ผลของการใช้จุลินทรีย์กลุ่ม *Bacillus* sp. ต่อคุณภาพน้ำและผลผลิตกุ้งกุลาดำในการเลี้ยงด้วยน้ำความเค็มต่ำ

Effects of *Bacillus* sp. on Water Quality and Production of Black Tiger Shrimp (*Penaeus monodon* Fabricius) Cultured in Low Salinity Water

คำนำ

กุ้งกุลาดำเป็นสัตว์น้ำเศรษฐกิจที่สำคัญของประเทศไทย โดยผลผลิตส่วนใหญ่มาจากการเพาะเลี้ยง ที่ผ่านมาการเลี้ยงกุ้งได้มีการพัฒนาจากการเลี้ยงแบบธรรมชาติที่เลี้ยงกุ้งแบบความหนาแน่นต่ำเป็นระบบการเลี้ยงในระดับอุตสาหกรรมที่เลี้ยงกุ้งแบบความหนาแน่นสูง มีการให้อาหารที่มีโปรตีนสูง เพื่อให้สามารถเพิ่มผลผลิตต่อหน่วยพื้นที่สูงที่สุด ทำให้เกิดการสะสมของสารอินทรีย์จากอาหารบางส่วนที่เหลือ และสิ่งขับถ่ายที่มากขึ้นตามปริมาณอาหารที่ใส่ลงไปในบ่อ มีผลทำให้เกิดปัญหาน้ำและพื้นบ่อเน่าเสีย ของเสียเหล่านี้ส่วนใหญ่เป็นสารประกอบพวกโปรตีน คาร์โบไฮเดรต และ ไขมัน (Le *et al*, 2003 ; ปณิตา, 2545) ถ้าสภาพแวดล้อมในบ่อสมดุล มีปริมาณของเสียไม่มากและออกซิเจนที่ละลายในน้ำเพียงพอ จุลินทรีย์ที่มีอยู่ภายในบ่อจะย่อยสลายของเสียเหล่านั้นเป็นแอมโมเนีย ไนไตรท์ ไนเตรทและก๊าซไนโตรเจนระเหยไปในอากาศ แต่ถ้าของเสียมีปริมาณมากเกินไป การจัดการไม่เหมาะสม ปริมาณออกซิเจนละลายในน้ำมีไม่เพียงพอต่อการเจริญเติบโตตามปกติของกุ้งที่อยู่อาศัยตามพื้นบ่อ ส่วนบริเวณที่มีการสะสมของตะกอนเลนต่างๆ กลางบ่อ อาจจะไม่มีออกซิเจนอยู่เลย ทำให้จุลินทรีย์พวกที่ไม่ใช้ออกซิเจนเจริญเติบโตขึ้นมาและทำการย่อยสลายแทน กระบวนการเน่าสลายนี้เป็นไปอย่างช้าๆ และผลิตสารที่เป็นพิษต่อสิ่งมีชีวิตในน้ำ เช่น แอมโมเนีย ไนไตรท์ ก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ และ ก๊าซมีเทน (Hargreaves, 1998 ; Watanabe, 2001) เมื่อมีการสะสมของสารเหล่านี้มากขึ้น กุ้งจะหยุดกินอาหาร อ่อนแอ ติดโรคง่าย และตายในที่สุด

ในปัจจุบันมีการใช้จุลินทรีย์โดยเฉพาะกลุ่ม *Bacillus* sp. ในการบำบัดพื้นบ่อและช่วยในการควบคุมคุณภาพน้ำในอุตสาหกรรมเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำกันมาก ทั้งนี้เนื่องจากจุลินทรีย์สายพันธุ์นี้มีประสิทธิภาพสูงในการย่อยสลายสารอินทรีย์ สามารถผลิตในปริมาณมากได้ อีกทั้งยังง่ายต่อการเก็บรักษาและขนส่ง (van Rijn *et al*., 1995., van Rijn and Nussinovitch, 1997 ; Queiroz and Boyd, 1998)

สำหรับการศึกษาครั้งนี้ ต้องการทราบประสิทธิภาพของการใช้จุลินทรีย์ในกลุ่ม *Bacillus* sp. เพื่อลดปริมาณสารอินทรีย์ที่สะสมในบ่อเลี้ยงกุ้งกุลาดำแบบพัฒนาในน้ำความเค็มต่ำ สำหรับเป็นแนวทางให้แก่เกษตรกรในการจัดการพื้นบ่อ และเพิ่มศักยภาพการผลิตของบ่อเลี้ยง

วัตถุประสงค์

1. ศึกษาเปรียบเทียบผลของการใช้จุลินทรีย์ กลุ่ม *Bacillus* sp. ต่อคุณภาพน้ำในบ่อเลี้ยงกุ้งกุลาดำที่เลี้ยงในน้ำความเค็มต่ำ

2. ศึกษาเปรียบเทียบผลของการใช้จุลินทรีย์ กลุ่ม *Bacillus* sp.ต่อปริมาณผลผลิต อัตราการรอดตาย และอัตราการเจริญเติบโตของกุ้งกุลาดำที่เลี้ยงในน้ำความเค็มต่ำ

3. ศึกษาเปรียบเทียบผลของการใช้จุลินทรีย์ กลุ่ม *Bacillus* sp.ต่อต้นทุนและผลตอบแทนของการเลี้ยงกุลากุลาดำที่เลี้ยงในน้ำความเค็มต่ำ

การตรวจเอกสาร

กุ้งกุลาดำ

กุ้งกุลาดำ (giant black tiger shrimp) มีชื่อวิทยาศาสตร์ว่า *Penaeus monodon* Fabricius เป็นกุ้งน้ำเค็มที่สามารถเลี้ยงในน้ำกร่อยแถบป่าชายเลนได้ดี หรือแม้กระทั่งปรับสภาพการเลี้ยงให้อยู่ในน้ำความเค็มต่ำมากเกือบเป็นน้ำจืด ในปัจจุบันก็สามารถทำได้ ตลาดส่งออกที่สำคัญ ได้แก่ สหรัฐอเมริกา ญี่ปุ่น และยุโรป เป็นต้น ลักษณะของกุ้งกุลาดำที่สำคัญมีดังนี้ ลักษณะภายนอก เป็นกุ้งเปลือกแข็ง มีหนวดสีดำฟันกรีด้านบนมี 7 ถึง 8 ซี่ ช่วงล่างกรีทั้งสองข้างแคบและยาวไม่ถึงฟันกรีซี่สุดท้าย ลำตัวมีสีน้ำเงินแถบม่วง มีแถบดำพาดขวางลำตัว ตามปล้องและปลายโคนหาง ขาว่ายน้ำมีสีเหลืองพาดขวาง ปลายขาสำหรับเดินคู่ที่ 1-2 เป็นสีส้ม มีแหล่งกำเนิดอยู่ในทะเลแถบอินโดแปซิฟิกตะวันออก แอฟริกาตะวันออก ตะวันตกเฉียงใต้ และคาบสมุทรอินเดีย กุ้งกุลาดำวัยอ่อนจะอาศัยตามปากแม่น้ำ และเมื่อโตมักอาศัยในทะเลที่มีพื้นเป็นโคลนปนทราย สามารถวางไข่และสืบพันธุ์ได้ตลอดทั้งปี แต่จะวางไข่ชุกชุมช่วงเดือนพฤษภาคมถึงเดือนตุลาคมของทุกปีในแถบน้ำกร่อย สามารถกินได้ทั้งพืชและสัตว์ มีความแข็งแรงทนทานต่อการเปลี่ยนแปลงระดับความเค็ม จึงเป็นที่นิยมเลี้ยงกันอย่างแพร่หลายทั้งในพื้นที่ความเค็ม น้ำกร่อย หรือการปรับเลี้ยงในน้ำจืด ก็สามารถเลี้ยงประสบความสำเร็จเช่นกัน ในการเลี้ยงและอนุบาลลูกกุ้งขนาดเล็กที่โรงเพาะฟัก เริ่มตั้งแต่เมื่อกุ้งได้รับการปฏิสนธิและฟักออกเป็นตัวในระยะนอเพลียส (nauplius) ระยะนี้ลูกกุ้งยังไม่กินอาหาร แต่เมื่อลูกกุ้งเข้าสู่ระยะซูเอีย (protozoea) ลูกกุ้งจะเริ่มกินอาหารจำพวกแพลงก์ตอนพืช เช่น ไดอะตอม เมื่อเข้าสู่ระยะไมซีส (mysis) ก็สามารถกินอาหารที่มีขนาดใหญ่ได้ เช่นแพลงก์ตอนสัตว์ พวกโรติเฟอร์ หรืออาร์ทีเมีย และเมื่อลูกกุ้งเข้าสู่ระยะโพสลาร์วา (postlarva) ซึ่งจะมีลักษณะที่สมบรูณ์ มีอวัยวะครบทุกอย่างเหมือนตัวเต็มวัย จะมีการลอกคราบบ่อยหากมีการเปลี่ยนถ่ายน้ำสม่ำเสมอ (จรัญ, 2540)

ระบบการเลี้ยงกุ้ง

โดยทั่วไปสามารถแบ่งระบบการเลี้ยงกุ้งได้เป็น 3 ประเภท (พรรณิภา, 2532)

1. การเลี้ยงกุ้งแบบธรรมชาติหรือแบบดั้งเดิม (Extensive หรือ Traditional system)

ผู้เลี้ยงกุ้งอาศัยลูกกุ้งจากธรรมชาติโดยตรงลูกกุ้งจะเข้ามากับน้ำทะเลในขณะที่สูบน้ำหรือเปิดประตูน้ำเข้าบ่อหรือนากุ้ง ไม่มีการให้อาหารเสริม ลูกกุ้งเข้าไปในบ่อขณะน้ำขึ้นและปิดประตูกักน้ำ

ไว้เมื่อน้ำลด และจะเปิดน้ำเข้าบ่อทุกทั้งเมื่อระดับน้ำภายนอกสูงกว่าระดับน้ำภายในบ่อ เป็นการเปลี่ยนถ่ายน้ำโดยใช้ตะแกรงตาถี่ เพื่อไม่ให้กุ้งตัวโตหลุดออกไปแต่สามารถให้กุ้งตัวเล็กเข้ามาได้ วิธีนี้ลงทุนน้อยแต่ผลผลิตที่ได้จะไม่แน่นอน และเป็นการเสียโอกาสในการใช้ทรัพยากรที่ดิน

2. การเลี้ยงกุ้งแบบกึ่งพัฒนา (Semi-intensive system)

คล้ายคลึงกับแบบธรรมชาติ แต่มีการปล่อยลูกกุ้งจากโรงเพาะเสริมลงไปในบ่อ ให้อาหารเสริม ปรับปรุงรูปบ่อให้เป็นสี่เหลี่ยมผืนผ้า หรือสี่เหลี่ยมจตุรัส มีการป้องกันและกำจัดศัตรูกุ้ง การเปลี่ยนถ่ายน้ำ การควบคุมโรค และมีการคาดหวังผลผลิตสูงขึ้น

3. การเลี้ยงกุ้งแบบพัฒนาหรือแบบหนาแน่น (Intensive system)

เป็นแบบที่มีการพัฒนามากกว่าแบบที่ 2 มีขนาดของบ่อเล็กลง มีการใช้ลูกกุ้งจากโรงเพาะฟักทั้งหมด โดยมีการป้องกันไม่ให้ลูกกุ้งหรือสัตว์อื่นๆเข้ามาในบ่อได้ มีเครื่องให้อากาศ ใช้อาหารสำเร็จรูป (pellet) มีการจัดการที่ดีในเรื่องการเปลี่ยนถ่ายน้ำ การป้องกันโรค และผลผลิตต่อพื้นที่สูง

<u>คุณภาพน้ำที่มีผลต่อการเจริญเติบโตของกุ้ง</u>

การจัดการเพื่อให้น้ำในบ่อมีคุณภาพดี เป็นสิ่งจำเป็นเพื่อการเจริญเติบโตและการอยู่รอดของกุ้ง โดยปัจจัยคุณภาพน้ำที่สำคัญ มีดังนี้

1. ปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำ (Dissolved oxygen , DO)

ออกซิเจนที่ละลายในน้ำมีความสำคัญต่อการเจริญเติบโตของกุ้งเป็นอย่างมาก เนื่องจากกุ้งจะต้องใช้ออกซิเจนในการหายใจโดยตรง และออกซิเจนยังช่วยย่อยสลายสารอินทรีย์ต่างๆ ที่เกิดขึ้นในบ่อเลี้ยง การเปลี่ยนแปลงออกซิเจนในรอบวันจะเป็นวัฏจักร โดยมีค่าต่ำสุดในตอนเช้าและสูงสุดในตอนกลางวันเนื่องจากมีการสังเคราะห์แสงของแพลงก์ตอนพืช ค่าปัจจัยจำกัดของปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำ สำหรับกุ้งกุลาดำวัยรุ่นถึงโตเต็มวัย มีค่าเท่ากับ 4 มิลลิกรัมต่อลิตร ยนต์และคณะ (2531) รายงานการผลิตและการใช้ออกซิเจนในบ่อเลี้ยงกุ้งแบบพัฒนาว่า อัตราการผลิตออกซิเจนโดยการสังเคราะห์แสงของพืชในช่วงเวลา 9.00-12.00 น. อยู่ระหว่าง 0.25-2.55 มิลลิกรัมต่อลิตรต่อชั่วโมง

อัตราการใช้ออกซิเจนโดยแพลงก์ตอนพืชและจุลินทรีย์ในน้ำอยู่ระหว่าง 0.07-0.90 มิลลิกรัมต่อลิตรต่อชั่วโมง

2. ความเป็นกรดเป็นด่าง (pH) ของน้ำ

ความเป็นกรดเป็นด่างหรือ pH ของน้ำที่เหมาะสมต่อการเลี้ยงกุ้ง คือ 7.5-8.5 การเปลี่ยนแปลง pH ในบ่อเลี้ยงกุ้งจะถูกควบคุมโดยปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ และปริมาณอิออนที่มีอยู่ในน้ำ โดยธรรมชาติในบ่อเลี้ยงกุ้ง ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จะถูกใช้ในกระบวนการสังเคราะห์แสง ตอนกลางวันที่มีแสงแดดทำให้ pH สูงในตอนบ่าย ส่วนในเวลากลางคืนคาร์บอนไดออกไซด์จะเพิ่มมากขึ้นจากกระบวนการหายใจโดยแพลงก์ตอนพืชและสิ่งมีชีวิตในบ่อ รวมทั้งกระบวนการย่อยสลายสารอินทรีย์ จึงทำให้ pH ต่ำในตอนเช้ามืด(ชลอ, 2543) ปริมาณแพลงก์ตอนในน้ำจึงมีผลต่อการเปลี่ยนแปลง pH ด้วย ถ้ามีปริมาณมากจะทำให้เกิดความแตกต่างของค่า pH ต่ำสุดและสูงสุดในรอบวันมาก ซึ่งจะมีผลกระทบต่อปริมาณของสารพิษในบ่อเลี้ยงกุ้ง เช่น แอมโมเนีย และไฮโดรเจนซัลไฟด์ ระดับของ pH ที่ต่ำกว่า 4.5 และสูงกว่า 10.5 จะทำให้สัตว์น้ำตายทันที (Boyd, 1989)

3. สารประกอบไนโตรเจน

สารประกอบไนโตรเจนที่ละลายในน้ำ คือ แอมโมเนีย (NH_3) , แอมโมเนียม (NH^+_4) , ไนไตรท์ (NO^-_2) ,ไนเตรท (NO^-_3) ,ไนโตรเจน (N) และอินทรีย์ไนโตรเจนที่ละลายน้ำได้ (soluble organic nitrogen) ซึ่งได้แก่ กรดอะมิโน โปรตีน เปปไทด์ และยูเรีย เป็นต้นในบ่อเลี้ยงกุ้งพบว่าแอมโมเนียและไนไตรท์ที่สะสมอยู่เป็นพิษต่อกุ้ง ถ้า pH ภายนอกสูงกว่าภายในเซลล์ แอมโมเนียจากภายนอกเซลล์จะถูกดึงเข้าสู่ภายในเซลล์ซึ่งมี H^+ มาก กุ้งจะตายถ้ามีปริมาณแอมโมเนียในเลือดสูงกว่าปริมาณที่ต้องขับออก มีผลต่อปฏิกิริยาที่เร่งโดยเอนไซม์ และเนื้อเยื่อจะต้องใช้ออกซิเจนเพิ่มขึ้น เนื่องจากไปลดความสามารถของเลือดในการขนส่งออกซิเจนทำลายเหงือกทำให้ติดโรคได้ง่าย ถ้ามีปริมาณแอมโมเนียในน้ำ 0.4 มิลลิกรัมต่อลิตร จะลดอัตราการเจริญเติบโตของกุ้งประมาณ 50 เปอร์เซ็นต์ และถ้ามีในระดับ 2 มิลลิกรัมต่อลิตร กุ้งจะหยุดกินอาหาร (ยนต์, 2530 ; ชลอ, 2534 ; Boyd, 1989) Wickens (1985) ได้ทำการทดลองเกี่ยวกับพิษของสารประกอบไนโตรเจนต่อกุ้งทะเลที่มีน้ำหนักประมาณ 50-200 มิลลิกรัม พบว่า แอมโมเนีย ไนไตรท์ และไนเตรทที่ระดับความเข้มข้น 1.29, 170 และ 3,400 มิลลิกรัมต่อลิตร มีผลทำให้กุ้งตาย 50 เปอร์เซ็นต์ ภายในเวลา 48 ชั่วโมง

ในบ่อเลี้ยงกุ้งทะเล ค่า pH ค่อนข้างสูงทำให้การเจริญเติบโตของแบคทีเรียที่จะเปลี่ยนไนไตรท์เป็นไนเตรทหยุดชะงัก มีผลทำให้เกิดการสะสมของไนไตรท์ภายในบ่อ (ยนต์, 2530) ไนไตรท์ที่ระดับความเข้มข้น 6.4 มิลลิกรัมต่อลิตร จะมีผลทำให้กุ้ง *P. indicus* การเจริญเติบโตลดลง 50 เปอร์เซ็นต์ และค่าความเข้มข้นของไนไตรท์ที่มีผลทำให้กุ้งกุลาดำตาย 50 เปอร์เซ็นต์ ภายในเวลา 24 ชั่วโมง หรือค่า 24-h LC_{50} ของไนไตรท์ต่อลูกกุ้งกุลาดำระยะนอเพลียส (nauplius) ซูเอีย(zoea) ไมซีส (mysis) และโพสลาร์วา (postlarva) คือ 5 , 13.2 , 20.65 และ 61.87 มิลลิกรัมต่อลิตรไนไตรท์-ไนโตรเจน ตามลำดับ ส่วนค่าที่ปลอดภัยสำหรับลูกกุ้งระยะนอเพลียสและโพสลาร์วา คือ 0.11 และ 1.36 มิลลิกรัมต่อลิตรไนไตรท์-ไนโตรเจน ตามลำดับ (โชติ, 2533)

4. ก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ (H_2S)

ภายใต้สภาวะที่ไม่มีอากาศ จุลินทรีย์บางชนิดสามารถใช้ ซัลเฟต และสารประกอบซัลเฟอร์ออกไซด์อื่นๆ เป็นตัวรับอิเล็กตรอนในกระบวนการเมตาบอลิซึม จะให้พวกซัลไฟด์ออกมา ซึ่งซัลไฟด์เป็นอิออนที่แตกตัวอยู่ในสภาวะสมดุลกับไฮโดรเจนซัลไฟด์ โดยจะมี pH เป็นตัวควบคุมว่าซัลไฟด์ทั้งหมดจะอยู่ในรูปแบบ H_2S , HS^- หรือ S^{2-} ซัลไฟด์ในรูปของไฮโดรเจนซัลไฟด์ (H_2S) หรือก๊าซไข่เน่า เป็นพิษต่อสิ่งมีชีวิตในน้ำที่ระดับความเข้มข้น 0.01 – 0.05 มิลลิกรัมต่อลิตร และถ้าพบว่ามีก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ละลายน้ำอยู่ในปริมาณ 1.3 มิลลิกรัมต่อลิตร จะทำให้กุ้งช็อกและเป็นอัมพาตตายไปในที่สุด (สมพร, 2535)

5. ค่า BOD (Biochemical Oxygen Demand)

โดยทั่วไปในบ่อที่เลี้ยงกุ้งแบบหนาแน่นจะมีค่า BOD อยู่ระหว่าง 2.8 - 20.5 มิลลิกรัมต่อลิตร(ยนต์ และคณะ, 2531) และพบว่าค่า BOD จะมีแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงที่เพิ่มขึ้นตามอายุของกุ้ง โดยเพิ่มสูงสุดในเดือนที่ 3 ของการเลี้ยงเนื่องจากปริมาณอาหารที่ให้เพิ่มขึ้น เป็นผลให้อาหารที่ตกค้างและของเสียจากการขับถ่ายของกุ้งมีปริมาณเพิ่มขึ้น โดยมีค่าอยู่ระหว่าง 0.2 – 10.5 มิลลิกรัมต่อลิตร (ยงยุทธและคณะ, 2532)

6. ความเค็ม

กุ้งกุลาดำสามารถทนต่อการเปลี่ยนแปลงความเค็มในช่วงกว้างๆ และถ้าความเค็มเปลี่ยนแปลงลดลงอย่างช้าๆ จะสามารถปรับตัวอยู่ที่ความเค็มเกือบศูนย์เป็นเวลานานพอสมควรหรือ

ความเค็มที่เพิ่มขึ้นจนถึง 45 ส่วนในพันส่วน (ชลอ, 2534) แต่ความเค็มที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตอยู่ระหว่าง 10 – 20 ส่วนในพันส่วน (บรรจง 2530 ; ชลอ, 2534 ; Boyd, 1989) แต่สำหรับกุ้ง *Penaeus japonicus* ความเค็มที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตอยู่ระหว่าง 27 – 35 ส่วนในพันส่วน (Korringa, 1976)

<u>สารอินทรีย์ (Organic matter) ในบ่อเลี้ยงกุ้ง</u>

สารอินทรีย์ที่พบในบ่อเลี้ยงกุ้งส่วนมาก เป็นสารประกอบอินทรีย์ ไนโตรเจน และคาร์บอน แหล่งของสารอินทรีย์ที่สำคัญในบ่อเลี้ยงกุ้งนอกจากจะมาจากสารแขวนลอยในน้ำที่ใช้เลี้ยงกุ้งตามธรรมชาติแล้ว พบว่าส่วนใหญ่จะมาจากอาหารที่กุ้งกินเหลือ และของเสียที่กุ้งขับถ่ายออกมา (ดีพร้อม, 2531) เนื่องจากอาหารกุ้งประกอบด้วยสารจำพวกโปรตีนมากที่สุด คือ 35-45 เปอร์เซ็นต์ รองลงมาคือ คาร์โบไฮเดรตประมาณ 30-40 เปอร์เซ็นต์ ไขมัน 6-9 เปอร์เซ็นต์ และเส้นใยอาหาร 3.5 เปอร์เซ็นต์ (มะลิ, 2531) Colwell and Morita (1974) พบว่า สารประกอบไนโตรเจนมากกว่า 14 เปอร์เซ็นต์ในน้ำเกิดจากการขับถ่ายของเสียของสัตว์น้ำโดยเฉพาะสัตว์จำพวกครัสตาเชียน (crustaceans) สามารถขับถ่ายของเสียออกมาในรูปของแอมโมเนียและกรดอะมิโนบางชนิด เช่น arginine เป็นต้น พบว่าในกุ้งก้ามกรามที่มีขนาดต่ำกว่า 5 กรัม จะขับถ่ายแอมโมเนียออกมาประมาณวันละ 1 มิลลิกรัม แต่ถ้ากุ้งมีขนาด 10-20 กรัม จะขับถ่ายแอมโมเนียออกมาประมาณวันละ 0.5 มิลลิกรัม (Hartenstein, 1970) ส่วนในกุ้งกุลาดำ ขนาด 1.6-27 กรัม จะขับถ่ายแอมโมเนียประมาณ 0.03-0.30 มิลลิกรัมแอมโมเนียไนโตรเจนต่อน้ำหนักกุ้ง 1 กรัมต่อวัน (สมพร, 2535) นอกจากนี้ยังพบว่าปริมาณของเสียที่เกิดขึ้นและสะสมอยู่ในพื้นบ่อมีความสัมพันธ์กับอัตราการแลกเนื้อ (food conversion ratio) โดยอัตราการแลกเนื้อที่มีค่าสูงจะทำให้เกิดของเสียสะสมในบ่อเลี้ยงมากกว่าการเลี้ยงที่มีอัตราการแลกเนื้อต่ำกว่า ตามที่ Phillips *et al*. (1990) ได้รายงานว่า อัตราการแลกเนื้อมีค่า 1.2 : 1 และ 2 : 1 ที่เกิดจากการให้อาหารที่เป็นไนโตรเจน ปริมาณ 91.2 และ 152.0 กิโลกรัมต่อ1,000 กิโลกรัมของผลผลิตกุ้ง ให้ผลผลิตรวมเท่ากัน แต่ปริมาณของเสียที่เป็นสารประกอบไนโตรเจนจะมีปริมาณ 57.3 และ 118.1 กิโลกรัมต่อผลผลิตกุ้ง 1,000 กิโลกรัม และจากการตรวจปริมาณของน้ำที่ได้จากการล้างบ่อเลี้ยงกุ้งแบบหนาแน่นหลังจากการเก็บผลผลิตแล้ว พบว่ามีปริมาณไนโตรเจนรวม 2600 มิลลิกรัมต่อลิตร เป็นสารอินทรีย์คาร์บอนประมาณ 13.6 เปอร์เซ็นต์ของปริมาณของแข็งทั้งหมดสารอินทรีย์ในดินของบ่อเลี้ยงกุ้งกุลาดำในบริเวณต่างๆ ของประเทศไทยมีปริมาณแตกต่างกันไป จากการศึกษาของ นิวุฒิ (2534) ได้ศึกษาปริมาณของสารอินทรีย์ในบ่อเลี้ยงกุ้งกุลาดำ บริเวณรอบๆป่าชายเลนและบ่อเลี้ยงกุ้งกุลาดำบริเวณป่าชายเลนเป็นเวลา 4 เดือน พบว่าผิวดินบริเวณรอบๆป่าชายเลนมีปริมาณสารอินทรีย์ตลอดการเลี้ยงอยู่ในช่วง 1.76-2.05 เปอร์เซ็นต์ ส่วนปริมาณสารอินทรีย์บริเวณพื้นบ่อมีระดับสูงอยู่ระหว่าง 5.05-

6.01 เปอร์เซ็นต์ ปริมาณสารอินทรีย์ที่ระดับความลึกจากผิวดิน 20 เซนติเมตร จะมีค่าสูงสุด มากกว่าที่ระดับความลึกจากผิวดิน 10 เซนติเมตร และปริมาณสารอินทรีย์ที่ระดับผิวมีปริมาณน้อยที่สุด และจากการศึกษาบริเวณนากุ้งและป่าชายเลนจังหวัดตราด มีค่าปริมาณสารอินทรีย์เท่ากับ 0.01-20.66 และ 2.10-13.80 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ (พยุง, 2532) บ่อเลี้ยงกุ้งจังหวัดสมุทรสาครมีค่าเท่ากับ 3.76-4.22 เปอร์เซ็นต์ (ยนต์ และพรพันธ์, 2534)

<u>จุลินทรีย์ในบ่อเลี้ยงกุ้ง</u>

จุลินทรีย์ในบ่อเลี้ยงกุ้งมีทั้งชนิดที่เป็น autotrophs และ hetrotrophs แต่ชนิดที่มีความสำคัญในการย่อยสลายสารอินทรีย์คือพวก heterotrophs เนื่องจากเป็นจุลินทรีย์ที่ต้องอาศัยสารอินทรีย์เป็นแหล่งพลังงานและคาร์บอน จึงทำให้จุลินทรีย์กลุ่มนี้มีความสำคัญที่ทำให้เกิดการเน่าเปื่อยและสลายสารอินทรีย์ให้เป็นสารอนินทรีย์ มีการศึกษาปริมาณจุลินทรีย์บริเวณอ่าวเม็กซิโก แหล่งที่มีการเพาะเลี้ยงกุ้งพบว่าปริมาณจุลินทรีย์ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส มีค่า อยู่ระหว่าง $8.7x10^2$ - $1.1x10^7$ เซลล์ต่อกรัม (สมพร, 2535) และจากการศึกษาของกุลวรา (2534) พบว่าปริมาณจุลินทรีย์รวมทั้งหมดในบ่อเลี้ยงกุ้งกุลาดำแบบพัฒนา มีค่าอยู่ระหว่าง $3.33x10^3$ - $3.19x10^6$ เซลต่อมิลลิลิตร และปริมาณเชื้อ *Vibrio* spp. เปลี่ยนแปลงอยู่ระหว่าง $0.65x10^2$ -$1.22x10^4$ เซลต่อมิลลิลิตร และยังพบอีกว่า ถ้าจำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมดมีปริมาณสูงระหว่าง 10^4 – 10^6 เซลต่อมิลลิลิตร และปริมาณแบคทีเรีย *Vibrio* ssp. มากกว่า 10^3 เซลต่อมิลลิลิตรขึ้นไป มักทำให้กุ้งในบ่อเริ่มแสดงอาการของโรคได้ ส่วนสกุลของจุลินทรีย์ที่พบมากในทะเลและบ่อเลี้ยงกุ้ง ได้แก่ *Vibrio, Pseudomonas, Aeromonas, Acinetobacter, Flavobacterium, Moraxella* และ *Plesiomonas* ซึ่ง *Vibrio* เป็นสกุลที่พบมากที่สุด คิดเป็น 80 เปอร์เซ็นต์ของจุลินทรีย์ที่พบ (ลิลา, 2540) ปริมาณเชื้อ *Vibrio spp.* ในดินก้นบ่อเลี้ยงกุ้งกุลาดำก่อนการเลี้ยง ขณะที่เลี้ยงเป็นเวลา 1, 2, 3 และ4 เดือน รวมทั้งหลังการเก็บเกี่ยวผลผลิต พบว่ามีเชื้อ *Vibrio* ประมาณ $3.3x10^2$, $4.1x10^3$, $2.9x10^4$, $3.6x10^4$, $6.0x10^4$ และ $2.3x10^6$ CFU/กรัม ตามลำดับ (ศุภชัย, 2538) ส่วนเชื้อ *Bacillus* sp.ที่พบมากที่สุดคือ *Bacillus pumilus, B. subtilis, B. cereus* และ *B. licheniformis* (Ivanova *et al*., 1992)

สิทธิ และคณะ (2532) รายงานปริมาณจุลินทรีย์ที่มีอยู่ในน้ำที่มีความหนาแน่นของกุ้งกุลาดำต่างกันคือ 100, 150 และ200 ตัวต่อตารางเมตร พบว่าจะมีปริมาณจุลินทรีย์อยู่ในน้ำ $8.3x10^3$-$2.1x10^5$, $3.0x10^3$-$3.5x10^5$ และ $9.0x10^3$-$4.1x10^5$ เซลล์ต่อมิลลิลิตร ตามลำดับส่วนปริมาณ *Vibri o* spp. พบอยู่ในช่วง $4.0x10$ - $6.8x10^3$, $6.0x10^2$ - $5.3\ x10^3$ และ $2.6x10^2$ - $5.4\ x10^3$ เซลล์ต่อมิลลิลิตร ตามลำดับ และ

ช่วงเริ่มต้นของการเลี้ยงปริมาณจุลินทรีย์รวมและเชื้อ *Vibrio* spp. ในน้ำจะมีปริมาณน้อยกว่าในช่วงสุดท้ายของการเลี้ยง

<u>ชนิดของจุลินทรีย์ที่นำมาใช้ในการปรับปรุงคุณภาพน้ำ</u>

จุลินทรีย์ที่นำมาใช้ในการปรับปรุงคุณภาพน้ำมีหลายชนิดด้วยกัน ซึ่งแต่ละชนิดมีความสามารถในการย่อยสลายสารต่างๆกัน ดังนี้

1. *Bacillus subtilis*

จุลินทรีย์ชนิดนี้จะออกซิไดส์คาร์โบไฮเดรต กรดอินทรีย์ และสารประกอบอื่นๆ เช่น ไขมัน น้ำมัน โปรตีน และแป้ง โดยการทำงานจะเกิดบริเวณก้นบ่อ โดยการสร้างน้ำย่อยที่เรียกว่า extracellular enzyme ออกมาย่อยสลายสารอินทรีย์โมเลกุลใหญ่ให้เป็นโมเลกุลเล็ก จุลินทรีย์ชนิดนี้ยังสามารถทนต่อสภาพแวดล้อมที่ก้นบ่อได้ด้วย

2. *Nitrosomonas* sp.

