้เวลาในการย่อยสลายของสารอินทรีย์นานประมาณ 5-10 วัน จึงนำน้ำเข้าบ่อ ส่วนบ่อควบคุม ตากบ่อนาน 2 สัปดาห์และนำดินเลนพื้นบ่อออก ก่อนหว่านปูนมาร์ลในปริมาณ 500-1,000 กิโลกรัมต่อไร่

ตารางที่ 7 ปริมาณการใช้ Nutrilake ในการเตรียมบ่อ

ปริมาณอินทรีย์วัตถุในดิน (เปอร์เซ็นต์)	Nutrilake (กิโลกรัมต่อไร่)
2.0-3.0	10-15
3.1-4.0	15-20
4.1-5.0	20-25
5.1-6.0	25-30
6.1-7.0	30-35
7.1-8.0	35-40

3. การเตรียมน้ำ

หลังจากการเตรียมบ่อแล้ว กั้นคอกด้วยผ้าพลาสติก โดยคอกมีขนาดครึ่งหนึ่งของขนาดบ่อ (ภาพที่ 8) สูบน้ำจากบ่อพักน้ำเข้าไปในบ่อทดลอง ผ่านถุงกรองไนลอนเพื่อป้องกันสัตว์น้ำต่าง ๆ เข้าไปในบ่อ โดยบริเวณที่กั้นคอกจะเติมน้ำเค็มจากนาเกลือจนได้ความเค็มประมาณ 8 พีพีที ให้ได้ระดับน้ำสูงประมาณ 0.6 เมตร ในขณะที่น้ำในบ่อที่อยู่ภายนอกคอกกั้นเติมน้ำเค็มจากนาเกลือจนได้ความเค็มประมาณ 2 พีพีที จากนั้นทำการติดตั้งเครื่องให้อากาศชนิดใบพัดในแต่ละบ่อ ในบ่อทดลองจะเติม Nutrilake ในอัตรา 3-5 กิโลกรัมต่อไร่ หลังจากนั้น 5 วันจึงปล่อยลูกกุ้งและใช้ Nutrilake จำนวน 2.0-2.5 กิโลกรัมต่อไร่ ทุกสัปดาห์จนกระทั่งจับกุ้ง ในกรณีที่มีปริมาณแพลงก์ตอนมากจะหยุดการใส่ Nutrilake ชั่วคราว ส่วนบ่อควบคุมมีการเตรียมน้ำเหมือนกับบ่อที่ใช้ Nutrilake แต่ไม่มีการใช้ Nutrilake

4. การปล่อยลูกกุ้ง

นำลูกกุ้งระยะโพสลาาร์วา 15 (PL 15) ที่ผ่านการตรวจด้วยปฏิกิริยาลูกโซ่โพลีเมอเรส (Polymerase Chain Reaction; PCR) ว่าปลอดเชื้อไวรัสดวงขาว (White Spot Syndrome Virus; WSSV) ปล่อยลูกกุ้งลงในคอกพลาสติกในอัตราความหนาแน่น 67,200 ตัวต่อไร่ (42 ตัวต่อตารางเมตร) ทั้ง 6 บ่อ หลังจากนั้นค่อย ๆ ลดความเค็มของน้ำในคอกโดยเติมน้ำที่อยู่ภายนอกเข้ามาในคอกแล้วระบายน้ำในคอกออกไปอย่างช้า ๆ ใช้เวลาลดความเค็มลงเรื่อย ๆ ประมาณ 7 วัน ก็จะเปิดคอกให้กุ้งออกไปอยู่กระจายทั้งบ่อ

5. การเลี้ยงและการให้อาหาร

ให้อาหารลูกกุ้งโดยใช้อาหารเม็ดสำเร็จรูปสำหรับกุ้งกุลาดำวันละ 4 ครั้ง คือ 07.00, 11.00, 16.00 และ 22.00 น. ในช่วง 1-5 วันให้อาหาร 1 กิโลกรัมต่อกุ้ง 100,000 ตัวต่อวัน หลังจากนั้นเพิ่มอาหาร 200 กรัมต่อกุ้ง 100,000 ตัวต่อวัน เมื่อกุ้งอายุ 20 วันจึงเริ่มทำการปรับอาหารตามขอ โดยเริ่มจากใส่อาหารในบ่อ 5 กรัมต่ออาหาร 1 กิโลกรัม ใช้เวลาตรวจอาหารในบ่อ 3 ชั่วโมง เมื่อกุ้งอายุ 60 วัน ใช้เวลาตรวจอาหารในบ่อ 2.5 ชั่วโมง และเมื่อกุ้งอายุ 90 วัน จะใส่อาหารในบ่อ 7-10 กรัมต่ออาหาร 1 กิโลกรัม ใช้เวลาตรวจอาหารในบ่อ 2.5 ชั่วโมง ในระหว่างการเลี้ยงมีการเติมน้ำจืดเข้าไปในบ่อจนได้ระดับความความลึกประมาณ 1.4-1.6 เมตร

6. การศึกษาอัตราการเจริญเติบโต อัตราการรอดตายและผลผลิตของกุ้งกุลาดำในบ่อทดลองที่ใช้ Nutrilake และบ่อควบคุม

เมื่อกุ้งอายุ 35 วัน จะเริ่มสุ่มกุ้งเพื่อนำมาชั่งน้ำหนักโดยใช้แหและหลังจากนั้นทุก ๆ 2 สัปดาห์ (ภาพที่ 9) โดยจะสุ่มกุ้งอย่างน้อยบ่อละ 2 จุด คือ บริเวณมุมบ่อและบริเวณหน้าเครื่องให้อากาศ หลังจากนั้นนำค่าที่ได้มาคำนวณหาปริมาณการเจริญเติบโตของกุ้งในแต่ละบ่อเพื่อให้ทราบถึงการเจริญเติบโตและสุขภาพของกุ้งจนกระทั่งจับกุ้ง

การศึกษาอัตราการเจริญเติบโต

$$\text{อัตราการเจริญเติบโตแต่ละช่วง} = \frac{\text{น้ำหนักกุ้งเฉลี่ยปัจจุบัน}-\text{น้ำหนักกุ้งเฉลี่ยครั้งก่อน}}{\text{ระยะเวลาที่เพิ่มจากการชั่งครั้งก่อน}} \\ (\text{กรัม/ตัว/วัน})$$

$$\text{อัตราการเจริญเติบโตสะสม} = \frac{\text{น้ำหนักกุ้งเฉลี่ยปัจจุบัน}-\text{น้ำหนักกุ้งตอนปล่อย}}{\text{อายุการเลี้ยง}} \\ (\text{กรัม/ตัว/วัน})$$

การศึกษาปริมาณผลผลิต

$$\text{ปริมาณผลผลิต (กิโลกรัมต่อไร่)} = \frac{\text{น้ำหนักกุ้งที่จับได้ทั้งหมด}}{\text{พื้นที่บ่อ}}$$

การศึกษาอัตราการรอดตาย

$$\text{อัตราการรอดตาย (เปอร์เซ็นต์)} = \frac{\text{จำนวนกุ้งที่เหลือ}}{\text{จำนวนกุ้งที่ปล่อยทั้งหมด}} \times 100$$

7. การศึกษาคุณสมบัติของน้ำในบ่อดทดลองที่ใช้ Nutrilake และบ่อควบคุม

เก็บตัวอย่างน้ำในบ่อเลี้ยงทั้ง 6 บ่อ เพื่อวิเคราะห์ค่าอุณหภูมิ พีเอชและปริมาณออกซิเจนละลายน้ำทุกวันในช่วงเช้า (6.00-7.00 น.) และช่วงบ่าย (14.00-15.00 น.) ส่วนการวิเคราะห์คุณสมบัติของน้ำพารามิเตอร์อื่น ๆ จะเก็บตัวอย่างทุก ๆ 7 วัน จนกระทั่งจับกุ้ง ซึ่งตัวอย่างน้ำจะนำไปวิเคราะห์ค่าต่าง ๆ ดังนี้ คือ

- อุณหภูมิของน้ำ วัดโดยเครื่อง YSI DO 200-4M
- ปริมาณออกซิเจนละลายในน้ำ วัดโดยเครื่อง YSI DO 200-4M
- พีเอช วัดโดยใช้เครื่องพีเอช รุ่น Ecoscan pH 5/6
- ความโปร่งแสง วัดโดยใช้ Secchi disc
- ความเค็ม วัดโดยใช้เครื่อง YSI 30/10 FT

- ค่าความนำไฟฟ้า วัดโดยใช้เครื่อง YSI 30/10 FT
- ความเป็นด่างรวม วัดโดยวิธี Titration (APHA *et al.*, 1995)
- ความกระด้าง วัดโดยวิธี EDTA Titrimetric Method (APHA *et al.*, 1995)
- ปริมาณแอมโมเนียรวม วัดโดยวิธี Phenol-hypochlorite Method (APHA *et al.*, 1995)
- ไนโตรที่-ไนโตรเจน วัดโดยใช้วิธีของ APHA *et al.* (1995)

8. การศึกษาชนิดและปริมาณแพลงก์ตอนในบ่อดองที่ใช้ Nutrilake และบ่อควบคุม

เก็บตัวอย่างแพลงก์ตอนทุก 2 สัปดาห์ โดยเก็บจากระดับความลึก 30 เซนติเมตรจากผิวน้ำ ในแต่ละบ่อจะเก็บตัวอย่าง 2 จุด คือ บริเวณด้านเหนือลมและด้านท้ายลม จำนวนจุดละ 4 ลิตร นำมากรองผ่านถุงกรองแพลงก์ตอน (plankton net) ที่มีขนาดช่องตา 20 ไมโครเมตร (ภาพที่ 10) แล้วเก็บรักษาตัวอย่างด้วยฟอร์มาลิน 4 เปอร์เซ็นต์ในขวดปริมาตร 135 มิลลิลิตร หลังจากนั้นจึงนำมาศึกษาชนิดและปริมาณแพลงก์ตอนโดยเขย่าขวดเก็บตัวอย่างแพลงก์ตอนเบา ๆ หรือเอียงขวดไปมาให้ตัวอย่างกระจายทั่วขวด สุ่มตัวอย่างมา 1 มิลลิลิตร ใส่สไลด์เพื่อนับจำนวนแพลงก์ตอน (Sedgwick-Rafter Counting Cell) จำแนกชนิดและนับปริมาณแพลงก์ตอนโดยใช้กล้องจุลทรรศน์กำลังขยายสูง (compound microscope) จำแนกชนิดแพลงก์ตอนตามลัดดา (2541, 2542) พร้อมทั้งถ่ายรูปแพลงก์ตอนชนิดต่าง ๆ ไว้ การวิเคราะห์แต่ละตัวอย่างจะศึกษา 3 ซ้ำ นำมาคำนวณหาค่าเฉลี่ยและปริมาณแพลงก์ตอนต่อลิตร โดยใช้สูตรคำนวณดังนี้

$$N_1 = \frac{N_2 V_1}{V_2}$$

เมื่อ N_1 = ปริมาณแพลงก์ตอนที่พบต่อน้ำ 1 ลิตร

N_2 = ปริมาณแพลงก์ตอนที่นับได้ในน้ำ 1 มิลลิลิตร

V_1 = ปริมาณน้ำในขวดเก็บตัวอย่าง

V_2 = ปริมาณน้ำที่กรองผ่านถุงกรองแพลงก์ตอน

9. การศึกษาคุณสมบัติของดินและค่าศักย์ไฟฟ้ารีดอกซ์ในบ่อทดลองที่ใช้Nutrilake และบ่อควบคุม

เก็บตัวอย่างดินพื้นบ่อทั้ง 6 บ่อ โดยสุ่มเก็บบ่อละ 4 จุดในแนวทแยงมุมของบ่อ ซึ่งจะเก็บตัวอย่างดินก่อนการเลี้ยงกุ้งและหลังจากจับกุ้งแล้ว นำดินที่เก็บในบ่อเดียวกันมาผสมรวมกันแล้วใส่ลงถุงพลาสติกเพื่อนำไปวิเคราะห์ที่ ภาควิชาปฐพีวิทยา คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ โดยวิเคราะห์เนื้อ ค่าพีเอช ปริมาณอินทรีย์วัตถุ ในเตรทและซัลไฟด์ในดิน ส่วนการวิเคราะห์ค่าศักย์ไฟฟ้ารีดอกซ์จะวิเคราะห์ทุก ๆ 2 สัปดาห์ ด้วยเครื่อง EcoScan EUTECH Instruments ทั้งในบริเวณแนวหวานอาหารและกลางบ่อทั้ง 6 บ่อ

10. การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

นำข้อมูลอัตราการเจริญเติบโต อัตราการรอดตาย ผลผลิต คุณภาพน้ำ ปริมาณแพลงก์ตอน และค่าศักย์ไฟฟ้ารีดอกซ์ของบ่อที่มีการใช้ Nutrilake และบ่อควบคุมมาเปรียบเทียบกันทางสถิติโดยใช้วิธี t-test

11. สถานที่ทำการวิจัย

11.1 ฟาร์มเลี้ยงกุ้งเอกชน ตำบลทุ่งลูกนก อำเภอกำแพงแสน จังหวัดนครปฐม

11.2 อาคารโรคสัตว์น้ำ ภาควิชาชีววิทยาประมง มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตบางเขน กรุงเทพฯ

11.3 ภาควิชาปฐพีวิทยา คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตบางเขน กรุงเทพฯ

12. ระยะเวลาการวิจัย

ระหว่างเดือนตุลาคม 2548-พฤษภาคม 2549



ภาพที่ 7 Nutrilake ที่ใช้ในการทดลอง



ภาพที่ 8 ก้นคอกด้วยผ้าพลาสติก ซึ่งคอกมีขนาดครึ่งหนึ่งของขนาดบ่อ



ภาพที่ 9 การชั่งน้ำหนักกุ้งด้วยเครื่องชั่งน้ำหนักแบบดิจิตอล



ภาพที่ 10 การเก็บตัวอย่างแพลงก์ตอนโดยกรองผ่านถุงกรองแพลงก์ตอน

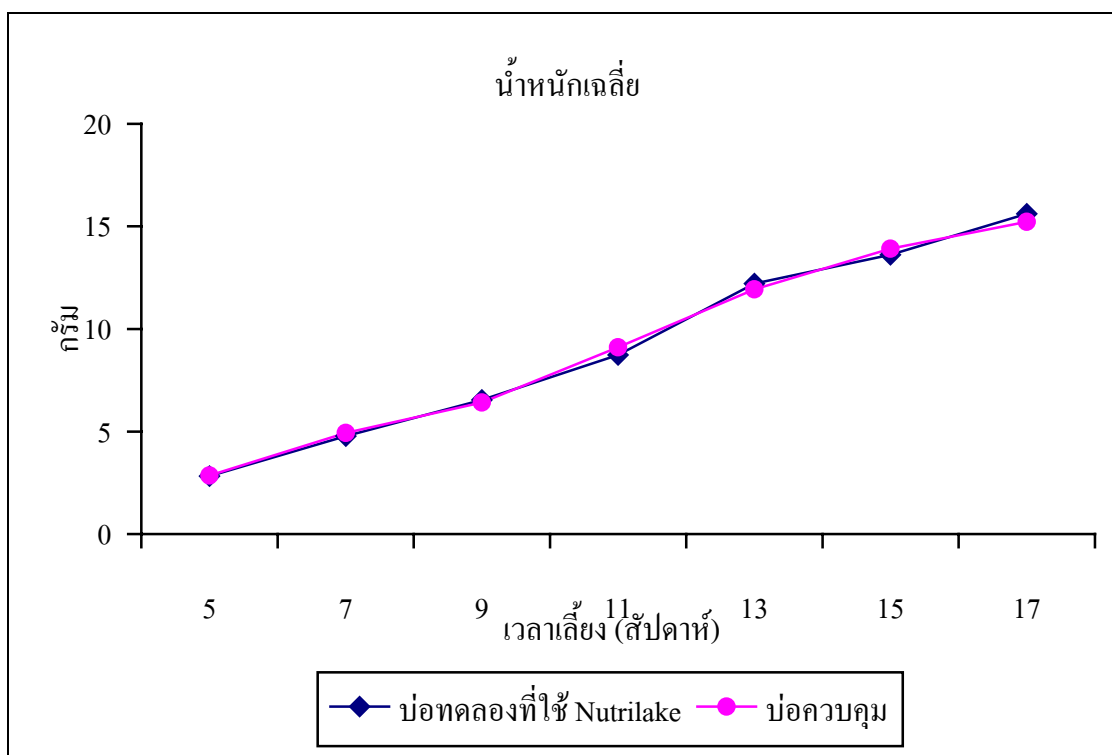
ผลและวิจารณ์ผล

1. การศึกษาอัตราการเจริญเติบโต อัตราการรอดตายและผลผลิตของกุ้งกุลาดำในบ่อที่ใช้ Nutrilake และบ่อควบคุม

