บทนำ

การส่งออกกุ้งกุลาดำเป็นแหล่งนำเงินได้เข้าประเทศไทยอย่างมหาศาลในแต่ละปี ถึงแม้ว่าบางช่วงของการส่งออกกุ้งมีราคาตกต่ำ และการขยายตัวอย่างรวดเร็วของธุรกิจฟาร์มกุ้งในอดีตที่ผ่านมา ได้ก่อให้เกิดปัญหาสิ่งแวดล้อม โดยที่การทำฟาร์มกุ้งคือปัจจัยหนึ่งในการทำลายป่าชายเลน และยังมีผลกระทบต่อคุณภาพน้ำตลอดจนก่อให้เกิดมลพิษกับดิน (ดินเค็ม) ซึ่งมีสาเหตุมาจากการเพาะเลี้ยงที่ไม่ถูกวิธี การเลี้ยงกุ้งที่นิยมในปัจจุบันคือการเลี้ยงแบบพัฒนา เนื่องจากได้รับผลตอบแทนสูง การเพาะเลี้ยงระบบนี้ที่ผ่านมามีการใช้อาหาร ยา และสารเคมีเกินขนาด ดังนั้นหลังจากการเพาะเลี้ยงไปได้เพียง 3-4 รุ่น บ่อก็หมดสภาพและไม่สามารถใช้ในการเพาะเลี้ยงได้ต่อไป จึงต้องหาพื้นที่ใหม่ และทำให้ต้องบุกรุกป่าชายเลน ประเทศไทยมีพื้นที่การเลี้ยงกุ้งประมาณ 500,000 ไร่ ได้ผลผลิตกุ้งประมาณ 200,000 ตันต่อปี คิดเป็นมูลค่ากว่า 60,000 ล้านบาททำให้ประเทศไทยมีส่วนแบ่งการส่งออกกุ้งแช่แข็งมากที่สุดในโลก (กรมส่งเสริมการส่งออก, 2545)

รัฐบาลได้ตระหนักถึงปัญหาที่กล่าวมา ดังนั้นกรมประมงจึงมีประกาศสำหรับผู้ประกอบการเลี้ยงกุ้งกุลาดำแบบพัฒนา (ระบบปิด) จะต้องขออนุญาต และถ้าหากพื้นที่การเพาะเลี้ยงมากกว่า 50 ไร่ จะต้องมีบ่อบำบัดน้ำทิ้งประมาณร้อยละ 10 ของพื้นที่การเลี้ยงทั้งหมด และน้ำทิ้งที่ปล่อยออกจากบ่อเลี้ยงสู่แหล่งน้ำธรรมชาติต้องมีค่าบีโอดีไม่เกิน 10 มก/ล (คณิตและยงยุทธ 2537, ยงยุทธและคณิต 2537) นอกจากนี้ด้วยการเรียกร้องของกลุ่ม NGO (Non Government Organization) องค์การอนามัยโลก (WHO) จึงมีข้อกำหนดที่สำคัญสำหรับการทำฟาร์มกุ้งแบบยั่งยืนในส่วนที่เกี่ยวข้องกับสิ่งแวดล้อมคือ ต้องไม่ใช้สารเคมีหรือยาปฏิชีวนะในการเพาะเลี้ยง ไม่ก่อให้เกิดมลพิษแก่สิ่งแวดล้อมโดยปล่อยน้ำที่ไม่ได้ผ่านการบำบัดออกสู่สิ่งแวดล้อม (ข่าวสด 26/5/2540) ซึ่งข้อกำหนดเหล่านี้มีผลกระทบต่อธุรกิจการทำฟาร์มกุ้งกุลาดำของไทย

ด้วยเหตุผลดังกล่าวการหาแนวทางการแก้ไขปัญหาที่ประสบอยู่เป็นสิ่งจำเป็นเพื่อนำไปสู่การเพาะเลี้ยงแบบยั่งยืน ปัญหาหลักคือการปล่อยน้ำทิ้งและเลนจากบ่อเพาะเลี้ยงออกสู่สิ่งแวดล้อมก่อให้เกิดความเค็มและการเน่าเสียของแหล่งน้ำธรรมชาติ และปัญหาการเสื่อมสภาพของดินอันเนื่องมาจากดินเค็ม ที่ผ่านมาแนวทางที่มีการศึกษาและปฏิบัติกันบ้างเพื่อแก้ไขปัญหาดังกล่าวคือการบำบัดน้ำทิ้งซึ่งนิยมใช้กันมากมี 3 วิธี คือ การบำบัดน้ำทิ้งทางกายภาพ เช่น การตกตะกอนโดยการสร้างบ่อพักน้ำ การกรองน้ำเมื่อเกิดกระตกตะกอนจนคุณภาพน้ำดีขึ้นได้เกณฑ์มาตรฐานน้ำทิ้งก็สามารถปล่อยออกสู่แหล่งน้ำธรรมชาติได้ (Harrison, 1990) การบำบัดน้ำทิ้งทางเคมีด้วยการใช้ปูนขาว ฟอร์มาลิน คลอรีน เป็นต้น เพื่อปรับคุณภาพน้ำให้ดีขึ้น แต่การใช้ปูนขาวเป็นสาเหตุทำให้น้ำมีความกระด้างเพิ่มขึ้น (Boyd, 1990) และการบำบัดน้ำทิ้งทางชีวภาพ เช่น การใช้จุลินทรีย์ สาหร่าย หรือ ปลากินพืชตลอดจนการใช้หอยสองฝา (Macintosh and Phillips, 1992 ; ประทีป, 2543 และ ธนิษฐา, 2537)

ปัญหาที่มีสาเหตุมาจากบ่อเพาะเลี้ยงไม่เพียงแต่ความเค็มเท่านั้น แต่ยังเป็นแหล่งของสารอาหารที่เป็นของเสียจากการขับถ่ายรวมทั้งอาหารที่กุ้งกินไม่หมด ตลอดจนการตายของแพลงก์ตอน ซึ่งสิ่งเหล่านี้อยู่ในน้ำ และส่วนหนึ่งตกค้างอยู่บริเวณก้นบ่อ ถ้าทิ้งไว้พื้นบ่อจะมีสีดำ และเกิดกลิ่นเหม็นเป็นพิษต่อกุ้ง เพราะการเพาะเลี้ยงแบบพัฒนาเป็นการเพาะเลี้ยงแบบหนาแน่น มีการใช้อาหารสำเร็จรูปที่มีคุณภาพมีโปรตีนสูงถึง 40% หรือมากกว่านั้น และยังประกอบด้วยอาหารเสริมหลายชนิด (วัลลภ, 2534) ด้วยสาเหตุดังกล่าวจึงต้องมีการเปลี่ยนถ่ายน้ำเพื่อปรับคุณภาพน้ำระหว่างการเพาะเลี้ยงโดยต้องปล่อยน้ำทิ้งจากบ่อเพาะเลี้ยงเป็นระยะ และโดยเฉพาะเมื่อสิ้นสุดการเพาะเลี้ยงรวมถึงเลนจากบ่อเพาะเลี้ยงด้วย

มีงานวิจัยจำนวนมากทั้งในและต่างประเทศที่เสนอแนะแนวทางการปรับปรุงคุณภาพน้ำของบ่อเพาะเลี้ยงกุ้งแบบพัฒนาโดยเน้นการให้อาหารแต่พอเพียงในแต่ละครั้ง ตลอดจนจำนวนครั้งต่อวันเท่าที่จำเป็น และที่สำคัญคือเน้นการปรับปรุงคุณภาพอาหารที่ใช้เลี้ยงให้มีประสิทธิภาพในการนำไปใช้ได้สูงโดยกุ้ง (Ziemann et al 1992; Preston et al 2000 และสถาพร, 2545) เพราะพบว่าสารอินทรีย์ไนโตรเจนในรูปที่ละลายน้ำได้ (Dissolved organic nitrogen : DON) ที่มาจากอาหารถูกใช้ไม่หมด และถูกนำไปใช้ได้ต่ำโดยจุลินทรีย์ในบ่อเพาะเลี้ยง ดังนั้นทั้ง DON และสารขับถ่ายจากกุ้งเป็นปัจจัยหลักที่ส่งผลกระทบต่อคุณภาพน้ำของบ่อเพาะเลี้ยง และมีผลโดยตรงต่อการเจริญเติบโตของกุ้ง (Burford and Williams, 2001) และถ้าปล่อยออกสู่แหล่งน้ำธรรมชาติก็ก่อให้เกิดมลพิษทางน้ำตามที่กล่าวมาแล้ว แต่เนื่องด้วยสภาวะปัจจุบันยังไม่สามารถผลิตอาหารตามที่กล่าวมาได้ ดังนั้นแนวทางการจัดการคุณภาพน้ำจึงจำเป็นต้องใช้เชื้อจุลินทรีย์ที่มีราคาแพงจากการนำเข้า หรือการใช้จุลินทรีย์ในท้องถิ่น เช่น เชื้อ EM (Effective microorganisms) และหากการใช้เชื้อเหล่านี้ไม่สามารถช่วยได้ก็มีการสูบน้ำออกจากบ่อ และนำน้ำสะอาด ซึ่งอาจมาจากแหล่งน้ำธรรมชาติมาทดแทนน้ำที่สูบออกไป ซึ่งสิ่งเหล่านี้ทำให้ต้นทุนการเพาะเลี้ยงสูงขึ้น และอาจเพิ่มปัญหาสิ่งแวดล้อมเป็นพิษจากน้ำที่ปล่อยออกลงสู่แหล่งธรรมชาติโดยตรง นอกจากนี้ในบางครั้งอาจเกิดปัญหาในเรื่องการควบคุมคุณภาพน้ำไม่สามารถแก้ไขได้ทันก็จะทำให้กุ้งอ่อนแอ เกิดการติดเชื้อ ผลผลิตที่ได้ตกต่ำ

ดังนั้นเพื่อการผลิตกุ้งที่มีคุณภาพสูง ปลอดภัย และสร้างรายได้แก่ผู้เพาะเลี้ยงภายใต้วิธีการผลิตที่ไม่ก่อผลกระทบเชิงลบต่อสิ่งแวดล้อม (Environmental Friendly) ตามมาตรฐานสากล และแนวทางหนึ่งที่จะบรรลุวัตถุประสงค์ดังกล่าวคือการเข้าใจถึงระบบนิเวศวิทยาของบ่อเพาะเลี้ยง โดยเฉพาะระบบนิเวศวิทยาของจุลินทรีย์ที่มีผลต่อวัฏจักรไนโตรเจนทั้งในส่วนที่เป็นน้ำและพื้นบ่อ เพราะจุลินทรีย์เหล่านี้เป็นตัวควบคุมไนโตรเจนทั้งในรูปอินทรีย์และอนินทรีย์ ซึ่งจะเห็นได้จากชีวอินทรีย์ (กล้าเชื้อ) ที่นำมาใช้กับนากุ้ง ได้แก่ แบคทีเรียที่มีบทบาทหลักคือพวกที่ลดปริมาณของ NH_4^+ และ NO_2^- แล้วเกิดเป็น NO_3^- (Nitrifying bacteria) การที่มี NO_3^- ปริมาณสูงในน้ำไม่เป็นพิษต่อกุ้งเหมือนเช่น NH_4^+ แต่ถ้าปล่อยสู่แหล่งน้ำธรรมชาติย่อมก่อให้เกิดปัญหาสิ่งแวดล้อม ดังนั้นงานวิจัยที่จะศึกษานี้จะได้มาซึ่งข้อมูลพื้นฐานที่จะนำมาสู่การการจัดการคุณภาพน้ำในนากุ้งโดยอาศัยการ

ควบคุมสมดุลของจุลินทรีย์ที่มีบทบาทในวัฏจักรไนโตรเจน ตลอดจนการปรับสภาวะส่งเสริมจุลินทรีย์ประจำถิ่นที่มีอยู่ให้ทำงานได้ดีขึ้นลดการใช้ชีวอินทรีย์ หรือถ้าหากจำเป็นต้องใช้ในบางกรณี ผู้เพาะเลี้ยงกุ้งก็ควรมีแนวทางการเลือกที่จะใช้จุลินทรีย์จากบ่อเพาะเลี้ยงของตัวเองได้ (ผลการวิจัยส่วนหนึ่งที่ได้จะนำไปสู่การได้มาซึ่งจุลินทรีย์ที่มีประสิทธิภาพสูง) และแนวทางที่ผู้เพาะเลี้ยงสามารถเก็บเชื้อไว้ได้เอง เหมือนการต่อเชื้อ EM ซึ่งปฏิบัติกันอยู่ แต่สำหรับการเก็บจุลินทรีย์เพื่อใช้กับนากุ้งต้องการเทคนิคที่เฉพาะซึ่งจะศึกษาต่อไปในอนาคต