จุลินทรีย์ชนิดนี้จะออกซิไดส์แอมโมเนียให้เป็นไนไตรท์ ซึ่งการทำงานของจุลินทรีย์นี้ต้องการออกซิเจนอย่างเพียงพอ นอกจากนี้การเจริญต้องอาศัยสารประกอบอินทรีย์ของคาร์บอนที่ละลายน้ำด้วย โดยจะต้องมีสารประกอบอินทรีย์ที่ละลายในน้ำ 20 มิลลิกรัมต่อลิตร จึงจะเจริญได้

3. *Nitrobacter* sp.

จุลินทรีย์ชนิดนี้จะออกซิไดส์ไนไตรท์ให้เป็นไนเตรท โดยต้องการสภาพที่มีออกซิเจนอย่างเพียงพอ ทั้ง *Nitrosomonas* sp. และ *Nitrobacter* sp. นี้จะเรียกรวมกันว่า nitrifying bacteria

4. *Pseudomonas* sp.

จุลินทรีย์ชนิดนี้ช่วยลดระดับไนเตรทที่มีมากเกินพอ โดยจะทำงานในสภาพที่มีออกซิเจนและยังสามารถควบคุมสารประกอบอินทรีย์ที่ละลายน้ำได้ด้วย

5. *Enterobacter* sp.

จุลินทรีย์ชนิดนี้เป็นแบคทีเรียพวก facultative anaerobe เจริญได้ดีในสภาพที่ไม่มีออกซิเจน และเจริญได้เช่นกันในสภาพที่มีอากาศ ภายใต้สภาวะที่มีออกซิเจนจะออกซิไดส์สารประกอบคาร์โบไฮเดรตและสารอินทรีย์ที่มีองค์ประกอบหรือโครงสร้างแบบง่ายๆ เมื่อย่อยสลายแล้วผลผลิตที่ได้คือ คาร์บอนไดออกไซด์และน้ำ ซึ่งจะกระจายตัวอยู่ในน้ำกลายเป็นแหล่งคาร์บอนไดออกไซด์ของพืชน้ำ ในสภาพที่มีปริมาณออกซิเจนในระดับต่ำ หรือไม่มีออกซิเจน จะเกิดการหมักของสารประกอบคาร์โบไฮเดรตทำให้เกิดเป็นสารประกอบอินทรีย์

6. *Cellulomonas* sp.

จุลินทรีย์ชนิดนี้สามารถเปลี่ยนเซลลูโลสให้เป็นกลูโคส ซึ่งเป็นน้ำตาลที่มีโมเลกุลเล็กที่ละลายในน้ำได้ และนำเข้าไปใช้ในเซลล์ รวมทั้งจุลินทรีย์ชนิดอื่นก็สามารถนำไปใช้ได้ด้วย

7. *Rhodopseudomonas* sp.

จุลินทรีย์ชนิดนี้สามารถใช้แสงเป็นแหล่งพลังงานและออกซิไดส์สารประกอบอินทรีย์โดยเฉพาะกรดอินทรีย์หลายชนิดในสภาพที่มีออกซิเจนแต่มีแสงได้ นอกจากนี้บางสายพันธุ์ยังสามารถตรึงไนโตรเจนได้ ผลผลิตที่ได้จะเป็นอาหารที่ดีของจุลินทรีย์ชนิดอื่นๆ (Boyd, 1990; Ehrlich *et al*., 1989)

<u>การใช้จุลินทรีย์ในการกำจัดสารอินทรีย์ในน้ำ</u>

ชลิต (2535) ได้ทำการศึกษาผลของจุลินทรีย์ต่อการย่อยสลายสารอินทรีย์โดยใช้ผลิตภัณฑ์จุลินทรีย์ที่มี *B. subtilis* ในการศึกษาการย่อยเศษอาหารและขี้กุ้งโดยใช้หลอดทดลองขนาด 25 มิลลิลิตร เติมน้ำเค็ม 30 ส่วนในพันส่วน หลอดละ 15 มิลลิลิตร และเริ่มจากตะกอนเศษอาหารและ ขี้กุ้งระดับ 3 เซนติเมตร ซึ่งคิดเป็น 20 เปอร์เซ็นต์ของปริมาตรทั้งหมด เติมจุลินทรีย์ 0.3 กรัมต่อหลอด ทำการทดลอง 9 วัน เปรียบเทียบกับกลุ่มควบคุมที่ไม่เติมจุลินทรีย์ พบว่าในหลอดที่เติมจุลินทรีย์ตะกอนขี้กุ้งและเศษอาหารลดลง โดยในวันแรกเหลือ 78.33, 75.67, 73.33, 70.67 และ 69.0 เปอร์เซ็นต์ ในวันต่อๆมา และคงที่จนสิ้นสุดการทดลอง ซึ่งสามารถตะกอนขี้กุ้งและเศษอาหารเหลือถึง 37 เปอร์เซ็นต์ ส่วนหลอดที่ไม่เติมจุลินทรีย์พบว่าเมื่อสิ้นสุดการทดลอง ตะกอนขี้กุ้งและเศษอาหารเหลือถึง 94.33

เปอร์เซ็นต์ ซึ่งสามารถลดได้เพียง 5.7 เปอร์เซ็นต์ เท่านั้น และศึกษาการใช้จุลินทรีย์ในระหว่างการเลี้ยงกุ้งโดยเติมจุลินทรีย์อัตรา 1 กิโลกรัมต่อไร่ ทุกๆ 2 สัปดาห์เมื่อสิ้นสุดการทดลองในสัปดาห์ที่ 12 พบว่าการทดลองที่ปล่อยเลี้ยงกุ้งหนาแน่น 30 และ 40 ตัวต่อตารางเมตร พบว่าในบ่อที่เติมจุลินทรีย์และไม่เติมจุลินทรีย์ ความยาวเฉลี่ย น้ำหนักเฉลี่ยของกุ้งไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ แต่บ่อที่มีการเติมจุลินทรีย์จะมีอัตราการรอดตายสูงกว่าบ่อที่ไม่เติมจุลินทรีย์อย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ และบ่อที่เติมจุลินทรีย์จะมีปริมาณแอมโมเนียต่ำกว่าบ่อควบคุม แต่ไนไตรท์ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ

สมพร (2535) ได้ทำการศึกษาโดยใช้จุลินทรีย์ *B. subtilis* ในการย่อยสลายสารอินทรีย์ในบ่อเลี้ยงกุ้ง พบว่าบ่อที่ไม่ได้ใส่เชื้อจุลินทรีย์มีค่าไนไตรท์ ไฮโดรเจนซัลไฟด์ และค่า BOD เท่ากับ 2.85, 0.033 และ18.53 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ ส่วนบ่อที่ใส่เชื้อจุลินทรีย์จะมีค่าต่ำกว่าคือ 2.15, 0.025 และ 9.92 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ Ehrlich *et al.*(1989) ได้ทำการทดลองใช้กลุ่มของจุลินทรีย์ที่มีคุณสมบัติเฉพาะต่างๆ ดังนี้ คือ *Aerobacter aerogenes* ในสภาพที่มีออกซิเจนจะสามารถออกซิไดส์คาร์บอนไดออกไซด์และกรดอินทรีย์โมเลกุลสั้นๆ (short-chain organic acids)ให้กลายเป็นก๊าซคาร์บอนไดออกไซส์และน้ำ แต่ถ้าอยู่ในสภาพที่มีออกซิเจนจำกัดจะกลายเป็นกรดอินทรีย์โมเลกุลสั้นๆ ก๊าซคาร์บอนไดออกไซส์และน้ำ กรดอินทรีย์ที่เกิดขึ้นจะถูก จุลินทรีย์ในสกุล *Pseudomonas* ย่อยสลายต่อไป *B. subtilis* สามารถออกซิไดส์ คาร์โบไฮเดรต โปรตีน กรดอินทรีย์และไขมัน เป็นจุลินทรีย์ที่มีบทบาทสำคัญในน้ำและตะกอนดินเนื่องจากสามารถผลิตเอนไซม์ออกมาย่อยสลายสารอินทรีย์ภายนอกเซลล์ได้ *Cellulomonas biazotea* สามารถย่อยสลายเซลลูโลสทำให้มีโมเลกุลเล็กลงจนจุลินทรีย์ชนิดอื่นสามารถทำการย่อยสลายต่อไปได้

<u>กระบวนการย่อยสลายสารอินทรีย์ในน้ำโดยจุลินทรีย์</u>

สมาน (2538) อธิบาย 4 ขั้นตอนที่สำคัญในการย่อยสลายสารอินทรีย์โดยจุลินทรีย์ ดังนี้

1. การย่อยสลายสารอินทรีย์

โดยจุลินทรีย์จะผลิต extracellular enzyme ปล่อยออกมาภายนอกเซลล์เพื่อย่อยสลายสารอินทรีย์โมเลกุลใหญ่ให้เป็นโมเลกุลเล็กที่ละลายน้ำได้ซึ่งจุลินทรีย์สามารถนำสารอินทรีย์ในรูปนี้เข้าสู่เซลล์และใช้เป็นอาหารได้ สารอินทรีย์ที่ถูกย่อยสลายนี้จะเปลี่ยนเป็นรูป carbonaceousBOD แอมโมเนียและฟอตเฟต ซึ่งจะเป็นรูปใดก็ขึ้นอยู่กับองค์ประกอบของสารอินทรีย์ที่ถูกย่อยสลาย

2. การแปรสภาพของ CarbonaceousBOD

จุลินทรีย์ชนิด heterotrophs จะใช้สารอินทรีย์คาร์บอนจากโปรตีน ไขมัน คาร์โบไฮเดรต เป็นแหล่งคาร์บอน ส่วนจุลินทรีย์ชนิด autotrophs จะใช้สารอนินทรีย์คาร์บอน เช่น คาร์บอนไดออกไซด์เป็นแหล่งคาร์บอนได้ด้วย ส่วนกระบวนการ nitrification จะเกิดขึ้นโดยกิจกรรมของ autotrophic bacteria กลุ่ม nitrifying bacteria ผลสุดท้ายของการแปรสภาพ carbonaceousBOD จะได้จำนวนจุลินทรีย์ที่เพิ่มขึ้น ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ น้ำ และฟอสฟอรัสในรูปสารประกอบที่ไม่ละลายน้ำ ได้แก่ แคลเซียมฟอสเฟต

3. Nitrification

เป็นกระบวนการที่เปลี่ยนแปลงแอมโมเนียให้เป็นไนเตรท โดยกิจกรรมของจุลินทรีย์ ในกระบวนการนี้ต้องการสภาพที่มีออกซิเจนอย่างเพียงพอ และถ้ามีสารอินทรีย์ที่ละลายน้ำอยู่ในปริมาณที่สูงจะสามารถยับยั้งกระบวนการนี้ได้ (โดยทั่วไปกระบวนการนี้จะเกิดขึ้นได้ก็ต่อเมื่อค่า BOD ของน้ำจะต้องต่ำกว่า 20 มิลลิกรัมต่อลิตร) ในกระบวนการ nitrification นี้เป็นกิจกรรมของ nitrifying bacteria ซึ่งกระบวนการแปรสภาพมีอยู่ 2 ขั้นตอน คือ

3.1 แอมโมเนียหรือแอมโมเนียมอิออน ถูกออกซิไดซ์เป็นไนไตรท์ จุลินทรีย์ที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการนี้ เช่น *Nitrosomonas* sp.

3.2 ไนไตรท์ถูกออกซิไดซ์เป็นไนเตรท จุลินทรีย์ที่เกี่ยวข้องเช่น *Nitrobacter* sp.

4. Denitrification

กระบวนการ denitrification เป็นการเปลี่ยนแปลงสารประกอบไนเตรทให้เป็นก๊าซไนโตรเจนโดยจุลินทรีย์ กระบวนการนี้เกิดในสภาพที่ไม่มีออกซิเจนและต้องการสารอินทรีย์คาร์บอนเพื่อใช้เป็นแหล่งพลังงานเกิดโดย heterotrophic bacteria ซึ่งแหล่งคาร์บอนนี้มาจากตะกอนโคลนเลน จุลินทรีย์ที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการนี้รวมเรียกว่า denitrifying bacteria เช่น *Pseudomonas* sp. , *Achromobacter* sp. , *Micrococcus* sp. , *Thiobacillus denitrificans*

<u>กิจกรรมทางชีวเคมีของจุลินทรีย์</u>

กระบวนการเผาผลาญอาหารของสิ่งมีชีวิตต่างๆ ประกอบขึ้นด้วยปฏิกิริยาทางเคมีรวมๆกันหลายอย่างโดยใช้เอนไซม์เป็นคาทาลิสท์ ในการสร้างเซลล์ของสิ่งมีชีวิตทั้งหลายจำเป็นต้องอาศัยอาหารและพลังงาน อาหารของจุลินทรีย์ในดินมีอยู่มากมายหลายชนิดแตกต่างกันออกไป จุลินทรีย์ชนิดหนึ่งไม่สามารถย่อยอาหารที่มีอยู่ในดินได้ทุกชนิด แต่อาหารเหล่านั้นก็จะถูกย่อยโดยจุลินทรีย์ต่างๆ อาหารของจุลินทรีย์ที่มีอยู่ในดินจะอยู่ในรูปที่สลับซับซ้อนก่อนที่จุลินทรีย์จะนำอาหารเหล่านี้เข้าไปในร่างกายได้ ก็จะต้องย่อยอาหารโมเลกุลขนาดใหญ่ให้เป็นโมเลกุลขนาดเล็กโดยใช้เอนไซม์ที่อยู่ภายนอกเซลล์ จุลินทรีย์จะย่อยสารประกอบใดเป็นอาหารจะขึ้นอยู่กับชนิดของเอนไซม์ที่มีอยู่ ส่วนพลังงานนั้นจุลินทรีย์จะได้มาจากการอออกซิไดซ์สารประกอบอินทรีย์และ อนินทรีย์แทบทั้งสิ้น บางชนิดก็ได้พลังงานจากกระบวนการสังเคราะห์แสง พลังงานที่เกิดจากปฏิกิริยาออกซิเดชั่นนั้น เกิดจากการทำให้พันธะเคมีของโมเลกุลของสารนั้นแตกออกแล้วจัดเรียงกันขึ้นใหม่ การสับเปลี่ยนของอิเล็กตรอนก่อให้เกิดการปล่อยพลังงานออกมาซึ่งมักจะอยู่ในรูปของความร้อน ปฏิกิริยาต่างๆที่เกิดในระบบทางชีวภาพมักจะเป็นทั้ง endergonic reaction ซึ่งเป็นปฏิกิริยาที่ต้องใช้พลังงาน และ exergonic reaction ซึ่งเป็นปฏิกิริยาที่ปล่อยพลังงานออกมา ฉะนั้นระบบชีวภาพจึงเป็นระบบที่ประหยัดพลังงานที่เกิดจาก exergonic reaction จะเปลี่ยนไปอยู่ในรูปของพลังงานทางเคมี แล้วเก็บไว้ในรูปของพันธะที่มีพลังงานสูง ตัวอย่างเช่น pyrophosphate bonds ของสาร adenosine triphosphate หรือเรียกย่อๆว่า ATP สาร ATP ที่เกิดขึ้นนี้ก็จะเป็นตัวเชื่อมระหว่างปฏิกิริยาที่ให้พลังงาน และปฏิกิริยาที่ต้องการพลังงานในกระบวนการสร้างเซลล์

จุลินทรีย์ส่วนใหญ่ได้รับพลังงานจากปฏิกิริยาออกซิเดชั่น-รีดักชั่น ปฏิกิริยาออกซิเดชั่นทางชีวภาพ เรียกว่าการหายใจ ซึ่งเป็นกระบวนการที่ออกซิเจนจะทำหน้าที่เป็นตัวรับอิเล็กตรอน แบคทีเรียที่ต้องใช้ออกซิเจนส่วนใหญ่ได้รับพลังงานจากกระบวนการหายใจนั้น จุลินทรีย์ชนิด autotroph ส่วนใหญ่ได้พลังงานจากการออกซิไดซ์สารอนินทรีย์เฉพาะอย่าง เช่น ไฮโดรเจนซัลไฟด์ กำมะถัน แอมโมเนีย และไนไตรท์ เชื่อว่าปฏิกิริยาต่างๆที่เกิดขึ้นจะต้องมีสาร ATP เข้ามาเกี่ยวข้องด้วย พลังงานต่างๆที่เกิดขึ้นเป็นพลังงานที่เกิดจากปฏิกิริยาเหล่านั้น จุลินทรีย์อาจจะใช้พลังงานไปเพียงบางส่วนได้ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับประสิทธิภาพของระบบต่างๆที่เกิดขึ้น

ปฏิกิริยาที่ให้พลังงานอีกชนิดหนึ่งคือ ปฏิกิริยา fermentation โดยมีสารอินทรีย์ทำหน้าที่เป็นตัวให้และรับอิเล็กตรอน จุลินทรีย์พวกที่ไม่ต้องการออกซิเจน (heterotrophic anaerobes) และพวก

facultative anaerobes สามารถที่จะทำลายสารประกอบพวกคาร์โบไฮเดรต โดยกระบวนการ รีดักชั่น ประเภทที่ไม่ใช้ออกซิเจน แล้วเกิดสารประกอบที่ถูกย่อยทำลายต่อไปได้ด้วยการทำปฏิกิริยากับออกซิเจนโมเลกุลเท่านั้น โดยที่เอนไซม์ของจุลินทรีย์จะเข้าย่อยทำลายไม่ได้

กระบวนการที่ให้พลังงานอีกแบบหนึ่ง คือ การหายใจในสภาพที่ไม่มีออกซิเจน (anaerobic respiration) ขบวนการนี้ใช้สารอนินทรีย์เป็นตัวรับอิเล็คตรอน กระบวนการนี้มีความ สำคัญต่อดินมาก โดยที่จุลินทรีย์พวก anaerobes ซึ่งเป็นจุลินทรีย์ที่ไม้ต้องการออกซิเจน และพวก facultative anaerobes ซึ่งเป็นจุลินทรีย์ที่เจริญเติบโตได้ทั้งในสภาพที่มีออกซิเจนและไม่มีออกซิเจน จะมีความสามารถในการรีดิวซ์สารประกอบกำมะถัน ไนโตรเจน และเหล็กได้

ไม่ว่าจุลินทรีย์จะได้พลังงานจากปฏิกิริยาการหายใจ หรือ เฟอร์เม็นเทชั่น หรือการหายใจที่ไม่อาศัยออกซิเจนก็ตาม ในการที่จะสร้างเซลล์ของตัวมันเอง จุลินทรีย์จำเป็นที่จะต้องได้รับอาหาร จุลินทรีย์พวก heterotroph ก็ได้รับสารอาหารจำพวกสารอินทรีย์ เช่น โปรตีน นำไปใช้ในการสร้างโปรโตพลาสซึมและเอนไซม์ nucleic acid ใช้ในการควบคุมการเจริญของเซลล์และพันธุกรรมของเซลล์ สารพวกลิปิด (lipid) และคาร์โบไฮเดรตใช้ในการสร้างเซลล์และเป็นแหล่งสะสมอาหาร

1. กระบวนการไนตริฟิเคชั่น (Nitrification)

เป็นกระบวนการที่จุลินทรีย์ในดินเปลี่ยนไนโตรเจนในรูปแอมโมเนียให้เป็นรูปไนเตรท จุลินทรีย์ที่เกี่ยวข้องได้แก่ แบคทีเรียชนิด ออโตโทรปและเจริญเติบโตในสภาพที่มีออกซิเจน ซึ่งมี 2 กลุ่มใหญ่ๆ คือ *Nitrosomonas* sp. ทำหน้าที่ออกซิไดซ์แอมโมเนียให้เป็นไนไตรท์ และ *Nitrobacter* sp. ทำหน้าที่ออกซิไดซ์ไนไตรท์ให้เป็นไนเตรท ซึ่งแบคทีเรียได้รับพลังงานจาการออกซิไดซ์แอมโมเนียและไนไตรท์ในการสร้างเซลล์

2. กระบวนการดีไนตริฟิเคชั่น (Denitrification)

เป็นกระบวนการที่ตรงข้ามกับกระบวนการไนตริฟิเคชั่น คือ ไนเตรทถูกนำไปใช้หรือถูกเปลี่ยนแปลงไปโดยจุลินทรีย์ในดิน กระบวนการนี้แบ่งออกได้เป็น 2 ประเภท คือ

2.1 Nitrate assimilation

2.2 Nitrate respiration

Nitrate assimilation เป็นกระบวนการที่จุลินทรีย์ในดินใช้ไนเตรทเพื่อการสร้างเซลล์โดยการรีดิวซ์ไนเตรทให้เป็นแอมโมเนียหรือกรดอะมิโน ซึ่งจะถูกนำไปใช้ในการสร้างเซลล์ที่มีไนโตรเจนเป็นองค์ประกอบ สำหรับกระบวนการหายใจโดยใช้ไนเตรทนั้น จุลินทรีย์ใช้ไนเตรทเป็นตัวรับอิเล็คตรอน กระบวนการนี้เกิดในสภาพที่ไม่มีออกซิเจน จุลินทรีย์ที่ทำให้เกิดกระบวนการนี้แบ่งเป็น 2 กลุ่มคือ กลุ่มที่ทำหน้าที่เปลี่ยนไนเตรทให้เป็นไนไตรท์ แล้วปล่อยให้ไนไตรท์สะสมอยู่ในดิน และกลุ่มที่ทำหน้าที่รีดิวซ์ไนเตรทให้เป็นไนโตรเจนและไนตริคออกไซด์หรือไนตรัสออกไซด์ ซึ่งเป็นการรีดิวซ์ไนเตรทอย่าสงสมบรูณ์ ด้วยเหตุนี้กระบวนการดีไนตริฟิเคชั่นจึงหมายถึงกระบวนการที่ไนเตรทถูกรีดิวซ์ให้เป็นก๊าซโดยจุลินทรีย์

3. กระบวนการออกซิเดชั่นของกำมะถัน

จุลินทรีย์หลายจำพวกสามารถเปลี่ยนกำมะถันจากรูปในสภาพรีดิวซ์ ไปเป็นซัลเฟตและสารประกอบซัลเฟอร์อื่นๆ ซึ่งจุลินทรีย์ที่เกี่ยวข้อง แบ่งออกได้เป็น 4 พวกคือ

3.1 Autotroph bacteria ที่อยู่ในสกุล *Thiobacillus*

3.2 Heterotroph bacteria พวกราและพวกแอคติโนมายซีท

3.3 แบคทีเรียในสกุล *Beggiatoa, Thiotrix* และ *Thioplaca* sp.