ปล่อยลูกกุ้งกุลาดำในบ่อเลี้ยงทุกบ่อพร้อมกันหมดในวันที่ 13 ตุลาคม 2548 และจับกุ้งในวันที่ 14 กุมภาพันธ์ 2549 ผลการเลี้ยงกุ้งกุลาดำทั้ง 6 บ่อ ที่มีการใช้ Nutrilake และบ่อควบคุม แสดงไว้ในตารางที่ 8 และภาพที่ 11 ตลอดระยะเวลาการเลี้ยงไม่พบกุ้งป่วยหรือแสดงอาการผิดปกติ เนื่องจากลูกกุ้งกุลาดำที่ใช้ในการศึกษาครั้งนี้ได้ผ่านการตรวจด้วยเทคนิคพีซีอาร์แล้วว่าปลอดเชื้อไวรัสดวงขาว ผลการศึกษา (ตารางที่ 9) พบว่า บ่อที่ใช้ Nutrilake ให้ผลผลิตเฉลี่ย 643 ± 102.0 กิโลกรัมต่อไร่ กุ้งมีน้ำหนักเฉลี่ย 15.62 ± 0.617 กรัม อัตราการเจริญเติบโต 0.125 ± 0.0051 กรัมต่อวัน อัตราการรอดตาย 61.6 ± 12.36 เปอร์เซ็นต์และอัตราการแลกเนื้อ 1.35 ± 0.070 ในขณะที่บ่อควบคุมที่ไม่ใช้ Nutrilake ให้ผลผลิตเฉลี่ย 481 ± 124.7 กิโลกรัมต่อไร่ กุ้งมีน้ำหนักเฉลี่ย 15.23 ± 1.337 กรัม อัตราการเจริญเติบโต 0.122 ± 0.0110 กรัมต่อวัน อัตราการรอดตาย 47.6 ± 14.40 เปอร์เซ็นต์และอัตราการแลกเนื้อ 1.31 ± 0.091 เมื่อนำมาทดสอบทางสถิติพบว่าไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($P > 0.05$) (ตารางผนวกที่ 1) การเจริญเติบโตของกุ้งในบ่อทดลองและบ่อควบคุมครั้งนี้ต่ำกว่าระดับมาตรฐานซึ่งการเลี้ยงทั่วไปประมาณ 125 วัน ด้วยน้ำความเค็มต่ำกุ้งควรจะมีน้ำหนักประมาณ 18-20 กรัม (ชลอ, 2543) ทั้งนี้เนื่องจากการทดลองครั้งนี้เป็นการเลี้ยงในช่วงฤดูหนาว อุณหภูมิจะต่ำกว่าปกติ ชลอ (2543) กล่าวว่า กุ้งจะกินอาหารดีเมื่ออุณหภูมิอยู่ในช่วง 28-30 องศาเซลเซียส แต่ตลอดระยะเวลาที่ทำการศึกษา พบว่า อุณหภูมิของน้ำอยู่ในช่วง 28-30 องศาเซลเซียส น้อยมาก โดยเฉพาะอย่างยิ่งในการเลี้ยงในช่วงสัปดาห์ที่ 8-12 ของการเลี้ยง อุณหภูมิของน้ำช่วงเช้าและบ่ายต่ำมาก โดยเฉพาะสัปดาห์ที่ 9 ซึ่งมีอุณหภูมิของน้ำช่วงเช้า 20.1 องศาเซลเซียส และช่วงบ่าย 22.4 องศาเซลเซียสเท่านั้น ทำให้กุ้งกินอาหารน้อยและบางมือกุ้งไม่กินอาหารในมือเช้าและค่ำที่เป็นเช่นนี้เนื่องจากกุ้งเป็นสัตว์เลือดเย็นอุณหภูมิของร่างกายจะเปลี่ยนแปลงตามอุณหภูมิของน้ำเมื่ออุณหภูมิต่ำอัตราการเมตาบอลิซึมของกุ้งก็จะต่ำด้วย ทำให้อัตราการเจริญเติบโตของกุ้งทุกบ่อลดลง แต่หลังจากนั้นในช่วงสัปดาห์ที่ 13-16 ของการเลี้ยง อุณหภูมิของน้ำช่วงเช้าและบ่ายเริ่มเพิ่มสูงขึ้น ทำให้กุ้งกินอาหารดีขึ้นทำให้อัตราการเจริญเติบโตของกุ้งสูงขึ้นด้วย

ตารางที่ 8 น้ำหนักเฉลี่ยและอัตราการเจริญเติบโตของกุ้งกุลาดำในบ่อดอกที่ใช้ Nutrilake และ บ่อควบคุม

เวลาเลี้ยง (สัปดาห์)	บ่อดอกที่ใช้ Nutrilake		บ่อควบคุม	
	น้ำหนักเฉลี่ย (กรัม)	อัตราการเจริญเติบโต (กรัมต่อตัวต่อวัน)	น้ำหนักเฉลี่ย (กรัม)	อัตราการเจริญเติบโต (กรัมต่อตัวต่อวัน)
5	2.83	0.08	2.86	0.08
7	4.77	0.14	4.93	0.15
9	6.54	0.13	6.41	0.11
11	8.73	0.16	9.11	0.19
13	12.21	0.25	11.93	0.20
15	13.61	0.10	13.91	0.14
17	15.62	0.14	15.23	0.09



ภาพที่ 11 การเจริญเติบโตของกุ้งกุลาดำในบ่อดอกที่ใช้ Nutrilake และบ่อควบคุม

ตารางที่ 9 ผลผลิตของบ่อทดลองที่ใช้ Nutrilake และบ่อควบคุม

บ่อ	ผลผลิตเฉลี่ย (กิโลกรัมต่อไร่)	น้ำหนักเฉลี่ย (กรัม)	อัตราการเจริญ		
			เติบโต (กรัมต่อตัวต่อวัน)	อัตราการรอดตาย (เปอร์เซ็นต์)	อัตราแลก เนื้อ
บ่อทดลองที่ใช้ Nutrilake					
1	761	14.93	0.119	75.8	1.32
2	581	16.12	0.129	53.6	1.43
3	588	15.81	0.126	55.3	1.30
เฉลี่ย	643±102.0 ^a	15.62±0.617 ^a	0.125±0.0051 ^a	61.6±12.36 ^a	1.35±0.070 ^a
บ่อควบคุม					
4	535	13.69	0.109	58.2	1.21
5	338	16.12	0.129	31.2	1.39
6	569	15.87	0.127	53.4	1.32
เฉลี่ย	481±124.7 ^a	15.23±1.337 ^a	0.122±0.0110 ^a	47.6±14.40 ^a	1.31±0.091 ^a

หมายเหตุ ค่าเฉลี่ย±ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานในแนวตั้งที่กำกับด้วยอักษรที่แตกต่างกัน
มีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ ($P < 0.05$)

2. การศึกษาคุณสมบัติของน้ำในบ่อทดลองที่ใช้ Nutrilake และบ่อควบคุม

2.1 ความโปร่งแสง

ความโปร่งแสงของบ่อทดลองที่ใช้ Nutrilake มีค่าอยู่ระหว่าง 16-55 เซนติเมตร และมีค่าเฉลี่ย 30.6 ± 9.51 เซนติเมตร ส่วนบ่อควบคุมที่ไม่ใช้ Nutrilake มีค่าอยู่ระหว่าง 15-60 เซนติเมตร และมีค่าเฉลี่ย 31.4 ± 12.69 เซนติเมตร (ตารางผนวกที่ 3) ค่าเฉลี่ยความโปร่งแสงของบ่อที่ใช้ Nutrilake และบ่อควบคุม (ตารางที่ 10 และภาพที่ 12) ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ ($P > 0.05$) (ตารางผนวกที่ 2) แต่ในช่วง 4 สัปดาห์แรกของการเลี้ยง ค่าความโปร่งแสงของบ่อที่ใช้ Nutrilake มีค่าต่ำกว่าบ่อควบคุมเนื่องจาก Nutrilake มีโซเดียมไนเตรทเป็นองค์ประกอบหลัก และไนเตรทเป็นธาตุอาหารสำคัญมีความสัมพันธ์กับปริมาณแพลงก์ตอนพืช โดยแพลงก์ตอนพืชสามารถใช้ทั้งแอมโมเนียและไนเตรทเป็นแหล่งของไนโตรเจน (จูอะดี และคณะ, 2528) ทำให้บ่อที่ใช้ Nutrilake เกิดสีน้ำหรือปริมาณแพลงก์ตอนเร็วกว่าบ่อที่ไม่ใช้ Nutrilake ช่วยลดปริมาณแสงแดดที่ส่องลงพื้นบ่อ กุ้งจึงไม่เครียด ลดการกัดกินกันเอง กุ้งกินอาหารดีขึ้นกว่าบ่อที่มีน้ำใส ซึ่งพบว่ากุ้งบ่อที่มีน้ำใส จะว่ายน้ำรอบบ่อตลอดเวลาและกุ้งจะตื่นตกใจจากสิ่งต่าง ๆ (ชลอ, 2543)

2.2 อุณหภูมิของน้ำ

อุณหภูมิของน้ำช่วงเช้าของบ่อทดลองที่ใช้ Nutrilake มีค่าอยู่ระหว่าง 20.1-27.5 องศาเซลเซียส และมีค่าเฉลี่ย 25.3 ± 2.19 องศาเซลเซียส ส่วนบ่อควบคุมที่ไม่ใช้ Nutrilake มีค่าอยู่ระหว่าง 20.1-27.6 องศาเซลเซียส และมีค่าเฉลี่ย 25.3 ± 2.20 องศาเซลเซียส

อุณหภูมิของน้ำช่วงบ่ายของบ่อทดลองที่ใช้ Nutrilake มีค่าอยู่ระหว่าง 22.3-29.6 องศาเซลเซียส และมีค่าเฉลี่ย 27.6 ± 2.13 องศาเซลเซียส ส่วนบ่อควบคุมที่ไม่ใช้ Nutrilake มีค่าอยู่ระหว่าง 22.3-29.5 องศาเซลเซียส และมีค่าเฉลี่ย 27.6 ± 2.12 องศาเซลเซียส (ตารางผนวกที่ 3) ค่าเฉลี่ยอุณหภูมิของน้ำในบ่อทดลองและบ่อควบคุม (ตารางที่ 10 และภาพที่ 13) ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ ($P > 0.05$) (ตารางผนวกที่ 2) เนื่องจากบ่อเลี้ยงทั้ง 6 บ่ออยู่ในพื้นที่ฟาร์มเดียวกันและทำการศึกษาในฤดูกาลเดียวกัน ในระหว่างการเลี้ยง พบว่า ในสัปดาห์ที่ 8-10 อุณหภูมิของน้ำทั้งช่วงเช้าและบ่ายจะต่ำมาก ส่งผลให้กุ้งกินอาหารลดลงจากปกติที่ให้อาหาร 4 มื้อต่อวัน เหลือเพียง 2 มื้อต่อวันเท่านั้น ซึ่งสอดคล้องกับ ชลอ (2543) ที่กล่าวว่า ในภาคกลางระยะตั้งแต่เดือน

ธันวาคมถึงเดือนกุมภาพันธ์ อุณหภูมิของน้ำจะต่ำกว่าปกติเพราะเป็นช่วงที่มีอากาศหนาว กุ้งจะกินอาหารลดลงมากในมือเช้าและกลางคืนเพราะอุณหภูมิน้ำต่ำมาก ส่วนมือกลางวันกุ้งจะกินอาหารมากขึ้นแต่ยังไม่เท่ากับช่วงปกติ

2.3 ฟีเอช

ค่าฟีเอชของน้ำช่วงเช้าของบ่อทดลองที่ใช้ Nutrilake มีค่าอยู่ระหว่าง 7.4-8.0 และมีค่าเฉลี่ย 7.7 ± 0.12 ส่วนบ่อควบคุมที่ไม่ใช้ Nutrilake มีค่าอยู่ระหว่าง 7.3-8.3 และมีค่าเฉลี่ย 7.7 ± 0.20

ค่าฟีเอชของน้ำช่วงบ่ายของบ่อทดลองที่ใช้ Nutrilake มีค่าอยู่ระหว่าง 8.2-8.8 และมีค่าเฉลี่ย 8.5 ± 0.14 ส่วนบ่อควบคุมที่ไม่ใช้ Nutrilake มีค่าอยู่ระหว่าง 8.0-9.0 และมีค่าเฉลี่ย 8.5 ± 0.17 (ตารางผนวกที่ 3) ค่าฟีเอชของน้ำของบ่อทดลองและบ่อควบคุม (ตารางที่ 10 และภาพที่ 14) ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ ($P > 0.05$) (ตารางผนวกที่ 2) โดยค่าฟีเอชช่วงสัปดาห์ที่ 1-4 ของการเลี้ยง ในบ่อที่ใช้ Nutrilake จะมีค่าที่สูงกว่าบ่อควบคุม เนื่องจากบ่อที่ใช้ Nutrilake มีปริมาณแพลงก์ตอนมากกว่าบ่อควบคุม ซึ่งความสัมพันธ์ระหว่างค่าฟีเอชของน้ำกับแพลงก์ตอนพืชเป็นไปทางเดียวกัน (ไมตรี และ จารุวรรณ, 2528) โดยในตอนกลางวันแพลงก์ตอนพืชจะใช้คาร์บอนไดออกไซด์ซึ่งได้จากไบคาร์บอเนตเพื่อการสังเคราะห์แสงทำให้ค่าฟีเอชสูงขึ้น ค่าฟีเอชของน้ำที่เหมาะสมแก่การเลี้ยงกุ้งกุลาดำควรอยู่ระหว่าง 7.5-8.5 (ชลอ และ พรเลิศ, 2547) ตลอดจนการเลี้ยงจึงมีค่าฟีเอชอยู่ในช่วงที่เหมาะสม

2.4 ปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำ

ปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำช่วงเช้าของบ่อทดลองที่ใช้ Nutrilake มีค่าอยู่ระหว่าง 3.75-6.85 มิลลิกรัมต่อลิตร และมีค่าเฉลี่ย 5.91 ± 0.677 มิลลิกรัมต่อลิตร ส่วนบ่อควบคุมที่ไม่ใช้ Nutrilake มีค่าอยู่ระหว่าง 3.54-7.23 มิลลิกรัมต่อลิตร และมีค่าเฉลี่ย 5.93 ± 0.743 มิลลิกรัมต่อลิตร

ปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำช่วงบ่ายของบ่อทดลองที่ใช้ Nutrilake มีค่าอยู่ระหว่าง 7.08-10.85 มิลลิกรัมต่อลิตร และมีค่าเฉลี่ย 8.33 ± 0.685 มิลลิกรัมต่อลิตร ส่วนบ่อควบคุมที่ไม่ใช้ Nutrilake มีค่าอยู่ระหว่าง 7.02-11.35 มิลลิกรัมต่อลิตร และมีค่าเฉลี่ย 8.29 ± 0.819 มิลลิกรัมต่อลิตร (ตารางผนวกที่ 3) ค่าเฉลี่ยปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำของบ่อทดลองและบ่อควบคุม (ตารางที่

10 และภาพที่ 15) ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ ($P>0.05$) (ตารางผนวกที่ 2) ในบ่อที่ใช้ Nutrilake นั้นแบคทีเรียพื้นบ่อจะใช้ในตรพเป็นแหล่งออกซิเจนเพื่อย่อยสลายสารอินทรีย์ แต่ปริมาณแพลงก์ตอนในบ่อที่มีมากกว่าบ่อควบคุมทำให้ปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำช่วงเช้ามีค่าไม่ต่างกันมาก Boyd (1989) กล่าวว่าระดับออกซิเจนในบ่อเลี้ยงกุ้งกุลาดำควรมีค่าไม่ต่ำกว่า 3.50 มิลลิกรัมต่อลิตร ดังนั้นตลอดระยะเวลาเลี้ยงปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำมีค่าเหมาะสมต่อการเลี้ยงกุ้งกุลาดำและเนื่องจากการทดลองครั้งนี้อุณหภูมิของน้ำบางช่วงค่อนข้างต่ำ ปริมาณการละลายของออกซิเจนในน้ำจะมากกว่าที่อุณหภูมิที่สูงกว่า (Boyd, 1989)

2.5 ความเค็ม

ความเค็มของบ่อทดลองที่ใช้ Nutrilake มีค่าอยู่ระหว่าง 1.2-3.0 พีพีที และมีค่าเฉลี่ย 1.98 ± 0.437 พีพีที ส่วนบ่อควบคุมที่ไม่ใช้ Nutrilake มีค่าอยู่ระหว่าง 1.2-3.1 พีพีที และมีค่าเฉลี่ย 1.99 ± 0.463 พีพีที (ตารางผนวกที่ 3) ค่าเฉลี่ยความเค็มของบ่อทดลองและบ่อควบคุม (ตารางที่ 10 และภาพที่ 16) ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ ($P>0.05$) (ตารางผนวกที่ 2) โดยความเค็มที่เปลี่ยนแปลงในระหว่างการเลี้ยงเกิดจากการปรับความเค็มของน้ำภายในคอกและน้ำที่อยู่ภายนอกคอกพลาสติกทำให้ความเค็มเริ่มแรกของบ่อทดลองและบ่อควบคุมอยู่ระหว่าง 2.8-3.1 พีพีที และความเค็มจะค่อย ๆ ลดลง เมื่อระยะเวลาการเลี้ยงเพิ่มขึ้น เนื่องจากการเติมน้ำจืดเข้าไปทดแทนน้ำที่ระเหยและรั่วซึมออกไปและเพื่อการเพิ่มระดับน้ำในบ่อให้สูงขึ้นจนเต็มระดับสูงสุดคือ ประมาณ 1.4-1.6 เมตร ส่วนในสัปดาห์ที่ 11 และ 12 ได้มีการเติมน้ำเค็มจากนาเกลือเข้าไปแต่ความเค็มก็เพิ่มขึ้นไม่มากนักและในช่วงสัปดาห์สุดท้ายของการเลี้ยงพบว่าความเค็มของบ่อทดลองและบ่อควบคุมอยู่ระหว่าง 1.2-1.4 พีพีที เท่านั้น