เพื่อที่จะแก้ไขปัญหาที่กล่าวมาการทราบถึงแบคทีเรียที่เกี่ยวข้องกับวัฏจักรไนโตรเจนย่อมเป็นแนวทางนำไปสู่การจัดการเพื่อปรับสภาพน้ำ และเลนในบ่อเพาะเลี้ยง มีงานวิจัยจำนวนมากที่ศึกษาเกี่ยวกับแบคทีเรียที่มีบทบาทในวัฏจักรไนโตรเจนของบ่อเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ แต่จะเป็นในลักษณะที่ศึกษาเพียงบางส่วนเช่นส่วนของ ammonification หรือ nitrification หรือ denitrification และส่วนใหญ่จะศึกษาเฉพาะในส่วนที่เป็นน้ำ มีเพียงเล็กน้อยที่ศึกษาส่วนของพื้นบ่อ (Hargreaves, 1998) ด้วยเหตุนี้จึงขาดความเข้าใจถึงการเชื่อมหรือสัมพันธ์กันของแบคทีเรียของวัฏจักรไนโตรเจนในส่วนที่เป็นน้ำ และเลน ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงมุ่งเน้นที่จะศึกษาบทบาทของแบคทีเรียในวัฏจักรไนโตรเจนแบบครบวงจร โดยศึกษาทั้งส่วนที่เป็นน้ำ และเลน เพื่อจะได้แนวทางมาวางแผนจัดการกับบ่อเพาะเลี้ยงเพื่อลดปัญหาการเปลี่ยนถ่ายน้ำออกจากบ่อเพาะเลี้ยง และการปรับสภาพน้ำทิ้งและเลนเมื่อสิ้นสุดการเพาะเลี้ยงให้เกิดการเวียนใช้ลดปัญหาการปล่อยออกสู่สิ่งแวดล้อม และต้นทุนการเพาะเลี้ยงที่ต่ำลง

วัตถุประสงค์

1. ติดตามพารามิเตอร์ที่มีผลต่อคุณภาพน้ำสำหรับการทำนากุ้งแบบพัฒนา
2. ศึกษาบทบาทของแบคทีเรียต่อการหมุนเวียนของธาตุไนโตรเจน
3. หารูปแบบที่เหมาะสม (ข้อมูลจาก 1 และ 2) เพื่อควบคุมคุณภาพน้ำให้เหมาะสมต่อการทำนากุ้งแบบยั่งยืน
4. เสนอแนะแนวทางการบำบัดน้ำทิ้งและตะกอนเลนจากนากุ้งเพื่อการเวียนใช้

อุปกรณ์และวิธีการทดลอง

1. ข้อมูลทั่วไปเกี่ยวกับฟาร์มเลี้ยงกุ้งกุลาดำแบบพัฒนา

การศึกษาวิจัยใช้ฟาร์มกุ้งกุลาดำของคุณ สนอง บุญแก่นทอง ที่ตั้งของฟาร์ม บ้านปรัง ต. ท่ากำชำ อ. หนองจิก จ. ปัตตานี

สภาพบ่อ

เป็นดินทราย ขนาดบ่อ 45x112x1.30 ม. (6,552 $ม^3$) หรือประมาณ 3.5 ไร่ บ่อที่เลี้ยงนี้เป็นบ่อเช่า ซึ่งเป็นบ่อเก่าอายุประมาณ 10 ปี น้ำที่ใช้ในการเลี้ยงกุ้งสูบจากคลองธรรมชาติที่อยู่ใกล้ ๆ บ่อ และมีบ่อพักน้ำ ได้เก็บตัวอย่างนำมาวิเคราะห์พบว่ามีไนเตรทอยู่ 0.5 มก/ล แต่ไม่พบไนไตรท์ และมีฟอสฟอรัส 0.4 มก/ล

คุณภาพน้ำเริ่มต้นก่อนการปล่อยกุ้ง

การเลี้ยงกุ้งกุลาดำใช้น้ำกร่อยจากแหล่งน้ำธรรมชาติ ซึ่งอยู่ใกล้ฟาร์มกุ้งโดยต้องมีการเตรียมน้ำ กักน้ำก่อนการใช้ในบ่อพักน้ำ และบ่อเลี้ยงจะต้องมีการปรับสภาพน้ำโดยการสูบน้ำผ่านถุงอวนมุ้งเพื่อกรองขยะและสัตว์น้ำที่มีขนาดใหญ่ กำจัดขยะและสัตว์น้ำอื่น ๆ โดยใช้กากชา ในอัตราส่วน 25 กก/ไร่ หลังจากใส่กากชา 1 สัปดาห์ น้ำค่อนข้างใส เตรียมสีน้ำโดยใช้ไดโลไมล์และมูลไก่เพื่อเร่งการเจริญเติบโตของแพลงก์ตอนพืช (กรมส่งเสริมประมง , 2531) และผลการตรวจวิเคราะห์ความเป็นกรด-ด่าง (pH) และความเค็มพบว่าความเป็นกรด-ด่าง มีค่าเท่ากับ 7.09 ค่าความเป็นด่าง 85 มก/ล และ ความเค็ม 28 พีพีที (ppt)

การปล่อยกุ้ง

ปล่อยกุ้งขนาด P 16 ซึ่งซื้อมาจากจังหวัดสตูล โดยปล่อยประมาณสามแสนตัว เมื่อเช้าตรู่ วันที่ 15 กุมภาพันธ์ 2546 ความหนาแน่น 46 ตัว/$ม^2$

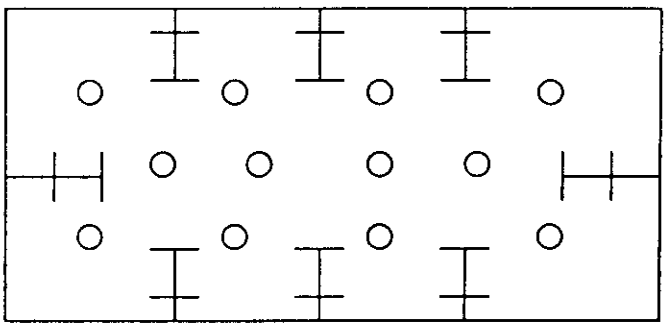
อาหาร

เริ่มแรกให้อาหารสด เช่น หอย ปลาทูต้ม บดให้ละเอียดผสมกับรำละเอียด เมื่อลูกกุ้งโตขึ้นใช้อาหาร CP ตามขนาดของลูกกุ้ง วันละ 3 ครั้ง แต่ในช่วงแรกให้บ่อยตามคำแนะนำของกรมประมง

การจัดการบ่อเลี้ยง

มีเครื่องตีน้ำ ขนาด 2 แรงม้า จำนวน 8 เครื่อง เปิดเครื่องตีน้ำตลอดจะปิดเฉพาะเวลาก่อนให้อาหารประมาณ 15 นาที แล้วให้อาหารจากนั้นหยุดประมาณ 2 ชม มีการพักเครื่องตีน้ำสลับกันไปเรื่อย (ดังรูปที่ 1) เจ้าของฟาร์มไม่มีการวัดคุณภาพน้ำขณะเพาะเลี้ยง แต่มีการเติมน้ำเมื่อพบว่าน้ำในบ่อเลี้ยงลดลงประมาณ 15-20 ซม. ก็เติมรักษาระดับน้ำให้เท่าเดิมตลอดจนสังเกตสีน้ำในบ่อเลี้ยงและไม่มีนักวิชาการประจำบ่อเลี้ยง แต่อาศัยประสบการณ์ของเจ้าของฟาร์ม ไม่มีการเติมเกลือจุลินทรีย์ที่จำหน่ายเป็นการค้า แต่เติมน้ำหมักจากกล้วยที่ผลิตขึ้นเองโดยเชื่อว่าทำให้กุ้งแข็งแรง

ระยะเวลาเริ่มต้นเลี้ยงจนสิ้นสุด คือ 105 วัน โดยจับกุ้งวันที่ 31 พฤษภาคม 2546 ซึ่งในช่วงเวลาดังกล่าวเป็นฤดูแล้ง ฝนตกน้อยมาก



หมายเหตุ

: ใบพัด

○ : จุดเก็บตัวอย่าง

รูปที่ 1 แสดงตำแหน่งที่สุ่มเก็บตัวอย่างและดินเลนที่ก้นบ่อของการเพาะเลี้ยงกุ้งกุลาดำแบบพัฒนา

2. การเก็บตัวอย่างดินเลนและน้ำ

เก็บแบบสุ่มจากจุดต่าง ๆ ของบ่อรวม 12 จุด แล้วนำมารวมเป็น 1 ตัวอย่าง ใช้ขวดปราศจากเชื้อขนาด 250 มล เก็บลึกประมาณ 60 ซม จากผิวน้ำ เก็บตัวอย่างเลนจากบริเวณที่เก็บตัวอย่างน้ำ ใช้ขวดปราศจากเชื้อขนาดเล็ก 125 มล. เก็บที่ผิวดินและลึกลงไปประมาณ 5-10 ซม. แช่ในกล่องน้ำแข็ง และเมื่อถึงห้องปฏิบัติการ นำตัวอย่างน้ำจาก 12 จุด มาเทรวมกันในฟลาสก์ปราศจากเชื้อขนาด 5 ลิตร แล้วแบ่งเก็บไว้วิเคราะห์ทางเคมีและจุลชีววิทยา การแบ่งตัวอย่างใส่ขวดถ้าเป็นทางจุลชีววิทยาขวดแก้วต้องฆ่าเชื้อ ส่วนเก็บวิเคราะห์ทางเคมีก็ต้องล้างไม่ให้มีสารฟอสเฟต พร้อมเขียนฉลากติดเรียบร้อย การวิเคราะห์ทางเคมีเก็บรักษาไว้ในตู้เย็น 4 องศาเซลเซียส เพื่อรอการวิเคราะห์ ส่วนการวิเคราะห์ทางจุลชีววิทยา ต้องพยายามวิเคราะห์ทันทีที่ถึงห้องปฏิบัติการและให้เร็วที่สุด (ภายใน 6 ชั่วโมง) ส่วนตัวอย่างเลนปฏิบัติเช่นเดียวกับตัวอย่างน้ำ

3. พารามิเตอร์ที่วิเคราะห์สำหรับตัวอย่างน้ำ

3.1 พารามิเตอร์ที่วัดที่บ่อกุ้งเพื่อให้ได้ค่าที่ใกล้เคียงกับสภาพเป็นจริงมากที่สุดได้แก่

อุณหภูมิ โดยใช้ Thermometer

ความเค็ม โดยใช้ Salinometer

ความขุ่น โดย วัดในรูปการโปร่งแสงของน้ำ (Secchi disk)

การเจริญของกุ้ง โดยชั่งน้ำหนักด้วยเครื่องชั่ง (Max. 500 กรัม) และวัดความยาวโดยใช้ไม้บรรทัด โดยวัดครั้งละ 30 ตัว จากนั้นคำนวณหาค่าอัตราการเจริญของกุ้งจากสูตร

$$G = (W_t/W_0) \times (100/t)$$

G = อัตราการเจริญเติบโตของกุ้งต่อวันคิดเป็นเปอร์เซ็นต์

W_t = น้ำหนักหรือความยาวสุดท้าย

W_0= น้ำหนักหรือความยาวเริ่มต้น

T = ระยะเวลาที่เลี้ยงกุ้ง

3.2 พารามิเตอร์ที่วิเคราะห์ในห้องปฏิบัติการ

ความเป็นกรด-ด่าง	โดย pH meter
ค่าออกซิเจนที่ละลายในน้ำ (DO)	โดย Azide Modification Method (APHA, AWWA , WPCF, 1998)
ค่าบีโอดีที่ 5 วัน (BOD)	โดย Azide Modification Method (APHA, AWWA , WPCF, 1998)
แอมโมเนีย	โดย Phenolhypochlorite Method (Strickland and Parson, 1972)
ไนไตรท์	โดย Sulfonilamide (Strickland and Parson, 1972)
ไนเตรท	โดย Erucine Method (Strickland and Parson, 1972)
ฟอสฟอรัส	โดย Ascobic Acid Method (Strickland and Parson, 1972)

4. พารามิเตอร์ที่วิเคราะห์สำหรับตัวอย่างเลน

ความเป็นกรด –ด่าง	โดย pH meter จาก 1:1 Soil : water Extract
การนำไฟฟ้า (Electrical conductivity: EC)	โดย Glass Electrode จาก 1:5 Soil: water Extract
ปริมาณสารอินทรีย์วัตถุ (Organic matter: OM)	โดย Titration (Walkley and Black, 1960)
แอมโมเนีย	โดย Phenolhypochlorite Method (Strickland and Parson, 1972)
ไนไตรท์	โดย Sulfonilamide (Strickland and Parson, 1972)
ไนเตรท	โดย Erucine Method (Strickland and Parson, 1972)
คาร์บอน	โดย ISO/IEC Guide 22 CHN-900/CHNS-932
ไนโตรเจน	โดย ISO/IEC Guide 22 CHN-900/CHNS-932

5. วิเคราะห์ทางจุลชีววิทยา

โดยตรวจทั้งในตัวอย่างน้ำและตัวอย่างเลนเพื่อหาปริมาณของแบคทีเรียในแต่ละกลุ่มที่มีบทบาทในวัฏจักรไนโตรเจน และแยกเชื้อจากกลุ่มต่างๆที่กล่าวมา ยกเว้นแบคทีเรียทั้งหมด (Total bacterial Count)