3.4 แบคทีเรียที่สังเคราะห์แสงเองได้ ซึ่งอยู่ใน Family Thiorhodaceae และ Chlorobacteriaceae

จุลินทรีย์เฉพาะสองพวกแรกเท่านั้นที่พบมากในดิน ส่วนสองพวกหลังนั้นพบในโคลนของแหล่งที่มีน้ำขังเสมอ จุลินทรีย์ *Thiobacillus* ได้รับพลังงานเพื่อการเจริญเติบโตจากกระบวนการออกซิเดชั่นสารประกอบกำมะถันชนิดอนินทรีย์ กำมะถันถูกเปลี่ยนไปอยู่ในรูปซัลเฟต จุลินทรีย์พวกเฮเทอโรโทรปหลายจำพวก เช่น จุลินทรีย์ที่ต้องอาศัยออกซิเจน สามารถออกซิไดซ์สารประกอบซัลเฟอร์ได้ แต่ขบวนการออกซิดั่นกำมะถันที่เกิดจากจุลินทรีย์เฮเทอโรโทรป มีประสิทธิภาพน้อยกว่าจุลินทรีย์พวก *Thiobacillus* แต่เนื่องจากจุลินทรีย์พวกเฮเทอโรโทรปที่อยู่ในดินมีปริมาณมาก เมื่อเทียบกับจุลินทรีย์พวก *Thiobacillus* จุลินทรีย์พวกเฮเทอโรโทรปจึงมีความสำคัญในการเพิ่มซัลเฟตให้กับดินจากการย่อยสลายอินทรียวัตถุมากกว่าจุลินทรีย์พวกออโตโทรป

4. กระบวนการรีดักชั่นของกำมะถัน

ในดินที่มีการระบายน้ำดี การเปลี่ยนรูปของสารประกอบอนินทรีย์ของกำมะถันและซัลเฟตเป็นไฮโดรเจนซัลไฟด์แทบจะไม่มีความสำคัญเลย ภายใต้สภาพเช่นนี้ จุลินทรีย์พวกเฮเทอโรโทรปผลิตซัลไฟด์ขึ้นในระหว่างย่อยสลายอินทรีย์วัตถุ หรือรีดิวซ์สารประกอบกำมะถันในรูปอนินทรีย์ แล้วจุลินทรีย์ก็นำเอาซัลไฟด์ที่ผลิตขึ้นได้ไปใช้สร้างเซลล์หรือทำการออกซิไดซ์ซัลไฟด์ที่เกิดขึ้น ส่วนในสภาพที่ขาดออกซิเจน เช่น ในดินน้ำขัง เป็นต้น กำมะถันในรูปออกซิไดซ์ถูกเปลี่ยนไปอยู่ในรูปไฮโดรเจนซัลไฟด์แล้วสะสมอยู่ในดิน

จุลินทรีย์พวกออบลิเกตแอโรป (obligate aerobes) ต้องอาศัยออกซิเจนในการหายใจ เพื่อให้ได้พลังงานสำหรับการดำรงชีวิต โดยออกซิเจนทำหน้าที่เป็นตัวรับอิเล็คตรอน แต่จุลินทรีย์บางชนิดสามารถใช้สารอื่นทำหน้าที่รับอิเล็คตรอนแทนออกซิเจนได้ในกรณีที่อยู่ในสภาพที่ขาดออกซิเจนได้ ฉะนั้นกระบวนการหายใจของสิ่งมีชีวิตก็หมายถึงกระบวนการออกซิเดชั่น-รีดักชั่น ของเซลล์เพื่อให้ได้พลังงานออกมาสำหรับการดำรงชีวิตนั่นเอง

5. ปฏิกิริยาออกซิเดชั่น-รีดักชั่น

เป็นปฏิกิริยาที่เกี่ยวข้องกับการถ่ายเทอิเล็คตรอนจากสารหนึ่งไปยังอีกสารหนึ่ง ปฏิกิริยาออกซิเดชั่นเป็นปฏิกิริยาที่ให้อิเล็คตรอนซึ่งมีสารรีดิวซิงเป็นสารที่ให้อิเล็คตรอนแก่สารอื่น และอาจพูดว่าสารนี้ถูกออกซิไดซ์ ส่วนปฏิกิริยารีดักชั่นเป็นปฏิกิริยาที่รับอิเล็คตรอน มีสารออกซิไดซิงเป็นสารที่รับอิเล็คตรอนจากสารอื่นและอาจพูดว่าสารนี้ถูกรีดิวซ์ ปฏิกิริยาออกซิเดชั่นและปฏิกิริยารีดักชั่นมีชื่อเรียกรวมกันว่า ปฏิกิริยารีดอกซ์ (redox) ซึ่งปฏิกิริยารีดอกซ์จะมีทั้งสารที่เป็นตัวรับอิเล็คตรอนและตัวให้อิเล็คตรอนในเวลาเดียวกัน

5.1 ตัวรับอิเล็คตรอน

ในปฏิกิริยารีดอกซ์ดินมีบทบาทในทางด้านเป็นตัวให้อิเล็คตรอนแก่ปฏิกิริยาออกซิเดชั่นของสารประกอบอินทรีย์ต่างๆ ปฏิกิริยาออกซิเดชั่นปล่อยพลังงานให้กับจุลินทรีย์ ออกซิเจนเป็นตัวรับอิเล็คตรอนได้ดีที่สุด เพราะฉะนั้นในปฏิกิริยาออกซิเดชั่น ออกซิเจนจึงเป็นตัวที่ให้พลังงานได้มากที่สุด สารอื่นๆที่ไม่ใช่ออกซิเจนเมื่อรับอิเล็คตรอนแล้วจะปล่อยพลังงานออกมาได้น้อยกว่าออกซิเจน และสารอื่นๆเหล่านั้นยังสามารถปล่อยสารที่เป็นพิษต่อสิ่งมีชีวิตในดินและระบบน้ำได้ด้วย

ซึ่งสารเหล่านี้จะไม่เป็นพิษเมื่ออยู่ในสภาพที่มีออกซิเจนเพียงพอ ตัวอย่างเช่น แอมโมเนียและไนไตรท์เป็นพิษมากกว่าไนเตรท หรือไฮโดรเจนซัลไฟด์เป็นพิษมากกว่าซัลเฟต

5.2 ตัวให้อิเล็คตรอน

ตัวให้อิเล็ครอนที่สำคัญในดิน คือ ซากพืชและอินทรียวัตถุในดิน ยกตัวอย่างเช่น สารอินทรีย์คาร์บอน สารประกอบอะมิโน (NH_2^-) สารประกอบ Sulflydryl (SH^-) แอมโมเนียมไอออนในอินทรียวัตถุ และ Sulphide ion (S^{2-})ในดิน

6. ศักย์ไฟฟ้ารีดอกซ์ (Redox potential)

ศักย์ไฟฟ้ารีดอกซ์เป็นค่าที่วัดอำนาจการรับและการให้อิเล็คตรอนของสารละลาย หรืออีกนัยหนึ่งเป็นค่าที่บอกถึงสภาพของออกซิเดชั่น-รีดักชั่นของสารละลายหรือของดิน โดยเฉพาะอย่างยิ่งเป็นค่าที่บอกถึงสภาพความรุนแรงของกระบวนการรีดักชั่นในสภาพดินน้ำขัง

หากวัดค่าศักย์ไฟฟ้ารีดอกซ์มีค่าเป็นบวกมากกว่า แสดงว่ามีความสามารถในการรับอิเล็คตรอนได้ดีกว่า หรืออีกนัยหนึ่งก็คือ มีออกซิเจนมากนั่นเอง ในทางตรงกันข้าม หากวัดค่าศักย์ไฟฟ้าเป็นลบ แสดงว่ามีความสามารถในการรับอิเล็คตรอนได้น้อยกว่า เนื่องจากมีออกซิเจนน้อย (เพิ่มพูน, 2528)

<u>จุลินทรีย์ *Bacillus* sp.</u>

Bacillus sp. เป็นจุลินทรีย์แกรมบวก ที่สามารถสร้างเอนโดสปอร์ (endospore forming Gram-positive bacteria) โดย นงลักษณ์และปรีชา (2541) รายงานว่า จุลินทรีย์กลุ่มนี้มีคุณสมบัติทั่วไปคือ

1) มีรูปร่างเป็นท่อน อาศัยอยู่ได้ทั้งในดิน น้ำจืด และน้ำเค็ม

2) สามารถเจริญได้ในสภาพแวดล้อมที่มีออกซิเจนต่ำ และอยู่ได้ในช่วง pH กว้าง ประมาณ 8-11

3) สามารถอาศัยอยู่ในน้ำเค็มได้หลายระดับ

4) มีเอนโดสปอร์ที่ทนความร้อน

5) สร้างเอกโซเอนไซม์ (exoenzyme) ในการย่อยสารอินทรีย์ได้หลายชนิด เช่น เอนไซม์โปรติเอส (protease) ย่อยสารจำพวกโปรตีน เอนไซม์อะไมเลส (amylase) ย่อยสารจำพวกแป้ง เอนไซม์เอสทิเรส (esterase) ย่อยสารจำพวกไขมัน เอนไซม์เซลลูเลส (cellulase) ย่อยสารจำพวกเซลลูโลส และเอนไซม์ไซลาเนส (xylanase) ย่อยผนังเซลล์ของจุลินทรีย์

อุปกรณ์และวิธีการ

<u>การศึกษาเปรียบเทียบปริมาณผลผลิตและอัตราการรอดตายของกุ้งกุลาดำที่มีการเติมจุลินทรีย์และไม่เติมจุลินทรีย์ในระหว่างการเลี้ยงในฟาร์มทดลองที่ 1</u>

ทำการศึกษาในฟาร์มดอนเซ่ง อำเภอบางแพ จังหวัดราชบุรี ซึ่งเป็นฟาร์มเอกชนในเครือเกษตรสมบูรณ์ เลี้ยงกุ้งกุลาดำด้วยน้ำความเค็มต่ำใช้ระบบน้ำหมุนเวียน บ่อที่ใช้ในการศึกษาครั้งนี้เป็นบ่อรูปสี่เหลี่ยม (ภาพที่ 1) มีทั้งหมด 4 บ่อ ดังนี้

บ่อควบคุมที่ 1 (CD1) มีพื้นที่ 3 ไร่

บ่อควบคุมที่ 2 (CD2) มีพื้นที่ 3 ไร่

เป็นบ่อควบคุม เลี้ยงกุ้งกุลาดำตามปกติโดยที่ไม่เติมจุลินทรีย์ในระหว่างการเลี้ยง

บ่อทดลองที่ 1 (TD1) มีพื้นที่ 3 ไร่

บ่อทดลองที่ 2 (TD2) มีพื้นที่ 3 ไร่

เป็นบ่อทดลอง เลี้ยงกุ้งกุลาดำโดยเติมจุลินทรีย์ในระหว่างการเลี้ยง

การเตรียมบ่อจะมีการนำเลนที่พื้นบ่อออกก่อนแล้วจึงปล่อยน้ำเข้าบ่อ ระดับน้ำลึกประมาณ 1.2 เมตร ความเค็มของน้ำประมาณ 7 ส่วนในพันส่วน

ปล่อยลูกกุ้งระยะ postlarva 15(พี 15) ทำการปล่อยเมื่อวันที่ 21 มีนาคม 2548 โดยใช้ลูกพันธุ์กุ้งจากโรงเพาะฟักเดียวกัน ซึ่งผ่านการคัดเลือกคุณภาพ และการตรวจสอบการติดเชื้อไวรัสดวงขาวแล้วจากปฏิกิริยาลูกโซ่โพลิเมอเรส (polymerase chain reaction) หรือพีซีอาร์ โดยมี อัตราการปล่อย 41 ตัวต่อตารางเมตร

1. <u>วิธีการเลี้ยง</u>

หลังจากปล่อยลูกกุ้งลงบ่อแล้วเลี้ยงกุ้งโดยใช้อาหารเม็ดสำเร็จรูปตลอดระยะเวลาการเลี้ยง ในระหว่างการหว่านอาหารจะปิดเครื่องให้อากาศจนกระทั่งตรวจปริมาณอาหารในยอเสร็จ จึงจะเปิดเครื่องให้อากาศ การควบคุมคุณภาพน้ำจะมีการใช้วัสดุปูนหากคุณภาพน้ำไม่เหมาะสม

การเปิดเครื่องให้อากาศแบบใบพัดแขนยาว จะทำการเปิด 4 ช่วงเวลา ได้แก่

ช่วงเวลา 10.00 – 11.00 น.

ช่วงเวลา 15.00 – 16.00 น.

ช่วงเวลา 19.00 – 20.00 น.

ช่วงเวลา 22.00 – 06.00 น. ของวันถัดไป

โดยอาจมีการเปิดเครื่องให้อากาศนอกเหนือจากช่วงดังกล่าวได้ เช่น ในช่วงที่ปริมาณออกซิเจนในน้ำมีค่าต่ำ ปริมาณแอมโมเนียและไนไตรท์สูง หรือพบว่าแพลงก์ตอนพืชตายเป็นจำนวนมาก

2. <u>การเติมจุลินทรีย์ในระหว่างการเลี้ยง</u>

เติมจุลินทรีย์ในบ่อทดลอง โดยจุลินทรีย์ที่ใช้คือ จุลินทรีย์ Prawnbac ซึ่งเป็นผลิตภัณฑ์จากบริษัท Novozymes Biological ประเทศสหรัฐอเมริกา ผลิตภัณฑ์นี้ประกอบด้วยสปอร์ของจุลินทรีย์ *Bacillus* sp. จำนวน 5 สายพันธุ์ *Bacillus amyloliquifaciens, B. megaterium,B. licheniformis,B. pumilus* และ *B. subtilis* โดยมีปริมาณสปอร์ไม่น้อยกว่า 300 ล้านเซลล์ต่อกรัม บรรจุในซองละลายน้ำขนาดบรรจุ ซองละ 0.45 กิโลกรัม โดยโยนซองจุลินทรีย์หน้าเครื่องให้อากาศ อัตราการใช้แสดงไว้ในตารางที่ 1

3. <u>การศึกษาการเจริญเติบโตอัตราการรอดตายและอัตราการแลกเนื้อ</u>

ทำการสุ่มตัวอย่างกุ้งทุก 14 วัน (ภาพที่ 2) เริ่มสุ่มครั้งแรกหลังจากปล่อยกุ้ง 30 วัน ครั้งละประมาณ 50 ตัว บันทึกลักษณะภายนอกของกุ้ง (ภาพที่ 3 และ4) การเจริญเติบโตเป็นความยาว โดยวัดความยาวทั้งหมดของกุ้ง (total length) หน่วยเป็นเซนติเมตร และทำการวัดการเจริญเติบโตเป็นน้ำหนักโดยสุ่มชั่งน้ำหนักกุ้งแต่ละตัวและหาค่าเฉลี่ยรวมของแต่ละตัวหน่วยเป็นกรัม การคำนวณสามารถทำได้ดังนี้

$$\text{อัตราการเจริญเติบโตเป็นความยาว (เซนติเมตร ต่อ วัน)} = \frac{\text{ความยาวเฉลี่ยปัจจุบัน} - \text{ความยาวเฉลี่ยครั้งก่อน}}{\text{ระยะเวลา}}$$

$$\text{อัตราการเจริญเติบโตเป็นน้ำหนัก (กรัม ต่อ วัน)} = \frac{\text{น้ำหนักเฉลี่ยปัจจุบัน} - \text{น้ำหนักเฉลี่ยครั้งก่อน}}{\text{ระยะเวลา}}$$

หลังจากจับกุ้ง บันทึกผลผลิตที่ได้ทั้งหมด จากนั้นนำข้อมูลที่ได้ไปคำนวณหาปริมาณผลผลิต (กิโลกรัม ต่อ ไร่) อัตรารอดตายหลังจากจับ (%) และอัตราการแลกเนื้อ ดังนี้

$$\text{ปริมาณผลผลิต (กิโลกรัมต่อไร่)} = \frac{\text{น้ำหนักกุ้งที่จับได้ทั้งหมด (กิโลกรัม)}}{\text{พื้นที่บ่อทั้งหมด (ไร่)}}$$

$$\text{อัตราการรอดตายหลังจากจับ} = \frac{\text{จำนวนกุ้งที่จับได้(ตัวต่อบ่อ)} \times 100}{\text{จำนวนกุ้งที่ปล่อยทั้งหมด (ตัวต่อบ่อ)}}$$

$$\text{อัตราแลกเนื้อ} = \frac{\text{อาหารทั้งหมดที่ใช้ไป (กิโลกรัม)}}{\text{น้ำหนักกุ้งทั้งหมดที่จับได้ในบ่อ (กิโลกรัมต่อบ่อ)}}$$

ค่าที่ได้นำมาวิเคราะห์ความแตกต่างทางด้านสถิติและเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยโดยวิธี t-test เปรียบเทียบระหว่างกลุ่มที่เติมจุลินทรีย์และไม่เติมจุลินทรีย์ในระหว่างการเลี้ยง

4. <u>การศึกษาการเปลี่ยนแปลงคุณภาพน้ำบางประการ</u>

4.1 การเก็บตัวอย่างน้ำ

เก็บตัวอย่างน้ำทุกๆ 7 วัน กำหนดจุดเก็บตัวอย่าง 2 จุด ในแต่ละบ่อ คือ บริเวณแนวหว่านอาหารที่อยู่ตรงข้ามกันและเก็บตัวอย่างน้ำที่ระดับความลึกจากระดับผิวน้ำ 30 เซนติเมตร โดยจะเก็บรักษาตัวอย่างน้ำไว้ในขวดเก็บตัวอย่าง (ภาพที่ 5) บรรจุลงกล่องโฟม แช่เย็นด้วยน้ำแข็งขณะลำเลียงขนส่งที่อุณหภูมิประมาณ 4 องศาเซลเซียส

4.2 การวิเคราะห์คุณภาพน้ำบางประการ

คุณสมบัติของน้ำที่สามารถวัดได้ระหว่างการเก็บตัวอย่างจะกระทำในพื้นที่ทันที ได้แก่ อุณหภูมิ ปริมาณออกซิเจนละลายในน้ำและความโปร่งแสงของน้ำ สำหรับคุณสมบัติของน้ำที่ไม่สามารถวิเคราะห์ได้ในพื้นที่จะนำกลับมาวิเคราะห์ที่ห้องปฏิบัติการ ก่อนทำการวิเคราะห์น้ำตัวอย่างน้ำออกจากกล่องโฟม รอจนกระทั่งอุณหภูมิของน้ำเท่ากับอุณหภูมิห้อง แต่ละตัวอย่างจะวิเคราะห์ 3 ซ้ำ และหาค่าเฉลี่ย

คุณภาพน้ำที่ตรวจวัดทุกวัน ทำการวัดวันละ 2 ครั้ง เวลา 06.00 น. และ 15.00 น.ได้แก่

1. ปริมาณออกซิเจนละลายในน้ำ
   วัดโดยใช้เครื่อง YSI DO 200-4M
2. อุณหภูมิ
   วัดโดยใช้เครื่อง YSI DO 200-4M
3. pH
   วัดโดยใช้เครื่องวัด pH รุ่น Ecoscan pH 5/6

คุณภาพน้ำที่ตรวจวัดทุก 7 วัน ได้แก่ ความเป็นด่างทั้งหมด วัดโดยใช้วิธี Titration (APHA *et al.*, 1995) ความกระด้าง วัดโดยใช้วิธี EDTA Titrimetric Method (APHA *et al*., 1995) แอมโมนียรวม วัดโดยใช้วิธี Phenol-hypochlorite Method (APHA *et al*., 1995) ไนไตรท์ วัดโดยใช้วิธีของ APHA *et al*. (1995) ความเค็ม วัดโดยใช้เครื่อง YSI 30/10 FT ค่าความนำไฟฟ้า วัดโดยใช้เครื่อง YSI 30/10 FT ความโปร่งแสงของน้ำ วัดโดยใช้ Secchi disc

5. การศึกษาเปรียบเทียบต้นทุนและผลตอบแทนที่ได้รับจากการเลี้ยงกุ้งกุลาดำ

5.1 การศึกษาต้นทุน

ในระหว่างการเลี้ยงกุ้งทำการจดบันทึกข้อมูลต้นทุนทั้งหมดในแต่ละบ่อทดลอง ได้แก่ ค่าปรับปรุงบ่อ ค่าน้ำเค็ม ค่าลูกกุ้ง ค่าอาหารกุ้ง ค่าซ่อมแซมเครื่องมือ ค่าแรงงาน เป็นต้น

5.2 การศึกษาผลตอบแทน

หลังจากจับกุ้งในบ่อทั้งหมดเพื่อจำหน่าย บันทึกรายได้จากการจำหน่ายกุ้งในแต่ละบ่อทดลอง นำต้นทุนทั้งหมดและรายได้จากการจำหน่ายกุ้งมาคำนวณกำไรสุทธิของแต่ละบ่อทดลอง ดังสูตรต่อไปนี้

กำไรสุทธิ (บาท) = รายได้จากการจำหน่ายกุ้ง - ต้นทุนทั้งหมด

<u>การศึกษาเปรียบเทียบปริมาณผลผลิตและอัตราการรอดตายของกุ้งกุลาดำที่มีการเติมจุลินทรีย์และไม่เติมจุลินทรีย์ในระหว่างการเลี้ยงในฟาร์มทดลองที่ 2</u>

ในการศึกษาครั้งนี้ทำการศึกษาในฟาร์มชลประทาน อำเภอบางแพ จังหวัดราชบุรี ซึ่งเป็นฟาร์มเอกชนในเครือเกษตรสมบูรณ์ โดยเลี้ยงแบบระบบน้ำหมุนเวียน บ่อที่ใช้ในการศึกษาครั้งนี้เป็นบ่อรูป สี่เหลี่ยม (ภาพที่ 6) มีทั้งหมด 4 บ่อ ดังนี้

บ่อควบคุมที่ 1 (CP1)	มีพื้นที่	2	ไร่
บ่อควบคุมที่ 2 (CP2)	มีพื้นที่	2	ไร่

เป็นบ่อควบคุม เลี้ยงกุ้งกุลาดำตามปกติโดยที่ไม่เติมจุลินทรีย์ในระหว่างการเลี้ยง

บ่อทดลองที่ 1 (TP1)	มีพื้นที่	2	ไร่
บ่อทดลองที่ 2 (TP2)	มีพื้นที่	2	ไร่

เป็นบ่อทดลอง เลี้ยงกุ้งกุลาดำโดยเติมจุลินทรีย์ในระหว่างการเลี้ยง

ขั้นตอนการเตรียมบ่อ การเตรียมน้ำรวมถึงวิธีการเลี้ยง การให้อาหารและการจัดการในระหว่างการเลี้ยง เช่นเดียวกับการศึกษาในฟาร์มทดลองที่ 1 ส่วนอัตราการปล่อยกุ้งอยู่ที่ 40 ตัวต่อตารางเมตร และอัตราการใช้จุลินทรีย์แสดงไว้ในตารางที่ 2

หลังจากเลี้ยงกุ้งจนกระทั่งจับ จะนำปริมาณผลผลิต อัตราการรอดตาย อัตราการแลกเนื้อและอัตราการเจริญเติบโตจากบ่อทดลองทั้งหมด รวมทั้งผลการวิเคราะห์คุณภาพน้ำ ต้นทุนและผลตอบแทนที่ได้มาวิเคราะห์ความแตกต่างทางสถิติและเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยโดยใช้วิธี t-test

ตารางที่ 1 อัตราการใช้จุลินทรีย์ของบ่อทดลอง (TD) ในฟาร์มทดลองที่ 1

อายุกุ้ง (วัน)	จำนวนที่ใช้ (กิโลกรัม)	รวม (กิโลกรัม)
10	2.25	2.25
20	2.25	4.5
28	2.25	6.75
35	0.9	7.65
42	0.9	8.55
49	0.9	9.45
56	0.9	10.35
63	0.9	11.25
70	0.9	12.15
77	0.9	13.05
84	0.9	13.95
91	0.9	14.85
98	0.9	15.75
105	0.9	16.65

ตารางที่ 2 อัตราการใช้จุลินทรีย์ของบ่อทดลอง (TP) ในฟาร์มทดลองที่ 2

อายุกุ้ง (วัน)	จำนวนที่ใช้ (กิโลกรัม)	รวม (กิโลกรัม)
10	1.35	1.35
20	1.35	2.7
28	1.35	4.05
35	0.45	4.5
42	0.45	4.95
49	0.45	5.4
56	0.45	5.85
63	0.45	6.3
70	0.45	6.75
77	0.45	7.2
84	0.45	7.65
91	0.45	8.1
98	0.45	8.55
105	0.45	9
112	0.45	9.45
119	0.45	9.9
126	0.45	10.35

ภาพที่ 1 บ่อทดลองในฟาร์มทดลองที่1

ภาพที่ 2 การสุ่มตัวอย่างกุ้ง

ภาพที่ 3 ลักษณะกุ้งกุลาดำที่เลี้ยงในฟาร์มทดลองที่ 1

ภาพที่ 4 ลักษณะกุ้งกุลาดำที่เลี้ยงในฟาร์มทดลองที่ 2

ภาพที่ 5 การเก็บตัวอย่างน้ำใส่ขวดเก็บตัวอย่าง

ภาพที่ 6 บ่อทดลองในฟาร์มทดลองที่ 2

สถานที่ทำการศึกษา

1. ฟาร์มเลี้ยงกุ้งดอนแซ่ง อำเภอบางแพ จังหวัดราชบุรี
2. ฟาร์มเลี้ยงกุ้งชลประทาน อำเภอบางแพ จังหวัดราชบุรี
3. ห้องปฏิบัติการอาคารโรคสัตว์น้ำ ภาควิชาชีววิทยาประมง คณะประมง มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ระยะเวลาในการศึกษา

ระหว่างเดือนมีนาคม 2548 ถึง เดือนตุลาคม 2548

ผลและวิจารณ์

1. การศึกษาเปรียบเทียบอัตราการรอดตายและปริมาณผลผลิตของกุ้งกุลาดำที่เติมและไม่เติมจุลินทรีย์ในระหว่างการเลี้ยง

1.1 ฟาร์มทดลองที่ 1

จากการทดลองปล่อยลูกกุ้งกุลาดำในบ่อเลี้ยงจำนวน 4 บ่อ ในอัตราความหนาแน่น 41 ตัวต่อตารางเมตร โดยบ่อเลี้ยง CD1 และ CD2 เป็นบ่อควบคุม ไม่เติมจุลินทรีย์ระหว่างการเลี้ยง ส่วนบ่อเลี้ยง TD1 และ TD2 เป็นบ่อทดลอง มีการเติมจุลินทรีย์ในระหว่างการเลี้ยง ผลการเลี้ยงในบ่อควบคุมหลังจากเลี้ยงนาน 102 วัน และในบ่อทดลองหลังจากเลี้ยงนาน 109 วัน แสดงไว้ในตารางที่ 3 และภาพที่ 7 พบว่า บ่อที่เติมจุลินทรีย์ในระหว่างการเลี้ยงให้ผลผลิตเฉลี่ย 733.34 ±18.86 กิโลกรัมต่อไร่ กุ้งมีน้ำหนักเฉลี่ย 15.44±1.64 กรัม อัตราการรอดตาย 71.73±9.43 เปอร์เซ็นต์ อัตราการแลกเนื้อ 1.72 ± 0.02 และอัตราการเจริญเติบโต 0.14 ± 0.01กรัมต่อวัน ในขณะที่บ่อที่ไม่เติม จุลินทรีย์ในระหว่างการเลี้ยงให้ผลผลิตเฉลี่ย 609.17 ± 104.89 กิโลกรัมต่อไร่ กุ้งมีน้ำหนักเฉลี่ย 15.77 ± 2.50 อัตราการรอดตาย 57.88 ± 0.78 เปอร์เซ็นต์ อัตราการแลกเนื้อ 2.04 ± 0.75 และอัตราการเจริญเติบโต 0.15 ± 0.02 กรัมต่อวัน แม้ว่าค่าเฉลี่ยปริมาณผลผลิตและอัตราการรอดตายของบ่อที่มีการเติมจุลินทรีย์จะมีค่ามากกว่า และค่าเฉลี่ยอัตราการแลกเนื้อจะต่ำกว่าบ่อที่ไม่มีการเติม จุลินทรีย์ แต่เนื่องจากจำนวนซ้ำของแต่ละกลุ่มการทดลองมีเพียง 2 ซ้ำ และค่าเฉลี่ยแต่ละซ้ำนั้นแตกต่างกันค่อนข้างมาก เมื่อทดสอบค่าทางสถิติแล้ว พบว่า ผลผลิตเฉลี่ย น้ำหนักเฉลี่ย อัตราการรอดตาย อัตราการแลกเนื้อ และอัตราการเจริญเติบโตไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$)

1.2 ฟาร์มทดลองที่ 2

จากการทดลองปล่อยลูกกุ้งกุลาดำในบ่อเลี้ยงจำนวน 4 บ่อได้แก่ CP1, CP2, TP1 และ TP2 ในอัตราความหนาแน่น 40 ตัวต่อตารางเมตร โดยบ่อเลี้ยง CP1 และ CP2 ซึ่งเป็นบ่อควบคุมไม่มีการเติมจุลินทรีย์ระหว่างการเลี้ยง ส่วนบ่อเลี้ยง TP1 และ TP2 เป็นบ่อทดลอง มีการเติมจุลินทรีย์ในระหว่างการเลี้ยง ผลการเลี้ยงกุ้งกุลาดำในทั้ง 4 บ่อในระยะเวลา 126 วัน (ตารางที่ 4 และภาพที่ 8) พบว่า บ่อที่มีการเติมจุลินทรีย์ในระหว่างการเลี้ยงให้ผลผลิตเฉลี่ย 841.75 ± 41.37 กิโลกรัมต่อไร่ กุ้งมีน้ำหนักเฉลี่ย 12.03± 0.54 กรัม อัตราการรอดตาย 83.28±13.22 เปอร์เซ็นต์ อัตราการแลกเนื้อ 1.72±0.01 และอัตราการเจริญเติบโต 0.115±0.01 กรัมต่อวัน ในขณะที่บ่อที่ไม่มีการเติมจุลินทรีย์ใน

ระหว่างการเลี้ยงให้ผลผลิตเฉลี่ย 833.25±27.22 กิโลกรัมต่อไร่ กุ้งมีน้ำหนักเฉลี่ย 13.91±0.11 อัตราการรอดตาย 77.94±1.85 เปอร์เซ็นต์ อัตราการแลกเนื้อ 1.75±0.07 และอัตราการเจริญเติบโต 0.11±0.01 กรัมต่อวัน แม้ว่าค่าเฉลี่ยปริมาณผลผลิตและอัตราการรอดตายของบ่อที่มีการเติมจุลินทรีย์จะมีค่ามากกว่า บ่อที่ไม่มีการเติมจุลินทรีย์ แต่เนื่องจากจำนวนซ้ำของแต่ละกลุ่มการทดลองมีเพียง 2 ซ้ำ และค่าเฉลี่ยแต่ละซ้ำนั้นแตกต่างกันค่อนข้างมาก เมื่อทดสอบค่าทางสถิติแล้ว พบว่า ผลผลิตเฉลี่ย น้ำหนักเฉลี่ย อัตราการรอดตาย อัตราการแลกเนื้อ และอัตราการเจริญเติบโต ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$)