2.6 ค่าการนำไฟฟ้า

ค่าการนำไฟฟ้าของบ่อทดลองที่ใช้ Nutrilake มีค่าอยู่ระหว่าง 2.33-5.50 มิลลิซิเมนส์ต่อเซนติเมตร และมีค่าเฉลี่ย 3.78 ± 0.783 มิลลิซิเมนส์ต่อเซนติเมตร ส่วนบ่อควบคุมที่ไม่ใช้ Nutrilake มีค่าอยู่ระหว่าง 2.28-5.61 มิลลิซิเมนส์ต่อเซนติเมตร และมีค่าเฉลี่ย 3.79 ± 0.819 มิลลิซิเมนส์ต่อเซนติเมตร (ตารางผนวกที่ 3) ค่าเฉลี่ยค่าการนำไฟฟ้าในบ่อทดลองและบ่อควบคุม (ตารางที่ 10 และภาพที่ 17) ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ ($P>0.05$) (ตารางผนวกที่ 2) ค่าการนำไฟฟ้ามีความสัมพันธ์กับความเค็มและการเปลี่ยนแปลงไปในทิศทางเดียวกันกับความ

เก็บตลอดระยะเวลาในการทดลอง (Boyd, 1982; 2002)

2.7 ความเป็นค่ารวม

ค่าความเป็นค่ารวมของบ่อทดลองที่ใช้ Nutrilake มีค่าอยู่ระหว่าง 102-176 มิลลิกรัมต่อลิตร และมีค่าเฉลี่ย 131 ± 15.2 มิลลิกรัมต่อลิตร ส่วนบ่อควบคุมที่ไม่ใช้ Nutrilake มีค่าอยู่ระหว่าง 87-153 มิลลิกรัมต่อลิตร และมีค่าเฉลี่ย 128 ± 14.7 มิลลิกรัมต่อลิตร (ตารางผนวกที่ 3) ค่าความเป็นค่ารวมของบ่อทดลองและบ่อควบคุม (ตารางที่ 10 และภาพที่ 18) ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ ($P > 0.05$) (ตารางผนวกที่ 2) โดยค่าความเป็นค่ารวมทั้งบ่อทดลองและบ่อควบคุมตลอดระยะเวลาการเลี้ยงอยู่ในระดับที่เหมาะสมกับการเลี้ยงกุ้งกุลาดำ ซึ่งค่าความเป็นค่ารวมที่เหมาะสมกับการเลี้ยงกุ้งกุลาดำมีค่าระหว่าง 80-150 มิลลิกรัมต่อลิตร (ชลอ และ พรเลิศ, 2547)

2.8 ความกระด้าง

ค่าความกระด้างของบ่อทดลองที่ใช้ Nutrilake มีค่าอยู่ระหว่าง 589-831 มิลลิกรัมต่อลิตร และมีค่าเฉลี่ย 656 ± 51.0 มิลลิกรัมต่อลิตร ส่วนบ่อควบคุมที่ไม่ใช้ Nutrilake มีค่าอยู่ระหว่าง 512-768 มิลลิกรัมต่อลิตร และมีค่าเฉลี่ย 646 ± 53.5 มิลลิกรัมต่อลิตร (ตารางผนวกที่ 3) ค่าความกระด้างของบ่อทดลองและบ่อควบคุม (ตารางที่ 10 และภาพที่ 19) ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ ($P > 0.05$) (ตารางผนวกที่ 2) โดยในช่วง 6 สัปดาห์แรกของการเลี้ยง ค่าความกระด้างของน้ำจะค่อย ๆ ลดลง เนื่องจากกุ้งดึงเอาแคลเซียมออกจากน้ำไปใช้ในกระบวนการสร้างเปลือกเพื่อการเจริญเติบโต ค่าความกระด้างของน้ำทั้งในบ่อทดลองและบ่อควบคุมในการศึกษาครั้งนี้อยู่ในระดับที่ต่ำกว่ามาตรฐานในการเลี้ยงกุ้งกุลาดำเพื่อให้ได้ขนาดใหญ่และผลผลิตสูง ซึ่ง ชลอ และ พรเลิศ (2547) แนะนำว่าความกระด้างของน้ำไม่ควรต่ำกว่า 1,000 มิลลิกรัมต่อลิตร ทั้งนี้เนื่องจากความเค็มที่ใช้ในการเลี้ยงกุ้งกุลาดำครั้งนี้อยู่ในระดับที่ต่ำเพียง 1.2-3.1 พีพีที เท่านั้น การเพิ่มระดับความเค็มของน้ำจะทำให้ค่าความกระด้างของน้ำเพิ่มขึ้นตามไปด้วย

2.9 ปริมาณแอมโมเนียรวม

ปริมาณแอมโมเนียรวมของบ่อทดลองที่ใช้ Nutrilake มีค่าอยู่ระหว่าง 0.01-0.82 มิลลิกรัมต่อลิตร และมีค่าเฉลี่ย 0.12 ± 0.161 มิลลิกรัมต่อลิตร ส่วนบ่อควบคุมที่ไม่ใช้ Nutrilake มีค่า

อยู่ระหว่าง 0.01-1.50 มิลลิกรัมต่อลิตร และมีค่าเฉลี่ย 0.21 ± 0.306 มิลลิกรัมต่อลิตร (ตารางผนวกที่ 3) ปริมาณแอมโมเนียรวมของบ่อทดลองและบ่อควบคุม (ตารางที่ 10 และภาพที่ 20) ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ ($P > 0.05$) (ตารางผนวกที่ 2) โดยในช่วงแรกของการเลี้ยงบ่อที่ใช้ Nutrilake มีปริมาณแอมโมเนียรวมน้อยกว่าบ่อที่ไม่ใช้ Nutrilake เนื่องจากในบ่อที่ใช้ Nutrilake สารอินทรีย์ที่จะเปลี่ยนเป็นแอมโมเนียได้ถูกแบคทีเรียย่อยสลายโดยการใช้นิเตรทเป็นแหล่งออกซิเจน (จารุมาศ, 2548) จึงทำให้สารอินทรีย์ที่จะเปลี่ยนเป็นแอมโมเนียน้อยลง นอกจากนี้ปริมาณแพลงก์ตอนในบ่อที่ใช้ Nutrilake มีปริมาณมากกว่าบ่อที่ไม่ใช้ Nutrilake โดยแพลงก์ตอนจะใช้อะมโมเนียเป็นแหล่งอาหาร ทำให้ปริมาณแอมโมเนียรวมน้อย ส่วนในช่วงท้ายของการเลี้ยงทั้งบ่อที่ใช้และบ่อที่ไม่ใช้ Nutrilake มีปริมาณแอมโมเนียรวมเพิ่มสูงขึ้น เนื่องจากกุ้งมีขนาดใหญ่ขึ้นต้องให้อาหารมากขึ้น ดังนั้นเมื่อกุ้งกินอาหารมากขึ้นส่งผลให้ภายในบ่อมีของเสียจากการขับถ่ายของกุ้งเพิ่มสูงขึ้นตามไปด้วย อย่างไรก็ตามปริมาณแอมโมเนียรวมของบ่อทดลองและบ่อควบคุมตลอดระยะเวลาการเลี้ยงอยู่ในระดับที่เหมาะสมต่อการเลี้ยงกุ้งกุลาดำ ซึ่งปริมาณแอมโมเนียรวมที่เหมาะสมต่อการเลี้ยงกุ้งกุลาดำต้องมีปริมาณน้อยกว่า 1 มิลลิกรัมต่อลิตร (สถาบันวิจัยและพัฒนาการเพาะเลี้ยงกุ้งทะเล, 2542)

2.10 ปริมาณไนโตรเจน

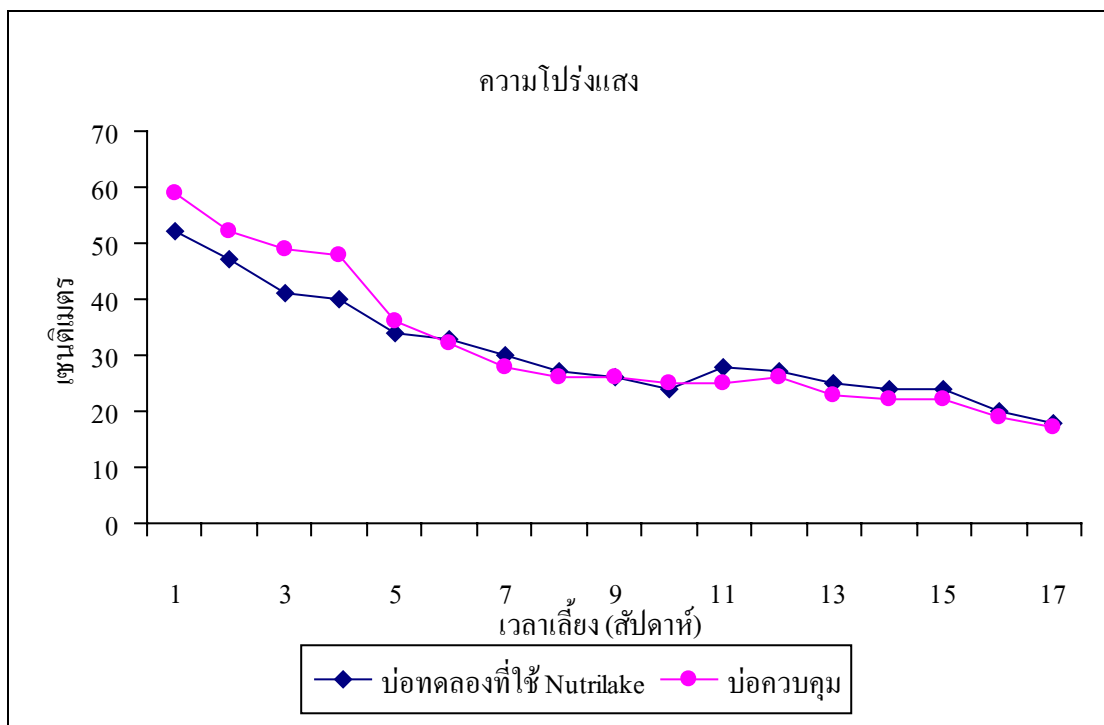
ปริมาณไนโตรเจนของบ่อทดลองที่ใช้ Nutrilake มีค่าอยู่ระหว่าง 0.01-0.35 มิลลิกรัมต่อลิตร และมีค่าเฉลี่ย 0.05 ± 0.061 มิลลิกรัมต่อลิตร ส่วนบ่อควบคุมที่ไม่ใช้ Nutrilake ค่ามีอยู่ระหว่าง 0.01-0.33 มิลลิกรัมต่อลิตร และมีค่าเฉลี่ย 0.08 ± 0.083 มิลลิกรัมต่อลิตร (ตารางผนวกที่ 3) ปริมาณไนโตรเจนของบ่อทดลองและบ่อควบคุม (ตารางที่ 10 และภาพที่ 21) มีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ ($P < 0.05$) (ตารางผนวกที่ 2) โดยในช่วงท้ายของการเลี้ยง พบว่า ปริมาณไนโตรเจนทั้งบ่อทดลองและบ่อควบคุมมีปริมาณไนโตรเจนอยู่ในระดับสูงกว่ามาตรฐานซึ่งปริมาณไนโตรเจนที่เหมาะสมต่อการเลี้ยงกุ้งกุลาดำควรต่ำกว่า 0.1 มิลลิกรัมต่อลิตร (ขงยุทธ และ คณิต, 2537) เนื่องจากปริมาณแอมโมเนียรวมที่สูง ซึ่งเกิดจากของเสียซึ่งขับถ่ายจากกุ้งและอาหารที่เหลือในบ่อที่เพิ่มสูงขึ้นตามระยะเวลาที่เลี้ยง แต่ในบ่อที่ใช้ Nutrilake การเกิดไนโตรเจนยังเกี่ยวข้องกับไนเตรท เนื่องจากปริมาณแอมโมเนียที่สูงจึงทำให้แพลงก์ตอนพืชใช้เป็นแหล่งอาหารแทนไนเตรทที่เหลือจึงถูกบริโภคโดยแบคทีเรียบางชนิดเป็นไนโตรเจน ดังนั้นแอมโมเนียจึงมีความสัมพันธ์กับการควบคุมการใช้นิเตรทของแพลงก์ตอนพืช (Kaplan *et al.*, 1986)

ตารางที่ 10 คุณสมบัติของน้ำในบ่อกดลองที่ใช้ Nutrilake และบ่อควบคุม

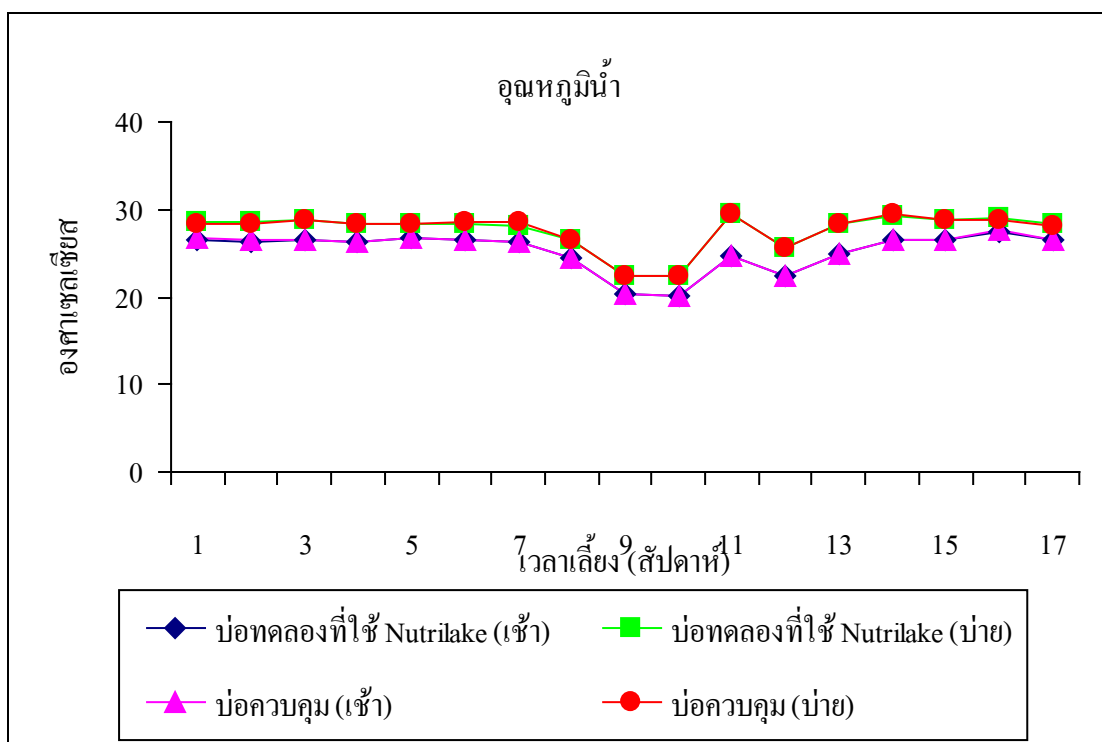
คุณสมบัติของน้ำ		บ่อกดลองที่ใช้ Nutrilake		บ่อควบคุม	
		พิสัย	ค่าเฉลี่ย	พิสัย	ค่าเฉลี่ย
ความโปร่งแสง (เซนติเมตร)		16-55	30.6±9.51 ^a	15-60	31.4±12.69 ^a
อุณหภูมิน้ำ (องศาเซลเซียส)	-เช้า	20.1-27.5	25.3±2.19 ^a	20.1-27.6	25.3±2.20 ^a
	-บ่าย	22.3-29.6	27.6±2.13 ^a	22.3-29.5	27.6±2.12 ^a
พีเอช	-เช้า	7.4-8.0	7.7±0.12 ^a	7.3-8.3	7.7±0.20 ^a
	-บ่าย	8.2-8.8	8.5±0.14 ^a	8.0-9.0	8.5±0.17 ^a
ออกซิเจนที่ละลายในน้ำ (มิลลิกรัมต่อลิตร)	-เช้า	3.75-6.85	5.91±0.677 ^a	3.54-7.23	5.93±0.743 ^a
	-บ่าย	7.08-10.85	8.33±0.685 ^a	7.02-11.35	8.29±0.819 ^a
ความเค็ม (พีพีที)		1.2-3.0	1.98±0.437 ^a	1.2-3.1	1.99±0.463 ^a
การนำไฟฟ้า (มิลลิซีเมนส์ต่อเซนติเมตร)		2.33-5.50	3.78±0.783 ^a	2.28-5.61	3.79±0.819 ^a
ความเป็นด่างรวม (มิลลิกรัมต่อลิตร)		102-176	131±15.2 ^a	87-153	128±14.7 ^a
ความกระด้าง (มิลลิกรัมต่อลิตร)		589-831	656±51.0 ^a	512-768	646±53.5 ^a
แอมโมเนียรวม (มิลลิกรัมต่อลิตร)		0.01-0.82	0.12±0.161 ^a	0.01-1.50	0.21±0.306 ^a
ไนไตรท์ (มิลลิกรัมต่อลิตร)		0.01-0.35	0.05±0.061 ^a	0.01-0.33	0.08±0.083 ^b