แบคทีเรียทั้งหมด) ตรวจและนับจำนวนโดยวิธี pour plate ด้วยอาหาร Standard plate count agar (SPCA)

แบคทีเรียที่ย่อยโปรตีน (Proteolyitc bacteria) ตรวจและนับจำนวนโดยวิธี pour plate ด้วยอาหาร Beef-peptone agar

แบคทีเรียที่ทำให้เกิดแอมโมเนีย (ammonification) ตรวจและนับจำนวนโดยวิธี MPN ใช้อาหาร Peptone broth ทดสอบการเกิดแอมโมเนียโดยวิธี Nessler's reagent

แบคทีเรียที่ทำให้เกิดไนไตรท์ (NO_2^-) ขั้นแรกของ nitrification ตรวจและนับจำนวนโดยวิธี MPN ใช้อาหาร Nitrite-formation medium ทดสอบการเกิดไนไตรท์โดยใช้ Sulfanilic acid และ α-Napthylamine

แบคทีเรียที่ทำให้เกิดไนเตรท (NO_3^-) ขั้นตอนหลังของ nitrification ตรวจและนับจำนวนโดยวิธี MPN ใช้อาหาร Nitrate-formation medium ทดสอบการเกิดไนเตรทโดยใช้ Diphenylamine

แบคทีเรียที่ทำให้เกิด N_2 (Denitrification) ตรวจและนับจำนวนโดยวิธี MPN ใช้อาหาร Nitrate broth ทดสอบการเกิดแก๊สโดยใช้หลอดดักแก๊สใส่ลงในหลอดอาหารเลี้ยงเชื้อ

แบคทีเรียพวก Azotobacteraceae (Aerobe) ทดสอบและนับจำนวนโดยโดยวิธี pour plate ใช้ nitrogen-free medium

วิธี MPN ที่ใช้จะใช้แบบ 4 หลอด และอาหารแต่ละชนิดที่ใช้ในการทดลองใช้น้ำทะเลที่บ่อพักแทนน้ำกลั่นทุกชุดการทดลอง รายละเอียดของสูตรอาหารและวิธีการทดสอบตามวิธีการที่บรรยายใน Rodina, 1972 และ Seeley *et al.* (1991)

6. วิเคราะห์ทางสถิติ

ข้อมูลของพารามิเตอร์ต่างที่ได้จากการวิเคราะห์ตามที่กล่าวมาใช้เป็นข้อมูลดิบเพื่อการวิเคราะห์หาความสัมพันธ์ของพารามิเตอร์ต่างๆของน้ำและดินเลนในบ่อเลี้ยงกุ้งที่มีผลต่อการเจริญเติบโตของกุ้งโดยใช้สถิติ Stepwise regression analysis ของ SPSS

ผลการทดลอง

การศึกษาปริมาณและการแยกแบคทีเรียกลุ่มต่างๆในวัฏจักรไนโตรเจนจากตัวอย่างดินเลน และน้ำบ่อกุ้งกุลาดำแบบพัฒนา ได้รับความอนุเคราะห์จากฟาร์มของคุณสนอง บุญแก่นทอง ตั้งอยู่ที่ตำบลท่ากำชำ อำเภอหนองจิก จังหวัดปัตตานี โดยบ่อมีขนาด 112x45x1.30 (6,552 ลบ.ม.) อายุบ่อประมาณ 10 ปี ในการเลี้ยงกุ้งให้อากาศด้วยเครื่องตีน้ำเพื่อเพิ่มการหมุนเวียนของน้ำ ในช่วงเริ่มต้นของการศึกษา ปล่อยกุ้งขนาด P 16 ในความหนาแน่น 46 ตัว/ม^2 เลี้ยงกุ้งโดยมีการถ่ายน้ำหมุนเวียนเมื่อมีปริมาณน้ำลดลงประมาณ 15-20 ซม. ซึ่งวัดจากปริมาณน้ำจากขอบบ่อ และใช้เวลาเลี้ยงกุ้ง 105 วัน ได้ผลผลิตทั้งหมด 709 กก/บ่อ

1. คุณภาพดินบ่อกุ้งกุลาดำก่อนการเลี้ยง

เก็บตัวอย่างดินเลนที่บ่อกุ้งและส่งตรวจวิเคราะห์ดินที่กรมพัฒนาที่ดินเขต 12 อ.พะวง จ. สงขลา ลักษณะดินทางกายภาพพบว่า พบว่าดินชุดนี้เป็นดินชุดดินต้นไทร ลักษณะเนื้อดินบนเป็นดินร่วนปนทราย ดินร่วนเหนียวปนทราย ดินร่วนเหนียว หรือ ดินร่วนเหนียวปนทรายแห้ง สีเทาเข้มมาก หรือ สีเทา หรือ เทาอ่อน เมื่อวิเคราะห์ทางเคมี (ดังตารางที่ 1) พบว่า พีเอชของดิน เท่ากับ 5.12 ปริมาณสารอินทรีย์ในดิน เท่ากับ 0.74 มก/กก ค่าการนำไฟฟ้าในดินเท่ากับ 2.84 มิลลิซีเมนต่อเซนติเมตร ซึ่งมาจากการละลายของเกลือแร่ในดินเช่น โพแทสเซียม แคลเซียมและ แมกนีเซียม จากการวิเคราะห์พบว่าโพแทสเซียม แคลเซียมและแมกนีเซียม มีค่าเท่ากับ 14.67 , 5.02 และ 3.65 มก/กก ตามลำดับ และปริมาณฟอสฟอรัสในดินบ่อกุ้ง เท่ากับ 39.30 มก/กก

ตารางที่ 1 ลักษณะดินบ่อกุ้งกุลาดำก่อนการเลี้ยง

ตัวอย่าง	pH	OM*	P	K	Ca	Mg	EC
	1:1	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	ms/cm
ดินบ่อกุ้ง	5.12	0.74	39.30	14.67	5.02	3.65	2.84

OM = สารอินทรีย์

2. คุณภาพน้ำบ่อกุ้งขณะเลี้ยง

2.1 ลักษณะทางเคมีกายภาพ

เก็บตัวอย่างน้ำทั้งหมด 12 จุด ซึ่งสุ่มจากจุดต่าง ๆ ในบ่อดังรูปที่ 1 แล้วนำมาผสมรวมกัน โดยสุ่มเก็บทุก ๆ 2 สัปดาห์ หรือเว้นแต่จะระบุไว้ จนเสร็จสิ้นการเลี้ยง ข้อมูลคุณภาพน้ำทางเคมีกายภาพ แสดงในตารางที่ 2

ตารางที่ 2 คุณภาพทางเคมี-กายภาพของน้ำบ่อเลี้ยงกุ้งกุลาดำแบบพัฒนา

วัน เดือน ปี	อายุการเลี้ยง วัน	สีของน้ำ	อุณหภูมิ ^{o}C	โปร่งแสง cm	ความเค็ม ppt
15 กพ 2546	0	+++*	29	60	28
1 มีค 2546	14	+++	28	60	28
15 มีค 2546	28	+++	30	60	31
29 มีค 2546	42	++	31	60	30
19 เมย 2546	63**	++	32	60	28
16 พค 2546	88	++	30	60	28
31 พค 2546	105	++	30	60	29

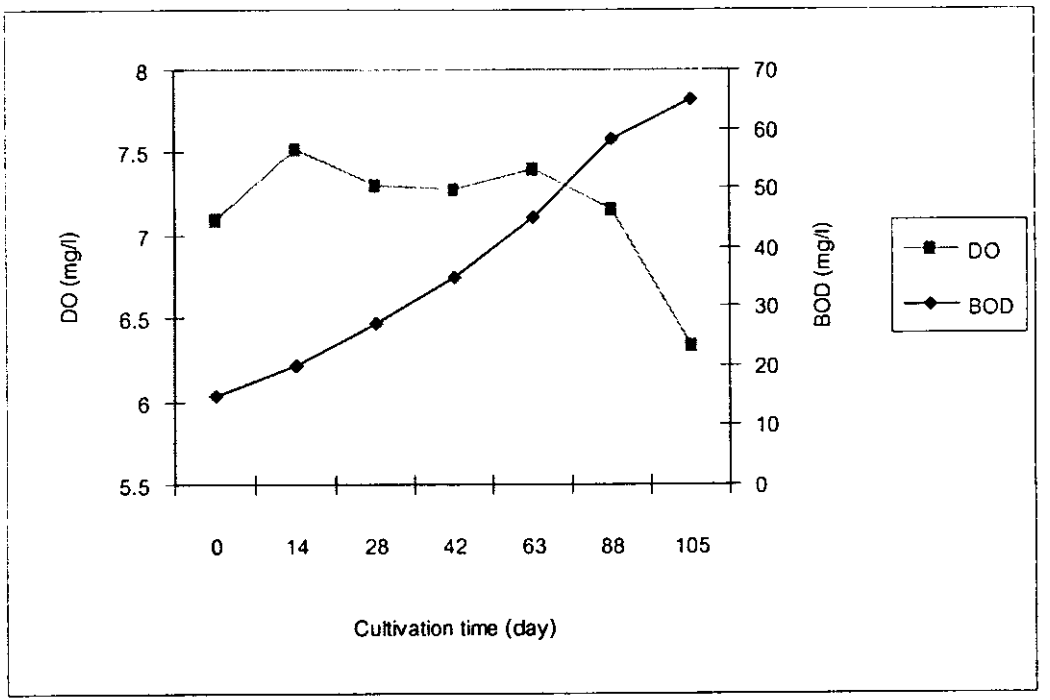
*สีเขียวปนเทา

**ฝนตก

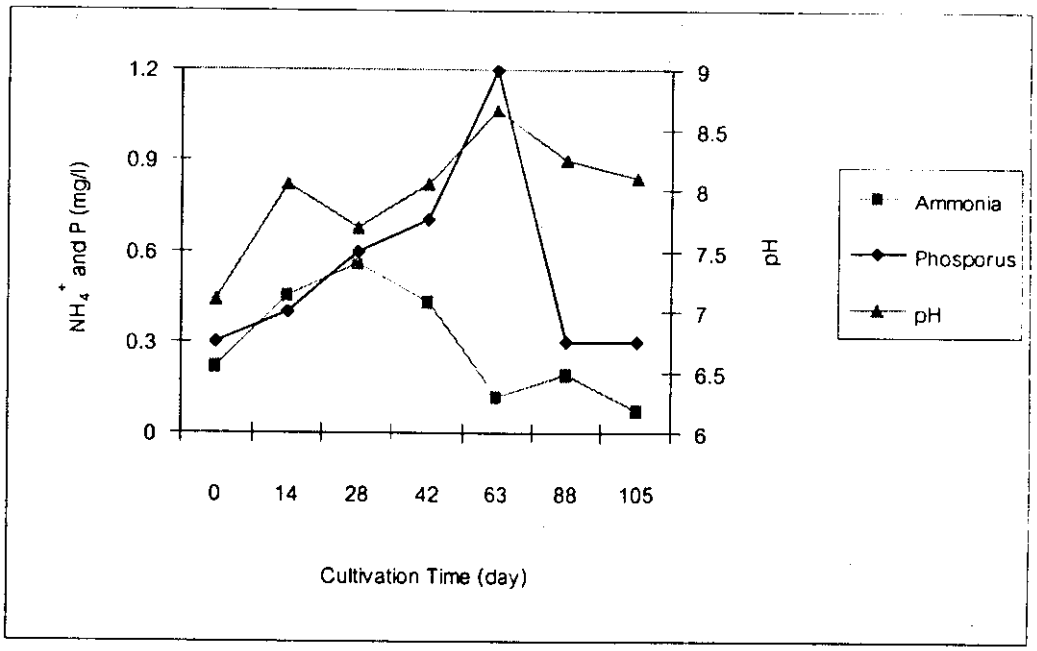
สีของน้ำลักษณะเป็นสีเขียวปนเทา ซึ่งมาจากการเตรียมสีน้ำให้เอื้อต่อการเจริญเติบโตของแพลงก์ตอนในน้ำ ซึ่งเป็นส่วนหนึ่งของอาหารในธรรมชาติให้กับกุ้งกุลาดำ และสีของน้ำอยู่ในระดับเดิมเป็นเวลา 28 วัน แต่หลังจากนั้นสีของน้ำลดลงเล็กน้อย และอยู่ในระดับนี้จนสิ้นสุดการเลี้ยง อุณหภูมิของน้ำ มีค่าอยู่ในช่วง 28-32 องศาเซลเซียส ซึ่งมีค่าเป็นไปตามฤดูกาล ส่วนค่าโปร่งแสงของน้ำในบ่อเลี้ยงกุ้งกุลาดำมีค่า 60 เซนติเมตร ซึ่งคงที่ตลอดการเลี้ยง ค่าความเค็ม ในบ่อเลี้ยงกุ้งกุลาดำที่ศึกษาอยู่ในช่วง 28-31 ppt ซึ่งมีความเค็มสอดคล้องกับอุณหภูมิของน้ำ คืออุณหภูมิสูงน้ำระเหยจากบ่อมากขึ้นทำให้มีความเค็มเพิ่มขึ้น ยกเว้นเมื่อมีฝนตก (ตารางที่ 2)