จากผลการทดลองเลี้ยงกุ้งกุลาดำทั้งสองฟาร์มข้างต้น แสดงให้เห็นว่าการเติมจุลินทรีย์ในระหว่างการเลี้ยงกุ้งกุลาดำ ทำให้อัตราการรอดตายและปริมาณผลผลิตเพิ่มขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับบ่อที่ไม่มีการเติมจุลินทรีย์ในระหว่างการเลี้ยง ซึ่งสอดคล้องกับการทดลองของ จันทสิงห์ (2544) ที่ใช้จุลินทรีย์ *Bacillus* sp. สายพันธุ์ *B. subtilis* และ *B. firmus* เติมในบ่อเลี้ยงกุ้งกุลาดำที่เลี้ยงแบบระบบปิด ผลการทดลองพบว่า กุ้งกุลาดำที่เลี้ยงโดยมีการเติมจุลินทรีย์กลุ่ม *Bacillus* sp. มีอัตราการเจริญเติบโตและให้ผลผลิตที่สูงกว่ากุ้งกุลาดำที่เลี้ยงโดยไม่เติมจุลินทรีย์ เช่นเดียวกับการทดลองของ Bruno *et al.* (2000) ซึ่งผลการทดลองเลี้ยงกุ้งโดยเติมจุลินทรีย์ *Bacillus* sp. ในระหว่างการเลี้ยง มีอัตราการรอดตายสูงกว่าการการเลี้ยงกุ้งโดยไม่เติม *Bacillus* sp. และยังอ้างถึง Griffith (1995) ซึ่งได้ทำการทดลองเติมจุลินทรีย์ *Bacillus* sp. ในการเลี้ยงกุ้งกุลาดำ ว่าสามารถเพิ่มผลผลิตได้ถึง 35 เปอร์เซ็นต์ ส่วนอัตราการแลกเนื้อของกุ้งที่เลี้ยงโดยไม่เติมจุลินทรีย์นั้นค่อนข้างสูงมาก ทั้งนี้เนื่อง จากสภาพพื้นบ่อและคุณภาพน้ำไม่ดี ส่งผลให้กุ้งตายจำนวนมากในช่วงก่อนจับกุ้ง สอดคล้องกับผลการทดลองของ Thimmalapura *et al.* (2002) ที่ได้ทำการทดลองโดยใช้ *Bacillus* sp. ร่วมกับ *Saccharomyces* sp. เติมในน้ำระหว่างการเลี้ยงกุ้ง ผลการทดลองกุ้งที่เลี้ยงโดยเติมจุลินทรีย์ดังกล่าวนั้นให้ผลผลิตที่สูงกว่า และอัตราการแลกเนื้อเท่ากับ 1.55 ซึ่งแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) กับการเลี้ยงกุ้งที่ไม่เติมจุลินทรีย์ซึ่งมีอัตราการแลกเนื้อเท่ากับ 1.73

ในบ่อเลี้ยงกุ้งที่เลี้ยงโดยระบบปิดและมีอัตราการปล่อยกุ้งที่หนาแน่น มักจะเกิดการสะสมของสารอินทรีย์ที่พื้นบ่อ ซึ่งสารอินทรีย์เหล่านี้เกิดจากอาหารเหลือที่ให้มากเกินไปและสิ่งขับถ่ายของกุ้ง (Burford and Williams, 2001) รวมทั้งซากสิ่งมีชีวิตอื่นๆ เช่น แพลงก์ตอนต่างๆ (ชลอ, 2543) ทำให้คุณภาพน้ำเปลี่ยนไปและไม่เหมาะสมต่อการเลี้ยงกุ้ง และเนื่องจากการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์กลุ่ม *Bacillus* sp. ต้องสัมพันธ์กับปริมาณอาหารในแหล่งน้ำที่เพียงพอ (Reay *et al.*, 1987; Leonard *et al.*, 2002) เพราะ *Bacillus* sp. เป็นจุลินทรีย์จำพวกเฮเทอโรโทรฟิก (heterotrophic) ซึ่งต้องการพลังงานจากสารอินทรีย์ โดยเฉพาะอาหารที่เป็นแหล่งของ คาร์บอน ไนโตรเจน และฟอสฟอรัส (Alexander, 1999)

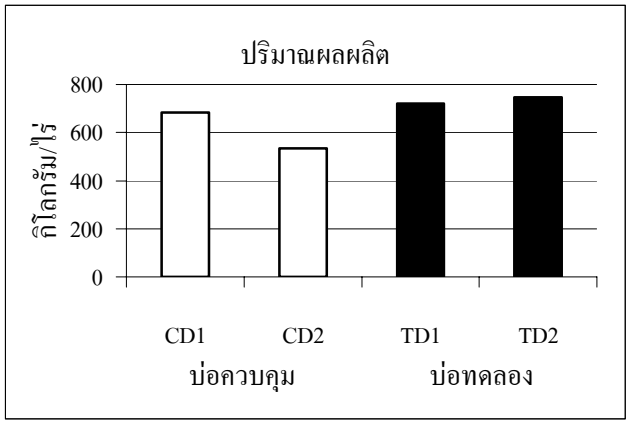
ซึ่งพบมากในบ่อเลี้ยงกุ้ง โดยเฉพาะจากอาหารกุ้งและซากแพลงก์ตอน Fei Liu and Wuying Han (2004) จึงได้ทำการศึกษาทดลองเติมจุลินทรีย์ *Bacillus* sp. ในบ่ออนุบาลลูกกุ้งก้ามกรามที่มีการให้อาหารในปริมาณที่น้อย ทำการเปรียบเทียบผลการเลี้ยงระหว่างการเติมจุลินทรีย์อย่างเดียวกับการเติมจุลินทรีย์ที่มีการเพิ่มสารอาหารจำพวกกลูโคสและฟอสเฟต ผลปรากฏว่ากลุ่มทดลองที่มีการเพิ่มสารอาหารให้เพียงพอกับความต้องการของจุลินทรีย์มีจำนวน *Bacillus* sp. (Bacterial number) เพิ่มขึ้นถึง 57.7 เปอร์เซ็นต์ ในขณะที่กลุ่มทดลองที่ไม่เพิ่มสารอาหารนั้น จำนวน *Bacillus* sp. เพิ่มขึ้นเพียง 12.2 เปอร์เซ็นต์ การที่มีปริมาณ จุลินทรีย์ที่มากเพียงพออย่างต่อเนื่อง ทำให้สามารถนำสารอินทรีย์ที่พื้นบ่อไปใช้ได้อย่างเต็มที่ (Moriarty, 1997) ลดการสะสมของสารอินทรีย์ ทำให้คุณภาพพื้นบ่อดีขึ้น (Shariff *et al*.,2001)

Bacillus sp. นอกจากนิยมใช้ในการปรับปรุงคุณภาพน้ำเสียในการเลี้ยงกุ้ง (Buford *et al*. ,2003) และสามารถต่อต้าน ยับยั้งเชื้อก่อโรคในน้ำได้ โดยเฉพาะเชื้อ *Vibrio* sp. (Nogami and Maeda, 1992 ; Moriarty, 1998 ; Rengpipat *et al*., 1998 ; Gatesoupe, 1999) และยังสามารถเพิ่มระบบภูมิคุ้มกันในตัวกุ้งได้อีกด้วย (Skjermo and Vadstein, 1999) ดังนั้นกุ้งที่เลี้ยงมีสุขภาพที่แข็งแรง จึงมีอัตราการรอดตายสูงและผลผลิตที่สูงตามไปด้วย

ตารางที่ 3 ปริมาณผลผลิต อัตราการรอดตาย อัตราการแลกเนื้อ และอัตราการเจริญเติบโตของกุ้งกุลาดำในบ่อที่เติมและไม่เติมจุลินทรีย์ *Bacillus* sp.ในฟาร์มทดลองที่ 1

บ่อ	ขนาดบ่อ (ไร่)	ผลผลิต (กิโลกรัม/ไร่)	น้ำหนักเฉลี่ย (กรัม/ตัว)	อัตรารอด (%)	อัตราแลกเนื้อ	อัตราการเจริญเติบโต (กรัม/วัน)
บ่อควบคุม (ไม่เติมจุลินทรีย์ *Bacillus* sp.)						
CD1	3	683.33	17.54	58.43	1.77	0.166
CD2	3	535.00	13.99	57.32	2.3	0.133
เฉลี่ย	3	609.17±104.89[a]	15.77±2.50[a]	57.88±0.78[a]	2.04±0.75[a]	0.15±0.02[a]
บ่อทดลอง (เติมจุลินทรีย์ *Bacillus* sp.)						
TD1	3	720.00	16.60	65.06	1.73	0.147
TD2	3	746.67	14.28	78.40	1.70	0.126
เฉลี่ย	3	733.34±18.86[a]	15.44 ±1.64[a]	71.73±9.43[a]	1.72±0.02[a]	0.14 ±0.01[a]

หมายเหตุ ค่าเฉลี่ย ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานในแนวตั้งที่กำหนดด้วยตัวอักษรที่แตกต่างกัน มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

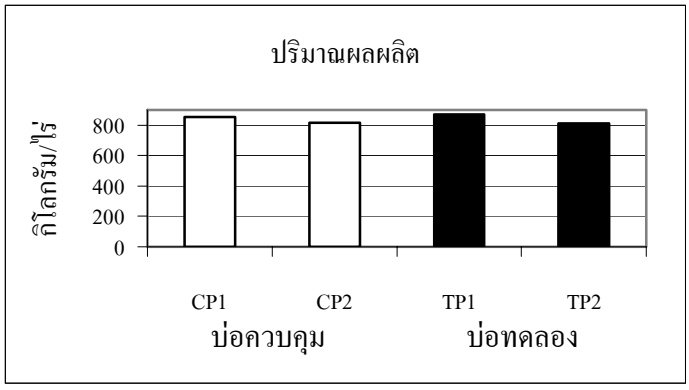


ภาพที่ 7 แผนภูมิแท่งเปรียบเทียบผลผลิตกุ้งกุลาดำระหว่างบ่อควบคุมที่เลี้ยงโดยไม่เติมจุลินทรีย์ (CD1, CD2)และบ่อทดลองที่เลี้ยงโดยเติมจุลินทรีย์(TD1, TD2)ในฟาร์มทดลองที่ 1

ตารางที่ 4 ปริมาณผลผลิต อัตราการรอดตาย อัตราการแลกเนื้อ และอัตราการเจริญเติบโตของกุ้งกุลาดำเลี้ยงในบ่อควบคุมและบ่อทดลองในฟาร์มทดลองที่ 2

บ่อ	ขนาดบ่อ (ไร่)	ผลผลิต (กิโลกรัม/ไร่)	น้ำหนักเฉลี่ย (กรัม/ตัว)	อัตรารอด (%)	อัตราแลกเนื้อ	อัตราการเจริญเติบโต (กรัม/วัน)
บ่อควบคุม (ไม่เติมจุลินทรีย์ *Bacillus* sp.)						
CP1	2	852.5	13.99	79.25	1.7	0.12
CP2	2	814	13.83	76.64	1.8	0.1
เฉลี่ย	2	1,666.5±54.45[a]	13.91±0.11[a]	77.94 ±1.85[a]	1.75±0.07[a]	0.11±0.01[a]
บ่อทดลอง (เติมจุลินทรีย์ *Bacillus* sp.)						
TP1	2	871	11.65	92.63	1.71	0.1
TP2	2	812.5	12.41	73.93	1.73	0.11
เฉลี่ย	2	1683.5±82.73[a]	12.03±0.54[a]	83.28±13.22[a]	1.72±0.01[a]	0.105 ±0.01[a]

หมายเหตุ ค่าเฉลี่ย ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานในแนวตั้งที่กำหนดด้วยตัวอักษรที่แตกต่างกัน มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)



ภาพที่ 8 แผนภูมิแท่งเปรียบเทียบผลผลิตกุ้งกุลาดำระหว่างบ่อควบคุมที่เลี้ยงโดยไม่เติมจุลินทรีย์ (CP1, CP2) และบ่อทดลองที่เติมจุลินทรีย์ (TP1, TP2) ในฟาร์มทดลองที่ 2

2. <u>การศึกษาเปรียบเทียบคุณสมบัติของน้ำ ระหว่างกลุ่มบ่อควบคุมที่ไม่มีการเติมจุลินทรีย์และกลุ่มบ่อทดลองที่มีการเติมจุลินทรีย์</u>

การจัดการคุณภาพน้ำตลอดระยะเวลาการเลี้ยงทั้ง 2 ฟาร์ม ไม่มีการเติมหรือเปลี่ยนถ่ายน้ำ รายละเอียดคุณสมบัติของน้ำ คิดเป็นค่าเฉลี่ยในแต่ละกลุ่มบ่อทดลอง

2.1 ฟาร์มทดลองที่ 1

2.1.1 ปริมาณออกซิเจนละลายในน้ำ

บ่อควบคุมที่ไม่มีการเติมจุลินทรีย์ มีค่าปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำในช่วงเช้าเฉลี่ย 5.35 ± 0.07 มิลลิกรัมต่อลิตร และมีค่าปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำในช่วงบ่ายเฉลี่ย 12.00 ± 0.07 มิลลิกรัมต่อลิตร ส่วนบ่อทดลองที่มีการเติมจุลินทรีย์ มีค่าปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำในช่วงเช้าเฉลี่ย 5.35±0.57 มิลลิกรัมต่อลิตร และมีค่าปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำในช่วงบ่ายเฉลี่ย 12.05 ± 0.07 มิลลิกรัมต่อลิตร (ตารางที่ 5 และภาพที่ 9,10) ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$) แต่ในช่วงสัปดาห์ที่ 5 และเดือนสุดท้ายของการเลี้ยง ปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำในช่วงเช้าของแต่ละบ่อทดลอง ส่วนใหญ่มีค่าต่ำกว่า 4 มิลลิกรัมต่อลิตร และในช่วงบ่ายสูงเกินจุดอิ่มตัว ชลอ (2543) อธิบายว่า ในช่วงเดือนสุดท้ายของการเลี้ยง ในบ่อที่มีกุ้งหนาแน่นและกุ้งมีขนาดใหญ่ เมื่อมีการให้อาหารที่มากในแต่ละวัน เศษอาหารที่เหลือและของเสียที่กุ้งขับถ่ายออกมามากจะทำให้แพลงก์ตอนพืชเจริญเติบโตอย่างรวดเร็ว และดึงออกซิเจนไปใช้ในการหายใจในเวลากลางคืน รวมทั้งการหายใจของกุ้งที่มีขนาดใหญ่ขึ้นในบ่อมีผลทำให้ออกซิเจนที่ละลายในน้ำในช่วงเช้าลดต่ำลงมามาก ส่วนปริมาณออกซิเจนที่สูงขึ้นในช่วงบ่าย เกิดจากแพลงก์ตอนพืชสังเคราะห์แสงในตอนกลางวันที่มีแสงแดด ปริมาณออกซิเจนที่ได้จะมีมากกว่าการใช้ในการหายใจของแพลงก์ตอนและสิ่งมีชีวิตอื่นๆ ในบ่อ รวมทั้งการใชออกซิเจนของจุลินทรีย์ที่พื้นบ่อในการย่อยสลายสารอินทรีย์ในตอนกลางวัน ออกซิเจนจะสูงขึ้นเรื่อยๆ ตั้งแต่เริ่มมีแสงแดด จนกระทั่งถึงจุดอิ่มตัว และมักจะสูงเกินจุดอิ่มตัว ในบ่อที่มีปริมาณแพลงก์ตอนมาก หรือสีน้ำเข้ม โดยเฉพาะในน้ำที่มีความเค็มต่ำ ถ้าปริมาณออกซิเจนละลายในน้ำในช่วงบ่ายสูงมากกว่าปริมาณออกซิเจนละลายน้ำในช่วงเช้า 3 เท่าตัว โอกาศเกิดแพลงก์ตอนตายพร้อมๆกันมีมากและเป็นอันตรายต่อการเกิดการเปลี่ยนแปลงในด้านคุณภาพน้ำอื่นๆ เช่น ทำให้ปริมาณแอมโมเนียเพิ่มขึ้น และออกซิเจนจะลดต่ำลงมากจนเป็นอันตรายต่อกุ้งได้ ควรจะเปลี่ยนถ่ายน้ำเพื่อลดปริมาณแพลงก์ตอน

2.1.2 pH

บ่อควบคุมที่ไม่มีการเติมจุลินทรีย์ มีค่า pH ของน้ำในช่วงเช้าเฉลี่ยเท่ากับ 7.8 ± 0.00 มิลลิกรัมต่อลิตร และค่า pH ของน้ำในช่วงบ่ายเฉลี่ย 8.25 ± 0.07 ส่วนบ่อทดลองที่มีการเติมจุลินทรีย์ มีค่า pH ของน้ำในช่วงเช้าเฉลี่ยเท่ากับ 7.65 ± 0.07 มิลลิกรัมต่อลิตร และค่า pH ของน้ำในช่วงบ่ายเฉลี่ย 7.95 ± 0.07 (ตารางที่ 5 และภาพที่ 11, 12) ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$)

ตลอดระยะเวลาที่ทำการศึกษา พบว่า ค่าเฉลี่ย pH ของน้ำเหมาะสมต่อการเลี้ยงกุ้งกุลาดำ คืออยู่ระหว่าง 7.5-8.5 แต่แนวโน้มค่าเฉลี่ย pH ทั้ง 2 กลุ่มการทดลอง จะค่า pH จะเริ่มสูงขึ้นเมื่อกุ้งอายุ 42 วันขึ้นไปซึ่งพบว่า น้ำมีสีเขียวเข้มขึ้น (ภาพที่ 22) ปริมาณแพลงก์ตอนในบ่อมากขึ้นอย่างต่อเนื่อง มีกุ้งจำนวนหนึ่งจะมีแพลงก์ตอนไปอุดตันตามเหงือก (ภาพที่ 23) แต่หลังจากนั้นประมาณ 1 สัปดาห์ แพลงก์ตอนเริ่มตายเป็นจำนวนมาก ทำให้ค่า pH ของน้ำเริ่มลดลง ก่อนที่จะสูง ขึ้นอีกในช่วงท้ายของการเลี้ยง

2.1.3 อุณหภูมิของน้ำ

บ่อควบคุมที่ไม่มีการเติมจุลินทรีย์ อุณหภูมิของน้ำในช่วงเช้า มีค่าเฉลี่ย 29.95 ± 0.07 องศาเซลเซียส และอุณหภูมิของน้ำในช่วงบ่าย มีค่าเฉลี่ย 32.4 ± 0.07 องศาเซลเซียส ในขณะที่บ่อทดลองที่มีการเติมจุลินทรีย์ อุณหภูมิของน้ำในช่วงเช้า มีค่าเฉลี่ย 29.95 ± 0.07 องศาเซลเซียส และอุณหภูมิของน้ำในช่วงบ่าย มีค่าเฉลี่ย 32.25 ± 0.07 องศาเซลเซียส (ตารางที่ 5 และภาพที่ 13,14) ค่าเฉลี่ยอุณหภูมิของน้ำในช่วงเช้าและช่วงบ่ายของทั้งสองกลุ่มทดลองใกล้เคียงกันเนื่องจากบ่อทดลองทั้งหมดอยู่ในบริเวณฟาร์มเดียวกัน อุณหภูมิของน้ำจึงไม่แตกต่างกัน และตลอดระยะเวลาการเลี้ยงอุณหภูมิของน้ำในช่วงเช้าและช่วงบ่ายมีค่าระหว่าง 25-33 องศาเซลเซียส ซึ่งเป็นอุณหภูมิที่เหมาะสมในการเลี้ยงกุ้งกุลาดำ (Chen, 1985) แต่ ชลอ (2543) กล่าวว่า อุณหภูมิที่เหมาะสมสำหรับการเลี้ยงกุ้งกุลาดำอยู่ระหว่าง 28-30 องศาเซลเซียส

2.1.4 ความเป็นด่าง

บ่อเลี้ยงที่ไม่มีการเติมจุลินทรีย์ มีค่าความเป็นด่างเฉลี่ยเท่ากับ 118.97 ± 1.07 มิลลิกรัมต่อลิตร ในขณะที่บ่อที่มีการเติมจุลินทรีย์ มีค่าความเป็นด่างเฉลี่ยเท่ากับ 119.31 ± 1.64 มิลลิกรัมต่อลิตร (ตารางที่ 5 และภาพที่ 15) ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) โดยค่าความเป็นด่างตลอดระยะเวลาการเลี้ยง มีค่ามากกว่า 80 มิลลิกรัมต่อลิตร ซึ่งเป็น ค่าที่เหมาะสมในการเลี้ยงกุ้งกุลาดำ (ชลอ, 2543 ; ชลอและพรเลิศ, 2547) และระดับที่เหมาะสมต่อการเลี้ยงกุ้งกุลาดำอยู่ระหว่าง 80-150 มิลลิกรัมต่อลิตร แต่ยนต์ (2539) กล่าวว่า การเลี้ยงกุ้งทะเลต้องการความเป็นด่าง

ของน้ำไม่ต่ำกว่า 50-60 มิลลิกรัมต่อลิตร เพื่อไม่ให้มีผลกระทบต่อการสร้างเปลือก และบางครั้งต้องการระดับความเป็นด่างของน้ำสูงกว่านี้ เพื่อช่วยต้านทานการเปลี่ยนแปลงค่า pH ในรอบวัน ซึ่งน้ำที่มีค่าความเป็นด่างสูงจะมีระบบต้านทานการเปลี่ยนแปลงค่า pH ที่ดี

2.1.5 ความกระด้าง

บ่อที่ไม่มีการเติมจุลินทรีย์ มีค่าความกระด้างเฉลี่ยเท่ากับ 683.77 ± 33.85มิลลิกรัมต่อลิตร ส่วนบ่อที่มีการเติมจุลินทรีย์ มีค่าความกระด้างของน้ำเฉลี่ยเท่ากับ 681.87 ± 59.98 มิลลิกรัมต่อลิตร (ตารางที่ 5 และภาพที่ 16) ความกระด้างของน้ำของทั้งสองกลุ่มทดลอง ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) แต่ค่าความกระด้างตลอดระยะเวลาการเลี้ยงส่วนใหญ่ต่ำกว่า 1,000 มิลลิกรัมต่อลิตรทั้งนี้เนื่องจากความเค็มของน้ำต่ำมาก

ยนต์ (2539) กล่าวว่า สาเหตุหลักของความกระด้างของน้ำ คือ อิออนของโลหะวาเลนซี่สอง ซึ่งได้แก่ Ca^{2+} , Mg^{2+} , Sr^{2+} , Fe^{2+} และ Mn^{2+} ส่วน Al^{3+} และเหล็กในรูปเฟอริก (Fe^{3+}) ก็สามารถทำให้เกิดความกระด้างได้เช่นกัน ซึ่งแคลเซียมในน้ำเป็นสิ่งจำเป็นในการสร้างโครงสร้าง และเปลือกกุ้ง โดยระหว่างการลอกคราบ กุ้งจะมีการดูดซับแคลเซียมจากน้ำ จึงต้องมีปริมาณแคลเซียมในน้ำในระดับที่เพียงพอ นอกจากนี้ ความกระด้างของน้ำยังช่วยทำหน้าที่ที่สำคัญคือคอยควบคุมไม่ให้พีเอชของน้ำขึ้นสูงเกินไป ในขณะที่แพลงก์ตอนพืชทำการสังเคราะห์แสง โดยไปจับกับอนุมูลคาร์บอเนต ที่ถูกปล่อยออกมาจากปฏิกิริยาการแตกตัวของไบคาร์บอเนต ตกตะกอนเป็นแคลเซียมคาร์บอเนต ทำให้ไม่เกิดการเพิ่ม pH ของน้ำ ซึ่งความกระด้างของน้ำทั้งสองกลุ่มการทดลองตลอดระยะเวลาการเลี้ยงต่ำกว่าระดับที่เหมาะสมโดย ชลอและพรเลิศ (2547) กล่าวว่าความกระด้างของน้ำสำหรับเลี้ยงกุ้งทะเลไม่ควรต่ำกว่า 1,000 มิลลิกรัมต่อลิตร

2.1.6 ปริมาณแอมโมเนียรวม

บ่อเลี้ยงที่ไม่มีการเติมจุลินทรีย์ มีปริมาณแอมโมเนียรวมของน้ำเฉลี่ยเท่ากับ 0.4263 ± 0.13 มิลลิกรัมต่อลิตร ส่วนบ่อที่มีการเติมจุลินทรีย์ มีปริมาณแอมโมเนียรวมของน้ำเฉลี่ยเท่ากับ 0.2859 ± 0.03 มิลลิกรัมต่อลิตร (ตารางที่ 5 และภาพที่ 17) ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$)

ชลอ และพรเลิศ (2547) กล่าวว่า แอมโมเนียเป็นสารประกอบไนโตรเจนที่เป็นพิษต่อกุ้ง แหล่งของสารประกอบไนโตรเจนในน้ำ ส่วนใหญ่มาจากสารอินทรีย์ ซึ่งได้จากกระบวนการเน่าสลายของเศษอาหารที่เหลือ แพลงก์ตอนที่ตาย เศษซากพืชซากสัตว์ และสารอินทรีย์อื่นๆ โดยจุลินทรีย์

แล้วปล่อยแอมโมเนียออกสู่แหล่งน้ำโดยตรง นอกจากนี้แอมโมเนียส่วนหนึ่ง เกิดจากการขับถ่ายของเสียของสัตว์น้ำเอง ซึ่งจะกำจัดแอมโมเนียออกมาทางเหงือก (ยนต์, 2539) โดยปริมาณแอมโมเนียในบ่อกุ้ง ไม่ควรสูงกว่า 0.10 มิลลิกรัมต่อลิตร ถ้าในน้ำหนึ่งลิตรมีปริมาณแอมโมเนีย 0.45 มิลลิกรัม อัตราการเจริญเติบโตของกุ้งจะลดลงประมาณร้อยละ 50 (บรรจง, 2529) ดังนั้นแม้ว่าค่าเฉลี่ยปริมาณแอมโมเนียของกลุ่มบ่อควบคุมและกลุ่มบ่อทดลองจะไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติก็ตาม แต่หากพิจารณาในด้านผลกระทบต่อสัตว์น้ำแล้ว ปริมาณแอมโมเนียรวมในน้ำของบ่อทดลองที่เติมจุลินทรีย์ มีปริมาณน้อยกว่ากลุ่มควบคุม ซึ่งสอดคล้องกับอัตราการรอดตายของกุ้งจากบ่อทดลองที่เติมจุลินทรีย์สูงกว่าบ่อควบคุม และหากพิจารณาปริมาณแอมโมเนียรวมในน้ำของบ่อควบคุมและบ่อทดลองในด้านความเป็นพิษต่อสัตว์น้ำ ถือว่าว่ามีความแตกต่างกัน โดยทั่วไประดับความเข้มข้นของแอมโมเนียในรูปแบบที่เป็นพิษต่อสัตว์น้ำคือ NH_3 ที่ทำให้สัตว์น้ำตาย อยู่ในช่วง 0.4-2.0 มิลลิกรัมต่อลิตร (ชลอ, 2543) ผลการศึกษาพบว่า ปริมาณแอมโมเนียรวมในน้ำของกลุ่มบ่อควบคุม อยู่ในระดับที่เป็นสามารถเป็นอันตรายต่อสัตว์น้ำ ในขณะที่ปริมาณแอมโมเนียรวมในน้ำของกลุ่มบ่อทดลองที่เติมจุลินทรีย์ อยู่ในระดับที่ไม่มีผลกระทบต่อสุขภาพของกุ้ง

2.1.7 ปริมาณไนไตรท์-ไนโตรเจน

บ่อควบคุมที่ไม่มีการเติมจุลินทรีย์ มีปริมาณไนไตรท์-ไนโตรเจนเฉลี่ยเท่ากับ 0.1761 ± 0.129 มิลลิกรัมต่อลิตร ในขณะที่บ่อทดลองที่มีการเติมจุลินทรีย์ มีปริมาณไนไตรท์-ไนโตรเจนเฉลี่ยเท่ากับ 0.1001 ± 0.192 มิลลิกรัมต่อลิตร (ตารางที่ 5 และภาพที่18) ค่าเฉลี่ยของปริมาณไนไตรท์-ไนโตรเจนในน้ำของทั้งสองกลุ่มทดลอง ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$)