หมายเหตุ ค่าเฉลี่ย±ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานในแนวนอนที่กำกับด้วยอักษรที่แตกต่างกัน

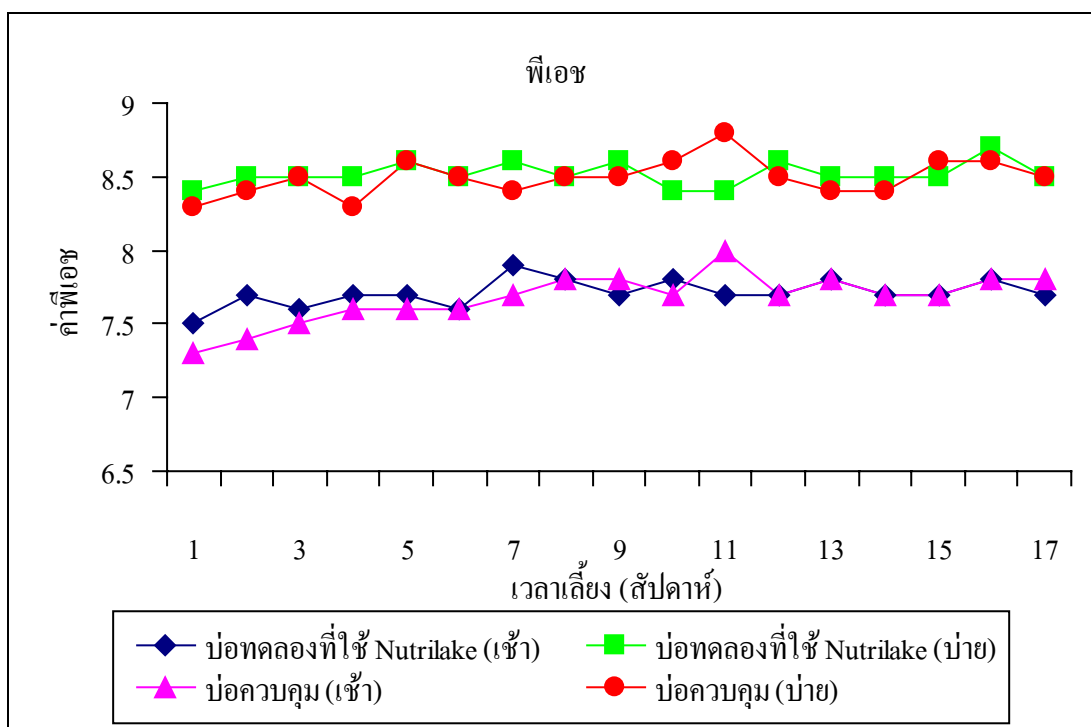
มีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ (P<0.05)



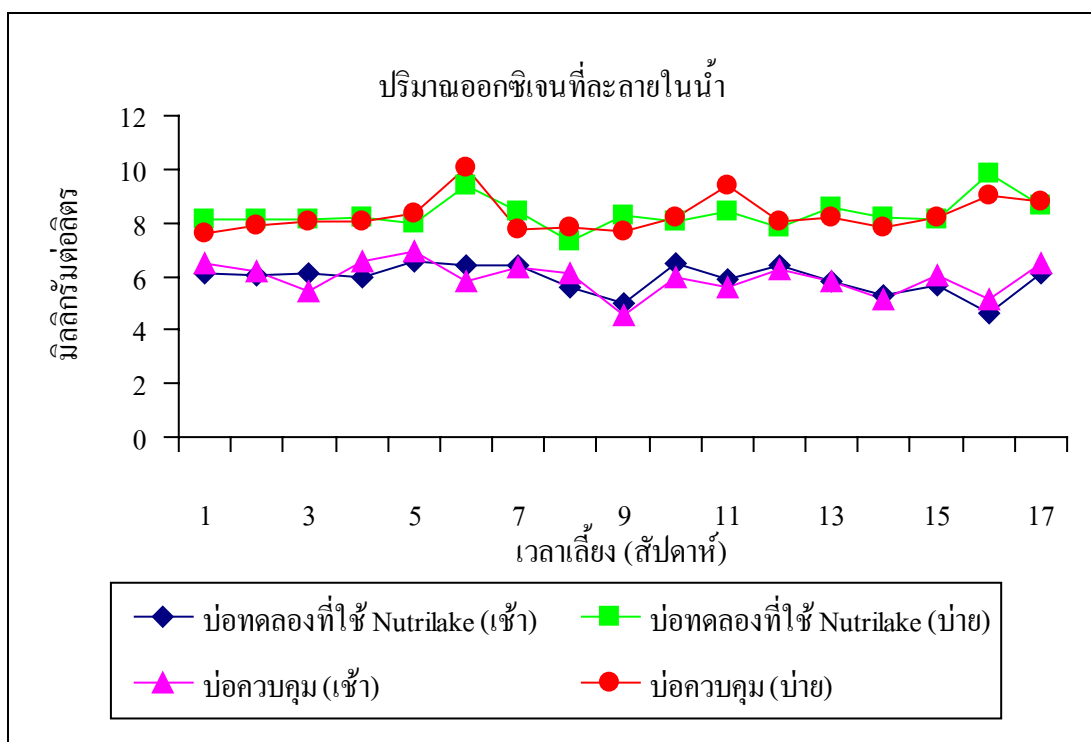
ภาพที่ 12 การเปลี่ยนแปลงความโปร่งแสงตลอดการเลี้ยง



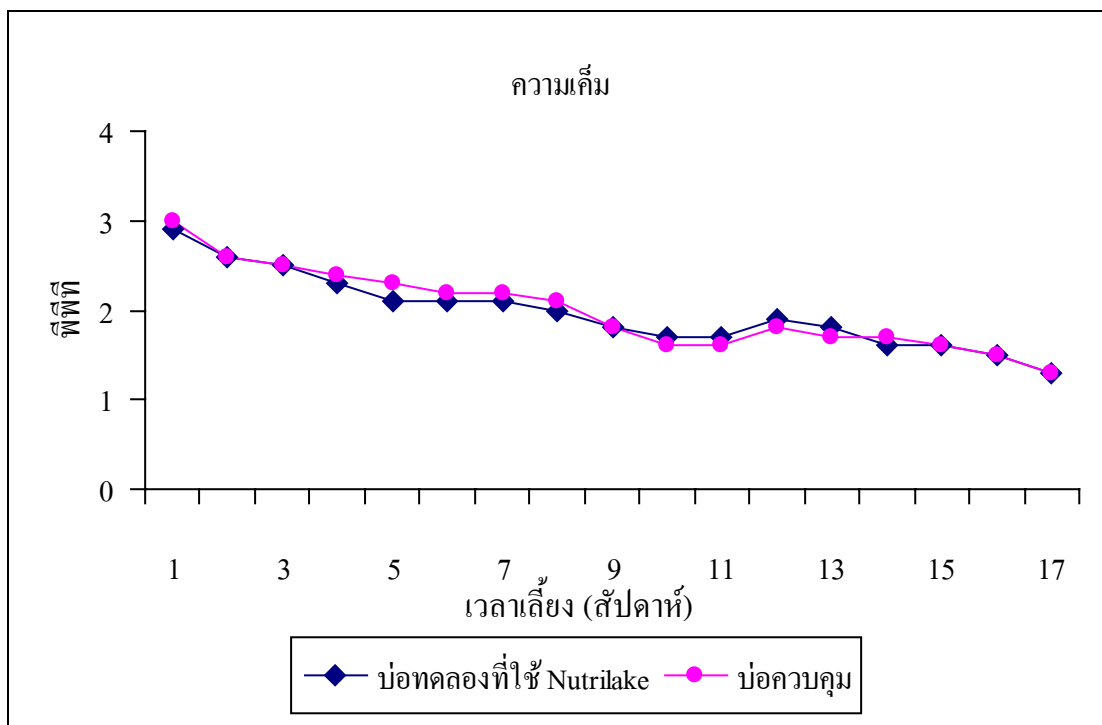
ภาพที่ 13 การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิน้ำตลอดการเลี้ยง



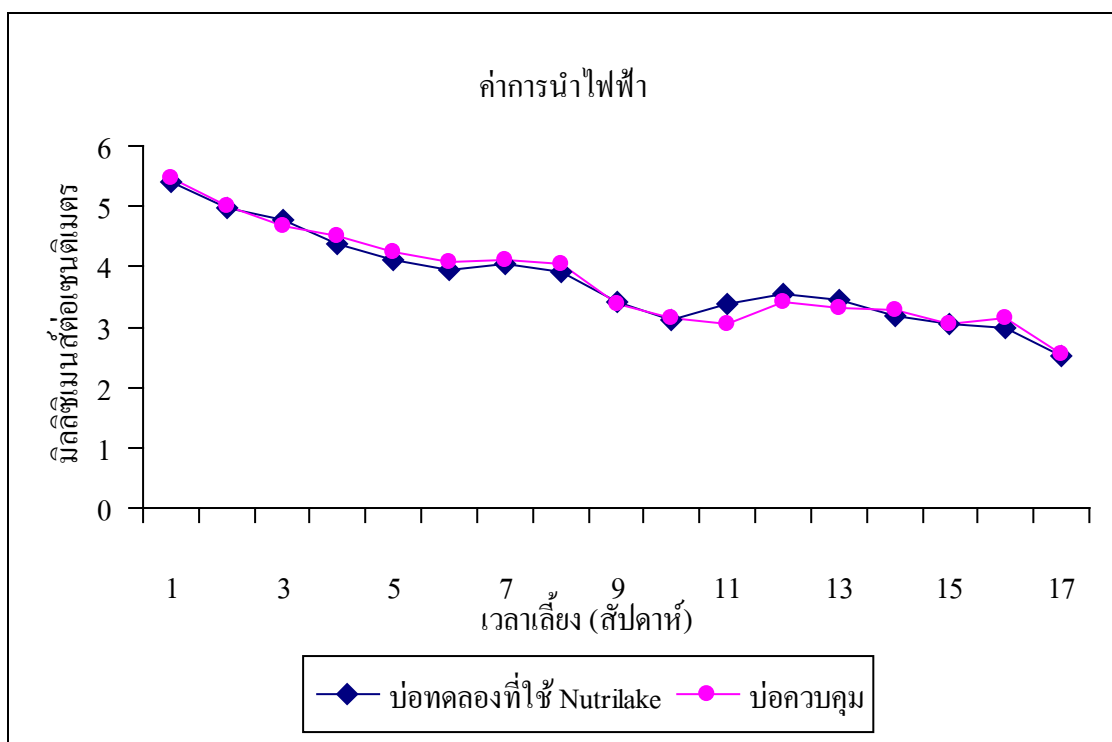
ภาพที่ 14 การเปลี่ยนแปลงพีเอชตลอดการเลี้ยง



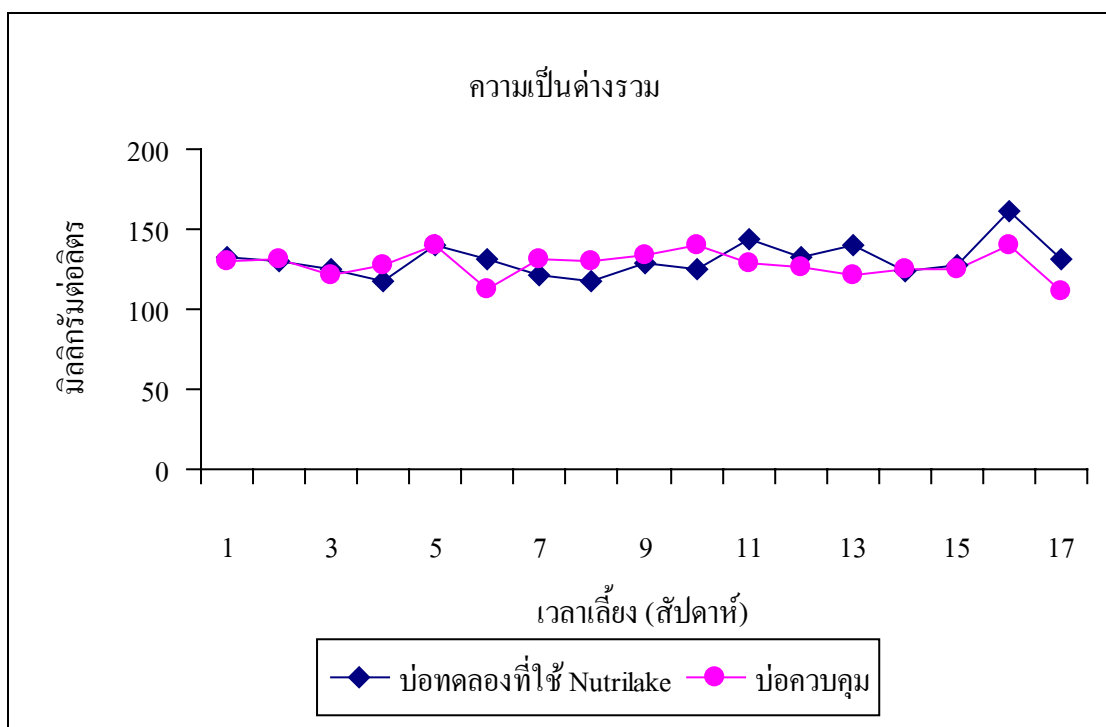
ภาพที่ 15 การเปลี่ยนแปลงปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำตลอดการเลี้ยง



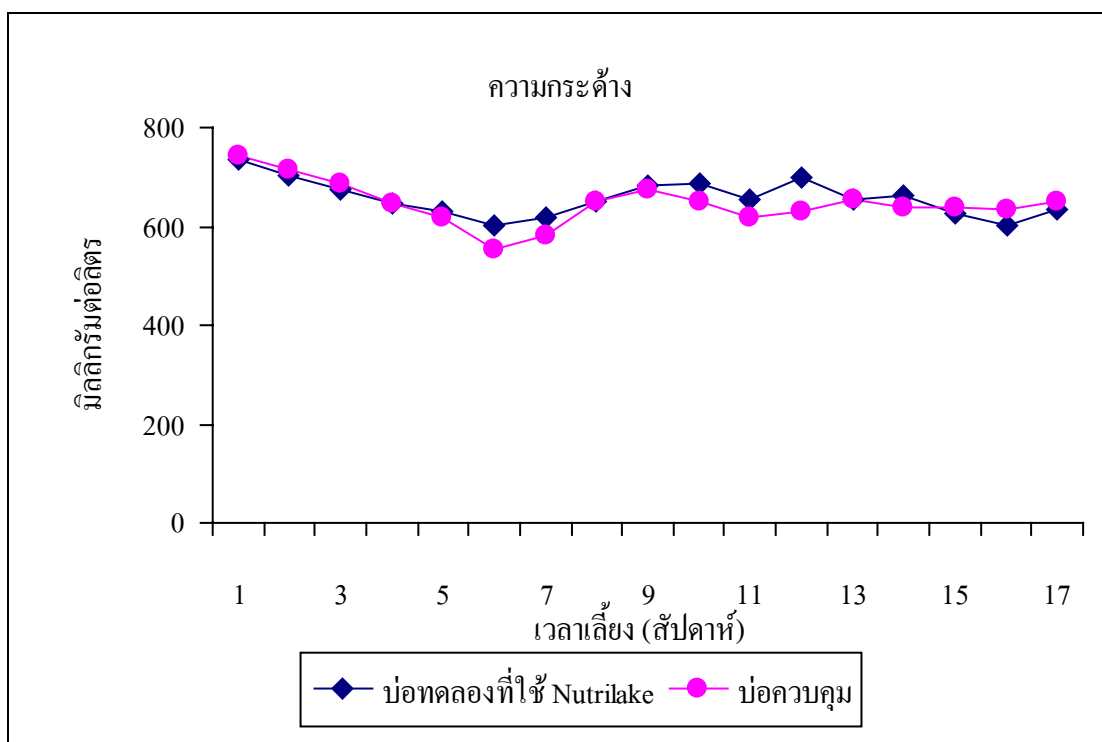
ภาพที่ 16 การเปลี่ยนแปลงความเค็มของน้ำตลอดการเลี้ยง