ปริมาณออกซิเจนที่ละลายน้ำ (DO) พบว่าไม่มีค่าต่ำจนถึงระดับวิกฤต โดยมีค่าอยู่ในช่วง 6.33-7.52 มก/ล (รูปที่ 2) แม้ว่าระยะใกล้สิ้นสุดการเลี้ยงมีการลดลงตลอด บ่อที่ศึกษานี้มีการติดตั้งเครื่องตีน้ำและเปิดเกือบตลอดเวลา โดยปิดเฉพาะช่วงก่อนให้อาหารและให้อาหารรวมแล้วประมาณ 2-2.5 ชั่วโมงเท่านั้น ค่าปริมาณความต้องการออกซิเจนในการย่อยสลายอินทรีย์วัตถุโดยแบคทีเรีย (BOD) มีค่าอยู่ในช่วง 15-65 มก/ล ซึ่งมีค่าสูงขึ้นตามอายุการเลี้ยง (รูปที่ 2) และสอดคล้องกับค่า DO ที่ลดลงเมื่อสิ้นสุดการเลี้ยงโดยมีค่า 6.33 มก/ล ขณะที่ค่า BOD 65 มก/ล ส่วนค่า pH อยู่ในช่วง 7.09-8.67 โดยมีการเปลี่ยนแปลงในลักษณะขึ้นลงดังรูปที่ 3 โดยปริมาณ pH ลดลงมากเป็น 7.69 เมื่ออายุการเลี้ยงกุ้งได้ 28 วัน และขึ้นสูงสุดเป็น 8.67 เมื่อเลี้ยงได้ 63 วัน ขณะที่แอมโมเนียในน้ำของบ่อกุ้งอยู่ในช่วง 0.07-0.56 มก./ล (รูปที่ 3) ขณะที่ปริมาณไนไตรท์ จากการศึกษาครั้งนี้พบว่ามีค่าอยู่ในช่วง 0-0.01 มก/ล ซึ่งปริมาณ 0.01มก/ล พบตั้งแต่เริ่มต้นการเลี้ยง จนกุ้งอายุได้ 42 วัน หลังจากนั้นจนสิ้นสุดการเลี้ยงตรวจไม่พบ และ ปริมาณไนเตรทอยู่ในช่วง 0-0.20 มก/ล โดยตรวจพบ 0.20 มก/ล

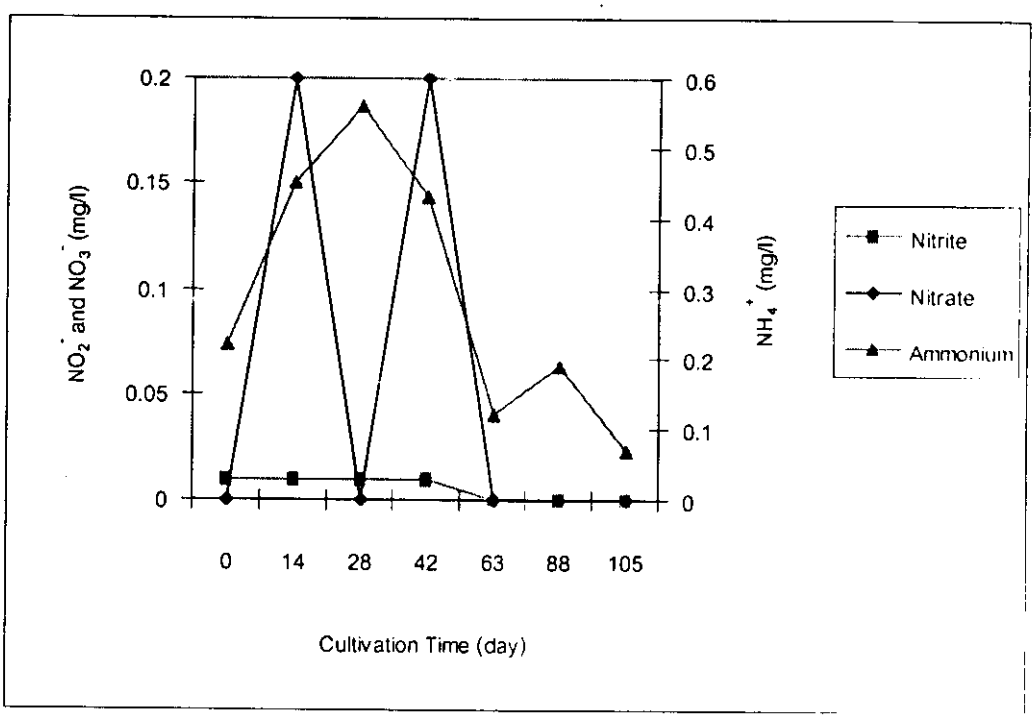
เมื่ออายุการเลี้ยงกุ้งที่ 14 วัน และ 42 วัน ตามลำดับ (รูปที่ 4) และฟอสฟอรัส จากการทดลองครั้งนี้ พบว่าอยู่ในช่วง 0.30-1.20 มก/ล (รูปที่ 3) โดยปริมาณสูงสุดตรวจพบเมื่ออายุการเลี้ยงกุ้งได้ 63 วัน



รูปที่ 2 ความสัมพันธ์ของ DO และ BOD ในน้ำบ่อเพาะเลี้ยงกุ้งกุลาดำแบบพัฒนา



รูปที่ 3 ปริมาณของอนุมูลแอมโมเนียมและฟอสฟอรัส และค่า pH ในน้ำบ่อเพาะเลี้ยงกุ้งกุลาดำแบบพัฒนา

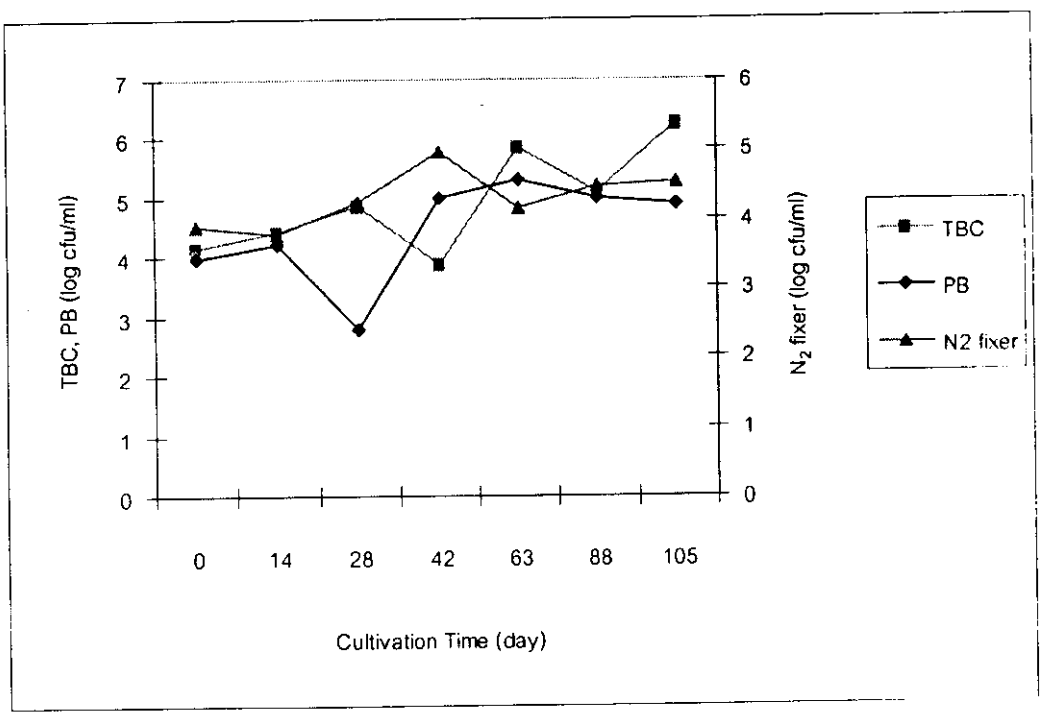


รูปที่ 4 ปริมาณของอนุมูลแอมโมเนียม ไนไตรท์และ ไนเตรท ในน้ำบ่อเพาะเลี้ยงกุ้งกุลาดำแบบพัฒนา

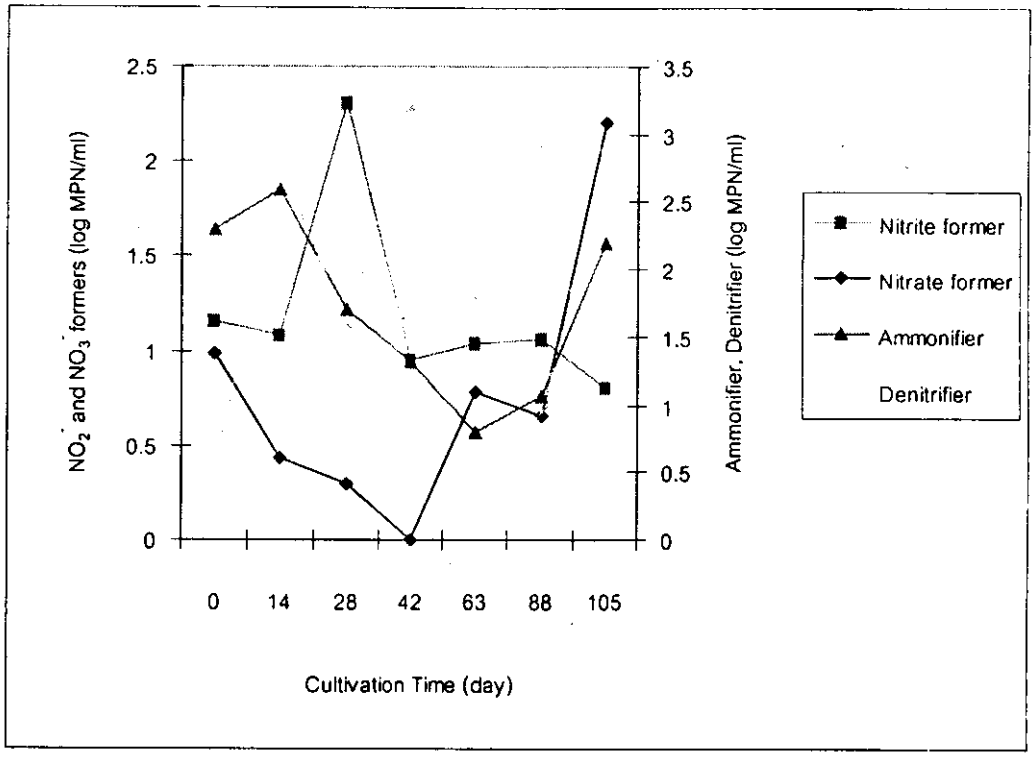
2.2 ปริมาณและกลุ่มจุลินทรีย์ที่มีบทบาทในน้ำ

จากการศึกษาปริมาณจุลินทรีย์ในน้ำบ่อกุ้งกุลาดำ ดังรูปที่ 5 พบว่าปริมาณแบคทีเรียทั้งหมด ซึ่งสุ่มตัวอย่าง ทุก ๆ 2 สัปดาห์เว้นแต่ระบุไว้ พบว่าโดยทั่วไปมีปริมาณที่เพิ่มขึ้นตามระยะเวลาการเลี้ยง มีค่าอยู่ในช่วง 3.88-6.26 log cfu/ml และแบคทีเรียที่ย่อยสลายสารโปรตีนมีค่าขึ้นๆลงๆอยู่ในช่วง 2.77-5.30 log cfu/ml โดยปริมาณต่ำสุดพบเมื่ออายุการเลี้ยงกุ้งได้ 28 วัน และสูงสุดเมื่ออายุการเลี้ยงกุ้งได้ 63 วัน และแยกเชื้อไว้รวมทั้งสิ้นประมาณ 99 ไอโซเลต จุลินทรีย์กลุ่ม Azotobacteraceae มีค่าอยู่ในช่วง 3.77-4.95 log cfu/ml โดยมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามอายุการเลี้ยง ยกเว้นเมื่ออายุการเลี้ยงกุ้งได้ 63 วัน มีค่าลดลงจากนั้นมีค่าเพิ่มขึ้น และแยกเชื้อได้ 78 ไอโซเลต