ไนไตรท์เกิดจากการที่แบคทีเรียในกลุ่มไนตริไฟอิ้งแบคทีเรียเช่นไนโตรโซโมเนส (*Nitrosomonas* spp.) ใช้แอมโมเนียในน้ำเป็นอาหาร และเปลี่ยนแอมโมเนียเป็นไนไตรท์ ส่วนไนโตรแบคเตอร์ (*Nitrobacter* spp.) จะเปลี่ยนไนไตรท์เป็นไนเตรท ซึ่งกระบวนการนี้เรียกว่า ไนตริฟิเคชัน (nitrification) (ชลอและพรเลิศ, 2547) ความเป็นพิษของไนไตรท์ต่อสัตว์น้ำเกิดจากการที่ไนไตรท์ไปออกซิไดซ์เหล็ก ซึ่งเป็นองค์ประกอบของฮีโมโกลบิน ทำให้กลายเป็นเมทฮีโมโกลบิน ซึ่งไม่สามารถขนย้ายออกซิเจนได้ ทำให้สัตว์น้ำตายเนื่องจากการขาดออกซิเจน ส่วนในกุ้งซึ่งมีฮีโมไซยานิน คาดว่ากระบวนการเป็นพิษของไนไตรท์ก็คล้ายๆ กัน (ชลอ, 2543)ไนไตรท์ระดับ 45 มิลลิกรัมต่อลิตร ทำให้กุ้งกุลาดำตายครึ่งหนึ่ง ภายในเวลา 96 ชั่วโมง (ยนต์, 2539) และระดับความเข้มข้นของไนไตรท์ที่ปลอดภัยต่อกุ้งกุลาดำ คือ 4.5 มิลลิกรัมต่อลิตร ซึ่งจากผลการศึกษาครั้งนี้พบว่าค่าเฉลี่ยปริมาณไนไตรท์ของทั้ง 2 กลุ่มทดลองอยู่ในระดับต่ำ จึงไม่มีผลกระทบต่อสุขภาพกุ้งที่เลี้ยง

2.1.8 ความโปร่งแสงของน้ำ

บ่อควบคุมที่ไม่มีการเติมจุลินทรีย์ มีความโปร่งแสงของน้ำเฉลี่ยเท่ากับ 15.15 ± 0.00 เซนติเมตร ส่วนบ่อทดลองที่มีการเติมจุลินทรีย์ มีความโปร่งแสงของน้ำเฉลี่ยเท่ากับ 15.59 ± 1.754 เซนติเมตร (ตารางที่ 5 และภาพที่ 19) ความโปร่งแสงของน้ำของทั้งสองกลุ่มทดลอง ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) แต่ระดับความโปร่งแสงของน้ำทั้ง 2 กลุ่มการค่อนข้างต่ำ เนื่องจากการสะสมของปริมาณของสารประกอบไนโตรเจนและฟอสฟอรัสในน้ำจากอาหารเหลือของกุ้ง รวมถึงตลอดระยะเวลาการเลี้ยงมีการเปลี่ยนถ่ายน้ำน้อยมาก ทำให้ปริมาณแพลงก์ตอนเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง จนกระทั่งน้ำมีสีเขียวเข้มจัด (ภาพที่ 24)และมีซากแพลงก์ตอนตายลอยอยู่บริเวณผิวน้ำ (ภาพที่ 25)

2.1.9 ความเค็ม

บ่อควบคุมที่ไม่มีการเติมจุลินทรีย์ มีความเค็มของน้ำเฉลี่ยเท่ากับ 2.21 ± 0.064 ส่วนในพันส่วน สำหรับบ่อทดลองที่มีการเติมจุลินทรีย์ มีความเค็มของน้ำเฉลี่ยเท่ากับ 2.12 ± 0.57 ส่วนในพันส่วน (ตารางที่ 5 และภาพที่ 20) ความเค็มของน้ำของทั้งสองกลุ่มทดลอง ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) เนื่องจากเมื่อเริ่มการทดลอง ความเค็มของน้ำในทุกบ่อใกล้เคียงกันและค่อยๆ ลดลงตามช่วงระยะเวลาการเลี้ยงจากปริมาณน้ำฝนในช่วงท้ายของการเลี้ยง

2.1.10 ค่าความนำไฟฟ้าของน้ำ

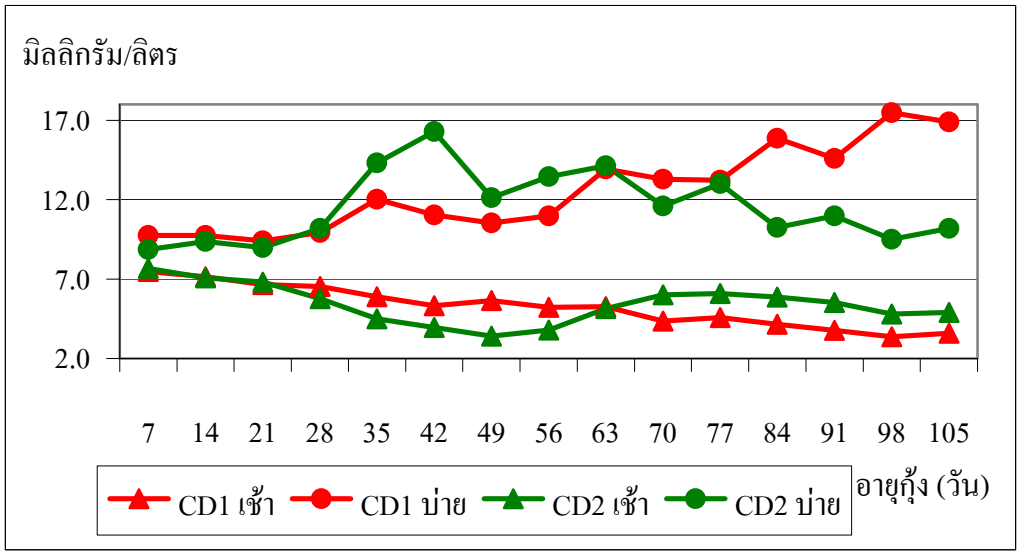
บ่อควบคุมที่ไม่มีการเติมจุลินทรีย์ มีความนำไฟฟ้าของน้ำเฉลี่ยเท่ากับ 4.49 ± 0.318 mmhos/cm. ส่วนบ่อทดลองที่มีการเติมจุลินทรีย์ มีความนำไฟฟ้าของน้ำเฉลี่ยเท่ากับ 3.99 ± 0.106 mmhos/cm. (ตารางที่ 5 และภาพที่ 21) ความนำไฟฟ้าของน้ำของทั้งสองกลุ่มทดลอง ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) โดยค่าความนำไฟฟ้าค่อยๆ ลดลงไปในทิศทางเดียวกับความเค็มของน้ำ

ตารางที่ 5 คุณสมบัติของน้ำในบ่อเลี้ยงกุ้งกุลาดำของบ่อควบคุมที่ไม่เติมและบ่อทดลองที่เติมจุลินทรีย์กลุ่ม *Bacillus* sp.ในฟาร์มทดลองที่ 1

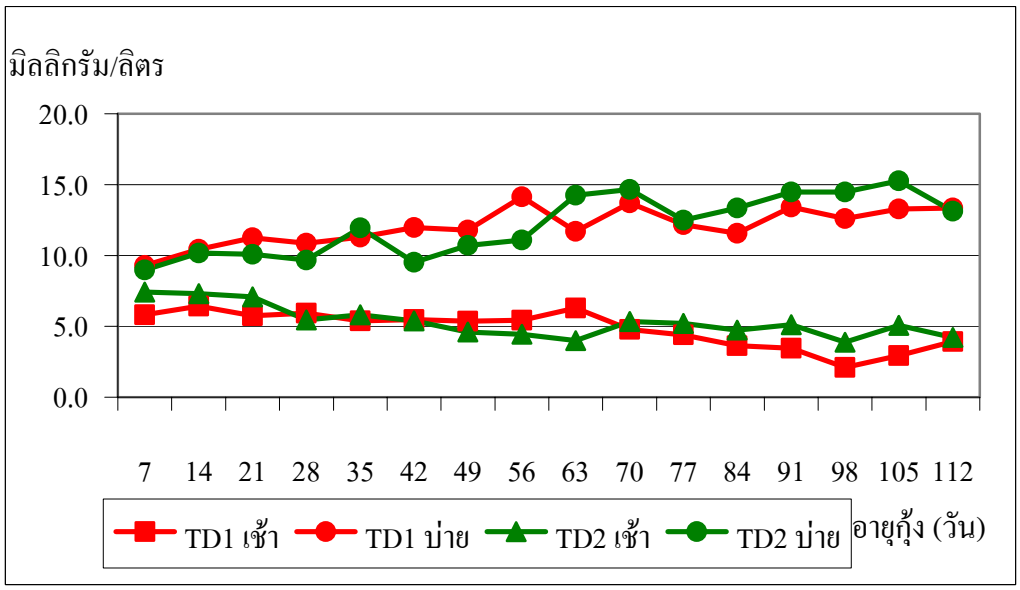
คุณสมบัติของน้ำ		ค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตราฐาน	
		บ่อทดลอง CD	บ่อทดลอง TD
ออกซิเจนละลายน้ำ	เช้า	5.35 ± 0.07 [a]	5.35 ± 0.57 [a]
(มิลลิกรัมต่อลิตร)	บ่าย	12.0 ± 0.07 [a]	12.05 ± 0.07 [a]
pH	เช้า	7.8 ± 0.00 [a]	7.65 ± 0.07 [a]
	บ่าย	8.25 ± 0.07 [a]	7.95 ± 0.07 [a]
อุณหภูมิ (°C)	เช้า	29.95 ± 0.07 [a]	29.95 ± 0.07 [a]
	บ่าย	32.4 ± 0.07 [a]	32.25 ± 0.07 [a]
ความเป็นด่าง	(มิลลิกรัมต่อลิตร)	118.97 ± 1.07 [a]	119.31 ± 1.64 [a]
ความกระด้าง	(มิลลิกรัมต่อลิตร)	683.77 ± 33.85 [a]	681.87 ± 59.98 [a]
แอมโมเนียรวม	(มิลลิกรัมต่อลิตร)	0.4263 ± 0.13 [a]	0.2859 ± 0.03 [a]
ไนไตรท์	(มิลลิกรัมต่อลิตร)	0.1761 ± 0.13 [a]	0.1001 ± 0.19 [a]
ความโปร่งแสง	(เซนติเมตร)	15.15 ± 0.00 [a]	15.55 ± 1.75 [a]
ความเค็ม	(ส่วนในพันส่วน)	2.21 ± 0.06 [a]	2.12 ± 0.57 [a]
ความนำไฟฟ้า	(mmhos/cm.)	4.49 ± 0.32 [a]	3.99 ± 0.11 [a]

หมายเหตุ ค่าเฉลี่ย±ค่าเบี่ยงเบนมาตราฐานในแนวนอนที่กำกับด้วยตัวอักษรที่แตกต่างกัน มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) โดยบ่อควบคุม CD ไม่เติมจุลินทรีย์ *Bacillus* sp. และบ่อทดลอง TD เติมจุลินทรีย์ *Bacillus* sp. ในระหว่างการเลี้ยง

ปริมาณออกซิเจนละลายในน้ำ

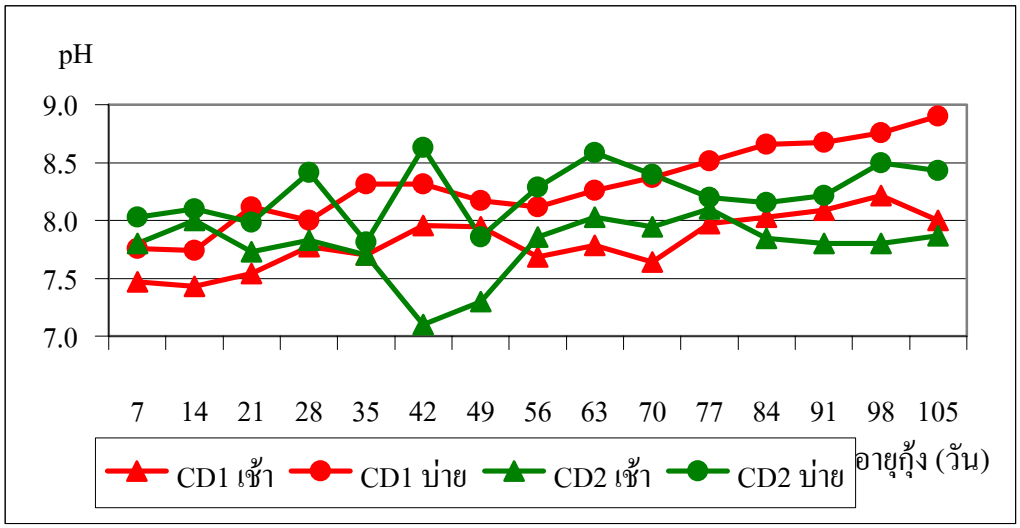


ภาพที่ 9 ค่าเฉลี่ยปริมาณออกซิเจนละลายในน้ำในบ่อควบคุมที่ไม่เติมจุลินทรีย์ (CD)

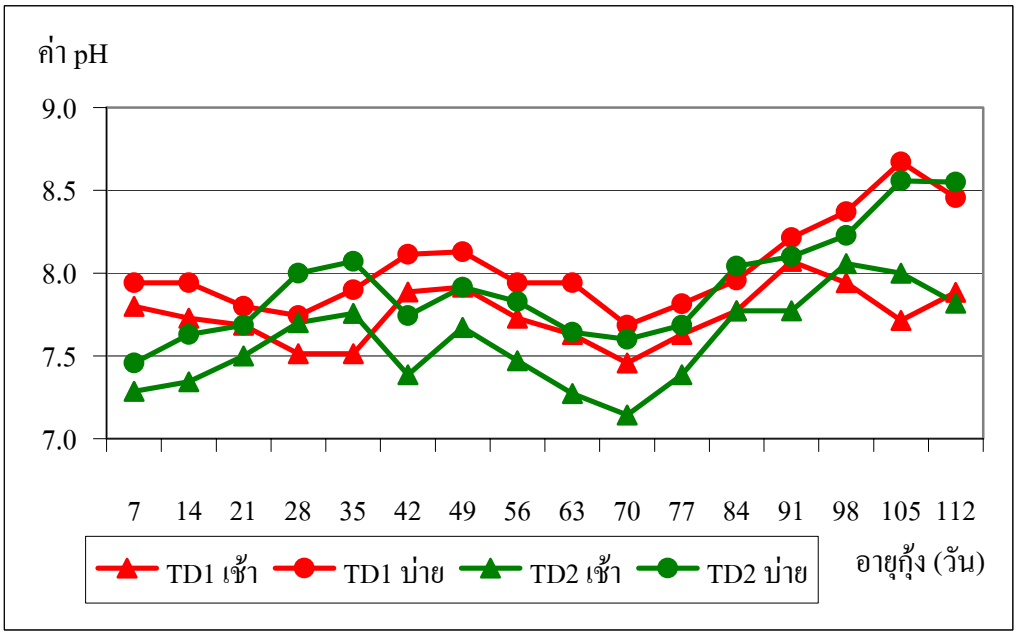


ภาพที่ 10 ค่าเฉลี่ยปริมาณออกซิเจนละลายในน้ำในบ่อทดลองที่เติมจุลินทรีย์ (TD)

pH

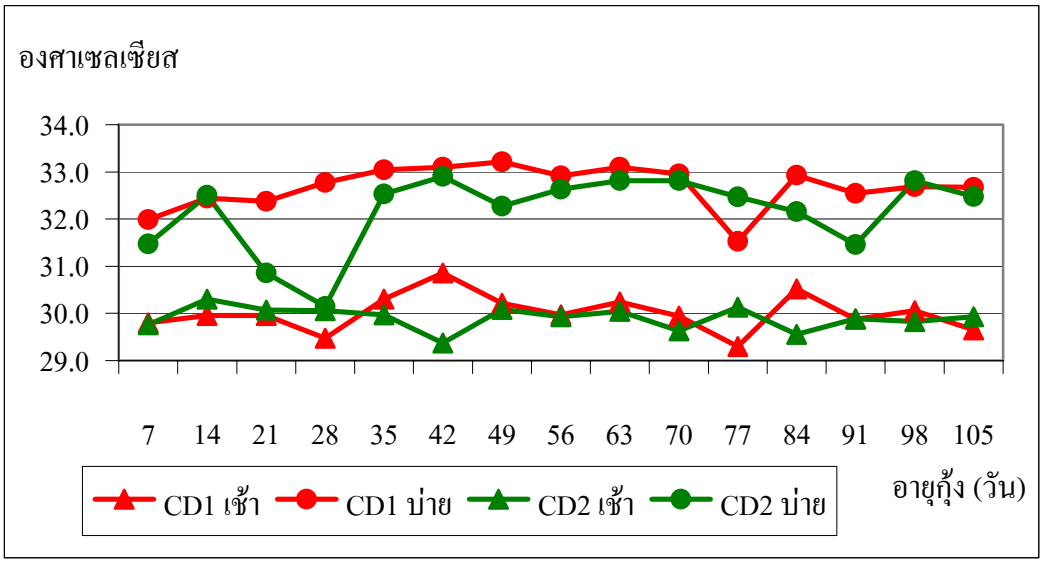


ภาพที่ 11 ค่าเฉลี่ย pH ของน้ำในบ่อควบคุมที่ไม่เติมจุลินทรีย์ (CD)

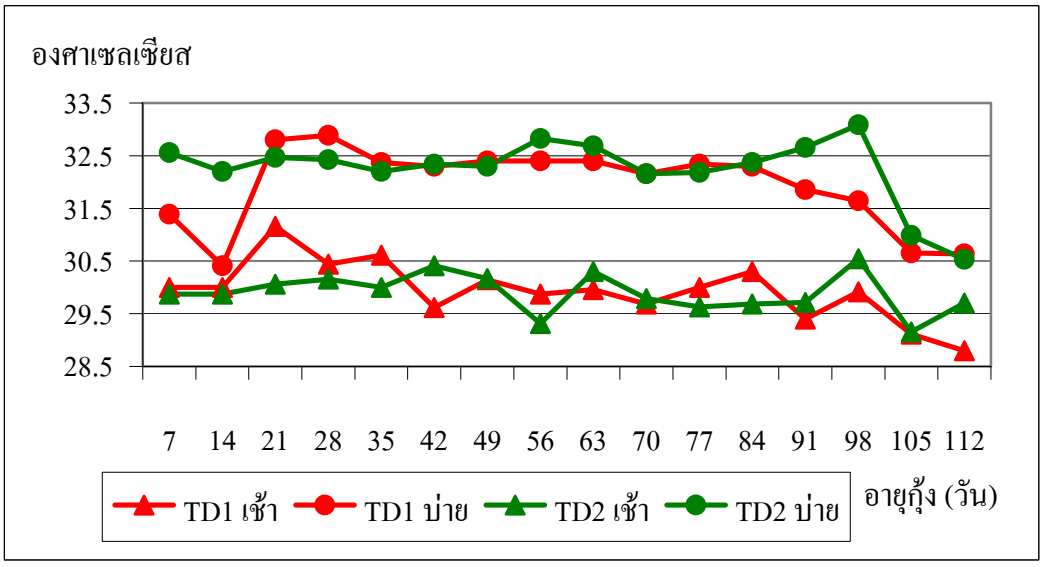


ภาพที่ 12 ค่าเฉลี่ย pH ของน้ำในบ่อทดลองที่เติมจุลินทรีย์ (TD)

อุณหภูมิ

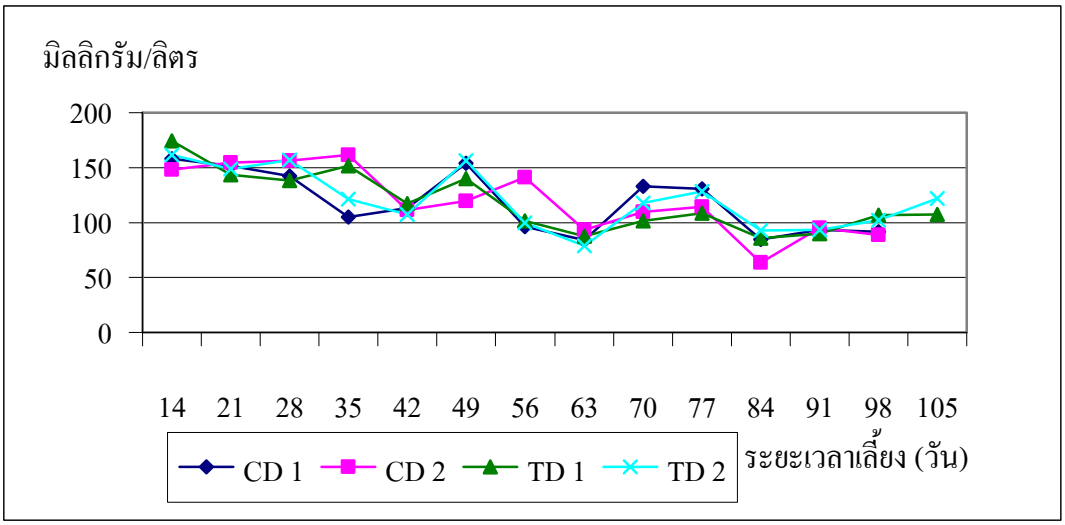


ภาพที่ 13 ค่าเฉลี่ยอุณหภูมิของน้ำในบ่อควบคุมที่ไม่เติมจุลินทรีย์ (CD)



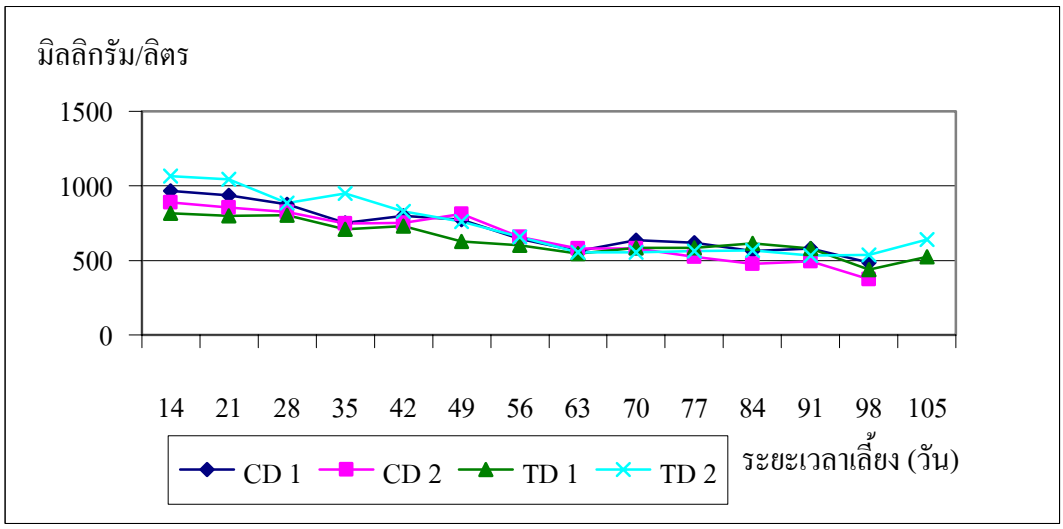
ภาพที่ 14 ค่าเฉลี่ยอุณหภูมิของน้ำในบ่อทดลองที่เติมจุลินทรีย์ (TD)

ความเป็นด่าง



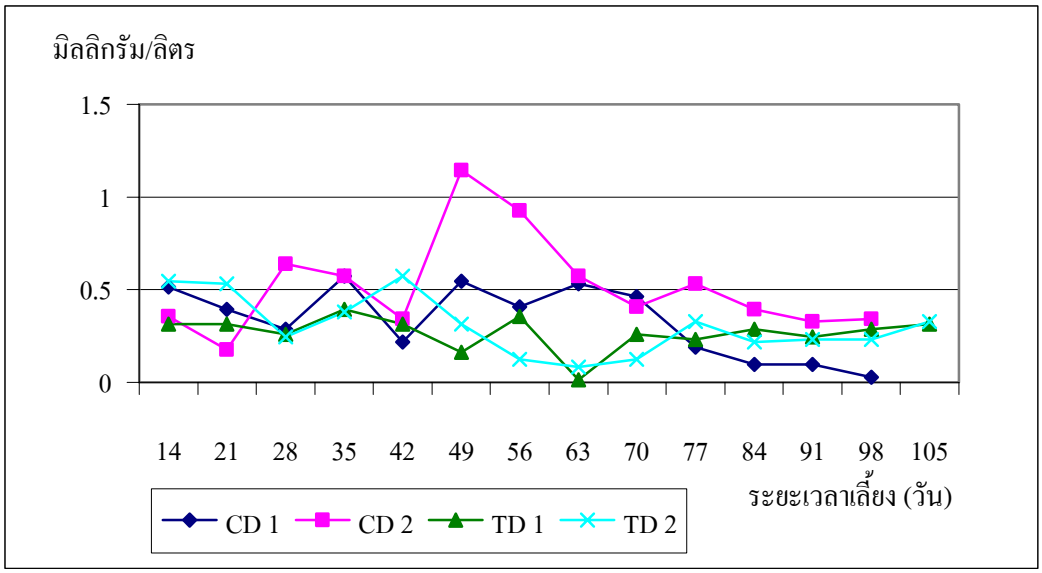
ภาพที่ 15 ค่าเฉลี่ยความเป็นด่างในบ่อที่ไม่เติมจุลินทรีย์(CD)และบ่อที่เติมจุลินทรีย์(TD)

ความกระด้าง



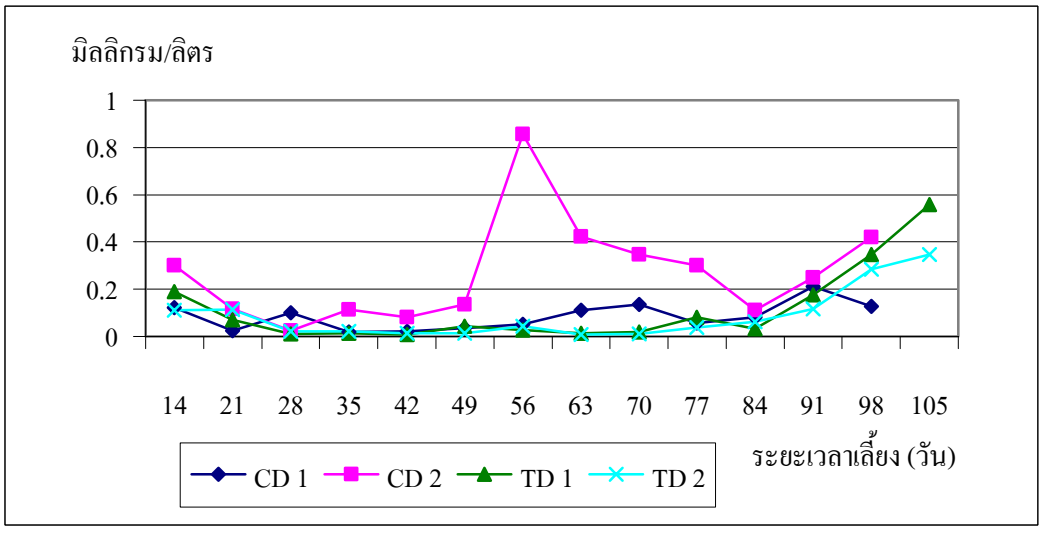
ภาพที่ 16 ค่าเฉลี่ยความกระด้างในบ่อที่ไม่เติมจุลินทรีย์(CD)และบ่อ(TD)ที่เติมจุลินทรีย์