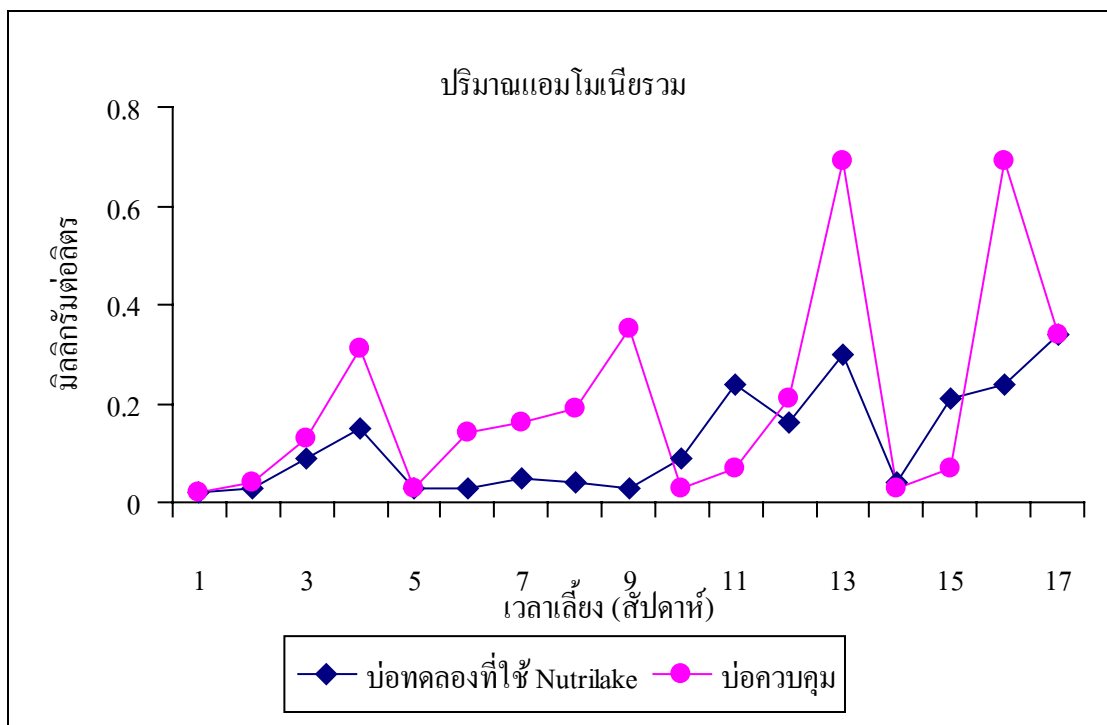
ภาพที่ 17 การเปลี่ยนแปลงค่าการนำไฟฟ้าของน้ำตลอดการเลี้ยง



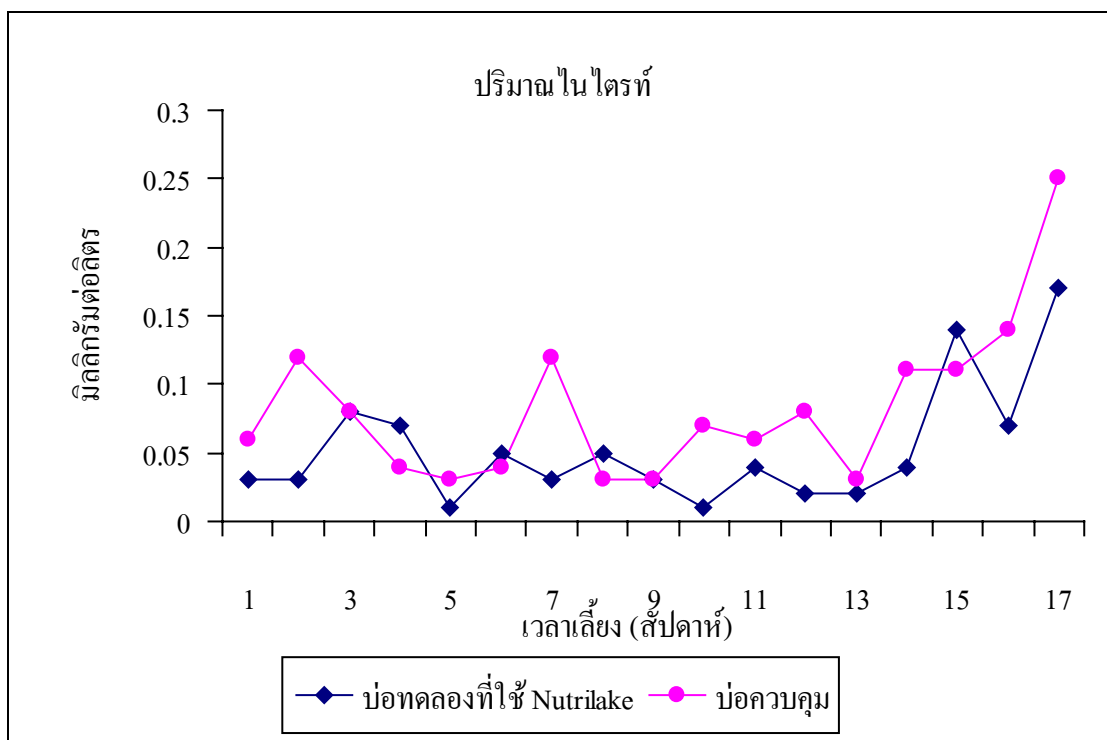
ภาพที่ 18 การเปลี่ยนแปลงความเป็นต่างรวมตลอดการเลี้ยง



ภาพที่ 19 การเปลี่ยนแปลงความกระด้างตลอดการเลี้ยง



ภาพที่ 20 การเปลี่ยนแปลงปริมาณแอมโมเนียรวมตลอดการเลี้ยง



ภาพที่ 21 การเปลี่ยนแปลงปริมาณไนไตรท์ตลอดการเลี้ยง

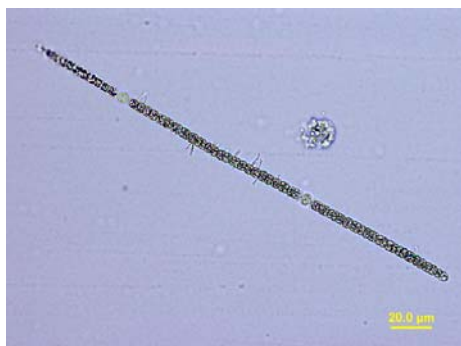
3. การศึกษาชนิดและปริมาณแพลงก์ตอนในบ่อดลองที่ใช้ Nutrilake และบ่อควบคุม

การศึกษานชนิดและปริมาณแพลงก์ตอนในบ่อดลองเลี้ยงกุ้งกุลาดำที่เลี้ยงด้วยความเค็ม 1.2-3.1 พีพีที ตลอดจนการเลี้ยงพบแพลงก์ตอนพืชทั้งหมด 3 Division 35 genera (สกุล) (ภาพที่ 22) ได้แก่ Division Cyanophyta (blue-green algae) 8 สกุล Division Chlorophyta (Chlorophytes) 17 สกุลและ Division Chromophyta (Chromophyte) 10 สกุล และพบแพลงก์ตอนสัตว์ทั้งหมด 3 Phylum 12 สกุล (ภาพที่ 23) ได้แก่ Phylum Protozoa 2 สกุล Phylum Rotifera 8 สกุล และ Phylum Arthropoda 2 สกุล

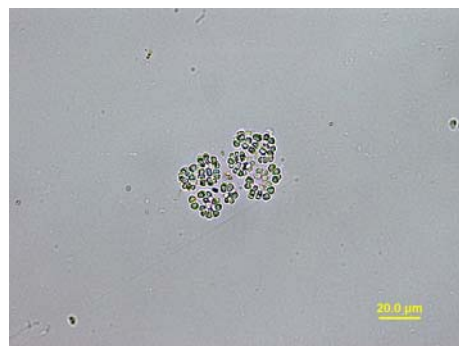
ตลอดระยะเวลาการเลี้ยง พบว่า บ่อดลองและบ่อควบคุมทั้ง 6 บ่อมีชนิดแพลงก์ตอนคล้ายกัน แต่มีปริมาณที่แตกต่างกันตามระยะเวลา (ตารางผนวก 4-12) แพลงก์ตอนพืชที่พบบ่อย และพบปริมาณมาก คือ กลุ่มสีเขียวแกมน้ำเงิน ได้แก่ สกุล *Merismopedia* sp., *Microcystis* sp., *Coelosphaerium* sp. และ *Chroococcus* sp. โดยในแต่ละบ่อพบ *Merismopedia* sp. มากที่สุดตลอดทุกสัปดาห์ที่ทำการศึกษา และในบ่อที่ใช้ Nutrilake พบแพลงก์ตอนกลุ่มสีเขียวแกมน้ำเงินในปริมาณมากกว่าบ่อที่ไม่ใช้ Nutrilake ในทุกสัปดาห์ สอดคล้องกับ Kaplan *et al.* (1986) ที่รายงานว่า แพลงก์ตอนกลุ่มสีเขียวแกมน้ำเงินต้องการโซเดียมในปริมาณมากกว่าแพลงก์ตอนกลุ่มอื่น ๆ ส่วนแพลงก์ตอนสัตว์ที่พบบ่อยและมีปริมาณมาก คือ กลุ่ม Rotifera ได้แก่ *Trichocerca* sp., *Anuraenopsis* sp. และ *Brachionus* sp. ในทุกบ่อเลี้ยง

ปริมาณแพลงก์ตอนในบ่อดลองที่ใช้ Nutrilake มีค่าเฉลี่ย $2,035,513 \pm 979,377.3$ เซลล์ต่อลิตร ส่วนบ่อควบคุมที่ไม่ใช้ Nutrilake มีค่าเฉลี่ย $1,436,663 \pm 787,756.9$ เซลล์ต่อลิตร จากการศึกษาพบว่า ค่าเฉลี่ยปริมาณแพลงก์ตอนในบ่อที่ใช้ Nutrilake มีค่าเฉลี่ยมากกว่าบ่อที่ไม่ใช้ Nutrilake (ตารางที่ 11 และภาพที่ 24) ซึ่งมีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ ($P < 0.05$) การเปลี่ยนแปลงปริมาณแพลงก์ตอนทั้งในบ่อที่ใช้และไม่ใช้ Nutrilake พบว่า ในระยะแรกมีปริมาณแพลงก์ตอนน้อย หลังจากนั้นจะค่อย ๆ เพิ่มขึ้น จนกระทั่งมีปริมาณสูงสุดในสัปดาห์ที่ 9 ของการเลี้ยง แต่ปริมาณแพลงก์ตอนของบ่อที่ใช้ Nutrilake จะสูงกว่าเนื่องจากมีไนเตรท ซึ่งเป็นธาตุอาหารที่สำคัญสำหรับแพลงก์ตอน ในสัปดาห์ที่ 11 และ 12 มีการเติมน้ำเค็มจากนาเกลือในบ่อดลองและบ่อควบคุมทำให้ปริมาณแพลงก์ตอนบางส่วนตายปริมาณจึงลดลง หลังจากนั้นในสัปดาห์ที่ 12-19 ปริมาณแพลงก์ตอนค่อนข้างคงที่ เนื่องจากมีการถ่ายและเติมน้ำเป็นครั้งคราวในระหว่างการเลี้ยง

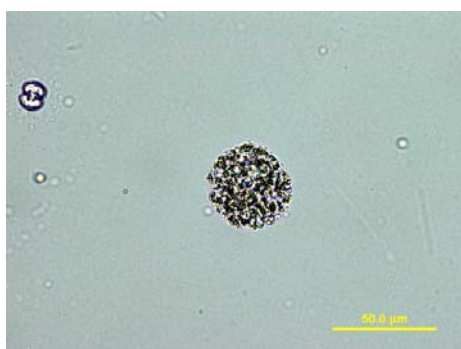
Division Cyanophyta



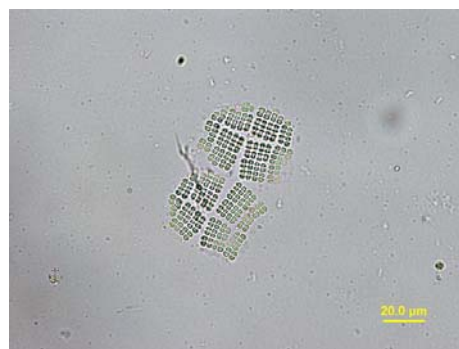
Anabaena sp.



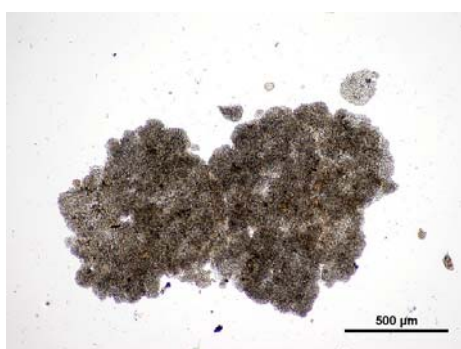
Chroococcus sp.



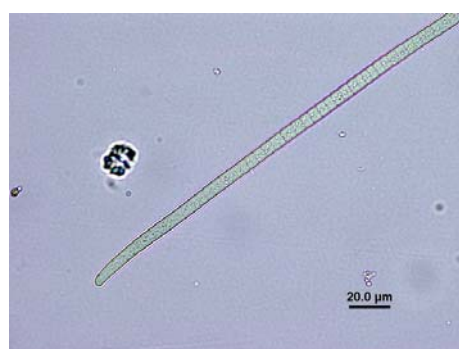
Coelosphaerium sp.



Merismopedia sp.



Microcystis sp.



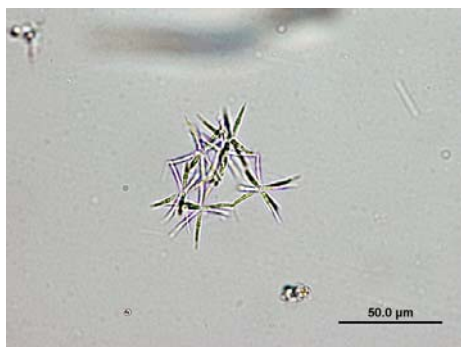
Oscillatoria sp.

ภาพที่ 22 แพลงก์ตอนพืช



Spirulina sp.

Division Chlorophyta



Actinastrum sp.



Ankistodesmus sp.



Coelastrum sp.

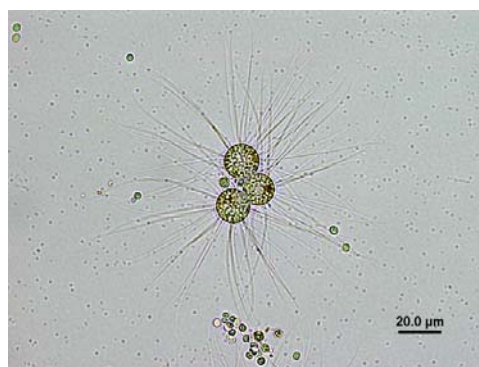


Cosmarium sp.

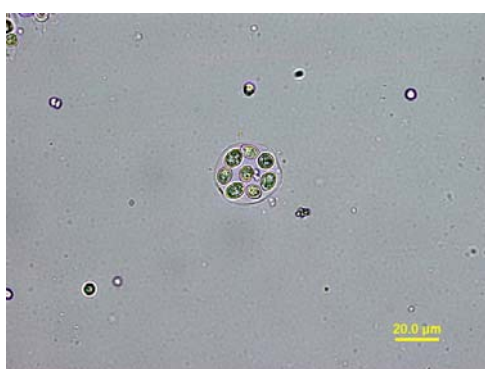
ภาพที่ 22 (ต่อ)



Dictyosphaerium sp.



Micractinium sp.



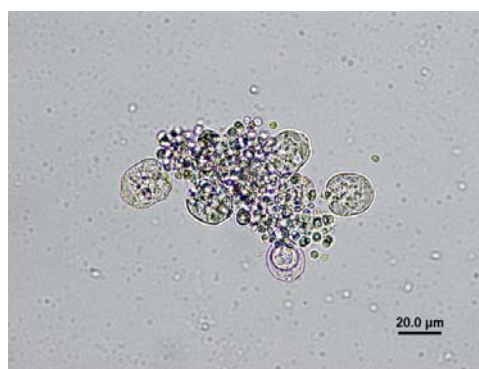
Oocystis sp.



Pediatrum sp.



Scenedesmus sp.



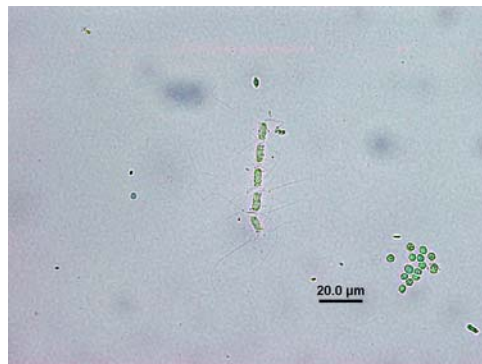
Trachelomonas sp.

ภาพที่ 22 (ต่อ)

Division Chromophyta



Campylodiscus sp.



Chaetoceros sp.



Cyclotella sp.



Gymnodinium sp.



Gyrodinium sp.



Navicula sp.

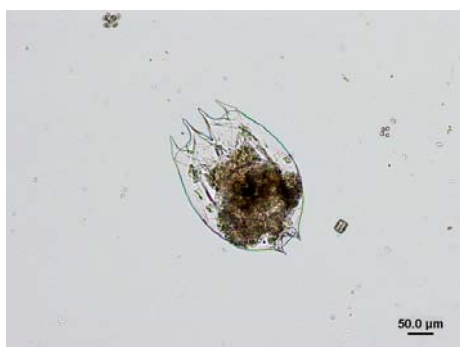
ภาพที่ 22 (ต่อ)

Phylum Protozoa

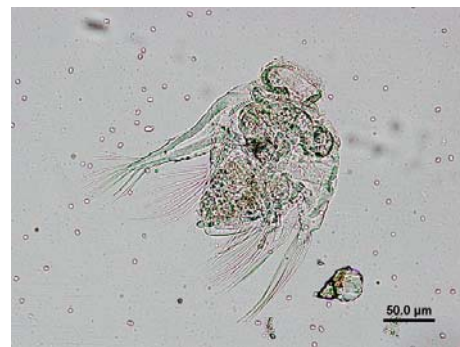


Paramecium sp.

Phylum Rotifera



Brachionus sp.