ตามรูปที่ 6 แบคทีเรียกลุ่ม Ammonifier มีค่าอยู่ในช่วง 0.80-2.60 log MPN/ml โดยปริมาณต่ำสุดพบเมื่ออายุการเลี้ยงกุ้งได้ 63 วัน แยกเชื้อได้ 37 ไอโซเลต แบคทีเรียกลุ่มสร้างไนไตรท์ (Nitrite former) มีค่าอยู่ในช่วง 0.81-2.31 log MPN/ml โดยปริมาณสูงสุดพบเมื่ออายุการเลี้ยงกุ้งได้ 28 วัน และต่ำสุดเมื่อสิ้นสุดการเลี้ยง แยกเชื้อได้ 32 ไอโซเลต แบคทีเรียกลุ่มสร้างไนเตรท (Nitrate former) มีค่าอยู่ในช่วง 0-2.20 log MPN/ml โดยตรวจไม่พบเมื่ออายุการเลี้ยงกุ้งได้ 42 วัน แต่ปริมาณสูงสุด เมื่อสิ้นสุดการเลี้ยง แยกเชื้อได้ 23 ไอโซเลต โดยทั่วไปปริมาณแบคทีเรียกลุ่มสร้างไนไตรท์สูงกว่าแบคทีเรียกลุ่มสร้างไนเตรทตลอดการเลี้ยงกุ้ง สำหรับแบคทีเรียกลุ่มสร้างแก๊สไนโตเจน (Denitrifier) มีค่าอยู่ในช่วง 0.52-3.20 log MPN/ml โดยปริมาณต่ำสุดพบเมื่อเริ่มต้นการเลี้ยงและสูงสุดเมื่อเลี้ยงกุ้งไปได้ 42 วัน แยกเชื้อได้ 47 ไอโซเลต



รูปที่ 5 ปริมาณของแบคทีเรียทั้งหมด แบคทีเรียที่ย่อยโปรตีน และที่ตรึงแก๊สไนโตรเจนแบบเฉลี่ยในน้ำบ่อเพาะเลี้ยงกุ้งกุลาดำแบบพัฒนา



รูปที่ 6 ปริมาณของแบคทีเรียที่สร้างอนุมูลแอมโมเนียม ไนไตรท์และ ไนเตรท และ แก๊สไนโตรเจน ในน้ำบ่อเพาะเลี้ยงกุ้งกุลาดำแบบพัฒนา

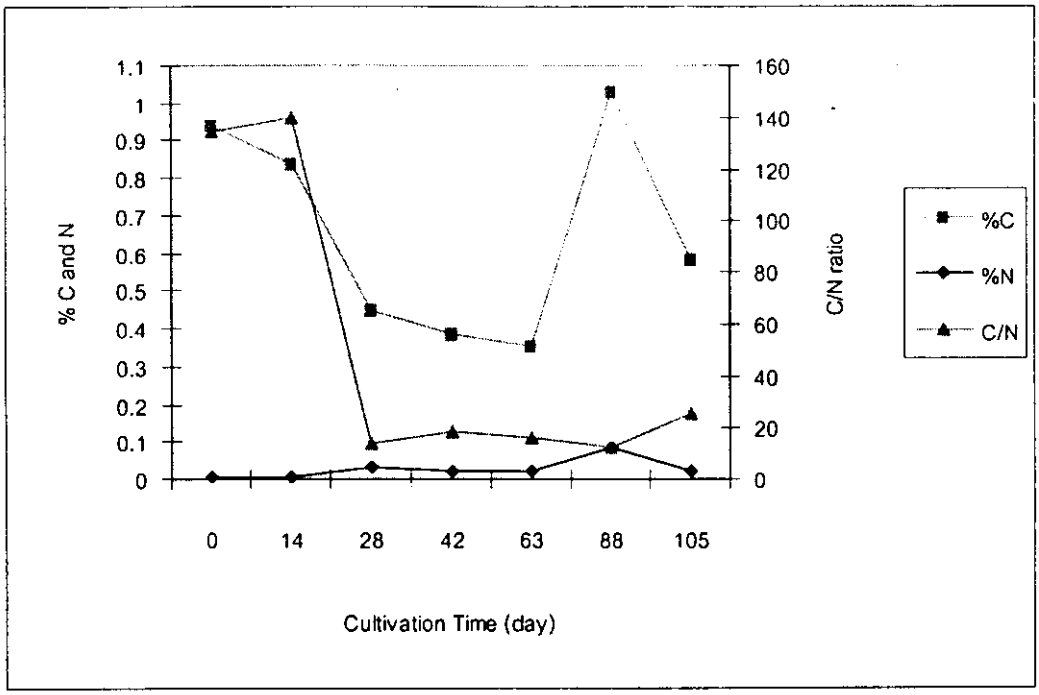
3. คุณภาพดินเลนขณะเลี้ยง

จากการวิเคราะห์คุณภาพดินเลนในระหว่างการเลี้ยงกุ้งกุลาดำโดยสุ่มเก็บตัวอย่างทุก ๆ 2 สัปดาห์ หรือเว้นแต่จะระบุไว้ จนเสร็จสิ้นการเลี้ยง

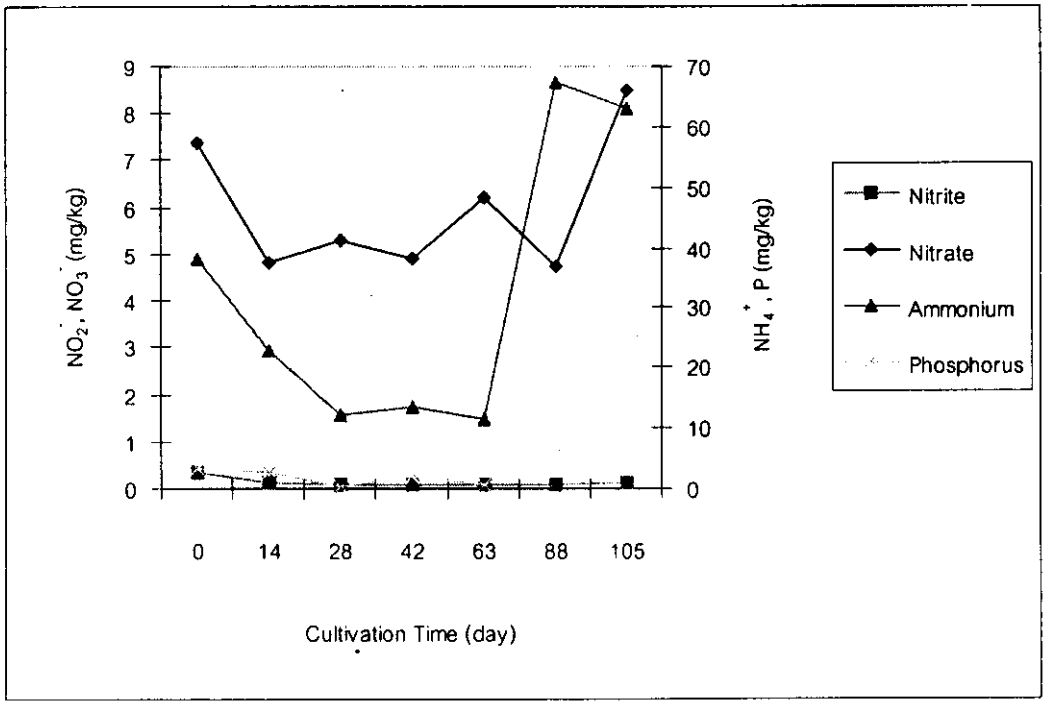
3.1 คุณสมบัติทางเคมีของดินเลน

การวิเคราะห์แร่ธาตุหลักคือ ค่าคาร์บอน และ ไนโตรเจน มีค่าค่อนข้างน้อยตลอดการเลี้ยง ดังรูปที่ 7 แต่ปริมาณไนโตรเจนเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาการเลี้ยงกุ้ง ส่งผลให้ค่า C/N ratio ลดลง หลังจากการเลี้ยงกุ้งไปได้ 14 วัน ขณะที่ปริมาณแอมโมเนีย ไนไตรท์ และ ไนเตรท พบว่ามีค่าอยู่ในช่วงตั้งแต่ 11.39-67.37 มก/กก , 0.07-0.36 มก/กก และ 4.74-8.47 มก/กก ตามลำดับ (รูปที่ 8) โดยที่ปริมาณไนไตรท์สูงสุดพบเมื่อเริ่มต้นการเลี้ยงกุ้งหลังจากนั้นพบในปริมาณที่ต่ำมาก ขณะที่ปริมาณไนเตรทขึ้นๆลงๆตามปริมาณแอมโมเนียซึ่งมีค่าสูงขึ้นในระยะใกล้สิ้นสุดการเลี้ยง (88-105 วัน) โดยที่ปริมาณฟอสฟอรัส มีค่าอยู่ในระหว่าง 0.41-6.81 มก/กก ซึ่งค่าต่ำมาก (0.41-0.52 มก/กก) เมื่ออายุการเลี้ยงกุ้งได้ 28 และ 63 วัน

ฝ่ายหอสมุด
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



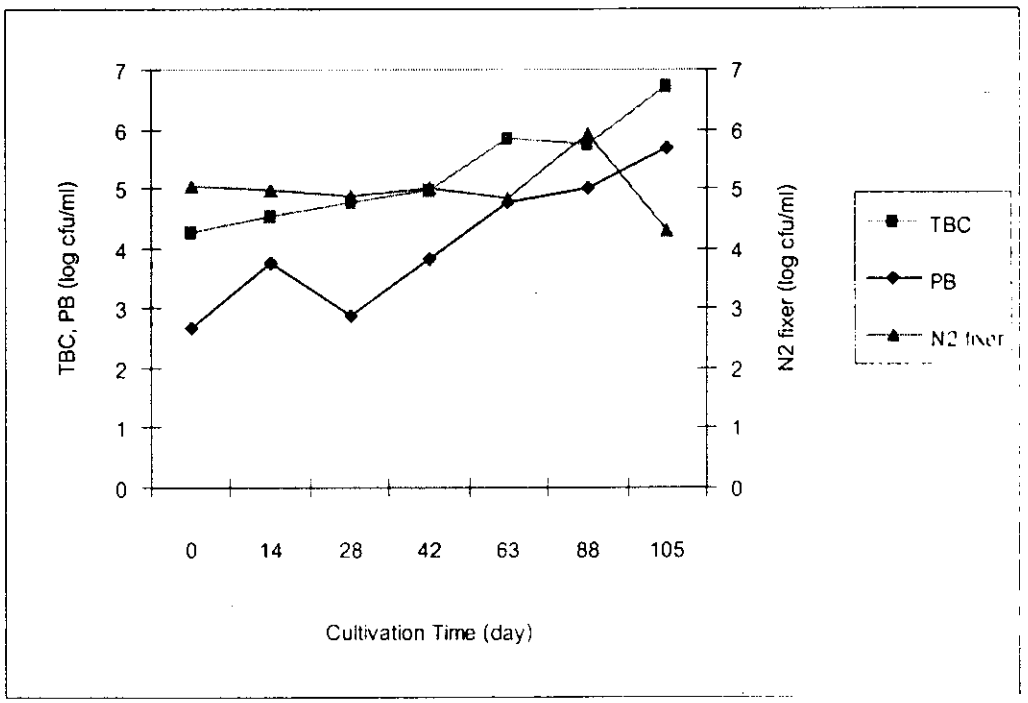
รูปที่ 7 อัตราส่วนของคาร์บอนและไนโตรเจนในดินเลนจากบ่อเพาะเลี้ยงกุ้งกุลาดำแบบพัฒนา



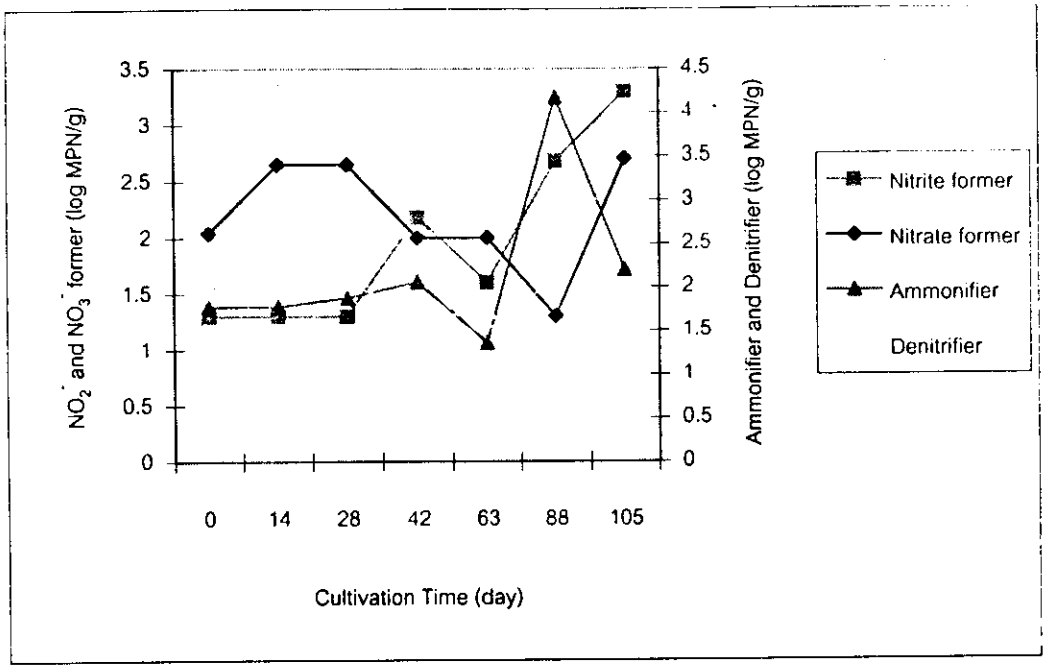
รูปที่ 8 ปริมาณของอนุมูลแอมโมเนีย ไนไตรท์ ไนเตรท และ ฟอสฟอรัสในดินเลนจากบ่อเพาะเลี้ยงกุ้งกุลาดำแบบพัฒนา