ปริมาณแอมโมเนียรวม



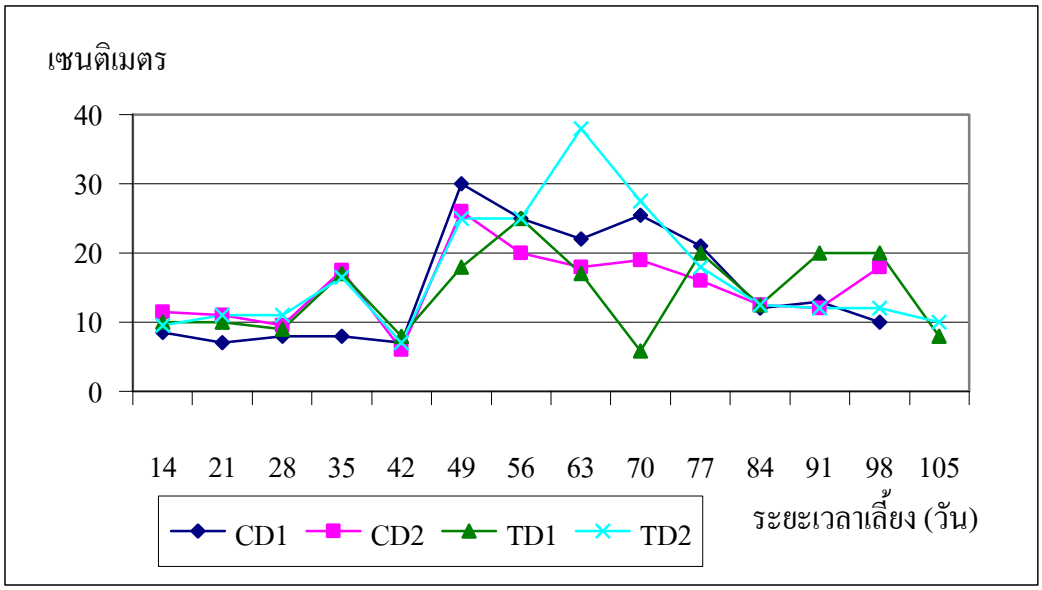
ภาพที่ 17 ค่าเฉลี่ยปริมาณแอมโมเนียรวมของน้ำในบ่อที่ไม่เติมจุลินทรีย์(CD)และบ่อที่เติมจุลินทรีย์(TD)

ปริมาณไนไตรท์-ไนโตรเจน



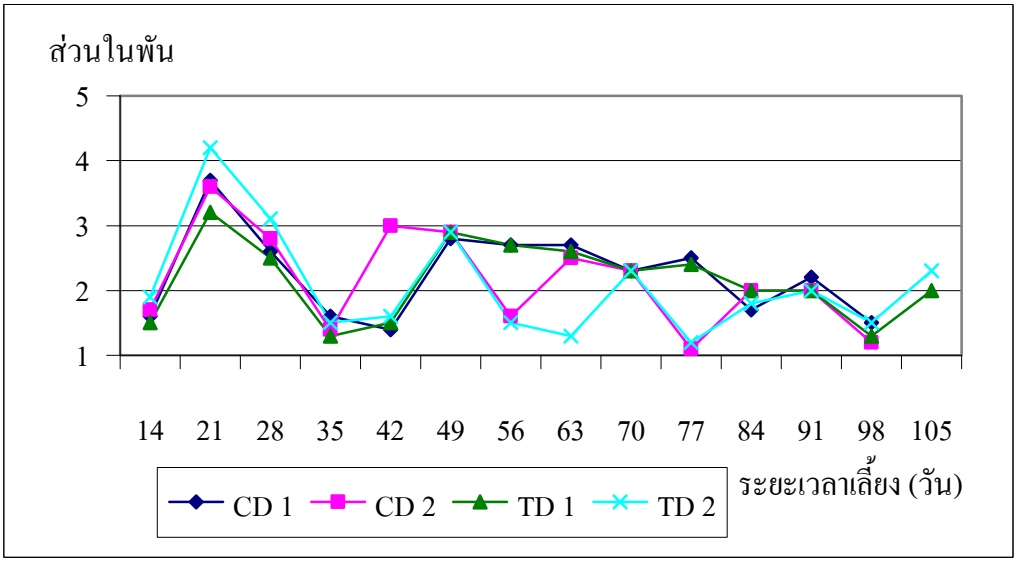
ภาพที่ 18 ค่าเฉลี่ยปริมาณไนไตรท์-ไนโตรเจนของน้ำในบ่อที่ไม่เติมจุลินทรีย์(CD)และบ่อที่เติมจุลินทรีย์(TD)

ความโปร่งแสง



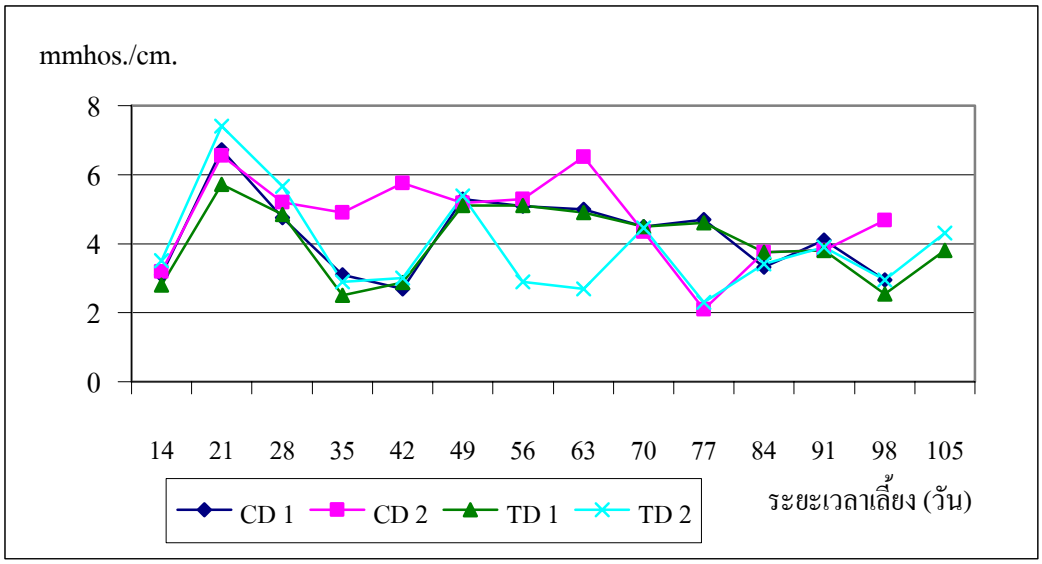
ภาพที่ 19 ค่าเฉลี่ยความโปร่งแสงในบ่อที่ไม่เติมจุลินทรีย์(CD)และบ่อที่เติมจุลินทรีย์(TD)

ความเค็ม



ภาพที่ 20 ค่าเฉลี่ยความเค็มในบ่อที่ไม่เติมจุลินทรีย์(CD)และบ่อที่เติมจุลินทรีย์(TD)

ความนำไฟฟ้าของน้ำ



ภาพที่ 21 ค่าเฉลี่ยความนำไฟฟ้าของน้ำในบ่อที่ไม่เติมจุลินทรีย์(CD)และบ่อที่เติมจุลินทรีย์(TD)

ภาพที่ 22 สีน้ำของบ่อควบคุมที่ไม่เติมจุลินทรีย์ในฟาร์มทดลองที่ 1 เมื่อกุ้งอายุประมาณ 42 วัน

ภาพที่ 23 แพลงก์ตอนจำนวนมากอุดตันที่เหงือกกุ้ง

ภาพที่ 24 สีน้ำของบ่อควบคุมที่ไม่เติมจลินทรีย์ในฟาร์มทดลองที่ 1 เมื่อกุ้งอายุประมาณ 98 วัน

ภาพที่ 25 ซากแพลงก์ตอนลอยอยู่บนผิวหน้าน้ำในบ่อควบคุมที่ไม่เติมจุลินทรีย์ในฟาร์มทดลองที่ 1

2.2 ฟาร์มทดลองที่ 2

2.2.1 ปริมาณออกซิเจนละลายในน้ำ

บ่อควบคุมที่ไม่เติมจุลินทรีย์ มีค่าปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำในช่วงเช้าเฉลี่ย 5.40 ± 0.28 มิลลิกรัมต่อลิตร และมีค่าปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำในช่วงบ่ายเฉลี่ย 13.25 ± 0.07 มิลลิกรัมต่อลิตร ส่วนบ่อทดลองที่เติมจุลินทรีย์ มีค่าปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำในช่วงเช้าเฉลี่ย 6.20 ± 0.00 มิลลิกรัมต่อลิตร และมีค่าปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำในช่วงบ่ายเฉลี่ย 11.50 ± 0.42 มิลลิกรัมต่อลิตร (ตารางที่ 6 และภาพที่ 26, 27) ค่าเฉลี่ยปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำในช่วงเช้าและช่วงบ่ายของทั้งสองกลุ่มการทดลอง ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$) แต่ปริมาณออกซิเจนในช่วงเช้ามีแนวโน้มต่ำลงเรื่อยๆ และต่ำกว่า 4 มิลลิกรัมต่อลิตรในช่วงท้ายของการเลี้ยง ส่วนปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำในช่วงบ่ายสูงขึ้นเรื่อยๆ และสูงเกินจุดอิ่มตัวในช่วงท้ายของการเลี้ยงเช่นกัน นอกจากนี้ในช่วงสัปดาห์ที่ 4 บ่อควบคุม มีการเปลี่ยน แปลงปริมาณออกซิเจนในรอบวันสูงขึ้นด้วย ทั้งนี้เนื่องมาจากปริมาณแพลงก์ตอนพืชเจริญเติบโตและเพิ่มจำนวนอย่างรวดเร็ว ทำให้การเปลี่ยนแปลงของค่าออกซิเจนที่ละลายในน้ำในรอบวันสูง สังเกตจากสีน้ำสีเข้มขึ้นและค่าความโปร่งแสงต่ำลง

2.2.2 pH

บ่อควบคุมที่ไม่เติมจุลินทรีย์ มีค่า pH ของน้ำในช่วงเช้าเฉลี่ยเท่ากับ 7.55 ± 0.070 และค่า pH ของน้ำในช่วงบ่ายเฉลี่ย 8.05 ± 0.07 ในขณะที่บ่อทดลองที่เติมจุลินทรีย์ มีค่า pH ของน้ำในช่วงเช้าเฉลี่ยเท่ากับ 7.65 ± 0.070 และค่า pH ของน้ำในช่วงบ่ายเฉลี่ย 8.05 ± 0.07 (ตารางที่ 6 และภาพที่ 28, 29) ทั้งสองกลุ่มทดลอง ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) และส่วนใหญ่อยู่ในช่วงที่เหมาะสมต่อการเลี้ยงกุ้งกุลาดำ คืออยู่ระหว่าง 7.5-8.5 แต่การเปลี่ยนแปลงค่า pH ในรอบวันแตกต่างกันมากกว่า 0.5 และมีแนวโน้มไปทางเดียวกันกับปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำตลอดระยะเวลาการเลี้ยง ชลอและพรเลิศ (2547) อธิบายว่า ในบ่อเลี้ยงกุ้งที่มีปริมาณแพลงก์มากในช่วงที่มีแสงแดด แพลงก์ตอนจะสังเคราะห์แสงโดยดึงคาร์บอนไดออกไซด์ที่อยู่ในน้ำไปใช้ หากคาร์บอนด์ออกไซด์ไม่เพียงพอ แพลงก์ตอนจะดึงไบคาร์บอเนต (HCO_3^-) ไปใช้ในการผลิตคาร์บอนไดออกไซด์ หลังจากนั้นจะใช้ คาร์บอเนต (CO_3^{2-})ในการผลิตคาร์บอนไดออกไซด์ ซึ่งจะ ทำให้เกิดการสะสมของไฮดรอกซิล (OH^-) เพิ่มขึ้น ทำให้ pH ของน้ำสูงขึ้นในตอนกลางวัน ส่วนกลางคืนไม่มีการใช้คาร์บอนไดออกไซด์ แต่การหายใจของสิ่งมีชีวิตจะเกิดคาร์บอนไดออกไซด์แทน ทำให้ pH ลดลงและต่ำสุดในตอนเช้ามืด

2.2.3 อุณหภูมิของน้ำ

บ่อควบคุมที่ไม่เติมจุลินทรีย์ อุณหภูมิของน้ำในช่วงเช้า มีค่าเฉลี่ย 29.9 ± 0.00 องศาเซลเซียส และอุณหภูมิของน้ำในช่วงบ่าย มีค่าเฉลี่ย 32.25 ± 0.21 องศาเซลเซียส ส่วนบ่อทดลองที่เติมจุลินทรีย์ อุณหภูมิของน้ำในช่วงเช้า มีค่าเฉลี่ย 30.55 ± 0.636องศาเซลเซียส และ อุณภูมิของน้ำในช่วงบ่าย มีค่าเฉลี่ย 31.70 ± 0.85 องศาเซลเซียส (ตารางที่ 6 และภาพที่ 30, 31) ค่าเฉลี่ยอุณหภูมิของน้ำในช่วงเช้าและช่วงบ่ายของทั้งสองกลุ่มทดลองไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) และตลอดระยะเวลาการเลี้ยงอุณหภูมิของน้ำในช่วงเช้าและช่วงบ่ายมีค่าระหว่าง 25-33 องศาเซลเซียส ซึ่งเป็นอุณหภูมิที่เหมาะสมในการเลี้ยงกุ้งกุลาดำ (Chen, 1985) แต่ ชลอ (2543) กล่าวว่าอุณหภูมิที่เหมาะสมกับการเลี้ยงกุ้งกุลาดำอยู่ระหว่าง 28-30 องศาเซลเซียส ดังนั้นในช่วงบ่ายบางวันที่มีอากาศร้อนจัด อุณหภูมิของน้ำจะสูงกว่าระดับที่เหมาะสม กุ้งจะกินอาหารลดลงกว่าปกติ บ่อที่ระดับน้ำตื้นจะมีผลกระทบมากกว่าบ่อที่ระดับน้ำลึกกว่า

2.2.4 ความเป็นด่าง

บ่อควบคุมที่ไม่เติมจุลินทรีย์ มีค่าความเป็นด่างเฉลี่ยเท่ากับ 116.59 ± 10.15 มิลลิกรัมต่อลิตร ส่วนบ่อทดลองที่เติมจุลินทรีย์ มีค่าความเป็นด่างของน้ำเฉลี่ยเท่ากับ 112.58 ± 8.29 มิลลิกรัมต่อลิตร (ตารางที่ 6 และภาพที่ 32) ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) โดยค่าความเป็นด่างของน้ำตลอดระยะเวลาการเลี้ยง มีค่ามากกว่า 80 มิลลิกรัมต่อลิตร ซึ่งเป็นค่าที่เหมาะสมในการเลี้ยงกุ้งกุลาดำ (ชลอ, 2543 ; ชลอและพรเลิศ, 2547)

2.2.5 ความกระด้าง

บ่อควบคุมที่ไม่เติมจุลินทรีย์ มีค่าความกระด้างของน้ำมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 1178.29 ± 183.91มิลลิกรัมต่อลิตร ส่วนบ่อทดลองที่เติมจุลินทรีย์ มีค่าความกระด้างของน้ำมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 1286.84 ± 236.48 มิลลิกรัมต่อลิตร (ตารางที่ 6 และภาพที่ 33) ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) และค่าความกระด้างของน้ำตลอดระยะเวลาการเลี้ยงส่วนใหญ่สูงกว่า 1,000 มิลลิกรัมต่อลิตรซึ่งอยู่ในระดับที่เหมาะสมโดย ชลอและพรเลิศ (2547) กล่าวว่าความกระด้างของน้ำในการเลี้ยงกุ้งความเค็มต่ำไม่ควรต่ำกว่า 1,000 มิลลิกรัมต่อลิตร

2.2.6 ปริมาณแอมโมเนียรวม

บ่อควบคุมที่ไม่เติมจุลินทรีย์ในระหว่างการเลี้ยง มีปริมาณแอมโมเนียรวมของน้ำเฉลี่ยเท่ากับ 1.1274 ± 0.09 มิลลิกรัมต่อลิตร ในขณะที่บ่อทดลองที่เติมจุลินทรีย์ในระหว่าง การเลี้ยงมีปริมาณแอมโมเนียรวมของน้ำเฉลี่ยเท่ากับ 0.7516 ± 0.12 มิลลิกรัมต่อลิตร (ตารางที่ 6 และภาพที่ 34)

ค่าเฉลี่ยของปริมาณแอมโมเนียรวมของน้ำของบ่อควบคุมและบ่อทดลอง ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) แต่อย่างไรก็ตามเมื่อเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยปริมาณแอมโมเนียรวมของทั้งสองกลุ่มทดลองนั้นมีค่าที่แตกต่างกันค่อนข้างมาก ซึ่งผลการทดลองสอดคล้องกับการทดลองของจันทสิงห์ (2544) ซึ่งใช้ *Bacillus subtilis* และ *B. firmus* เติมลงในน้ำเลี้ยงกุ้งกุลาดำ ปริมาณแอมโมเนียรวมตลอดระยะเวลาการเลี้ยงต่ำกว่ากลุ่มที่ไม่เติม *Bacillus* sp. เช่นเดียวกับ Fei Liu and Wuying Han (2004) ที่ใช้จุลินทรีย *Bacillus* sp. พบว่าสามารถลดปริมาณแอมโมเนียรวมของน้ำในการเลี้ยงกุ้งได้เช่นกัน

2.2.7 ปริมาณไนไตรท์-ไนโตรเจน

บ่อควบคุมที่ไม่เติมจุลินทรีย์ มีปริมาณไนไตรท์-ไนโตรเจนเฉลี่ยเท่ากับ 0.4642 ± 0.14 มิลลิกรัมต่อลิตร ส่วนบ่อทดลองที่เติมจุลินทรีย์ มีปริมาณไนไตรท์-ไนโตรเจนเฉลี่ยเท่ากับ 0.2447 ± 0.03 มิลลิกรัมต่อลิตร (ตารางที่ 6 และภาพที่ 35) ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) แต่เมื่อเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของปริมาณไนไตรท์-ไนโตรเจนของทั้งสองกลุ่มนั้นมีค่าแตกต่างกันพอสมควร ซึ่งผลการทดลองสอดคล้องกับการทดลองของจันทสิงห์ (2544)โดยผลการทดลองใช้ *Bacillus subtilis* และ *B. firmus* เติมลงในน้ำเลี้ยงกุ้งกุลาดำ จากการวิเคราะห์ค่าเฉลี่ยปริมาณไนไตรท์-ไนโตรเจนรวมตลอดระยะเวลาการเลี้ยงต่ำกว่าการทดลองที่ไม่เติมจุลินทรีย์ *Bacillus* sp. ส่วนพุทธ (2546) รายงานว่าปริมาณไนไตรท์-ไนโตรเจนในน้ำที่ระดับสูงกว่า 0.5 มิลลิกรมต่อลิตร มีผลทำให้กุ้งกินอาหารน้อยลง ปริมาณไนไตรท์ของกลุ่มควบคุมที่ไม่เติมจุลินทรีย์ อยู่ในระดับที่สูง แม้ว่าจะต่ำกว่าที่กำหนดไว้ 0.5 มิลลิกรัมต่อลิตร ซึ่งน่าจะมีผลกระทบต่อการกินอาหารและสุขภาพของกุ้งบ้าง

2.2.8 ความโปร่งแสงของน้ำ

บ่อควบคุมที่ไม่เติมจุลินทรีย์ มีความโปร่งแสงของน้ำเฉลี่ยเท่ากับ 21.15 ± 0.96 เซนติเมตร ส่วนบ่อทดลองที่เติมจุลินทรีย์ มีความโปร่งแสงของน้ำเฉลี่ยเท่ากับ 20.77 ± 1.17 เซนติเมตร (ตารางที่ 6 และภาพที่ 36) ความโปร่งแสงของน้ำของบ่อควบคุมและบ่อทดลอง ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) แต่ระดับความโปร่งแสงของทุกบ่อค่อนข้างต่ำ เนื่องจากตลอดระยะเวลาการเลี้ยงมีการเปลี่ยนถ่ายน้ำน้อยมาก ทำให้มีการสะสมของปริมาณของสารประกอบไนโตรเจนและฟอสฟอรัสจากอาหารเหลือของกุ้ง มีผลทำให้ปริมาณแพลงก์ตอนเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องจนน้ำมีสีเขียวเข้ม แพลงก์ตอนบางส่วนตายลอยอยู่ผิวหน้าน้ำ (ภาพที่ 39)ในช่วงท้ายของการเลี้ยง

2.2.9 ความเค็ม

บ่อควบคุมที่ไม่เติมจุลินทรีย์ มีความเค็มของน้ำเฉลี่ยเท่ากับ 3.31 ± 0.23 ส่วนในพันส่วน ในขณะที่บ่อทดลองที่เติมจุลินทรีย์ ความเค็มของน้ำเฉลี่ยเท่ากับ 4.02 ± 0.43 ส่วนในพันส่วน (ตารางที่ 6 และภาพที่ 37) ความเค็มของน้ำทั้งกลุ่มควบคุมและกลุ่มทดลอง ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) โดยความเค็มของน้ำค่อยๆ ลดลง ตามระยะเวลาการเลี้ยงจากปริมาณน้ำฝนในช่วงท้ายของการเลี้ยง

2.2.10 ความนำไฟฟ้าของน้ำ

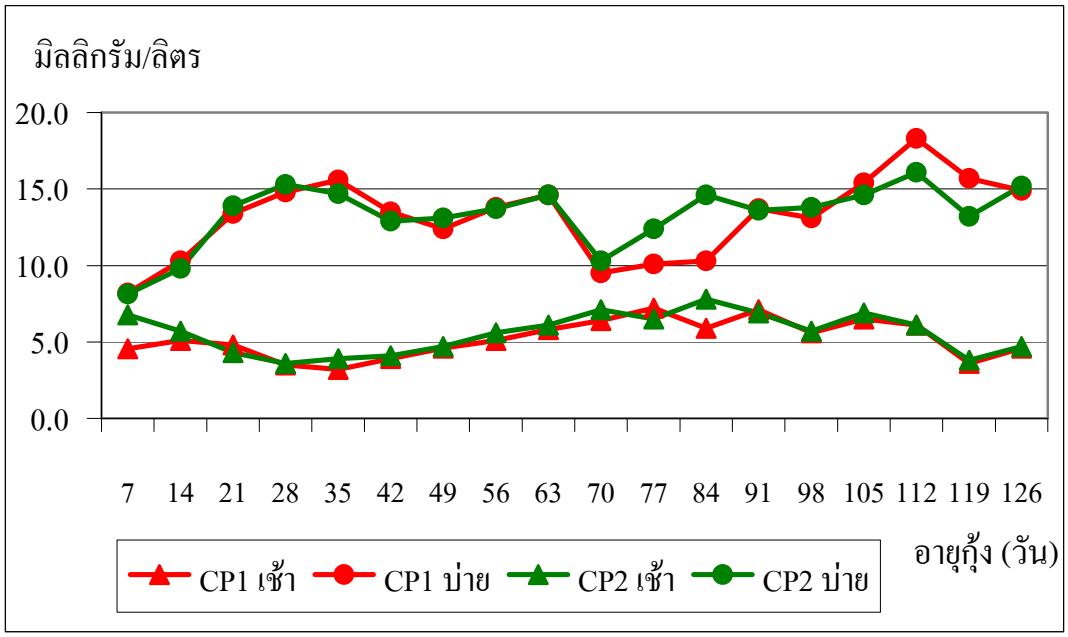
บ่อควบคุมที่ไม่เติมจุลินทรีย์ มีความนำไฟฟ้าของน้ำเฉลี่ยเท่ากับ 5.92 ± 0.22 mmhos./cm. ส่วนบ่อทดลองที่เติมจุลินทรีย์ มีความนำไฟฟ้าของน้ำเฉลี่ยเท่ากับ 7.15 ± 0.86 mmhos./cm. (ตารางที่ 6 และภาพที่ 38) ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) โดยค่าความนำไฟฟ้ามีแนวโน้วลดลงเรื่อยๆ เช่นเดียวกับความเค็มของน้ำ

ตารางที่ 6 คุณสมบัติของน้ำในบ่อเลี้ยงกุ้งกุลาดำของบ่อควบคุมที่ไม่เติมและบ่อทดลองที่เติมจุลินทรีย์กลุ่ม *Bacillus* sp.ในฟาร์มทดลองที่ 2

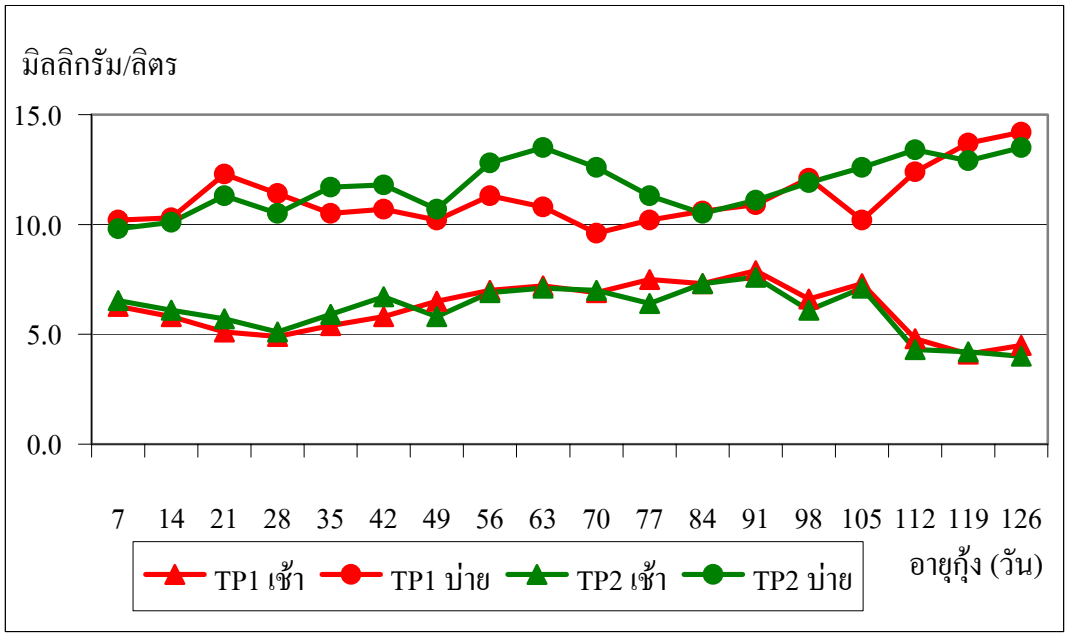
คุณสมบัติของน้ำ		ค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตราฐาน	
		บ่อควบคุม CP	บ่อทดลอง TP
ออกซิเจนละลายน้ำ	เช้า	5.40 ± 0.28 [a]	6.20 ± 0.00 [a]
(มิลลิกรัมต่อลิตร)	บ่าย	13.25 ± 0.07 [a]	11.50 ± 0.42 [a]
pH	เช้า	7.55 ± 0.07 [a]	7.65 ± 0.07 [a]
	บ่าย	8.05 ± 0.07 [a]	8.05 ± 0.07 [a]
อุณหภูมิ (°C)	เช้า	29.90 ± 0.00 [a]	30.55 ± 0.64 [a]
	บ่าย	32.25 ± 0.21 [a]	31.70 ± 0.85 [a]
ความเป็นด่าง	(มิลลิกรัมต่อลิตร)	116.59 ± 10.15 [a]	112.58 ± 8.29 [a]
ความกระด้าง	(มิลลิกรัมต่อลิตร)	1178.29 ± 183.91 [a]	1286.84 ± 236.48 [a]
แอมโมเนียรวม	(มิลลิกรัมต่อลิตร)	1.1274 ± 0.09 [a]	0.7516 ± 0.12 [a]
ไนไตรท์	(มิลลิกรัมต่อลิตร)	0.4642 ± 0.14 [a]	0.2447 ± 0.03 [a]
ความโปร่งแสง	(เซนติเมตร)	21.15 ± 0.96 [a]	20.77 ± 1.17 [a]
ความเค็ม	(ส่วนในพันส่วน)	3.31 ± 0.22 [a]	4.02 ± 0.43 [a]
ความนำไฟฟ้า	(mmhos/cm.)	5.93 ± 0.22 [a]	7.15 ± 0.86 [a]

หมายเหตุ ค่าเฉลี่ย±ค่าเบี่ยงเบนมาตราฐานในแนวนอนที่กำกับด้วยตัวอักษรที่แตกต่างกัน มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) โดยบ่อควบคุม CP ไม่เติมจุลินทรีย์ในระหว่างการเลี้ยง และบ่อทดลอง TP เติมจุลินทรีย์กลุ่ม *Bacillus* sp. ในระหว่างการเลี้ยง