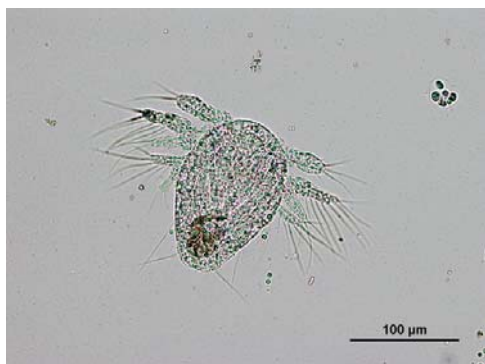
Hexarthra sp.



Trichocerca sp.

ภาพที่ 23 แพลงก์ตอนสัตว์

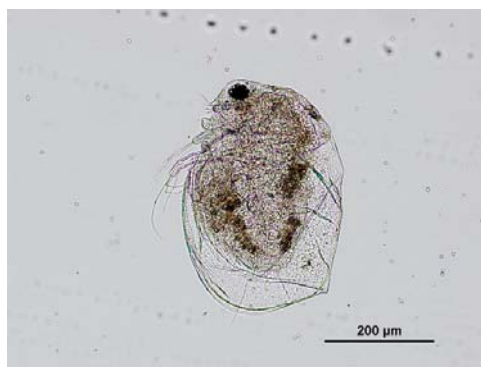
Phylum Arthropoda



Copepod nauplius



Calanoid copepod

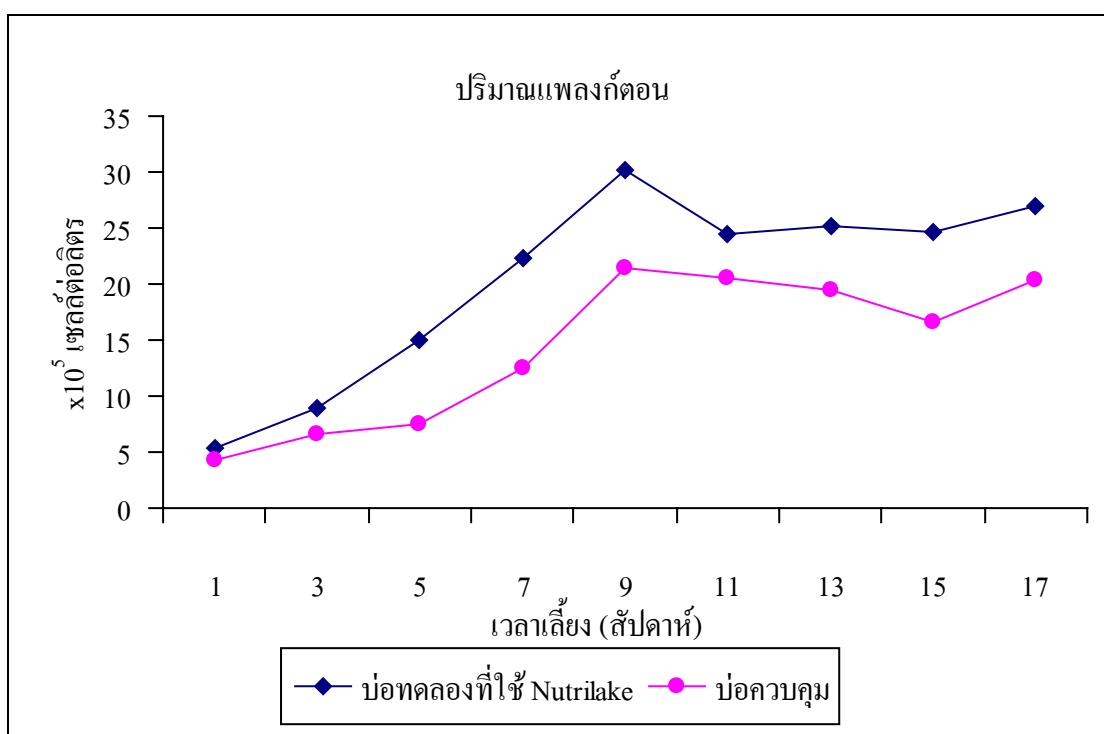


Ceriodapnia sp.

ภาพที่ 23 (ต่อ)

ตารางที่ 11 ปริมาณแพลงก์ตอนในบ่อทดลองที่ใช้ Nutrilake และบ่อควบคุม

ปริมาณแพลงก์ตอน	ค่าเฉลี่ย		t	df	P
	บ่อทดลองที่ใช้ Nutrilake	บ่อควบคุม			
แพลงก์ตอนพืช	2,022,956±977,456.3	1,426,100±788268.9	2.470	52	P<0.05
แพลงก์ตอนสัตว์	12,556±5,204.2	10,562±5,978.8	1.307	52	P>0.05
แพลงก์ตอนรวม	2,035,513±979,377.3	1,436,663±787,756.9	2.476	52	P<0.05



ภาพที่ 24 ปริมาณแพลงก์ตอนรวมตลอดการเลี้ยง

4. การศึกษาคุณสมบัติของดินและค่าศักย์ไฟฟ้ารีดอกซ์ในบ่อทดลองที่ใช้ Nutrilake และบ่อควบคุม

4.1 คุณสมบัติของดิน

การศึกษาเนื้อดินของพื้นบ่อกึ่งกลาดำทั้ง 6 บ่อ (ตารางผนวกที่ 14) พบว่า มีเนื้อดินเป็นดินเหนียว มีสัดส่วนของอนุภาคดินทรายอยู่ระหว่าง 19-29 เปอร์เซ็นต์ อนุภาคทรายแบ่งอยู่ระหว่าง 20-24 เปอร์เซ็นต์ และอนุภาคดินเหนียวอยู่ระหว่าง 50-61 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งมีสัดส่วนของอนุภาคดินทรายน้อยกว่า 45 เปอร์เซ็นต์ อนุภาคทรายแบ่งน้อยกว่า 40 เปอร์เซ็นต์ และอนุภาคดินเหนียวอยู่อย่างน้อย 40 เปอร์เซ็นต์ ถือว่ามีดินหลักเป็นประเภทดินเหนียว (เอิบ, 2542) โดย Boyd (1995) กล่าวว่า ดินที่ใช้ในการสร้างบ่อต้องมีอนุภาคดินเหนียวอย่างน้อย 20 เปอร์เซ็นต์ ดินจึงจะกั้นน้ำได้ดี การตากบ่อหรือไถพรวนจะทำได้ง่าย แต่ ชลอ (2543) กล่าวว่า การเลี้ยงกุ้งกลาดำด้วยน้ำความเค็มต่ำในพื้นที่ ๆ มีอาชีพการเกษตรอื่น ๆ โดยรอบ ควรจะมีดินเหนียวอย่างน้อย 40 เปอร์เซ็นต์ เพื่อป้องกันการรั่วซึมของน้ำออกไปสู่ภายนอก หลังจากตากบ่อนาน 2 สัปดาห์และนำดินเลนพื้นบ่อออกได้เก็บตัวอย่างดินไปวิเคราะห์ พบว่า ปริมาณอินทรียวัตถุในดินของบ่อที่จะใช้ Nutrilake มีค่าอยู่ระหว่าง 1.3-1.7 เปอร์เซ็นต์ และมีค่าเฉลี่ย 1.4 ± 0.23 เปอร์เซ็นต์ ส่วนบ่อควบคุมมีค่าอยู่ระหว่าง 1.4-2.2 เปอร์เซ็นต์ และมีค่าเฉลี่ย 1.7 ± 0.42 เปอร์เซ็นต์ ค่าพีเอชของดินในบ่อที่จะใช้ Nutrilake มีค่าอยู่ระหว่าง 6.3-7.4 มีค่าเฉลี่ย 6.9 ± 0.57 ส่วนบ่อที่ควบคุมมีค่าอยู่ระหว่าง 6.7-6.8 มีค่าเฉลี่ย 6.7 ± 0.06 จึงทำการเติม Nutrilake ปริมาณ 10-15 กิโลกรัมต่อไร่ ในบ่อทดลองที่ 1, 2 และ 3 ส่วนบ่อที่ 4, 5 และ 6 ซึ่งเป็นบ่อควบคุมเติมปูนมาร์ลในปริมาณ 500-1,000 กิโลกรัมต่อไร่ ตามความเหมาะสมของแต่ละบ่อ

ปริมาณไนเตรทในดินบ่อที่จะใช้ Nutrilake มีค่าอยู่ระหว่าง 2.2-6.3 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม และมีค่าเฉลี่ย 3.6 ± 2.31 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ส่วนบ่อควบคุมที่ไม่ใช้ Nutrilake มีค่าอยู่ระหว่าง 2.2-9.8 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม และมีค่าเฉลี่ย 5.1 ± 4.13 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม

ปริมาณซัลไฟด์ในดินสำหรับบ่อทดลองที่จะใช้ Nutrilake มีค่าอยู่ระหว่าง 63.2-81.6 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม และมีค่าเฉลี่ย 72.3 ± 9.20 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ส่วนบ่อควบคุมมีค่าอยู่ระหว่าง 41.3-103.1 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม และมีค่าเฉลี่ย 61.9 ± 35.68 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม พบว่า ปริมาณไนเตรทและซัลไฟด์ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ ($P > 0.05$) (ตารางผนวกที่ 14)

หลังจากจับกุ้ง พบว่า ดินเลนพื้นบ่อทั้ง 6 บ่อนั้นกระจายทั่วพื้นบ่อ เนื่องจากช่วงเวลา ที่ทำการศึกษาเป็นฤดูหนาวมีลมแรงตลอดวัน เครื่องให้อากาศไม่สามารถทำให้กระแสน้ำในบ่อพัดพาเอาตะกอนต่าง ๆ มารวมกันกลางบ่อได้ยากทำให้มีดินเลนกระจายทั่วบ่อ แต่พบว่าดินเลนพื้นบ่อ ในบ่อที่ใช้ Nutrilake สามารถแบ่งออกได้ 3 ชั้น คือ ชั้นที่มีออกซิเจนมีสีเหลือง ชั้น redox potential discontinuity มีสีเทาและชั้นที่ไม่มีออกซิเจนมีสีดำ (Barnes and Hughes, 1982; Brown and McLachlan, 1990) (ภาพที่ 26) ส่วนดินเลนพื้นบ่อในบ่อที่ไม่ใช้ Nutrilake จะมีดินที่เป็นสีดำเท่านั้น เนื่องจากขาดออกซิเจนทำให้เกิดกระบวนการซัลเฟตรีดักชัน (จารุมาศ, 2548) (ภาพที่ 27)

ปริมาณอินทรีย์วัตถุในดินหลังจากจับกุ้งจากบ่อที่ใช้ Nutrilake มีค่าอยู่ระหว่าง 2.1-2.3 เปอร์เซ็นต์ และมีค่าเฉลี่ย 2.2 ± 0.12 เปอร์เซ็นต์ ส่วนบ่อควบคุมมีค่าอยู่ระหว่าง 2.3-2.4 เปอร์เซ็นต์ และมีค่าเฉลี่ย 2.4 ± 0.06 เปอร์เซ็นต์ ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ ($P > 0.05$) (ตารางผนวกที่ 14)

ค่าพีเอชของดินหลังจากจับกุ้งจากบ่อที่ใช้ Nutrilake มีค่าอยู่ระหว่าง 6.7-7.2 และมีค่าเฉลี่ย 7.0 ± 0.25 ส่วนบ่อควบคุมมีค่าอยู่ระหว่าง 6.8-7.0 และมีค่าเฉลี่ย 6.9 ± 0.10 ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ ($P > 0.05$) (ตารางผนวกที่ 14)

ปริมาณไนเตรทหลังจากจับกุ้งจากบ่อที่ใช้ Nutrilake มีค่าอยู่ระหว่าง 1.0-1.6 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม และมีค่าเฉลี่ย 1.2 ± 0.35 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ส่วนบ่อควบคุมมีค่าอยู่ระหว่าง 0.9-1.2 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม และมีค่าเฉลี่ย 1.1 ± 0.17 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ ($P > 0.05$) (ตารางผนวกที่ 14) สาเหตุที่ไนเตรทมีปริมาณไม่สูงมากนัก เนื่องจากการแพร่และกระบวนการดีไนตริฟิเคชัน (Patrick and Delaune, 1972)

ปริมาณซัลไฟด์หลังจากจับกุ้งในบ่อที่ใช้ Nutrilake มีค่าอยู่ระหว่าง 41.3-45.2 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม และมีค่าเฉลี่ย 42.6 ± 2.25 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ส่วนบ่อควบคุมมีค่าอยู่ระหว่าง 110.3-216.2 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม และมีค่าเฉลี่ย 150.1 ± 57.64 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม มีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ ($P < 0.05$) (ตารางผนวกที่ 14) โดยในบ่อควบคุมที่ไม่ใช้ Nutrilake เกิดซัลไฟด์ในดินสูงกว่าบ่อที่ใช้ Nutrilake เนื่องจากสารอินทรีย์ถูกย่อยสลายโดยแบคทีเรียกลุ่ม sulfate reducing bacteria ได้แก่ *Desulfovibrio*, *Desulfotomaculum* และ *Desulfomonas* ผลจากการรีดิวซ์ทำให้เกิดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์หรือก๊าซไข่เน่า จากนั้นพวกโลหะหนักที่มีความว่องไวมากจะรวมตัว

กับก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์แล้วอยู่ในรูปตกตะกอนเป็นโลหะซัลไฟด์ซึ่งมีสีดำ (ดวงพร, 2545) จารุมาศ (2548) กล่าวว่า อัตราการเกิดสารประกอบซัลไฟด์ในดินได้รับอิทธิพลจากปริมาณซัลเฟต ตลอดจนกระบวนการทางอนินทรีย์เคมี ทำให้การเปลี่ยนรูปต่าง ๆ ของซัลไฟด์ (Jørgensen, 1977) ศักยภาพในการเกิดและการสะสมยังแปรผันตามค่าศักย์ไฟฟ้ารีดอกซ์ ซึ่งแสดงสภาพออกซิเดชัน-รีดักชันของดินพื้นบ่อ (Berner, 1963; Fenchel, 1969) ส่วนในบ่อที่ใช้ Nutrilake ซึ่งมีโซเดียมไนเตรทเป็นองค์ประกอบหลัก การย่อยสลายสารอินทรีย์จะถูกแบคทีเรีย *Pseudomonas*, *Moraxella*, *Spirillum*, *Thiobacillus* และ *Bacillus* โดยใช้ไนเตรทเป็นแหล่งออกซิเจนแทนทำให้ช่วยลดการเกิดซัลไฟด์ในดิน

4.2 ค่าศักย์ไฟฟ้ารีดอกซ์

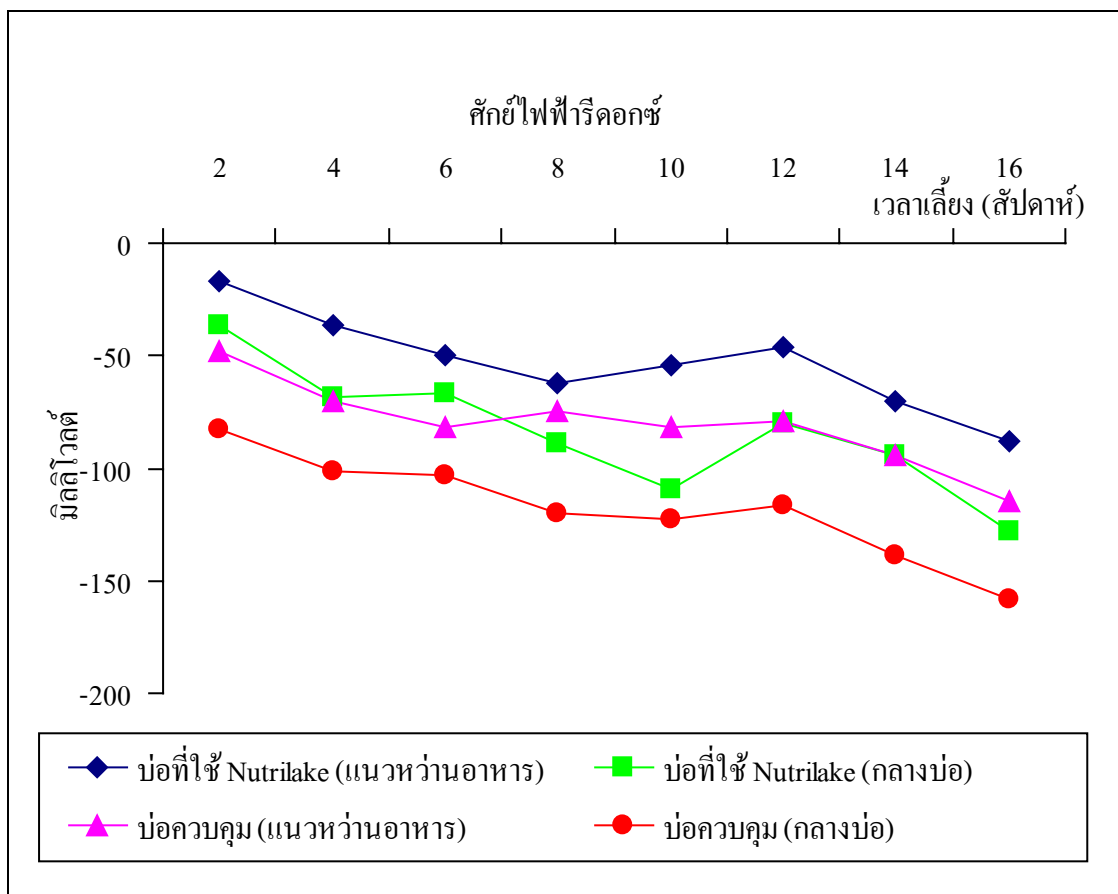
ค่าศักย์ไฟฟ้ารีดอกซ์บริเวณแนวหน้าอาหารของบ่อทดลองที่ใช้ Nutrilake มีค่าอยู่ระหว่าง -10 ถึง -97 มิลลิโวลต์ และมีค่าเฉลี่ย -53 ± 21.4 มิลลิโวลต์ ส่วนบ่อควบคุมที่ไม่ใช้ Nutrilake มีค่าอยู่ระหว่าง -53 ถึง -120 มิลลิโวลต์ และมีค่าเฉลี่ย -81 ± 19.2 มิลลิโวลต์