3.2 ปริมาณจุลินทรีย์ที่มีบทบาทในดินเลน

ปริมาณจุลินทรีย์ในดินบ่อกุ้งกุลาดำ ตามรูปที่ 9 พบว่าปริมาณแบคทีเรียทั้งหมดซึ่งสุ่มตัวอย่าง ทุก ๆ 2 สัปดาห์เว้นแต่ระบุไว้ พบว่ามีปริมาณที่เพิ่มขึ้นตามระยะเวลาการเลี้ยง มีค่าอยู่ในช่วง 4.27-6.74 log cfu/g และแบคทีเรียที่ย่อยสลายสารโปรตีนมีค่าอยู่ในช่วง 2.68-5.69 log cfu/g โดยปริมาณต่ำสุดพบเมื่อเริ่มต้นการเลี้ยงกุ้ง หลังจากนั้นโดยทั่วไปมีการเพิ่มขึ้นตามอายุการเลี้ยงกุ้ง สามารถแยกเชื้อได้รวมทั้งสิ้นประมาณ 90 ไอโซเลต แบคทีเรียในแฟมิลี Azotobacteraceae มีค่าอยู่ในช่วง 4.28-5.92 log cfu/g โดยปริมาณค่อนข้างคงที่ตลอดการเลี้ยง และแยกเชื้อได้ 69 ไอโซเลต สำหรับแบคทีเรียกลุ่ม Ammonifier มีค่าอยู่ในช่วง 1.36-4.17 log MPN/g โดยปริมาณต่ำสุดพบเมื่ออายุการเลี้ยงกุ้งได้ 63 วัน และสูงสุดที่ 88 วัน แยกเชื้อได้ 53 ไอโซเลต แบคทีเรียกลุ่ม สร้างไนไตรท์ (Nitrite former) มีค่าอยู่ในช่วง 1.30-3.29 log MPN/g เชื้อมีปริมาณต่ำสุดเมื่อเริ่มต้นการเลี้ยงกุ้งจนถึงอายุการเลี้ยงกุ้งได้ 28 วัน และมีแนวโน้มสูงขึ้น และแยกเชื้อได้ 47 ไอโซเลต แบคทีเรียกลุ่มสร้างไนเตรท (Nitrate former) มีค่าอยู่ในช่วง 1.30-2.70 log MPN/g เชื้อมีปริมาณต่ำสุดที่อายุการเลี้ยงกุ้งได้ 88 วัน และสูงสุดที่ 105 วัน แยกเชื้อได้ 53 ไอโซเลต แบคทีเรียกลุ่มสร้างแก๊สไนโตเจน (Denitrifier) มีค่าอยู่ในช่วง 1.60-3.68 log MPN/g เชื้อมีปริมาณต่ำสุดที่อายุการเลี้ยงกุ้งได้ 63 วัน และสูงสุดที่ 105 วัน แยกเชื้อได้ 76 ไอโซเลต ในตารางที่ 3 สรุปจำนวนไอโซเลทของแบคทีเรียกลุ่มต่างๆที่เกี่ยวข้องกับวัฏจักรไนโตเจนที่แยกไว้เพื่อศึกษาในวัตถุประสงค์เพื่อคัดเลือกเชื้อไว้ใช้เพื่อการบำบัดน้ำในนากุ้ง และการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ



รูปที่ 9 ปริมาณของแบคทีเรียทั้งหมด แบคทีเรียที่ย่อยโปรตีน และที่ตรึงแก๊สไนโตรเจนแบบอิสระในดินเลนจากบ่อเพาะเลี้ยงกุ้งกุลาดำแบบพัฒนา



รูปที่ 10 ปริมาณของแบคทีเรียที่สร้างอนุมูลแอมโมเนียม ไนไตรท์และ ไนเตรท และ แก๊สไนโตรเจน ในดินเลนจากบ่อเพาะเลี้ยงกุ้งกุลาดำแบบพัฒนา

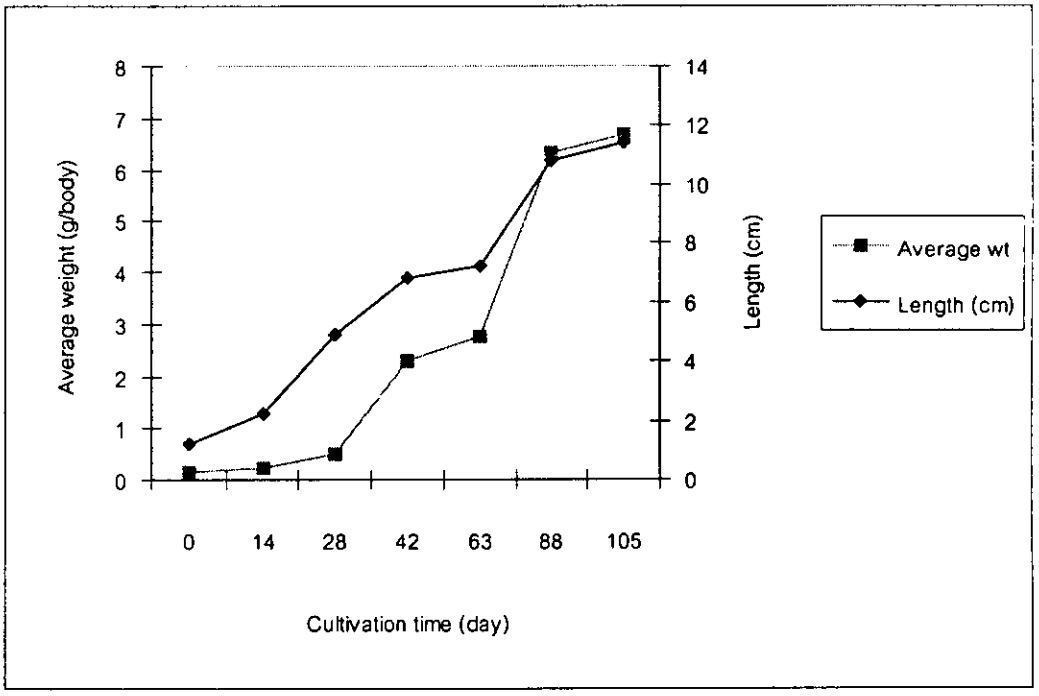
ตารางที่ 3 การแยกแบคทีเรียกลุ่มต่างๆที่มีบทบาทในวัฏจักรไนโตเจนจากน้ำ และเลนของบ่อกุ้งกุลาดำแบบพัฒนา

ประเภท	ตัวอย่างน้ำ	ตัวอย่างเลน
แบคทีเรียย่อยโปรตีน	99	90
แบคทีเรียตรึงไนโตรเจนแบบอิสระ	78	69
แบคทีเรียสร้างแอมโมเนีย	37	53
แบคทีเรียสร้างไนไตรท์	32	47
แบคทีเรียสร้างไนเตรท	23	53
แบคทีเรียสร้างแก๊สไนโตรเจน	47	76

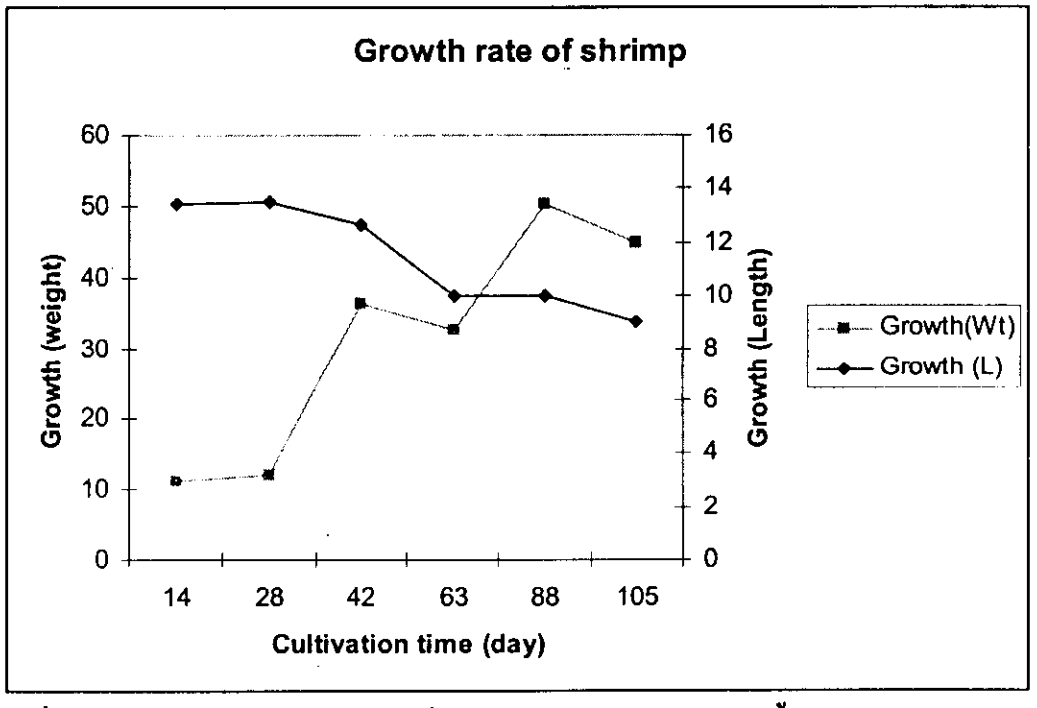
4. อัตราการเจริญเติบโต

การเจริญเติบโตของกุ้งกุลาดำที่ศึกษาเลี้ยงในบ่อดิน ขนาด 112x45x1.30 (ม) ขนาดประมาณ 3.5 ไร่ ความหนาแน่น 46 ตัว/ม^2 เมื่อสิ้นสุดการเพาะเลี้ยงใช้เวลา 105 วัน มีน้ำหนักเฉลี่ยและความยาวเฉลี่ยเพิ่มขึ้นดังรูปที่ 11 ซึ่งมีความยาวเฉลี่ยต่อตัว 11.45 ซม และน้ำหนักเฉลี่ยต่อตัว 6.68 กรัม เมื่อสิ้นสุดการเพาะเลี้ยง ในรูปที่ 12 แสดงถึงอัตราการเจริญของกุ้งซึ่งการพิจารณาจากน้ำหนักมีความเหมาะสมกับธรรมชาติการเจริญของกุ้งมากกว่าความยาว พบว่าการเจริญของกุ้งมีอัตราต่ำลงอยู่ 3 ช่วงคือ

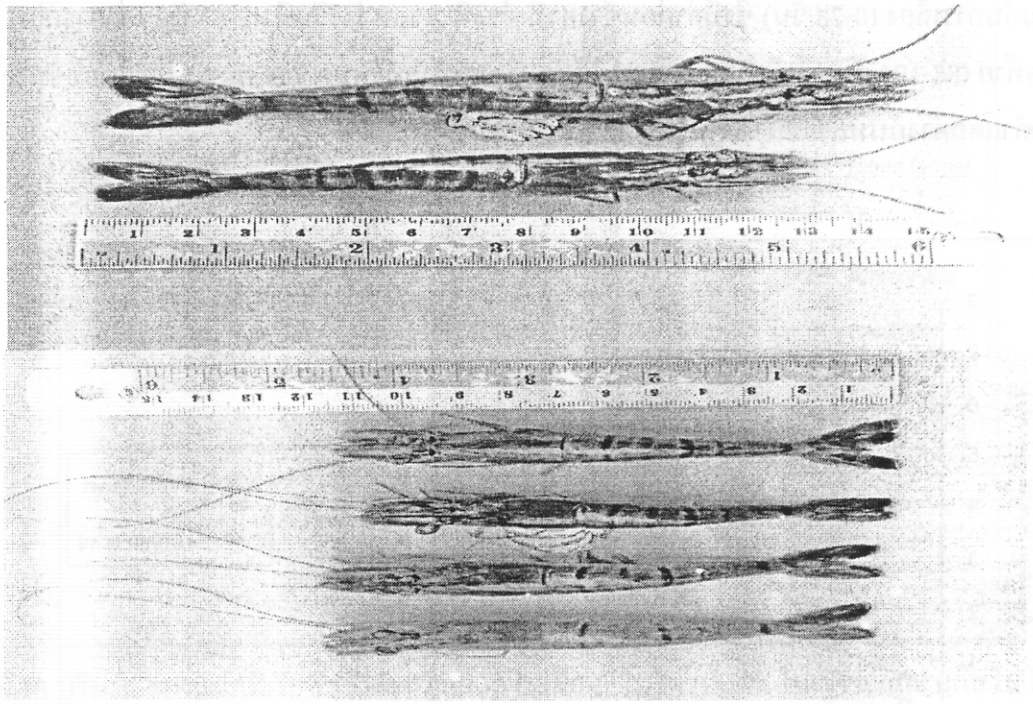
ช่วงเริ่มต้นการเลี้ยง (0-28 วัน) ซึ่งมีค่าค่อนข้างคงที่ ช่วงที่ 2 ระหว่างวันที่ 42-63 วันของการเลี้ยง และช่วงสุดท้าย (88-105 วัน) ซึ่งมีค่าลดลง และได้ผลผลิตสุดท้ายทั้งหมด 709 กก.ต่อบ่อ โดยมีขนาดของกุ้งกุลาดำแตกต่างกันหลายขนาดตามรูปที่ 13