ปริมาณออกซิเจนละลายในน้ำ

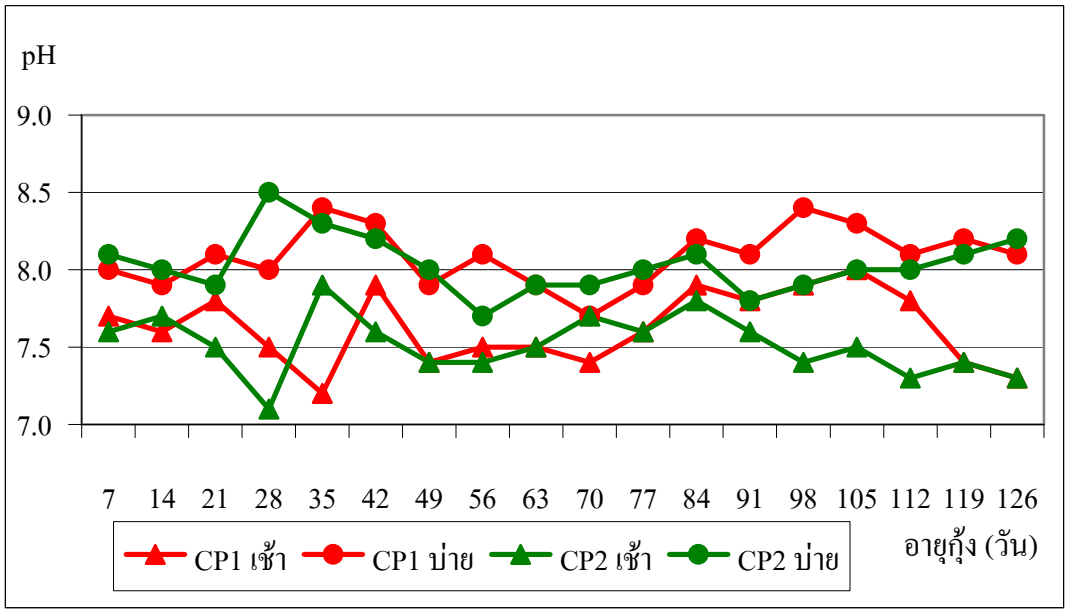


ภาพที่ 26 ค่าเฉลี่ยปริมาณออกซิเจนละลายในน้ำในบ่อควบคุมที่ไม่เติมจุลินทรีย์ (CP)

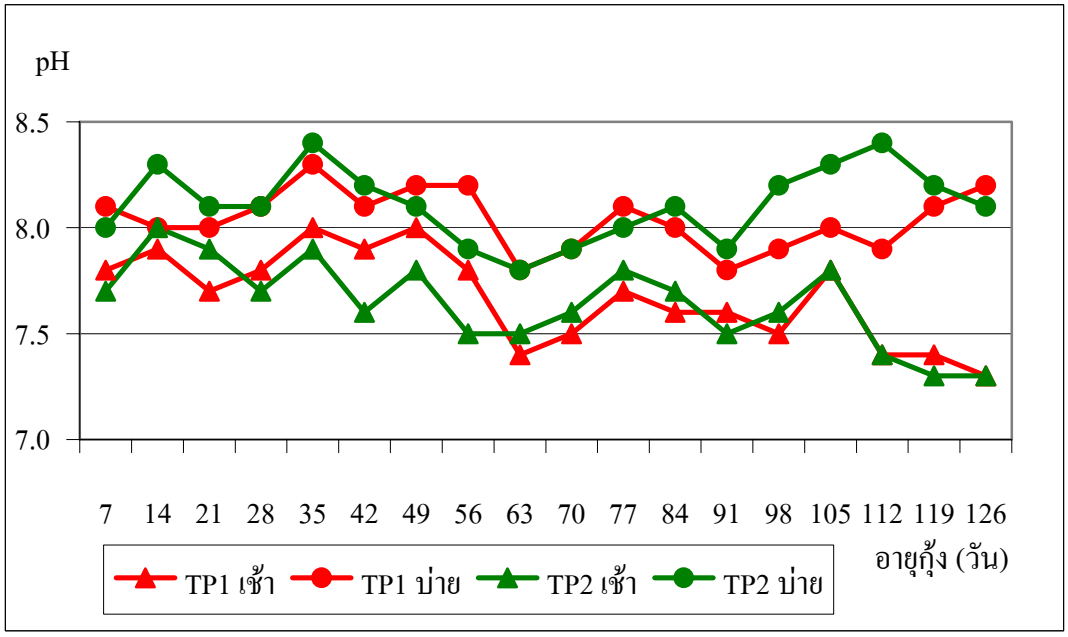


ภาพที่ 27 ค่าเฉลี่ยปริมาณออกซิเจนละลายในน้ำของบ่อทดลองที่เติมจุลินทรีย์ (TP)

pH

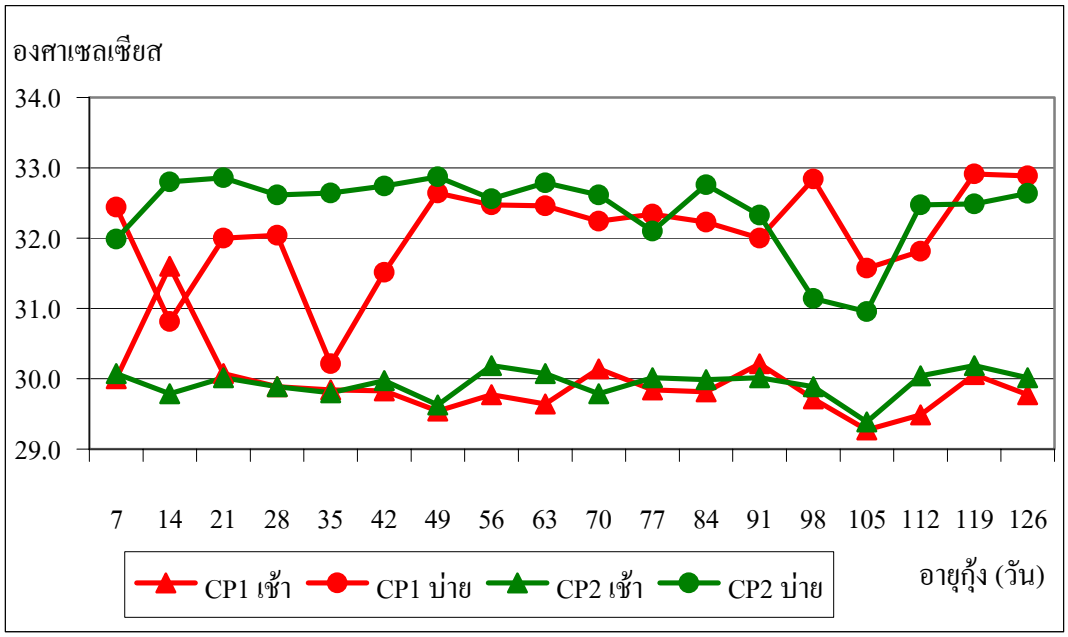


ภาพที่ 28 ค่าเฉลี่ย pH ของน้ำในบ่อควบคุมที่ไม่เติมจุลินทรีย์ (CP)

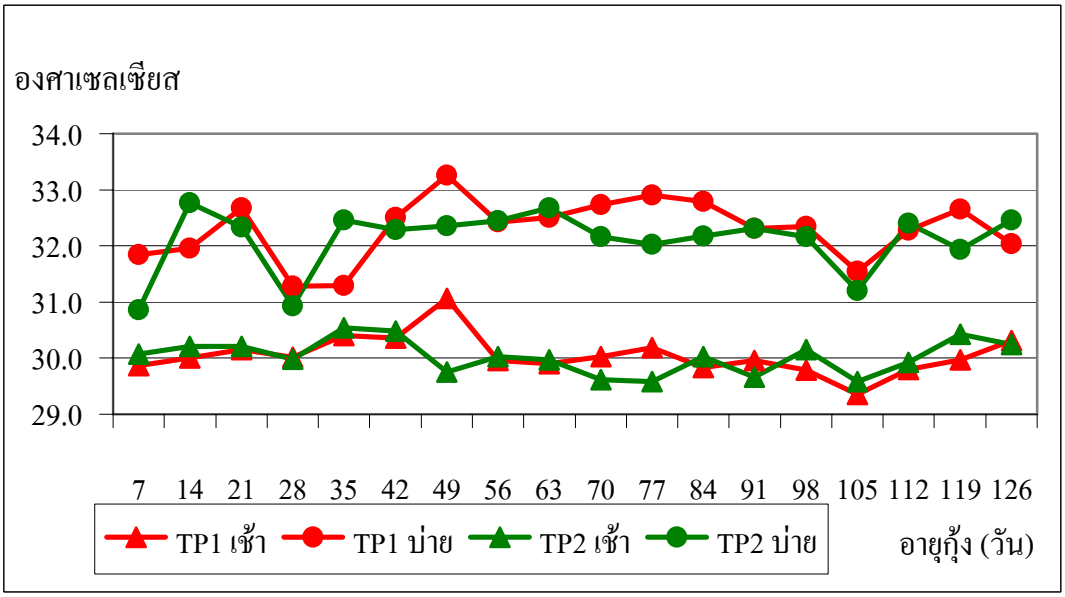


ภาพที่ 29 ค่าเฉลี่ย pH ของน้ำในบ่อทดลองที่เติมจุลินทรีย์ (TP)

อุณหภูมิ

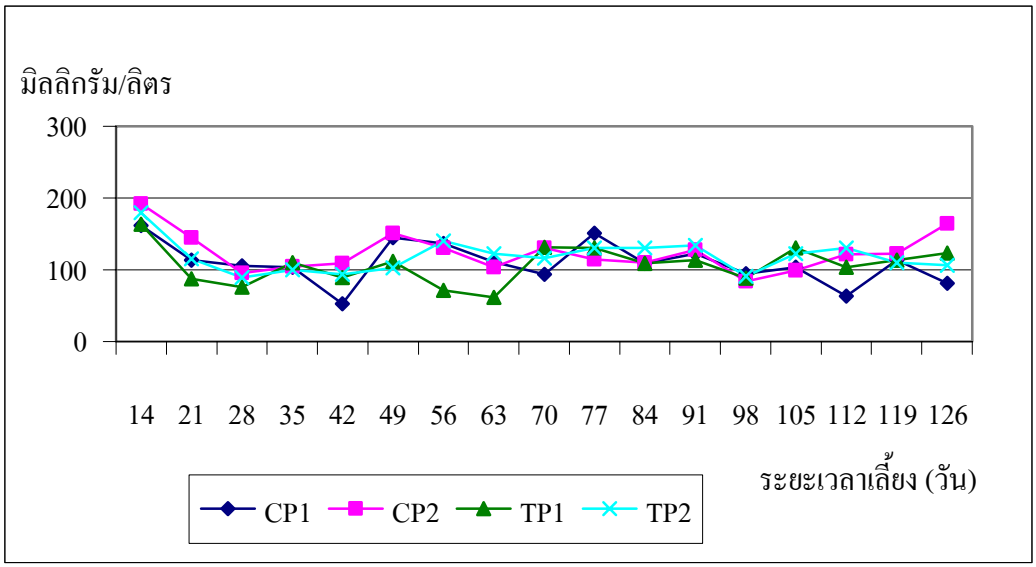


ภาพที่ 30 ค่าเฉลี่ยอุณหภูมิของน้ำในบ่อควบคุมที่ไม่เติมจุลินทรีย์ (CP)



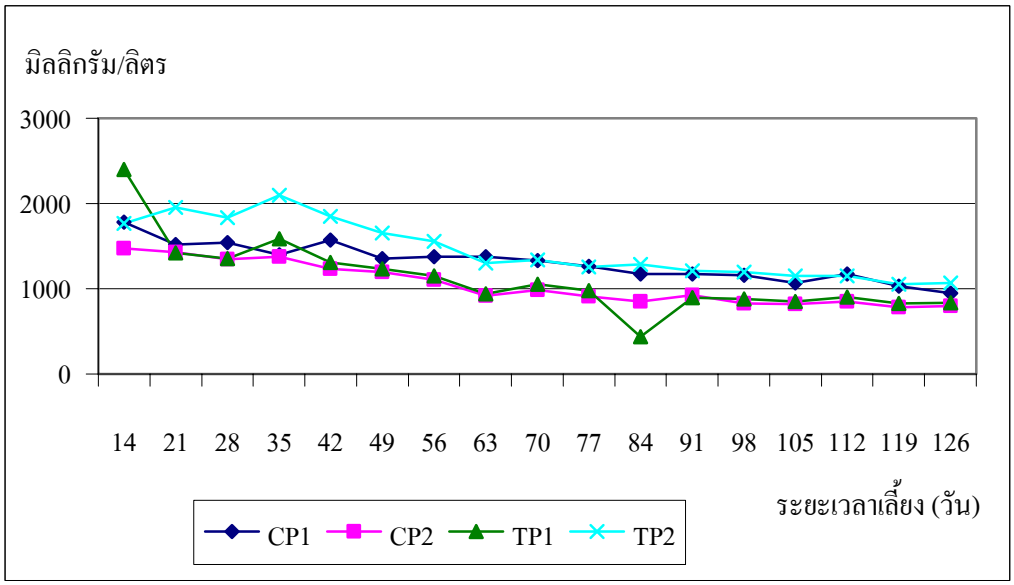
ภาพที่ 31 ค่าเฉลี่ยอุณหภูมิของน้ำในบ่อทดลองที่เติมจุลินทรีย์ (TP)

ความเป็นด่าง



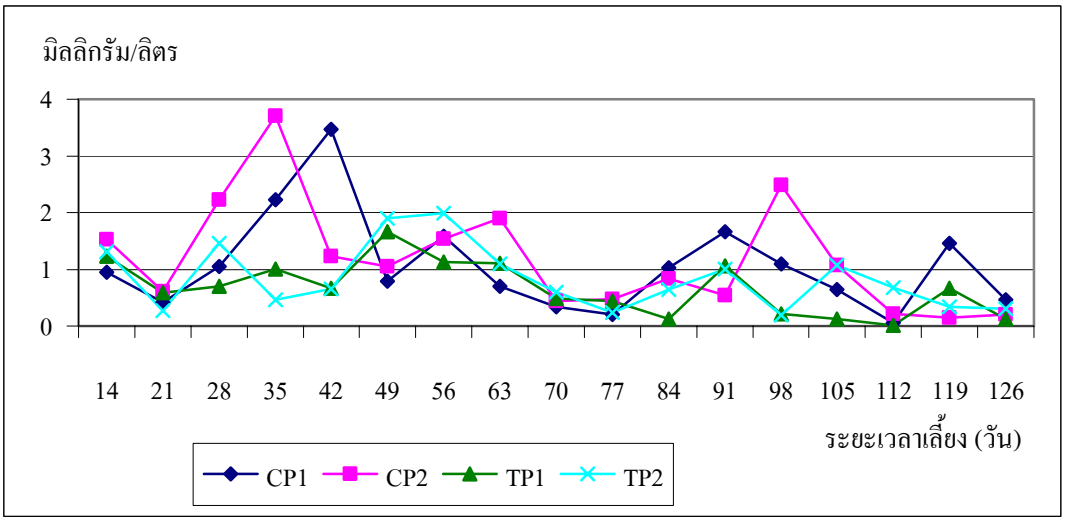
ภาพที่ 32 ค่าเฉลี่ยความเป็นด่างในบ่อที่ไม่เติมจุลินทรีย์(CP)และบ่อที่เติมจุลินทรีย์(TP)

ความกระด้าง



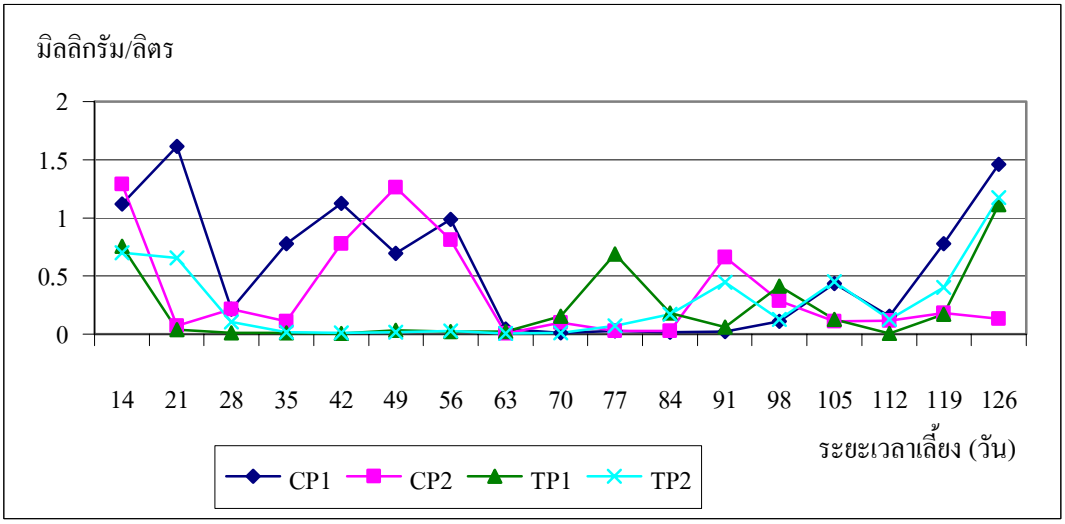
ภาพที่ 33 ค่าเฉลี่ยความกระด้างในบ่อที่ไม่เติมจุลินทรีย์(CP)และบ่อที่เติมจุลินทรีย์(TP)

ปริมาณแอมโมเนียรวม



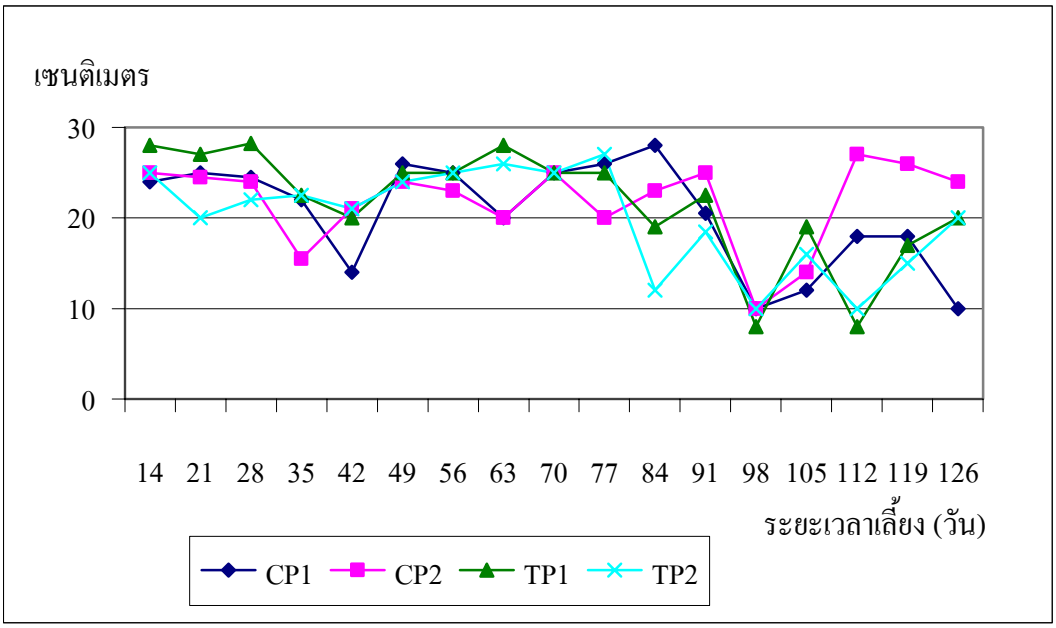
ภาพที่ 34 ค่าเฉลี่ยปริมาณแอมโมเนียรวมของน้ำในบ่อที่ไม่เติมจุลินทรีย์(CP)และบ่อที่เติมจุลินทรีย์(TP)

ปริมาณไนไตรท์-ไนโตรเจน



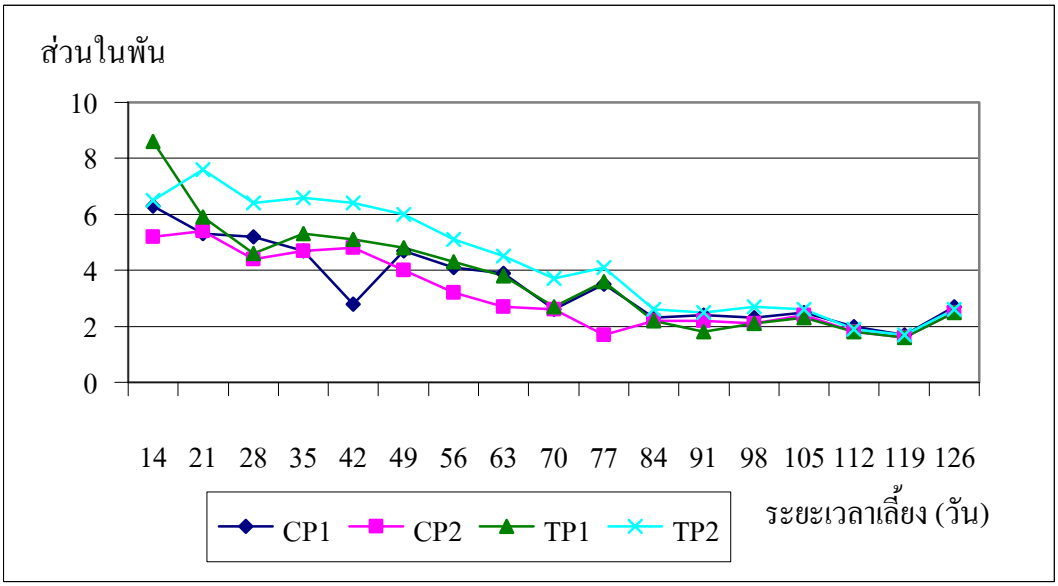
ภาพที่ 35 ค่าเฉลี่ยปริมาณไนไตรท์-ไนโตรเจนของน้ำในบ่อที่ไม่เติมจุลินทรีย์(CP)และบ่อที่เติมจุลินทรีย์(TP)

ความโปร่งแสง



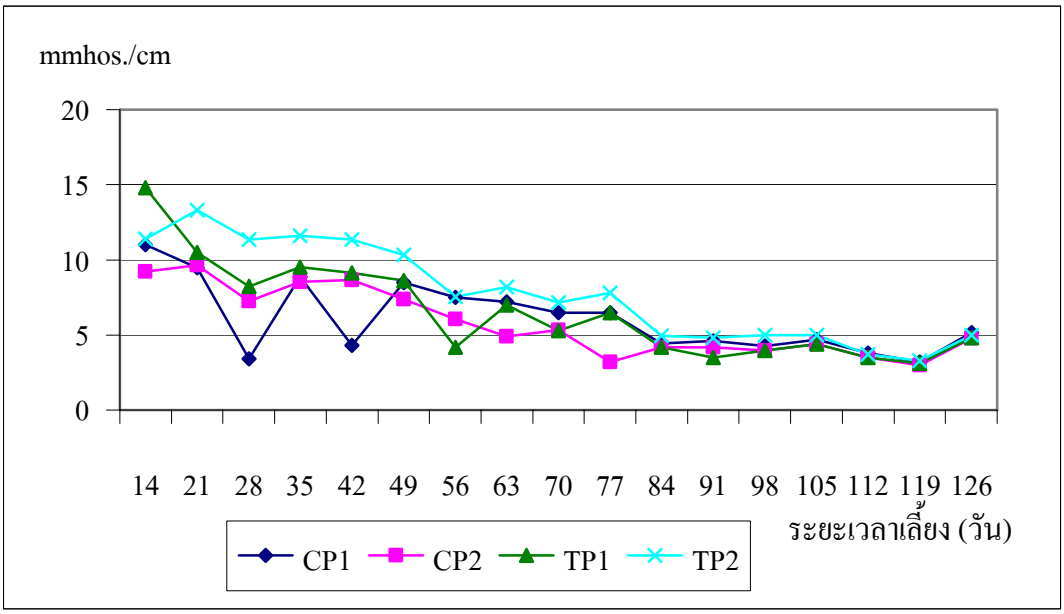
ภาพที่ 36 ค่าเฉลี่ยความโปร่งแสงในบ่อที่ไม่เติมจุลินทรีย์(CP)และบ่อที่เติมจุลินทรีย์(TP)

ความเค็ม



ภาพที่ 37 ค่าเฉลี่ยความเค็มในบ่อที่ไม่เติมจุลินทรีย์(CP)และบ่อที่เติมจุลินทรีย์(TP)

ความนำไฟฟ้าของน้ำ



ภาพที่ 38 ค่าเฉลี่ยความนำไฟฟ้าของน้ำในบ่อที่ไม่เติมจุลินทรีย์(CP)และบ่อที่เติมจุลินทรีย์(TP)

ภาพที่ 39 สีน้ำของบ่อควบคุมที่ไม่เติมจุลินทรีย์ในฟาร์มทดลองที่ 2 เมื่อกุ้งอายุประมาณ 98 วัน

3. <u>การศึกษาเปรียบเทียบต้นทุนและผลตอบแทนจากเลี้ยงจำหน่ายกุ้งกุลาดำระหว่างบ่อควบคุมที่เติมและไม่เติมจุลินทรีย์ในระหว่างการเลี้ยง</u>

3.1 ฟาร์มทดลองที่ 1

จากการศึกษาเปรียบเทียบต้นทุนและผลตอบแทนจากการเลี้ยงกุ้งกุลาดำตามปกติในบ่อควบคุม CD1 และ CD2 ที่ไม่เติมจุลินทรีย์ในระหว่างการเลี้ยงและบ่อทดลอง TD1 และ TD2 ที่เติมจุลินทรีย์ในระหว่างการเลี้ยง (ตารางที่ 7 และ 8) พบว่า บ่อที่เติมจุลินทรีย์ในระหว่างการเลี้ยงให้ผลตอบแทนดีกว่าบ่อที่ไม่เติมจุลินทรีย์ในระหว่างการเลี้ยง บ่อที่เติมจุลินทรีย์มีต้นทุนเฉลี่ย 83,085±1,025 บาทต่อไร่ รายได้เฉลี่ย 97,747±9,409 บาทต่อไร่ และกำไรสุทธิเฉลี่ย 14,662±10,435 บาทต่อไร่ ส่วนการเลี้ยงกุ้งกุลาดำที่ไม่เติมจุลินทรีย์ มีต้นทุนเฉลี่ย 80,367±2,447 บาทต่อไร่ รายได้เฉลี่ย 82,979±22,775 บาทต่อไร่ และกำไรสุทธิ เฉลี่ย 2,615±25,221 บาทต่อไร่ เนื่องจากจุลินทรีย์ที่เติมลงไปในบ่อเลี้ยงมีประสิทธิภาพในการย่อยสลายสารอินทรีย์ที่อยู่ตามพื้นบ่อได้ดี ทำให้การสะสมของสารอินทรีย์น้อยกว่าบ่อควบคุม ทำให้สภาพทั่วไปในบ่อดีกว่าบ่อที่ไม่ใช้จุลินทรีย์ กุ้งจึงมีอัตราการรอดตายที่สูงกว่าและมีอัตราการแลกเนื้อต่ำกว่า ถึงแม้การเลี้ยงกุ้งกุลาดำที่เติมจุลินทรีย์จะมีต้นทุนทั้งหมดสูงกว่าก็ตาม

3.2 ฟาร์มทดลองที่ 2

จากการศึกษาเปรียบเทียบต้นทุนและผลตอบแทนจากการเลี้ยงกุ้งกุลาดำในบ่อควบคุมที่ไม่เติมจุลินทรีย์ในระหว่างการเลี้ยงและบ่อทดลองที่เติมจุลินทรีย์ในระหว่างการเลี้ยง (ตารางที่ 9 และ 10) พบว่า บ่อที่เติมจุลินทรีย์ในระหว่างการเลี้ยงให้ผลตอบแทนดีกว่าการเลี้ยงกุ้งกุลาดำในบ่อที่ไม่เติมจุลินทรีย์ในระหว่างการเลี้ยง โดยการเลี้ยงกุ้งกุลาดำที่เติมจุลินทรีย์มีต้นทุนเฉลี่ย 89,929±2,190 บาทต่อไร่ รายได้เฉลี่ย 105,523±2,910 บาทต่อไร่ และกำไรสุทธิเฉลี่ย 15,594±720 บาทต่อไร่ ส่วนการเลี้ยงกุ้งกุลาดำที่ไม่เติมจุลินทรีย์ มีต้นทุนเฉลี่ย 93,564±154 บาทต่อไร่ รายได้เฉลี่ย 104,769±4,187 บาทต่อไร่ และกำไรสุทธิ เฉลี่ย 11,205±4,3411 บาทต่อไร่

เนื่องจากจุลินทรีย์กลุ่ม *Bacillus* sp. ที่เติมลงไปในบ่อเลี้ยงมีประสิทธิภาพในการย่อยสลายสารอินทรีย์ที่อยู่ตามพื้นบ่อได้ดี การสะสมของสารอินทรีย์จึงน้อยกว่า ซึ่งเป็นการปรับปรุงคุณภาพน้ำและพื้นบ่อให้ดีขึ้น กุ้งมีสุขภาพดี ถึงแม้จะเลี้ยงหนาแน่น (Gatesoupe, 1999) กุ้งจึงมีอัตราการรอดตายที่สูงกว่า ปริมาณผลผลิตสูงกว่า และมีอัตราการแลกเนื้อต่ำกว่าทำให้ได้ผลตอบแทนสูงกว่า

ตารางที่ 7 ต้นทุนและผลตอบแทนของบ่อควบคุมที่ไม่เติมและบ่อทดลองที่เติมจุลินทรีย์ *Bacillus* sp. ในการเลี้ยงกุ้งกุลาดำในฟาร์มทดลองที่ 1