ค่าศักย์ไฟฟ้ารีดอกซ์บริเวณกลางบ่อทดลองที่ใช้ Nutrilake มีค่าอยู่ระหว่าง -24 ถึง -133 มิลลิโวลต์ และมีค่าเฉลี่ย -83 ± 29.1 มิลลิโวลต์ ส่วนบ่อควบคุมที่ไม่ใช้ Nutrilake มีค่าอยู่ระหว่าง -78 ถึง -168 มิลลิโวลต์ และมีค่าเฉลี่ย -118 ± 22.9 มิลลิโวลต์ (ตารางผนวกที่ 16) พบว่า ค่าศักย์ไฟฟ้ารีดอกซ์ทั้งในบริเวณแนวหน้าอาหารและกลางบ่อของบ่อทดลองและบ่อควบคุม (ตารางที่ 12 และภาพที่ 25) มีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ ($P < 0.05$) (ตารางผนวกที่ 15) บ่อควบคุมไม่มีการเติม Nutrilake มีค่าศักย์ไฟฟ้ารีดอกซ์เป็นลบมากกว่าเนื่องจากปฏิกิริยารีดักชันบนพื้นบ่อโดยแบคทีเรียทำการย่อยสลายสารอินทรีย์ในดินโดยใช้แหล่งออกซิเจนจากไนเตรทแอมโมนีซอกไซด์และเหล็กออกไซด์ หลังจากรีดิวซ์ไปเกือบหมดแบคทีเรียกลุ่ม sulfate reducing bacteria ใช้ซัลเฟตเป็นตัวรับอิเล็กตรอนในปฏิกิริยาทำให้เกิดไฮโดรเจนซัลไฟด์ (ดวงพร, 2545; จารุมาศ, 2548) ทำให้ค่าศักย์ไฟฟ้ารีดอกซ์ มีค่า -120 ถึง -180 มิลลิโวลต์ (ทัศนีย์, 2534) ส่วนบ่อที่ใช้ Nutrilake มีค่าศักย์ไฟฟ้ารีดอกซ์เป็นลบกว่าน้อยกว่าเพราะมีไนเตรทปริมาณมากรวมถึงฟิเอชที่ต่ำ เมื่อเกิดการย่อยสลายสารอินทรีย์ในดินจะเกิดกระบวนการดีไนตริฟิเคชันโดยแบคทีเรียสกุล *Pseudomonas*, *Moraxella*, *Spirillum*, *Thiobacillus* และ *Bacillus* สามารถรีดิวซ์ไนเตรทเป็นไนไตรท์และจากไนไตรท์เป็นก๊าซไนตริกออกไซด์หรือไนตริกออกไซด์หรือไนโตรเจน (ดวงพร, 2545) จากการศึกษาทั้งบ่อที่ใช้และไม่ใช้ Nutrilake จะมีค่าเป็นลบทุกช่วงเวลาที่ทำการวัดค่าศักย์

ไฟฟ้ารีดอกซ์และมีแนวโน้มที่มีค่าเป็นลบมากขึ้นเมื่อระยะเวลาการเลี้ยงมากขึ้น สอดคล้องกับ ดำรง (2540) ที่กล่าวว่าตะกอนเลนพื้นบ่อเลี้ยงกุ้งกุลาดำระบบปิดที่เลี้ยงโดยให้อากาศปกติจะมีค่า ศักย์ไฟฟ้ารีดอกซ์เป็นลบเพิ่มขึ้นเมื่อมีปริมาณสารอินทรีย์สูงขึ้นและเกิดการย่อยสลาย

ตารางที่ 12 ค่าศักย์ไฟฟ้ารีดอกซ์ในบ่อดลองที่ใช้ Nutrilake และบ่อควบคุม

เวลาเลี้ยง (สัปดาห์)	บ่อดลองที่ใช้ Nutrilake		บ่อควบคุม	
	แนวหวานอาหาร	กลางบ่อ	แนวหวานอาหาร	กลางบ่อ
	(มิลลิโวลต์)	(มิลลิโวลต์)	(มิลลิโวลต์)	(มิลลิโวลต์)
2	-17	-30	-48	-83
4	-36	-68	-70	-101
6	-50	-67	-82	-103
8	-62	-89	-75	-120
10	-54	-109	-82	-123
12	-46	-80	-79	-116
14	-70	-95	-94	-139
16	-88	-128	-115	-158



ภาพที่ 25 ค่าสัปดาห์ไฟฟ้ารีดออกซ์ตลอดการเลี้ยง



ภาพที่ 26 ชั้นของหน้าตัดดินพื้นบ่อทดลองที่ใช้ Nutrilake



ภาพที่ 27 ชั้นของหน้าตัดดินพื้นบ่อควบคุมที่ไม่ใช่ Nutrilake

สรุป

1. การศึกษาอัตราการเจริญเติบโต อัตราการรอดตายและผลผลิตของกุ้งกุลาดำในบ่อดลองที่ใช้ Nutrila และบ่อกวน

โดยบ่อที่ใช้ Nutrila ได้ผลผลิต 643 กิโลกรัมต่อไร่ มีอัตราการรอดตาย 61 เปอร์เซ็นต์ ในขณะที่บ่อกวนได้ผลผลิต 481 กิโลกรัมต่อไร่ มีอัตราการรอดตาย 47 เปอร์เซ็นต์ แต่ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ ($P>0.05$) ส่วนอัตราการเจริญเติบโต น้ำหนักเฉลี่ยของกุ้งและอัตราการแลกเนื้อมีค่าใกล้เคียงกันและไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ ($P>0.05$)

2. การศึกษาคุณสมบัติของน้ำในบ่อดลองที่ใช้ Nutrila และบ่อกวน

คุณสมบัติของน้ำตลอดระยะเวลาที่ทำการศึกษาในบ่อที่ใช้ Nutrila และบ่อกวน พบว่าปริมาณไนโตรเจนของบ่อที่ใช้ Nutrila มีค่าต่ำกว่าบ่อกวน ซึ่งมีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ ($P<0.05$) ส่วนคุณสมบัติของน้ำอื่น ๆ มีค่าใกล้เคียงกัน

3. การศึกษาชนิดและปริมาณแพลงก์ตอนในบ่อดลองที่ใช้ Nutrila และบ่อกวน

บ่อดลองทั้ง 6 บ่อมีชนิดแพลงก์ตอนคล้ายกัน ตลอดการเลี้ยงพบแพลงก์ตอนพืชทั้งหมด 3 Division 35 สกุล ได้แก่ Division Cyanophyta (blue-green algae) 8 สกุล Division Chlorophyta (Chlorophytes) 17 สกุล และ Division Chromophyta (Chromophyte) 10 สกุล และ พบแพลงก์ตอนสัตว์ทั้งหมด 3 Phylum 12 สกุล ได้แก่ Phylum Protozoa 2 สกุล Phylum Rotifera 8 สกุล และ Phylum Arthropoda 2 สกุล โดยแพลงก์ตอนพืชที่พบบ่อย และมีปริมาณมาก คือ กลุ่มสีเขียวแกมน้ำเงิน ได้แก่ สกุล *Merismopedia* sp., *Microcystis* sp., *Coelosphaerium* sp. และ *Chroococcus* sp. และแต่ละบ่อพบ *Merismopedia* sp. มากที่สุด ส่วนแพลงก์ตอนสัตว์ที่พบบ่อยและมีปริมาณมาก คือ กลุ่ม Rotifera ได้แก่ *Trichocerca* sp., *Anuraenopsis* sp. และ *Brachionus* sp. ในทุกบ่อเลี้ยง ส่วนปริมาณแพลงก์ตอนในบ่อที่ใช้ Nutrila มีค่าเฉลี่ย $2,035,513 \pm 979,377.3$ เซลล์ต่อลิตร มากกว่าค่าเฉลี่ยในบ่อที่ไม่ใช้ Nutrila มีค่า $1,436,663 \pm 787,756.9$ เซลล์ต่อลิตร ซึ่งมีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ ($P<0.05$)

4. การศึกษาคุณสมบัติของดินและค่าศักย์ไฟฟ้ารีดอกซ์ในบ่อทดลองที่ใช้Nutrilake และบ่อควบคุม

เนื้อดินของพื้นบ่อที่ทำการศึกษาทั้ง 6 บ่อ มีเนื้อดินเป็นดินเหนียว การวิเคราะห์ดินหลังจากจับกึ่ง พบว่า ปริมาณซัลไฟด์ในดินบ่อที่ใช้ Nutrilake มีค่าต่ำกว่าบ่อควบคุมที่ไม่ใช้ Nutrilake ซึ่งมีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ ($P < 0.05$) ส่วนค่าศักย์ไฟฟ้ารีดอกซ์บริเวณแนวหน้าอาหารและบริเวณกลางบ่อของบ่อที่ใช้ Nutrilake มีค่าเฉลี่ย -53 ± 21.4 และ -83 ± 29.1 มิลลิโวลต์ ส่วนบ่อควบคุมมีค่าเฉลี่ย -81 ± 19.2 และ -118 ± 22.9 มิลลิโวลต์ ซึ่งมีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ ($P < 0.05$) ส่วนปริมาณอินทรีย์วัตถุ ค่าพีเอชและปริมาณไนเตรทในบ่อทดลองและบ่อควบคุมไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ ($P > 0.05$)

ข้อเสนอแนะ

1. ควรใช้ Nutrilake ในปริมาณน้อยลงกว่าเดิมครึ่งหนึ่งหลังจากกึ่งอายุ 60 วัน เพื่อไม่ให้ในเตรทเหลืออยู่ในบ่อมากเกินไป เนื่องจากเพลงก่ตอนพิษนำไปใช้น้อยลง
2. ควรเก็บ Nutrilake ห่างจากแสงแดด ความร้อน วัสดุไวไฟ สารรีดิวซ์ และกรดเข้มข้น เนื่องจากเป็นสารออกซิไดซ์ โดยเก็บ Nutrilake ไว้ในภาชนะบรรจุที่ปิดสนิท บริเวณที่เย็นและแห้ง หลีกเลี่ยงการหายใจเอาฝุ่นเข้าไป การสัมผัส ดวงตา ผิวหนังและเสื้อผ้า
3. ควรมีการศึกษาผลของ Nutrilake ในฤดูกาลอื่น ๆ และการใช้ Nutrilake ในบ่อเลี้ยงกุ้งกุลาดำที่เลี้ยงในอัตราความหนาแน่นที่สูงกว่านี้
4. ควรมีการศึกษาผลของ Nutrilake ในบ่อเลี้ยงกุ้งขาวแวนนาไม เนื่องจากปัจจุบันนี้มีการเลี้ยงกุ้งขาวแวนนาไมมากกว่า 95 เปอร์เซ็นต์
5. ควรมีการทดลองใช้ Nutrilake ในปริมาณที่แตกต่างกันเพื่อหาระดับที่เหมาะสมในการเลี้ยงกุ้งกุลาดำและกุ้งขาวแวนนาไม

เอกสารและสิ่งอ้างอิง

กรรณิการ์ สิริสิงห์. 2522. **เคมีของน้ำ น้ำโสโครกและการวิเคราะห์**. โรงพิมพ์บริษัทสารมวลชน จำกัด, กรุงเทพฯ. 336 น.

กุลศักดิ์ โชติบุตตะ, สมพร หาญพงศ์พันธ์ และ เลิศชาย นิลสลัป. 2520. การศึกษาถึงความเหมาะสมของโครงการส่งเสริมการเลี้ยงกุ้งทะเล. **เอกสารเผยแพร่**. กองประมงน้ำกร่อย, กรมประมง, กรุงเทพฯ. 55 น.

คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. 2535. **ปฐพีวิทยาเบื้องต้น**. โรงพิมพ์ชวนพิมพ์, กรุงเทพฯ. 730 น.

_____. 2541. **ปฐพีวิทยาเบื้องต้น**. ภาควิชาปฐพีวิทยา, คณะเกษตร, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ. 547 น.

คณิต ไชยคำ, สิริ ทูกวินาส, ยงยุทธ ปรีดาลัมพะบุตร, พุทธ ส่องแสงจินดา และ ดุสิต ดันวิไลย. 2537. **คุณภาพน้ำเพื่อการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำชายฝั่ง ความรู้เบื้องต้นและวิเคราะห์**. กลุ่มสิ่งแวดล้อมแหล่งเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำชายฝั่ง, สถาบันวิจัยการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำชายฝั่งจังหวัดสงขลา, กรมประมง, กรุงเทพฯ. 110 น.

จรงค์ จันท์เจริญสุข. 2536. **การวิเคราะห์ดินและพืชทางเคมี**. ภาควิชาปฐพีวิทยา, คณะเกษตร, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ. 213 น.

จารุมาศ เมฆสัมพันธ์. 2548. **ดินตะกอน**. ภาควิชาชีววิทยาประมง, คณะประมง มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ. 146 น.

จิราพร เกษรจันทร์. 2535. สเตรปโตมัยเซส ปัจจัยร่วมที่ทำให้เกิดกลิ่นโคลนในเนื้อกุ้ง. **ข่าวกุ้ง** 5 (50): 4-5.

จูอะดี พงศ์มณีรัตน์, สิริ ทุกข์วินาศ และ สถาพร ดิเรกบุษราคม. 2528. ความสุขของ
เพลงก็ตอนพีชและความสัมพันธ์กับคุณสมบัติบางประการของน้ำทางเคมี-ฟิสิกส์ และผล
ผลิตในนาุ้ง จังหวัดนครศรีธรรมราช. เอกสารวิชาการฉบับที่ 28 สถาบันเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ
ชายฝั่ง จังหวัดสงขลา. กรมประมง, กรุงเทพฯ.

ชญา ณรงค์ฤทธิ์. 2535. ผลกระทบจากการทำนาุ้งในพื้นที่ป่าชายเลนต่อคุณสมบัติของดินบริเวณ
อำเภอกาญจนดิษฐ์ จังหวัดสุราษฎร์ธานี. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัย
เกษตรศาสตร์.

ชลอ ลิมสุวรรณ. 2534. คัมภีร์การเลี้ยงกุ้งกุลาดำ. สำนักพิมพ์ฐานเศรษฐกิจ, กรุงเทพฯ. 202 น.

_____. 2543. กุ้งไทย 2000 สูความยั่งยืน และเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม. เจริญรัฐการพิมพ์,
กรุงเทพฯ. 260 น.

ชลอ ลิมสุวรรณ, ยนต์ มุสิก, ชีระ เล็กชลยุทธ, กังวาลย์ จันทรโชติ และ นงนุช รักสกุลไทย.
2530. โรคกุ้งทะเลและการใช้เคมีภัณฑ์, น. 37-60. ใน เอกสารประกอบการสัมมนาการ
เพาะเลี้ยงกุ้งทะเล ครั้งที่ 1. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

ชลอ ลิมสุวรรณ และ พรเลิศ จันทรรักษ์กุล. 2547. อุตสาหกรรมการเพาะเลี้ยงกุ้งในประเทศไทย.
บริษัทเมจิก พับบลิเคชัน จำกัด, กรุงเทพฯ. 206 น.

ชาญยุทธ คงภิรมณ์ชน. 2533. คู่มือปฏิบัติการคุณภาพน้ำทางการประมง. คณะเกษตรศาสตร์
บางพระ, สถาบันเทคโนโลยีราชมงคล, ชลบุรี. 85 น.

ชุมพล ศรีทอง. 2541. การศึกษาเปรียบเทียบระบบการจัดการตะกอน โดยการแขวนลอยตะกอน
และการดูดตะกอนเป็นช่วง ๆ ต่อการเลี้ยงกุ้งกุลาดำในระบบปิด. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท,
มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

ดวงพร กันธโชติ. 2545. นิเวศวิทยาของจุลินทรีย์. สำนักพิมพ์โอเดียนสโตร์, กรุงเทพฯ. 206 น.

ดำรง โลหะลักษณะเดช. 2540. การศึกษาเปรียบเทียบการใช้ระบบการให้อากาศต่าง ๆ กันเพื่อจัดการคุณภาพน้ำและดินพื้นบ่อในการเลี้ยงกุ้งกุลาดำในระบบปิด. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

ดุสิต ต้นวิไลย, พุทธ ส่องแสงจินดา และ คณิต ไชยคำ. 2536. การเปลี่ยนแปลงปริมาณและคุณภาพตะกอนดินในบ่อเลี้ยงกุ้งกุลาดำแบบพัฒนา. เอกสารวิชาการฉบับที่ 5/2536 สถาบันวิจัยการเพาะสัตว์น้ำชายฝั่ง, กรมประมง, กรุงเทพฯ. 20 น.