รูปที่ 11 การเจริญเติบโตของกุ้งกุลาดำที่ระยะเวลาต่างๆของการเพาะเลี้ยงในบ่อเพาะเลี้ยงแบบพัฒนา



รูปที่ 12 อัตราการเจริญของกุ้งกุลาดำที่ระยะเวลาต่างๆของการเพาะเลี้ยงแบบพัฒนา



รูปที่ 13 ขนาดของกุ้งกุลาดำเมื่อสิ้นสุดการเพาะเลี้ยง (อายุ 105 วัน) จากบ่อเพาะเลี้ยงแบบพัฒนา

5. ผลการวิเคราะห์คุณภาพน้ำที่มีต่อการเจริญของกุ้งด้วยวิธีการทางสถิติ

5.1 น้ำหนักเฉลี่ยของกุ้งกับพารามิเตอร์ในน้ำ

โดยวิธี Stepwise regression analysis ข้อมูลวิเคราะห์อยู่ในภาคผนวก ก พบว่าพารามิเตอร์ที่ผลต่อน้ำหนักเฉลี่ยของกุ้งคือ BOD, P (ฟอสฟอรัส), PB (แบคทีเรียย่อยโปรตีน) และ Ammonifier โดยที่พารามิเตอร์ทั้ง 4 ชนิดนี้สามารถอธิบายความผันแปรของน้ำหนักเฉลี่ยกุ้งได้ถึง 99.98% และสามารถทำนายถึงน้ำหนักเฉลี่ยของกุ้งได้จากสมการ

Average weight = -0.375 + 0.115 BOD – 3.59 P + 0.000012 PB - 0.00116 Ammonifier

และยังพบอีกว่า BOD มีอิทธิพลต่อน้ำหนักเฉลี่ยของกุ้งมากที่สุด ในลักษณะที่เมื่อ BOD เปลี่ยนแปลงไป 1 mg/L จะทำให้น้ำหนักเฉลี่ยของกุ้งเปลี่ยนแปลงไป 0.115 หน่วย ในทิศทางเดียวกัน เมื่อพารามิเตอร์อื่นคงที่ รองลงมาได้แก่ P เมื่อ P เปลี่ยนแปลงไป 1 mg/L จะทำให้น้ำหนักเฉลี่ยของกุ้งเปลี่ยนแปลงไป 3.59 หน่วยในทิศทางตรงกันข้าม เมื่อพารามิเตอร์อื่นคงที่ อันดับที่ 3 คือ PB เมื่อ PB เปลี่ยนแปลงไป 1 cfu/ml จะทำให้น้ำหนักเฉลี่ยของกุ้งเปลี่ยนแปลงไป 0.000012 หน่วยในทิศทางเดียวกันเมื่อพารามิเตอร์อื่นคงที่ และอันดับที่ 4 คือ Amminofier เมื่อ Amminofier เปลี่ยนแปลงไป 1

หน่วยจะทำให้น้ำหนักเฉลี่ยของกุ้งเปลี่ยนแปลงไป 0.00116 หน่วยในทิศทางตรงกันข้ามเมื่อพารามิเตอร์อื่นคงที่

5.2 ความยาวกุ้งกับพารามิเตอร์ในน้ำ

โดยวิธี Stepwise regression analysis ข้อมูลวิเคราะห์อยู่ในภาคผนวก ก พบว่าพารามิเตอร์ที่ผลต่อความยาวกุ้งคือ BOD โดย BOD สามารถอธิบายความผันแปรของความยาวกุ้งได้ถึง 96.52% และสามารถทำนายถึงความยาวกุ้งได้จากสมการ

Length = -1.4 + 0.206 BOD

และยังพบอีกว่า BOD มีอิทธิพลต่อความยาวกุ้ง ในลักษณะที่เมื่อ BOD เปลี่ยนแปลงไป 1 mg/L จะทำให้ความยาวกุ้งเปลี่ยนแปลงไป 0.206 หน่วย ในทิศทางเดียวกัน

5.3 อัตราการการเจริญเติบโตของน้ำหนักกุ้งกับพารามิเตอร์ในน้ำ

โดยวิธี Stepwise regression analysis ข้อมูลวิเคราะห์อยู่ในภาคผนวก ก พบว่าพารามิเตอร์ที่ผลต่ออัตราการเติบโตของน้ำหนักกุ้งคือสีของน้ำ (water color) และ P โดยที่พารามิเตอร์ทั้ง 2 ชนิดนี้สามารถอธิบายความผันแปรของอัตราการเจริญเติบโตของน้ำหนักกุ้งได้ถึง 95.33% และสามารถทำนายถึงอัตราการเจริญเติบโตของน้ำหนักกุ้งได้จากสมการ

Growth (weight) = 114.5 – 31.6 water color – 16.5 P

และยังพบอีกว่า water color มีอิทธิพลต่ออัตราการเจริญเติบโตของน้ำหนักกุ้งมากที่สุด ในลักษณะที่เมื่อ water color เปลี่ยนแปลงไป 1 หน่วย จะทำให้อัตราการเจริญเติบโตของน้ำหนักกุ้งเปลี่ยนแปลงไป 31.6 หน่วย ในทิศทางตรงกันข้ามเมื่อพารามิเตอร์อื่นคงที่ ขณะที่ P จะมีผลกระทบต่ออัตราการเจริญเติบโตของน้ำหนักกุ้งดังนี้ เมื่อ P เปลี่ยนแปลงไป 1 mg/L จะทำให้อัตราการเจริญเติบโตของน้ำหนักกุ้งเปลี่ยนแปลงไป 16.5 หน่วยในทิศทางตรงกันข้าม เมื่อพารามิเตอร์อื่นคงที่

5.4 อัตราการการเจริญเติบโตของความยาวกุ้งกับพารามิเตอร์ในน้ำ

โดยวิธี Stepwise regression analysis ข้อมูลวิเคราะห์อยู่ในภาคผนวก ก พบว่าพารามิเตอร์ที่ผลต่ออัตราการเจริญเติบโตของความยาวกุ้งคือ NH_4^+, BOD, NO_3^- และ water color โดยที่พารามิเตอร์ทั้ง 4 ชนิดนี้สามารถอธิบายความผันแปรของอัตราการเจริญเติบโตของความยาวกุ้งได้ถึง 100% และสามารถทำนายถึงอัตราการเติบโตของความยาวกุ้งได้จากสมการ

Growth (Length) = 10.7 + 6.25 NH_4^+ – 0.0365 BOD P + 1.51 NO_3^- + 0.0915 water color

และยังพบอีกว่า NH_4^+ มีอิทธิพลต่ออัตราการเจริญเติบโตของความยาวกุ้งมากที่สุด ในลักษณะที่เมื่อ NH_4^+ เปลี่ยนแปลงไป 1 mg/L จะทำให้อัตราการเติบโตของความยาวกุ้งเปลี่ยนแปลงไป 6.25 หน่วย ในทิศทางเดียวกันเมื่อพารามิเตอร์อื่นคงที่ รองลงมาคือ BOD จะมีผลกระทบต่ออัตราการเติบโตของความยาวกุ้งดังนี้ เมื่อ BOD เปลี่ยนแปลงไป 1 mg/L จะทำให้อัตราการเจริญเติบโตของความยาวกุ้งเปลี่ยนแปลงไป 0.0365 หน่วยในทิศทางตรงกันข้ามเมื่อพารามิเตอร์อื่นคงที่ อันดับต่อมาคือ NO_3^- โดยที่เมื่อ NO_3^- เปลี่ยนแปลงไป 1 mg/L จะทำให้อัตราการเจริญเติบโตของความยาวกุ้งเปลี่ยนแปลงไป 1.51 หน่วยในทิศทางเดียวกัน เมื่อพารามิเตอร์อื่นคงที่และอันดับที่ 4 คือ water color เมื่อ water color เปลี่ยนแปลงไป 1 หน่วยจะทำให้อัตราการเจริญเติบโตของความยาวกุ้งเปลี่ยนแปลงไป 0.091 หน่วยในทิศทางเดียวกันเมื่อพารามิเตอร์อื่นคงที่

6. ผลการวิเคราะห์คุณภาพของดินเลนที่มีต่อการเจริญเติบโตของกุ้งด้วยวิธีการทางสถิติ

6.1 น้ำหนักเฉลี่ยของกุ้งกับพารามิเตอร์ในดิน

โดยวิธี Stepwise regression analysis ข้อมูลวิเคราะห์อยู่ในภาคผนวก ก พบว่าพารามิเตอร์ที่ผลต่อน้ำหนักเฉลี่ยของกุ้งคือ Nitrite, Denitrifier, TBC, C และ NH_4^+ โดยที่พารามิเตอร์ทั้ง 5 ชนิดนี้สามารถอธิบายความผันแปรของน้ำหนักเฉลี่ยกุ้งได้ถึง 100% และสามารถทำนายถึงน้ำหนักเฉลี่ยของกุ้งได้จากสมการ

Average weight = 1.186 + 0.0126 NH_4^+ + 0.00000233TBC – 1.254 C - 0.00582 Denitrifier + 0.0103 Nitrite

และยังพบอีกว่า NH_4^+ มีอิทธิพลต่อน้ำหนักเฉลี่ยของกุ้งมากที่สุด ในลักษณะที่เมื่อ NH_4^+ เปลี่ยนแปลงไป 1 mg/L จะทำให้น้ำหนักเฉลี่ยของกุ้งเปลี่ยนแปลงไป 0.0126 หน่วย ในทิศทางเดียวกันเมื่อพารามิเตอร์อื่นคงที่ รองลงมาได้แก่ คือ C เมื่อ C เปลี่ยนแปลงไป 1% จะทำให้น้ำหนักเฉลี่ยของกุ้งเปลี่ยนแปลงไป -1.254 หน่วยในทิศทางตรงกันข้ามเมื่อพารามิเตอร์อื่นคงที่ อันดับที่ 3 คือ TBC (แบคทีเรียทั้งหมด) เมื่อ TBC เปลี่ยนแปลงไป 1cfu/ml จะทำให้น้ำหนักเฉลี่ยของกุ้งเปลี่ยนแปลงไป 0.00000233 หน่วยในทิศทางเดียวกันเมื่อพารามิเตอร์อื่นคงที่และอันดับที่ 4 คือ Denitrifier โดยเมื่อ Denitrifier เปลี่ยนแปลงไป 1 หน่วยจะทำให้น้ำหนักเฉลี่ยของกุ้งเปลี่ยนแปลงไป -0.00582 หน่วยในทิศทางตรงกันข้ามเมื่อพารามิเตอร์อื่นคงที่ และอันดับที่ 5 คือ Nitrite เมื่อ Nitrite เปลี่ยนแปลงไป 1 หน่วยจะทำให้น้ำหนักเฉลี่ยของกุ้งเปลี่ยนแปลง 0.0103 หน่วยในทิศทางเดียวกันเมื่อพารามิเตอร์อื่นคงที่

6.2 ความยาวของกุ้งกับพารามิเตอร์ในดิน

โดยวิธี Stepwise regression analysis ข้อมูลวิเคราะห์อยู่ในภาคผนวก ก พบว่าพารามิเตอร์ที่ผลต่อความยาวกุ้งคือ C/N (carbon/nitrogen) และ P โดยพารามิเตอร์ทั้งสองตัวสามารถอธิบายความผันแปรของความยาวกุ้งได้ถึง 90.8% และสามารถทำนายถึงความยาวกุ้งได้จากสมการ

Length = 6.357 – 0.052 C/N + 0.852 P

และยังพบอีกว่า C/N มีอิทธิพลต่อความยาวกุ้งมากที่สุด ในลักษณะที่เมื่อ C/N เปลี่ยนแปลงไป 1 หน่วย จะทำให้ความยาวกุ้งเปลี่ยนแปลงไป 0.052 หน่วย ในทิศทางตรงกันข้ามเมื่อพารามิเตอร์อื่นคงที่ ขณะที่เมื่อ P เปลี่ยนแปลงไป 1 mg/L จะทำให้ความยาวกุ้งเปลี่ยนแปลง 0.852 หน่วยในทิศทางเดียวกันเมื่อพารามิเตอร์อื่นคงที่

6.3 อัตราการเจริญเติบโตของน้ำหนักกุ้งกับพารามิเตอร์ในดิน

ข้อมูลวิเคราะห์อยู่ในภาคผนวก ก พบว่าไม่มีพารามิเตอร์ชนิดใดเลยที่มีผลต่ออัตราการเติบโตของน้ำหนักกุ้ง