รายการ	บ่อทดลอง	
	บ่อไม่เติมจุลินทรีย์(CD)	บ่อเติมจุลินทรีย์(TD)
1. ต้นทุน (บาท/ไร่)		
ค่าเช่าที่	2,500±0	2,500±0
ปรับปรุง	1,000±0	1,000±0
น้ำเค็ม	2,000±0	2,000±0
ลูกกุ้ง	5,333.33±0	5,333.33±0
อาหาร	37,050±1,060.66	37,750±494.97
ปูนและสารเคมี	3,633.33±306.41	3,666.66±94.28
ไฟฟ้าและน้ำมัน	14,333.34±471.41	13,833.34±235.70
แรงงาน	5,640±245.13	5,666.67±75.43
ซ่อมบำรุง	2,906.67±245.13	2,933.34±75.42
เบ็ดเตล็ด	1,666.67±0	1,666.67±0
EM	500±0	0
จุลินทรีย์	0	2,916.67±0
ดอกเบี้ย	3,803.34±117.85	3,818.33±49.50
ต้นทุนทั้งหมด(บาท/ไร่)	80,366.67±2,446.59	83,085±1,025.31
ต้นทุน(บาท/กก.)	134.27±27.13	113.32±1.51
2. รายรับ	82,979.17±22,774.73	97,746.67±9,409.24
3. กำไร	2,612.5±25,221.33	14,661.67±10,434.54

หมายเหตุ ราคาขาย

กุ้งเบอร์ 1	163	บาทต่อกิโลกรัม
กุ้งเบอร์ 2	127	บาทต่อกิโลกรัม
กุ้งเบอร์ 3	95	บาทต่อกิโลกรัม
กุ้งเบอร์ 4	81	บาทต่อกิโลกรัม
กุ้งนิ่ม	65	บาทต่อกิโลกรัม

ตารางที่ 8 เปรียบเทียบต้นทุนและผลตอบแทนของบ่อควบคุมที่ไม่เติมและบ่อทดลองที่เติมจุลินทรีย์กลุ่ม *Bacillus* sp.ในการเลี้ยงกุ้งกุลาดำในฟาร์มทดลองที่ 1

บ่อเลี้ยง	ต้นทุน(บาท/ไร่)	รายได้(บาท/ไร่)	กำไรสุทธิ(บาท/ไร่)
บ่อควบคุม(ไม่เติมจุลินทรีย์)			
CD1	78,636.67	99,083.33	20,446.67
CD2	82,096.67	66,875.00	-15,221.67
เฉลี่ย	80,366.67±2,446.59 [a]	82,979.17±22,774.73 [a]	2,612.5±25,221.33 [a]
บ่อทดลอง(เติมจุลินทรีย์)			
TD1	82,360.00	104,000.00	22,040.00
TD2	83,810.00	91,093.33	7,283.33
เฉลี่ย	83,085±1,025.31 [a]	97,746.67±9,409.24 [a]	14,661.67±10,434.54 [a]

หมายเหตุ ค่าเฉลี่ย±ค่าเบี่ยงเบนมาตราฐานในแนวตั้งที่กำกับด้วยตัวอักษรที่แตกต่างกัน มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

ตารางที่ 9 ต้นทุนและผลตอบแทนของบ่อควบคุมที่ไม่เติมและบ่อทดลองที่เติมจุลินทรีย์ *Bacillus* sp. ในการเลี้ยงกุ้งกุลาดำในฟาร์มทดลองที่ 2

รายการ	บ่อทดลอง	
	บ่อไม่เติมจุลินทรีย์(CP)	บ่อเติมจุลินทรีย์(TP)
1. ต้นทุน (บาท/ไร่)		
ปรับปรุงบ่อ	2,000±0	2,000±0
น้ำเค็ม	3,000±0	3,000±0
ลูกกุ้ง	6200±0	6,200±0
อาหาร	43,845±339.41	43,612.5±1,792.52
แรงงาน	7,291.5±54.45	7,308.5±82.73
ไฟฟ้า	18,825±106.07	18,975±106.07
ปูนและสารเคมี	1,700±70.71	1,500±0
EM	360±0	0
จุลินทรีย์	0	3,125±0
เบ็ดเตล็ด	4,165±134.35	4,207.5±208.60
ต้นทุนทั้งหมด(บาท/ไร่)	93,564±154.15	89,928.5±2,189.91
ต้นทุน(บาท/กก.)	56.185±1.93	69.73±6.34
2. รายรับ	104,768.5±4,186.78	105,522.5± 2,909.74
3. กำไร	11,204.5±4,340.93	15,594±719.83

หมายเหตุ ราคาขาย กุ้งเบอร์ 1 163 บาทต่อกิโลกรัม
กุ้งเบอร์ 2 127 บาทต่อกิโลกรัม
กุ้งเบอร์ 3 95 บาทต่อกิโลกรัม
กุ้งเบอร์ 4 81 บาทต่อกิโลกรัม
กุ้งนิ่ม 65 บาทต่อกิโลกรัม

ตารางที่ 10 เปรียบเทียบต้นทุนและผลตอบแทนของบ่อควบคุมที่ไม่เติมและบ่อทดลองที่เติมจุลินทรีย์กลุ่ม *Bacillus* sp.ในการเลี้ยงกุ้งกุลาดำในฟาร์มทดลองที่ 2

บ่อเลี้ยง	ต้นทุน(บาท/ไร่)	รายได้(บาท/ไร่)	กำไรสุทธิ(บาท/ไร่)
บ่อควบคุม(ไม่เติมจุลินทรีย์)			
CP1	93,455	107,729	14,274
CP2	93,673	101,808	8,135
เฉลี่ย	93,564±154.15 [a]	104,768.5±4,186.78 [a]	11,204.5±4,340.93 [a]
บ่อทดลอง(เติมจุลินทรีย์)			
TP1	91,477	107,580	16,103
TP2	88,380	103,465	15,085
เฉลี่ย	89,928.5±2,189.91 [a]	105,522.5± 2,909.74 [a]	15,594±719.83 [a]

หมายเหตุ ค่าเฉลี่ย±ค่าเบี่ยงเบนมาตราฐานในแนวตั้งที่กำกับด้วยตัวอักษรที่แตกต่างกัน มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

สรุปผล

1. กุ้งกุลาดำที่เลี้ยงในฟาร์มทดลองที่ 1 ในบ่อทดลองที่มีการเติมจุลินทรีย์กลุ่ม *Bacillus* sp. ให้ผลผลิตเฉลี่ย 733.34±18.86 กิโลกรัมต่อไร่ น้ำหนักเฉลี่ย 15.44±1.64 กรัมต่อตัว อัตราการรอดตาย 71.73±9.43 เปอร์เซ็นต์ อัตราการแลกเนื้อ 1.72±0.02 และอัตราการเจริญเติบโต 0.14±0.01 กรัมต่อวัน ในขณะที่บ่อควบคุมที่เลี้ยงโดยไม่เติมจุลินทรีย์ ให้ผลผลิตเฉลี่ย 609.17±104.89 กิโลกรัมต่อไร่ มีน้ำหนักเฉลี่ย 15.77±2.50 กรัมต่อตัว อัตราการรอดตาย 57.88±0.78 เปอร์เซ็นต์ อัตราการแลกเนื้อ 2.04±0.75 และอัตราการเจริญเติบโต 0.15±0.02 กรัมต่อวัน ไม่แตกต่างกันทางสถิติ

2. กุ้งกุลาดำที่เลี้ยงในฟาร์มทดลองที่ 2 ในบ่อทดลองที่มีการเติมจุลินทรีย์กลุ่ม *Bacillus* sp. ให้ผลผลิตเฉลี่ย 1,683.5±82.73 กิโลกรัมต่อไร่ น้ำหนักเฉลี่ย 12.03±0.537 กรัมต่อตัว อัตราการรอดตาย 83.28± 13.223 เปอร์เซ็นต์ อัตราการแลกเนื้อ 1.72± 0.014 และอัตราการเจริญเติบโต 0.11±0.007 กรัมต่อวัน ในขณะที่บ่อควบคุมที่เลี้ยงโดยไม่เติมจุลินทรีย์ ให้ผลผลิตเฉลี่ย 1,666.5±54.45 กิโลกรัมต่อไร่ น้ำหนักเฉลี่ย 13.91±0.113 กรัมต่อตัว มีอัตราการรอดตาย 77.95 ±1.846 เปอร์เซ็นต์ อัตราการแลกเนื้อ 1.75±0.070 และอัตราการเจริญเติบโต 0.11±0.002 กรัมต่อวัน ไม่แตกต่างกันทางสถิติ

3. คุณสมบัติของน้ำในบ่อทดลองที่เติมจุลินทรีย์กลุ่ม *Bacillus* sp. และบ่อควบคุมที่ไม่เติมจุลินทรีย์ในระหว่างการเลี้ยงในฟาร์มทดลองที่ 1 ส่วนใหญ่อยู่ในเกณฑ์ที่เหมาะสมต่อการเลี้ยงกุ้งกุลาดำ ยกเว้นความกระด้างของน้ำที่ต่ำกว่าเกณฑ์ที่เหมาะสมทั้งสองกลุ่มการทดลอง และบ่อที่เลี้ยงกุ้งกุลาดำโดยเติม จุลินทรีย์ในระหว่างการเลี้ยงนั้นมีปริมาณแอมโมเนียรวมและปริมาณไนไตรท์-ไนโตรเจนต่ำกว่าบ่อที่ไม่เติมจุลินทรีย์

4. คุณสมบัติของน้ำในบ่อทดลองที่เติมจุลินทรีย์กลุ่ม *Bacillus sp.* และบ่อควบคุมที่ไม่เติมจุลินทรีย์ในระหว่างการเลี้ยงในฟาร์มทดลองที่ 2 ส่วนใหญ่อยู่ในเกณฑ์ที่เหมาะสมต่อการเลี้ยงกุ้งกุลาดำ ยกเว้นปริมาณแอมโมเนียรวมและปริมาณไนไตรท์ไนโตรเจนของน้ำในบ่อควบคุมที่ไม่เติมจุลินทรีย์กลุ่ม *Bacillus* sp. ซึ่งมีค่าเฉลี่ยสูงกว่าบ่อทดลองที่เติมจุลินทรีย์กลุ่ม *Bacillus* sp. และสูงกว่าเกณฑ์ที่เหมาะสม

5. ต้นทุนและผลตอบแทนที่ได้รับจากการเลี้ยงกุ้งกุลาดำที่เติม จุลินทรีย์กลุ่ม *Bacillus sp.* และไม่เติมจุลินทรีย์ในระหว่างการเลี้ยงในฟาร์มทดลองที่ 1 พบว่า บ่อทดลองที่มีการเติมจุลินทรีย์ให้ผลตอบแทนที่ดีกว่าการเลี้ยงกุ้งกุลาดำที่ไม่เติมจุลินทรีย์ โดยบ่อทดลองที่เติมจุลินทรีย์มีต้นทุนทั้งหมด

เฉลี่ย 83,085±1,025 บาทต่อไร่ รายได้เฉลี่ย 97,747±9,409 บาทต่อไร่ และกำไรสุทธิเฉลี่ย 14,662±10,435 บาทต่อไร่ ส่วนบ่อควบคุมที่ไม่เติมจุลินทรีย์ มีต้นทุนเฉลี่ย 80,367±2,447 บาทต่อไร่ รายได้เฉลี่ย 82,979±22,775 บาทต่อไร่ และกำไรสุทธิ เฉลี่ย 2,615±25,221 บาทต่อไร่

6. ต้นทุนและผลตอบแทนที่ได้รับจากการเลี้ยงกุ้งกุลาดำที่เติมจุลินทรีย์กลุ่ม *Bacillus sp.* และไม่เติมจุลินทรีย์ในนระหว่างการเลี้ยงในฟาร์มทดลองที่ 2 พบว่า บ่อทดลองที่มีการเติมจุลินทรีย์ให้ผลตอบแทนที่ดีกว่าบ่อที่ไม่เติมจุลินทรีย์ โดยบ่อทดลองมีต้นทุนทั้งหมดเฉลี่ย 89,929 ±2,190 บาทต่อไร่ รายได้เฉลี่ย 105,523±2,910 บาทต่อไร่ และกำไรสุทธิเฉลี่ย 15,594±720 บาทต่อไร่ ส่วนการเลี้ยงกุ้งกุลาดำที่ไม่เติมจุลินทรีย์ มีต้นทุนเฉลี่ย 93,564±154 บาทต่อไร่ รายได้เฉลี่ย 104,769±4,187 บาทต่อไร่ และกำไรสุทธิ เฉลี่ย 11,205±4,342 บาทต่อไร่

ข้อเสนอแนะ

1. การเลี้ยงกุ้งกุลาดำ ควรให้ความสำคัญในการจัดการด้านการให้อาหารและการควบคุมคุณภาพน้ำที่ดี เพื่อป้องกันการสะสมของเสียที่พื้นบ่อ ซึ่งเป็นสาเหตุที่ทำให้ปริมาณแอมโมเนียและปริมาณไนไตรท์ในน้ำสูงขึ้น ส่วนการใช้จุลินทรีย์ในระหว่างการเลี้ยงเป็นอีกทางเลือกหนึ่งสำหรับเกษตรกรผู้เลี้ยงกุ้งที่ต้องการวิธีการเลี้ยงการจัดการ โดยไม่มีการใช้ยาต้านจุลชีพและสารเคมีในระหว่างการเลี้ยง

2. ควรมีการศึกษาปริมาณสารอินทรีย์ที่พื้นบ่อเลี้ยงกุ้งกุลาดำเป็นช่วงๆ ตลอดระยะเวลาการเลี้ยง ตั้งแต่เริ่มเลี้ยงจนกระทั่งจับกุ้ง เปรียบเทียบปริมาณสารอินทรีย์ที่พื้นบ่อระหว่างบ่อเลี้ยงกุ้งกุลาดำที่เติมจุลินทรีย์กลุ่ม *Bacillus* sp. และบ่อเลี้ยงที่ไม่เติมจุลินทรีย์ เพื่อยืนยันว่าจุลินทรีย์นั้นสามารถลดปริมาณสารอินทรีย์ ทำให้ปริมาณแอมโมเนียรวมและปริมาณไนไตรท์-ไนโตรเจนของน้ำลดลงได้จริง

3. ควรมีการศึกษาชนิดและปริมาณของจุลินทรีย์ที่พบในดินพื้นบ่อเลี้ยงกุ้งกุลาดำในบ่อที่เติมและไม่เติมจุลินทรีย์ เพื่อยืนยันว่า จุลินทรีย์กลุ่ม *Bacillus* sp. ที่พบมาจากการเติมลงไปหรือมีอยู่ตามธรรมชาติ

เอกสารและสิ่งอ้างอิง

กุลวรา แสงรุ่งเรือง. 2534. **การศึกษาปริมาณแบคทีเรียที่เปลี่ยนแปลงในบ่อกุ้งกุลาดำ.** เอกสารวิชาการ ฉบับที่ 14/34. ศูนย์ศึกษาการพัฒนาอ่าวคุ้งกระเบนกองเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำชายฝั่ง กรมประมง, กรุงเทพฯ.

จรัญ อรุณพันธุ์. 2540**. เพาะเลี้ยงกุ้งกุลาดำงานทำเงิน**, น. 25-29. ใน ศุภชัย นิลวานิช (ผู้รวบรวม). กุ้งกุลาดำทางเลือก-ทางรอด. สำนักพิมพ์มติชน, กรุงเทพฯ.

จันทสิงห์ ดวงบ้านเช่า. 2544. **การใช้แบคทีเรียเพื่อจัดการคุณภาพน้ำและปริมาณสารอินทรีย์ในตะกอนดินในการเลี้ยงกุ้งกุลาดำระบบปิด**. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท. จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

ชลิต โนระดี. 2535. **ผลของแบคทีเรียต่อการย่อยสลายสารอินทรีย์ในบ่อกุ้งกุลาดำที่มีพื้นเป็นดินเหนียว.** วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

ชลอ ลิ้มสุวรรณ. 2534. **คัมภีร์การเลี้ยงกุ้งกุลาดำ.** บริษัทฐานเศรษฐกิจ จำกัด, กรุงเทพฯ.

ชลอ ลิ้มสุวรรณ และพรเลิศ จันทร์รัชชกูล. 2547. **อุตสาหกรรมการเพาะเลี้ยงกุ้งในประเทศไทย**. บริษัท เมจิค พับบลิเคชั่น จำกัด. กรุงเทพฯ.

โชติ สหกิจรุ่งเรือง. 2533. **ผลของการใช้อาหารชนิดต่างๆที่มีต่อคุณสมบัติบางประการของน้ำและอัตราการรอดตายของลูกกุ้งกุลาดำ (*Penaeus monodon* Fabricius).** วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

ดีพร้อม ไชยวงศ์เกียรติ์. 2531. **ระบบน้ำและของเสียในบ่อกุ้ง.** ภาควิชาจุลชีววิทยา, คณะวิทยาศาสตร์, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

นงลักษณ์ สุวรรณพินิจ และปรีชา สุวรรณณพินิจ. 2535. **จุลชีววิทยาทั่วไป**. สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, กรุงเทพฯ. 735 น.

นิวุฒิ หวังชัย. 2534. **การสะสมและการสลายตัวของสารอินทรีย์ในดินพื้นบ่อกุ้งกุลาดำที่เลี้ยงแบบหนาแน่น.** วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

บรรจง เทียนส่งรัศมี. 2530. **การเพาะเลี้ยงกุ้ง.** สำนักพิมพ์อักษรเจริญทัศน์, กรุงเทพฯ.

ปณิตา โคกพระปรางค์. 2545. **การคัดเลือกแบคทีเรียเพื่อลดสารพิษในบ่อเลี้ยงกุ้งกุลาดำ**. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

พยุง ภัทรกุลชัย. 2532. **สมบัติดินและความต้องการปูนของดินในบริเวณนากุ้งและป่าชายเลนจังหวัดตราด**. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

พรรณิภา หาญวิวัฒนธนกิจ. 2532. **การวิเคราะห์การผลิตกุ้งกุลาดำในประเทศไทย.** เอกสารเศรษฐกิจการประมง 5/2532. กองนโยบายและแผนงาน, กรมประมง, กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, กรุงเทพฯ. 116 น.

เพิ่มพูน กีรติกสิกร. 2528. **เคมีของดิน.** คณะเกษตรศาสตร์, มหาวิทยาลัยขอนแก่น, ขอนแก่น. 249 น.

ภัทธิรา สวัสดิวร. 2529. **การศึกษาทางนิเวศวิทยาของกลุ่มแบคทีเรียทางเดินอาหารในนากุ้งที่จังหวัดสมุทรปราการ**. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, กรุงเทพฯ.

มะลิ บุญยรัตผลิน. 2531. **อาหารและการให้อาหารกุ้งกุลาดำ.** สถาบันประมงน้ำจืดแห่งชาติ, กรมประมง, กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, กรุงเทพฯ. 65 น.

ยงยุทธ ปรีดาลัมพะบุตร, เพิ่มศักดิ์ เพิงมาก, พุทธ ส่องแสงจินดา, ศุภโยค สุวรรณมณี และ วิชาญ ชูสุวรรณ. 2532. **การเปลี่ยนแปลงคุณภาพน้ำในบ่อเลี้ยงกุ้งกุลาดำแบบพัฒนา.** เอกสารวิชาการ ฉบับที่ 10/2532. สถาบันวิจัยการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำชายฝั่ง, กรมประมง, กระทรวงเกษตรและสหกรณ์. 20 น.

ยนต์ มุสิก. 2530. **คุณภาพน้ำและการจัดการคุณภาพน้ำในการเพาะเลี้ยงกุ้งทะเล.** รายงานการสัมมนา Shrimp Culture and Nutrition. กรุงเทพฯ. 43 น.

ยนต์ มุสิก, สุริยัน ธัญกิจจานุกิจ และพรพันธ์ ยุทธรักษานุกูล. 2531. **การเปลี่ยนแปลงปริมาณออกซิเจน อัตราการตกตะกอน คุณภาพน้ำ และคุณภาพดินในระบบการเลี้ยงกุ้งกุลาดำแบบหนาแน่น.** รายงานเสนอบริษัทกรุงเทพฯฟาร์มการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำจำกัด. 70 น.

ยนต์ มุสิก และพรพันธ์ ยุทธรักษานุกูล. 2534. **อัตราการตกตะกอน คุณสมบัติของตะกอนและดินพื้นบ่อในบ่อพักน้ำและบ่อเลี้ยง ในระบบการเลี้ยงกุ้งกุลาดำแบบหนาแน่นบริเวณก้นอ่าวไทย.** วารสารวิทยาศาสตร์การประมง 1(1) : 47-55.

ยนต์ มุสิก. 2539. **คุณภาพน้ำกับกำลังผลิตของบ่อปลา**. เอกสารประกอบการสอน วิชาเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ 551. ภาควิชาเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ, คณะประมง, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ. 168 น.

ลิลา เรืองแป้น. 2540. **ความรู้เกี่ยวกับแบคทีเรียและโรคกุ้ง**, น. 91-96. ใน ศุภชัย นิลวานิช (ผู้รวบรวม). กุ้งกุลาดำทางเลือก-ทางรอด. สำนักพิมพ์มติชน, กรุงเทพฯ.

ศุภชัย ประพัสศร. 2538. **แบคทีเรียในดินบ่อกุ้งกุลาดำและการดื้อยาของเชื้อ Vibrio spp. ต่อยาต้านจลชีพ**. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

สมาน กูจิ. 2538. **การศึกษาประสิทธิภาพของสารเคมีและแบคทีเรียที่ใช้ในการปรับปรุงคุณภาพน้ำในบ่อเลี้ยงกุ้งกุลาดำ**. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

สิทธิ บุญยรัตผลิน, วนัดดา คมเวช, พุทธ ส่องแสงจินดา, เจนจิตต์ คงกำเนิด วินัย กระจายวงศ์. 2532. **โรคกุ้งกุลาดำที่เลี้ยงในบ่อคอนกรีตกลม.** เอกสารวิชาการฉบับที่ 4/2532 สถาบันเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำชายฝั่ง จังหวัดสงขลา. กรมประมง, กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, กรุงเทพฯ. 17 น.

สมพร ธนวิริยกุล. 2535. **การคัดเลือกแบคทีเรียเฮตเทอโรโทรปจากธรรมชาติและความสามารถในการย่อยสลายอินทรีย์ในบ่อเลี้ยงกุ้ง.** วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

Alexander, M. 1999. Biodegradetion and Bioremediation, 2nd ed. Academic Press, San Diego.

APHA, AWWA and WEF. 1995. **Standard Methods for Examination of Water and Wastewater**. 20th ed. United Book Press, Maryland. 1,200 p.

Boyd , C.E. 1989. **Water Quality Management and Aeration in Shrimp Farming**. Fisheries And Allied Aquacultures Departmental Series No.2 Alabama Agricultural Experiment Station. Auburn University, Alabama. 82 p.

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

Burford, M.A. and K.C. Williams. 2001. The fate of nitrogenous waste from shrimp feeding. **Aquaculture** 198: 79-93.

Chen, H.C. 1985. Water Quality Criteria for Farming the Giant Shrimp, *Penaeus monodo*n. In Y. Taki, J.H. Primavera and J.A. Llobvera (ed). **Proceeding of the First International Conference on the Culture of Penaeid Prawn / Shrimp**. Aquaculture Department, SEAFDEC, Iloilo, Philippines. 165 p.

Colwell , R.R. and R.Y.Morita. 1974. **Effect of Ocean Environment on Microbial Activities**. University Park Press, Baltimore. 587 p.

Devaraja, T.N., M. Shariff and F.M. Yusoff. 2002. Changes in bacterial population in ponds treated with commercial microbial products. **Aquaculture** 206: 245-256.

Ehrlich , K.F. , M.C. Cantin and F.L. Horsfall III. 1989. Bioaugmentation : biotechnology for improved aquacultural production and environmental protection, pp. 329-341. In K. Murray (ed.). **Aquac. Eng.** No. III, U.K.

Gatesoupe, F.J. 1999. The use of probiotic in aquaculture. **Aquaculture** 180: 147-165.

Gomez-Gil, B.,A. Roque and J.F.Turnbull. 2000. The use and selection of probiotic bacteria for use in the culture of larval aquatic organism. **Aquaculture** 191: 259-270.

Hargreavas, J.A. 1998. Nitrogen biogeochemistry of aquaculture ponds. **Aquaculture** 166: 181-212.

Hartenstein , R. 1970. Nitrogen metabolism in non-insect arthropods. p. 103. *In* J.W. Cambell (ed.). **Comparative Biochemistry of Nitrogen Metabolisms**. Vol.1. Academic Press, New York.

Ivanova, E.P. ,V.V. Mikhailov and L.V. Andreev. 1992. Marine bacillas and some approaches to their identification. **MikroBiol. Zh.** 54(1): 27-33.

Korringa , P.1976. **Farming Marine Fishes and Shrimp**. A Multidisciplinary Treatise. Elssevier, Amsterdam. 208 p.

Le, Xuan Tuan, M. Yukihiro, Phan Thi Anh Dao, Quan Thi Quynh Dao. 2003. The environmental quality of shrimp ponds in mangrove areas. pp. 255-262. *In* Jim, S.Chung and S,Prinsenberg, eds. **Proceedings of the Thirteenth International Offshore and Polar Engineering Conferencde Honolulu**, HI, USA, May 25-30.

Lin, F. and Han, W. 2004. Reuse strategy of wastewater in prawn nursery by microbial remediation. **Aquaculture** 230: 281-296.

Moriarty, D.J.W. 1997. The role of microorganism in aquaculture ponds. **Aquaculture** 151: 333-349.

_____. 1998. Control of luminous *Vibrio* species in penaeid aquaculture ponds. **Aquaculture** 164: 351-358.

Nogami, K. and M. Maeda. 1992. Bacteria as biocontrol agents for rearing larvae of the crab *Portunus trituberculatus*. **Can. J. Fish. Aquat. Sci**. 49: 2373-2376.

Phillips , M.J. , C.K. Lin and M.C.M. Beveridge. 1990. Shrimp culture and the environment-lession from the world 's most rapidly expanding warmwater aquaculture sector , pp.34-41.In G.Rheinheimer (ed.). **Aquatic Microbiology**. ICLARM meeting, September, 1990. John Wiley and Sons, New York.

Prabhu, N.M., A.R. Nazar, S. Rajagopal and S.A. Khan. 1999. Use of probiotic in water Quality management during shrimp culture. **Aquac Trop**. 14(3): 227-236.

Queiroz, J.F. and C.E. Boyd. 1998. Effect of bacterial inoculum in channel catfish ponds. **J.World Aquac. Soc**. 29: 67-73.

Reay, D., B. David, J. Nedwell, J. Priddle and E.E. Cynan. 1987. Temperature dependence of inorganic nitrogen: reduced affinity for nitrate at suboptimal temperature in both algae and bacteria. **Appl. Environ. Microbiol.** 2,577-2,584.

Rengpipat, S., W. Phianphak, S. Piyatiratitivorakul and P.Menasveta. 1998. Effects of probiotic bacterium on black tiger shrimp *Penaeus monodon* survival and growth. **Aquaculture** 167: 301-313.

Shariff, M., F.M. Yusoff, T.N. Devaraja and P.S. Srinivasa Rao. 2001. The effectiveness of a commercial microbial product in poorly prepared tiger shrimp, *Penaeus monodon* Fabricius ponds. **Aquac. Res**. 32: 181-188.

Skjermo, J. and O. Vadstein. 1999. Techniques for microbial control in the intensive rearing of marine larvae**. Aquaculture** 177: 333-343.

Thomas, G.M., C.H., Ward, R.L., Raymond, J.T., Wilson, R.C. and Loehr. 1992. pp. 369-385. *In*: J. Leperberg, (Ed.). Bioremediation. **Encyclopedia of Microbiology, vol**. **1.** Academic Press, New York.

van Rijn, J., N. Fonarev and B. Berkowitz. 1995. Anaerobic treatment of fish culture effluents: digestion of fish feed and release of volatile fatty acids. **Aquaculture** 33: 9-20.

van Rijn, J. and A. Nussinovitch . 1997. An empirical model for predicting degradation of organic matter in fish culture systems based on short-term observations. **Aquaculture** 154: 173-179.

Wickens, J.F. 1985. Ammonia production and oxidation during the culture of marine prawn and lobsters in labolatoly recirculation systems . **Aquac. Eng**. 4 : 155-174.

Watanabe, K. 2001. Microorganism relevant to bioremediation. **Curr. Opin. Biotechnol**. 12: 237-241.

ภาคผนวก