ทัศนีย์ อัดตะนันท์. 2534. ดินที่ใช้ปลูกข้าว. ภาควิชาปฐพีวิทยา, คณะเกษตร, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ. 420 น.

นิวุฒิ หวังชัย. 2534. การสะสมและการสลายตัวของสารอินทรีย์ในดินพื้นบ่อเลี้ยงกุ้งกุลาดำที่เลี้ยงแบบหนาแน่น. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

พยุง ภัทรกุลชัย. 2532. สมบัติของดินและความต้องการปุ๋ยของดินในบริเวณนาุ้งและป่าไม้ชายเลนของจังหวัดตราด. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

พรเลิศ จันทร์รัชกุล, เจ เอฟ เทอร์นบอด และ ชลอ ลิมสุวรรณ. 2537. คู่มือการเลี้ยงและป้องกันโรคกุ้งกุลาดำ. สถาบันสุขภาพสัตว์น้ำ, กรมประมง, กรุงเทพฯ. 98 น.

ธัญญนันท์ สุนทรมงคล. 2547. ผลของปริมาณการเปลี่ยนถ่ายน้ำต่อคุณภาพน้ำและแพลงก์ตอนในการเลี้ยงกุลาดำด้วยน้ำความเค็มต่ำ. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

นพรัตน์ ฤาชา. 2528. การสำรวจแพลงก์ตอนพืชในกว๊านพะเยา. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

บรรจง เทียนสงัรค์มิ. 2521. หลักการเลี้ยงกุ้งทะเล. คณะประมง, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ. 117 น.

- บังอร ศรีมุกดา. 2530. การเพาะเลี้ยงกุ้งกุลาดำ. เอกสารวิชาการฉบับที่ 55/2530. สถานีประมงน้ำจืดจังหวัดระยอง, กรมประมง, กรุงเทพฯ. 74 น.
- ปกรณ อุ่นประเสริฐ. 2531. เทคนิคการเลี้ยงกุ้งกุลาดำ. สำนักพิมพ์ประชาชนการพิมพ์, กรุงเทพฯ. 41 น.
- ปิยะพงศ์ โชติพันธ์. 2528. การเลี้ยงกุ้ง. สำนักส่งเสริมและฝึกอบรม, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ. 78 น.
- เปี่ยมศักดิ์ เมนะเสวต. 2525. แหล่งน้ำกับปัญหามลภาวะ. สำนักพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, กรุงเทพฯ. 307 น.
- สุสติ ศรีพยัคฆ์. 2529. การเพาะเลี้ยงแพลงก์ตอนพืชเพื่อใช้เป็นอาหารลูกสัตว์น้ำ. เอกสารเผยแพร่ฉบับที่ 29. กองประมงทะเล, กรมประมง, กรุงเทพฯ. 10 น.
- แฟรงค์ มาหลิม. 2537. การศึกษาปริมาณบีโอดี คุณภาพน้ำ และคุณภาพดินบางประการจากบ่อเลี้ยงกุ้งกุลาดำแบบพัฒนาที่มีอัตราความหนาแน่นแตกต่างกัน. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยมหิดล.
- ไมตรี ดวงสวัสดิ์ และ จารุวรรณ สมศิริ. 2528. คุณสมบัติของน้ำและวิธีการวิเคราะห์สำหรับวิจัยทางการประมง. สถาบันประมงน้ำจืดแห่งชาติ, กรมประมง, กรุงเทพฯ. 115 น.
- ขงยุทธ ปรีดาลัมพะบุตร และ คณิต ไชยคำ. 2537. ผลกระทบของน้ำทิ้งจากการเลี้ยงกุ้งต่อคุณภาพน้ำในแหล่งน้ำธรรมชาติ. เอกสารวิชาการฉบับที่ 7/2537 สถาบันวิจัยการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำชายฝั่ง. 39 น.
- ยนต์ มุลิก. 2530. กำลังผลิตทางชีวภาพในบ่อเลี้ยงปลา II. เอกสารประกอบการสอนวิชาเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ 551. คณะประมง, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ. 87 น.

ยนต์ มุสิก และ พรพันธุ์ ยุทธรักษานุกูล. 2534. อัตราการตกตะกอน คุณสมบัติของดินตะกอน และดินพื้นบ่อในบ่อพักน้ำและบ่อเลี้ยงปลาในระบบการเลี้ยงกุ้งแบบหนาแน่นบริเวณแก่งอ่าวไทย. วารสารวิทยาศาสตร์การประมง 1(1): 47-55.

ลัดดา วงศ์รัตน์. 2541. แพลงก์ตอนสัตว์. สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ. 787 น.

_____. 2542. แพลงก์ตอนพืช. สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ. 851 น.

วรวิทย์ ชีวาพร. 2531. คุณภาพน้ำ-ดินในการเลี้ยงกุ้งกุลาดำ, น. 171-182. ใน การเพาะเลี้ยงกุ้งกุลาดำ. คณะวิทยาศาสตร์, มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ, ชลบุรี.

วิมลศิริ อึ้งอร่ามถาวร. 2546. การสะสมและการแพร่กระจายเกลือในบ่อเลี้ยงกุ้งกุลาดำที่เลี้ยงด้วยน้ำความเค็มต่ำโดยใช้ระบบน้ำหมุนเวียน. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

วุฒิ คุปตะวาทีน. 2538. อัตราการรอดตายของลูกกุ้งกุลาดำวัยอ่อนที่อนุบาลในระดับความเค็ม 4 ระดับ. ศูนย์ศึกษาการพัฒนาประมงอ่าวคุ้งกระเบน จังหวัดจันทบุรี กองเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำชายฝั่ง, กรมประมง, กรุงเทพฯ. 19 น.

สถาบันวิจัยและพัฒนาการเพาะเลี้ยงกุ้งทะเล กรมประมง. 2542. คู่มือการจัดการฟาร์มเลี้ยงกุ้งในกลุ่มประเทศอาเซียน. สถาบันวิจัยและพัฒนาการเพาะเลี้ยงกุ้งทะเล, กรุงเทพฯ. 31 น.

สนธิ แดงสกุล. 2531. การเพาะขยายพันธุ์กุ้ง, น. 24-26. ใน เอกสารประกอบการสัมมนาการเพาะพันธุ์กุ้ง และการอนุบาลลูกกุ้งวัยอ่อน 21-22 เมษายน 2531 โรงแรมสยามเบร์วิว, พัทยา, ชลบุรี.

สมเจตน์ จันทวัฒน์, ศุภมาส พนิชศักดิ์พัฒนา, จงรัก จันทร์เจริญสุข, วิโรจน์ อัมพัทธ์ และ อัญชลี สุทธิปรการ. 2529. ปฐพีวิทยาเบื้องต้น. ภาควิชาปฐพีวิทยา, คณะเกษตร, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ. 117 น.

สมศักดิ์ วังโน. 2528. **จุลินทรีย์และกิจกรรมในดิน**. สำนักพิมพ์ไทยวัฒนาพานิช, กรุงเทพฯ. 193 น.

สิริ ทุกข์วินาศ และ สุรางค์ ทิพย์โยธิน. 2533. สิ่งแวดล้อมของแพลงก์ตอนในบ่อเลี้ยงกุ้งกุลาดำแบบพัฒนา. **วารสารการประมง** 43 (4): 265-268.

สุนิช ชัยนาค. 2540. การเปลี่ยนแปลงสมบัติของดินพื้นบ่อเลี้ยงกุ้งกุลาดำบริเวณอำเภอยะนิง. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

อักษร ศรีเปล่ง, นคร บุญประครอง และ บานเย็น จันทราฤทธิกุล. 2530. บทบาทของ Phytoplankton ที่มีต่อไนโตรเจนในบึงมกกะสัน. รายงานสัมมนาวิชาการโครงการปรับปรุงบึงมกกะสัน. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

เอิบ เขียวรัตน์มย์. 2542. **คู่มือปฏิบัติการการสำรวจดิน**. ภาควิชาปฐพีวิทยา, คณะเกษตร, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ. 182 น.

APHA, AWWA. and WEF. 1995. **Standard Method for the Examination of Water and Wastewater**. 20th edition. United Book Press, Maryland. 1,220 p.

Barnes, R.S.K. and R.N. Hughes. 1982. **An Introduction to Marine Ecology**. Blackwell Scientific Publ., Oxford, London. 339 p.

Berner, R.A. 1963. Electrode studies of hydrogen sulfide in marine sediments. **Geochim. Cosmochim. Acta**. 27: 563-575.

Boyd, C.E. 1982. **Water Quality in Management for Fish Pond Culture**. Elsevier Scientific Publishing Co., Amsterdam, Netherlands. 318 p.

Boyd, C.E. 1987. **Evaluation of Water Quality and Water Quality Management Techniques for Backishwater Aquaculture in Ponds in Thailand.** Report for the Asian Development Bank, Manila, Phillippines. 29 p.

_____. 1989. **Water Quality Management and Aeration in Shrimp Farming.** Fisheries and Allied Aquaculture Departmental Series No. 2. Alabama Agricultural Experiment Station, Auburn University, Alabama. 83 p.

_____. 1990. **Water Quality in Pond for Aquaculture.** Alabama Agricultural Experiment Station, Auburn University. 482 p.

_____. 1992. Shrimp pond bottom soil and sediment management, pp. 16-181. *In* **Proceeding of the Special Session on Shrimp Framing.** World Aquaculture Society Baton Rouge Louisiana, USA.

_____. 1995. **Bottom Soils, Sediment and Pond Aquaculture.** Alabama Agricultural Experiment Station, Auburn University, Alabama, USA. 347 p.

_____. 2002. Dissolved salt in water for inland low-salinity shrimp culture. **Glob. Aquac. Aavocate.** 5: 40-50.

Boyd, C. E. and C.S. Tucker. 1992. **Water Quality and Pond Soil Analyses for Aquaculture.** Alabama Agricultural Experiment Station, Auburn University, Alabama, USA. 183 p.

Brawn, T.E., A.W. Morley, N.T. Sanderson and R.D. Tait. 1983. Report of a large fish kill resulting from natural acid water condition in Austrawa. **J. Fish Biol.** 22 (1): 43-47.

Brown, A. C. and A. McLachlan. 1990. **Ecology of Sandy Shores.** Elsevier Sciences Publishers B. V., Amsterdam. 328 p.

- Castro, J. 2000. **Nutrillake Aquaculture-System Fertilizer and Ecological Regulator**.
Guayaquil, Ecuador. 11 p.
- Colt, J. and D. Armstrong. 1979. **Nitrogen Toxicity of Fish, Crustaceans and Molluscs**.
Dept. Civil Eng., Univ. California, Davis. 30 p.
- Conroy, D.A. and R.L. Herman. 1970. **Textbook of Fish Diseases**. T. F. H. Publication,
Inc., New Jersey. 301 p.
- Chiang, P., C.H. Huo and C.F. Liu. 1989. **Pond Preparation for Shrimp Growth-out**. Paper
Presented at Shrimp Farmer Workshop. 8-10 August 1989. Songkhla Province,
Thailand, Thai Department and American Soybean Assosiation, Bangkok. 25 p.
- Eberly, W. R. 1966. Problems in the laboratory culture of planktonic blue green algae.
Proceedings of the Indiana Academy of Science 80: 178-179
- EPA. 1973. Water Quality Criteria 1972. **A Report of the Committee on Quality Criteria,
Environmental Studies Board**. US. Government Printing Office, Washington D. C.
125 p.
- Fenchel, T. 1969. The ecology of marine microbenthos. IV. Structure and fuction of the
benthic ecosystem, its chemical and physical factors and the microfauna
communities with special reference to the ciliated protozoa. **Ophelia** 6:1-182
- Flegel, T. W. 2001. The shrimp response to viral pathogens. pp. 190-214. *In* C. L. Browdy, D.
E. Lory, eds. **The New Wave. Proceeding of Special Session on Sustainable Shrimp**,
World Aquaculture 2001. Orlando. World Aquac. Soc., Boca Raton.
- Grey, D.L., W. Dall and A. Baker. 1983. **A Guide to the Australian Penaeid Prawns**. A. B.
Caudell Government, Australia. 140 p.

- Guy, D. 1992. **The Ecology of the Fish Pond System**. Institute of Animal Ecology, University of Ghent, Belgium. 230 p.
- Hajek, B.B. and C.E. Boyd. 1994. Rating soil and water information for aquaculture. **Aquac. Eng.** 13: 115-128.
- Hall, P. N. F. 1962. **Observation on Taxonomy and Biology of Some Indo-West Pacific Penaeid (Crustacea, Decapoda)**. Her Majesty's Stationery Office, London
- Humn, H. J. and S. R. Wicks. 1980. **Introduction and Guide to the Marine Blue-green Algae**. A Wiley-Interscience Publication, New York. 194 p.
- Jackson, M.L. 1958. **Soil Chemical Analysis**. Prentice-Hall, Inc., Englewood Cliffs, New Jersey. 498 p.
- Jørgensen, B.B. 1977. The sulfur cycle of a coastal marine sediment (Limfjorden, Denmark). **Limnol. Oceanogr.** 22: 814-832.
- Kaplan, D., A.E. Richmond, Z. Dubinsky and S. Aronson. 1986. Algal nutrition. pp. 147-198. In A. Richmond, eds. **CRC Handbook of Microalgal Mass Culture**. CRC press, Inc., Boca Raton, Florida.
- Lovell, T. 1989. **Nutrition and Feeding of Fish**. Van Nostrand Reinhold, New York. 206 p.
- Maitland, P. S. 1978. **Biology of Freshwater**. Blackies & Son Ltd., London. 243 p.
- Masuda, K. and C.E. Boyd. 1994a. Phosphorus fraction in soil and water of aquaculture ponds built on Clayey, Ultisols at Auburn, Alabama. **J. World Aquac. Soc.** 25: 379-395

- Masuda, K. and C.E. Boyd. 1994b. Effect of aeration, alum treatment, liming, and organic matter application on phosphorus exchange between soil and water in aquaculture pond at Auburn, Alabama. **J. World Aquac. Soc.** 25 : 405-416
- Matida, Y. 1966. The role of soil in fish pond productivity in Asia and the Far East. pp. 1-10. *In Proceedings of the World Symposium on Warm Water Pond Fish Culture.* FAO, United Nation Fish, Rep., Rome.
- Motoh, H. 1985. Biology and ecology of *Penaeus monodon*. pp. 27-36. *In Proceeding of First International Conference on the Culture of Penaeid Prawns/Shrimps.* 1984-1985 SEAFDEC Aquaculture Dept., Iloilo, Philippines. 165 p.
- Munsiri, P., C.E. Boyd, and B.J. Hajek, 1995. Physical and chemical characteristics of bottom soil profiles in ponds at Auburn, Alabama, USA, and a Proposed Method for Describing Pond Soil Horizons. **J. World Aquac. Soc.** 26:346–377.
- O' Kelley, J.C. 1974. Inorganic nutrient. pp. 536-610. *In* W.D.P. Stewart, eds. **Algal Physiology and Biochemistry.** Blackwell Scientific Publications Ltd., Oxford.
- Palmer, C.M. 1977. **Algae and Water Pollution.** U.S. Environmental Protection Agency (EPA-600/9-77-036), Ohio. 124 p.
- Patrick, Jr., W. H. and R. D. Delaune. 1972. Characterization of oxidized and reduced zones in flooded soil. **Soil Sci. Soc. Am. Proc.** 36: 573-576.
- Patrick, R. 1977. Ecology of freshwater diatoms-diatom communities. pp. 284-332. *In* D.Werener, eds. **The Biology of Diatoms.** University of California Press, Berkeley.
- Ray, W. M. and Y.H. Chien. 1992. Effect of stocking density and aged sediment on tiger prawn, *Penaeus monodon*, Nursery System. **Aquaculture** 104: 231-248.

- Round, F. E. 1973. **The Biology of the Algae**. 2nd ed., Affiliated Publishers: Macmillan Ltd., London.
- Silva, J.J.R. Frausto da and R.J.P. William. 2001. **The Biological Chemistry of the Elements: The Inorganic Chemistry of Life**. Oxford University Press Inc., New York. 575p.
- Swingle, H.S. 1969. **Methods of analysis for waters, organic matter, and pond bottom soils used in fisheries research**. Auburn University, Alabama, USA. 119 p.
- Tucker, C. S. and C. E. Boyd. 1985. Water quality, pp. 135-227. *In* C. S. Tucker (ed.). **Channel Catfish Culture**. Elsevier Scientific Publishing Co., Amsterdam, Netherlands.
- Wedemeyer, G. A., P. M. Fred and L. Smith. 1976. **Diseases of Fish**. Book V. TF. H. Publication, Inc. Ltd., England. 181 p.
- Wetzel, R. G. 1975. **Limnology**. W. B. Saunders Co., Philadelphia. 743 p.
- Wickins, J.F. 1985. Ammonia production and oxidation during the culture of marine prawns and lobsters in laboratory recirculation systems. **Aquac. Eng.** 4: 155-174
- Wiesser, W. 1962. Inorganic nutrients, pp. 267-286. *In* R. A. Lewin, eds. **Physiology and Biochemistry of Algae**. Academic Press Inc., New York.

ภาคผนวก