6.4 อัตราการเจริญเติบโตของความยาวกุ้งกับพารามิเตอร์ในดิน

ข้อมูลวิเคราะห์อยู่ในภาคผนวก ก พบว่าไม่มีพารามิเตอร์ชนิดใดเลยที่มีผลต่ออัตราการเจริญเติบโตของความยาวกุ้ง

ตารางที่ 4 สรุปผลพารามิเตอร์ในบ่อกุ้งที่มีผลต่อการเจริญเติบโตของกุ้งกุลาดำ โดยค่าที่นำเสนอเรียงลำดับความสัมพันธ์จากมากไปน้อย

ก. น้ำ

น้ำหนักกุ้ง	ความยาวกุ้ง	อัตราการเจริญคิดจากน้ำหนัก	อัตราการเจริญ-ความยาว
+ BOD	+ BOD	- water color	+ NH_4^+
- P		- P	- BOD
+ PB			+ NO_3^-
- Ammonifier			+ water color

ข. ดินเลน

น้ำหนักกุ้ง	ความยาวกุ้ง
+ NH_4^+	- C/N
+ TBC	+ P
- %C	
- Denitrifier	

+ ความสัมพันธ์ของพารามิเตอร์ที่ไปทิศทางเดียวกับการเจริญเติบโตของกุ้ง

- ความสัมพันธ์ของพารามิเตอร์ที่ไปทิศทางตรงกันข้ามการเจริญเติบโตของกุ้ง

วิจารณ์ผลการทดลอง

เจ้าของฟาร์มมีการจัดการคุณภาพน้ำสำหรับเตรียมการเลี้ยงกุ้งตามการแนะนำของกรมส่งเสริมประมง แต่อย่างไรก็ตามพบว่าพีเอชของน้ำมีค่า 7.09 ซึ่งพีเอชที่เหมาะสมสำหรับการเลี้ยงกุ้งมีค่า 7.80-8.30 โดยจะทำให้กุ้งเจริญเติบโตได้แข็งแรงและไม่สะดุด (เบญจมินทร์, 2544) การที่พีเอชน้ำมีค่าต่ำสาเหตุน่ามาจากสภาพของดินที่มีความเป็นกรดรุนแรงตามที่กล่าวมาแล้ว ซึ่งเจ้าของฟาร์มควรเติมปูนขาวให้มากขึ้นเล็กน้อยเพื่อเพิ่มค่าพีเอชให้เหมาะสมต่อการเจริญโดยเฉพาะกับลูกกุ้งที่ไวต่อสิ่งแวดล้อมที่ไม่เหมาะสม ลูกกุ้งที่ปล่อยมีขนาด P16 มีความยาวระหว่าง 10-12 มม ซึ่งมีขนาดเล็กไปหน่อย นอกจากนี้แล้วยังพบว่ามีการปล่อยลูกกุ้งที่มีความหนาแน่นมากเกินไป (46 ตัว/ม^2) ซึ่งที่จริงแล้วควรปล่อยประมาณ 15-20 ตัว/ม^2 หรืออย่างมากก็ระหว่าง 30-40 ตัว/ม^2 (เอกอนันต์, 2546) จะทำให้ได้ผลผลิตของกุ้งขนาดกลาง-ใหญ่ 600-1000 กก/ไร่ นอกจากข้อมูลที่กล่าวมาแล้วว่าเจ้าของฟาร์มอาศัยประสบการณ์ในการเลี้ยงและจัดการคุณภาพน้ำในลักษณะของการถ่ายน้ำ และมีการเติมน้ำหมักกล้วยน้ำว้าเพื่อช่วยรักษาคุณภาพน้ำเป็นครั้งคราว ซึ่งเป็นแหล่งของ heterotroph (ดวงพร และคณะ) แต่ในกรณีที่น้ำในบ่อเลี้ยงต้องการพวก nitrifier การเติมจึงไม่มีผลในการปรับสภาพน้ำเท่าที่ควร และไม่ได้มีนักวิชาการประจำบ่อเลี้ยง จากเหตุผลดังที่กล่าวมาส่งผลให้จำเป็นต้องจับกุ้งก่อนกำหนดเวลา 15 วัน (105 วัน) เพราะดูลักษณะน้ำแล้วมีความสกปรกเพิ่มขึ้นและกุ้งไม่แข็งแรงเท่าที่ควร กุ้งมีหลายขนาด และได้ผลผลิตไม่สูงเท่าที่ควรคือ 709 กก./บ่อ ซึ่งในอดีตเจ้าของฟาร์มเคยเลี้ยงได้ถึงประมาณ 1000 กก/บ่อ สำหรับปัญหากุ้งมีหลายขนาดดังรูปที่ 13 มีได้หลายสาเหตุแต่ในการเพาะเลี้ยงครั้งนี้อาจมีสาเหตุจากลูกกุ้งที่นำมาเลี้ยงคุณภาพอาจไม่ดีเท่าที่ควรพิจารณาจากลูกกุ้งไม่ได้ตามมาตรฐาน ลงลูกกุ้งหนาแน่นเกินไป (โชติ, 2533) การให้อาหารในเดือนแรกเจ้าของฟาร์มให้อาหารธรรมชาติมากเกินไป และมีการบีบอาหาร พื้นบ่อไม่สะอาดโดยเฉพาะช่วงสุดท้ายของการเลี้ยง กรณีที่ผลผลิตกุ้งไม่ดีเท่าที่ควรเมื่อพิจารณาจากการเจริญเติบโตของกุ้งตามรูปที่ 11 และ 12 สำหรับอัตราการเจริญ พบว่ามีการเจริญสะดุดอยู่ 3 ช่วงคือช่วงเริ่มต้นการเพาะเลี้ยง(0-28 วัน) ซึ่งถือว่าเป็นช่วงการปรับตัวของลูกกุ้งให้เข้ากับสภาพบ่อโดยใช้เวลานานพอสมควรอาจเป็นเพราะพีเอชเริ่มต้นเลี้ยงต่ำเกินไปดังกล่าวมาแล้ว ส่วนช่วง 42-63 วัน และ ช่วงสุดท้าย (88-105 วัน) ก็สามารถหาเหตุผลได้จากการติดตามพารามิเตอร์ต่างๆเกี่ยวกับคุณสมบัติทางเคมี-กายภาพ และจุลชีววิทยา ตามที่กล่าวมาทั้งในส่วนของน้ำและดินเลนของบ่อเลี้ยงกุ้ง และอาศัยการวิเคราะห์ทางสถิติเข้าช่วยพิจารณาดังจะกล่าวต่อไปนี้

1. คุณภาพดินและน้ำของบ่อกุ้งกุลาดำก่อนการเลี้ยงที่ส่งผลต่อการเจริญเติบโตของกุ้ง

เมื่อพิจารณาที่ตั้งของฟาร์มอยู่ใกล้แหล่งน้ำธรรมชาติจัดว่ามีความเหมาะสมดี และผลการวิเคราะห์ดินของบ่อเลี้ยงกุ้งพบว่าเป็นดินชุดต้นไทร ซึ่งมีลักษณะเป็นดินร่วนเหนียวปนทราย มีสารประกอบกำมะถันมาก ตามตารางที่ 1 พีเอชดินมีค่าเท่ากับ 5.12 จัดว่ามีสภาพความเป็นกรด

รุนแรง เมื่อเปรียบเทียบกับค่ามาตรฐานดินดังตารางภาคผนวก ข ปริมาณสารอินทรีย์ในดินเท่ากับ 0.74 มก/กก ซึ่งจัดได้ว่าเป็นปริมาณสารอินทรีย์ที่ต่ำ (ดังตารางภาคผนวก ข) โดยปกติในดินโดยทั่วไปแล้ว ควรจะมีปริมาณสารอินทรีย์ไม่ควรน้อยกว่า 2 มก/ล เพื่อใช้ในการเกษตรโดยทั่วไป (สมศักดิ์, 2535) ค่าการนำไฟฟ้าในดินเท่ากับ 2.84 มิลลิซีเมนต่อเซนติเมตร จัดอยู่ในระดับต่ำ (ดังภาคผนวก ข) แต่ลักษณะของดินดังกล่าวจัดว่ามีความเค็ม โดยมาจากปริมาณของโพแทสเซียม แคลเซียม และ แมกนีเซียม ซึ่งมักพบโดยทั่วไปในน้ำทะเลและการมีประจุทั้งแอนไอออน และแคทไอออน จากน้ำทะเลมาสะสมในดินนากุ้ง ซึ่งจากการศึกษาของทัศนีย์ (2531) พบว่า ค่าการนำไฟฟ้าของดินในนากุ้ง มีความสัมพันธ์ทางบวกกับปริมาณแคทไอออนของธาตุทั้ง 3 ส่วนปริมาณฟอสฟอรัสในดินนากุ้ง เท่ากับ 39.30 มก/กก พบว่าฟอสฟอรัสในบ่อกุ้งเกิดจากสิ่งที่ขับถ่ายและอาหารส่วนที่เหลือจากการกินของกุ้ง จึงทำให้มีปริมาณฟอสฟอรัสตกค้างอยู่มากในดินชั้นบน สอดคล้องกับการทดลองของ ชาญ (2535) พบว่าปริมาณฟอสฟอรัสของดินนากุ้งใน อ.กาญจนดิษฐ์ จ. สุราษฎธานี ในช่วงตากบ่ออยู่ในช่วง 37.37-42.62 มก/กก ตามคุณสมบัติที่กล่าวมาจัดว่าดินบ่อเลี้ยงมีความเหมาะสมระดับปานกลางสำหรับการเพาะเลี้ยงกุ้งโดยพิจารณาตามเอกสารการเพาะเลี้ยงกุ้งกุลาดำของกรมประมง (กรมส่งเสริมประมง, 2531; เบญจมินทร์, 2544)

2. คุณภาพน้ำขณะเลี้ยงต่อการเจริญเติบโตของกุ้ง

การเลี้ยงกุ้งกุลาดำที่ศึกษานี้เป็นการใช้น้ำกร่อย ลักษณะโดยทั่วไปของคุณภาพน้ำซึ่งพอสังเกตได้โดยใช้ประสาทสัมผัสของผู้เลี้ยง เช่น สีของน้ำ อุณหภูมิ ความเค็ม ความโปร่งแสงของน้ำจัดว่าอยู่ในเกณฑ์ปกติตลอดการเลี้ยงและจากผลการวิเคราะห์ดังตารางที่ 2 ซึ่งเป็นค่าที่ได้จากการใช้เครื่องมือตรวจวัด สีมีลักษณะเป็นสีเทาปนเขียวซึ่งมาจากการเตรียมสีน้ำให้เอื้อต่อการเจริญเติบโตของแพลงก์ตอนในน้ำ ซึ่งเป็นส่วนหนึ่งในอาหารธรรมชาติให้กับกุ้งกุลาดำ และจัดว่าอยู่ในเกณฑ์ปกติ แม้ว่าหลังจากการเลี้ยงกุ้งได้ 28 วันสีของน้ำลดลงเล็กน้อย (ตารางที่2) ซึ่งแสดงถึงการลดลงของแพลงก์ตอนพืชอย่างกะทันหัน (ไม่ได้วิเคราะห์) ซึ่งการที่น้ำเปลี่ยนสีอย่างกะทันหันส่งผลให้ pH ของน้ำลดลงได้ดังผลที่เกิดกับบ่อเลี้ยง (รูปที่ 2) อุณหภูมิของน้ำมีค่าอยู่ในช่วง 28-32 องศาเซลเซียส อยู่ในเกณฑ์ปกติ สำหรับการเจริญของกุ้ง ค่าความเค็ม ในบ่อเลี้ยงกุ้งกุลาดำที่ศึกษาอยู่ในช่วง 28-31 ppt ซึ่งมีความเค็มขึ้นบ้างในบางช่วงเนื่องจากอยู่ในฤดูร้อน อัตราการระเหยของน้ำค่อนข้างสูง และดินที่ใช้ในการเลี้ยงกุ้งมีสภาพไม่อุ้มน้ำจึงทำให้น้ำระเหยได้ง่าย แต่ในช่วงที่ฝนตกอาจช่วยลดปัญหาดังกล่าวได้ (29 เมษายน 2546) แต่อย่างไรก็ตามช่วงอุณหภูมิดังกล่าวก็เหมาะสมต่อการเจริญของกุ้ง เพราะกุ้งกุลาดำมีวงจรการดำรงชีวิตทั้งในน้ำกร่อยและน้ำเค็ม ค่าโปร่งแสงของน้ำในบ่อเลี้ยงกุ้งกุลาดำมีค่าประมาณ 60 เซนติเมตร ซึ่งค่อนข้างคงที่ตลอดการเพาะเลี้ยง และจัดว่าอยู่ในเกณฑ์ใช้ได้สำหรับการเลี้ยงกุ้ง (เบญจมินทร์, 2544) โดยความโปร่งแสงที่บ่งบอกว่าแหล่งน้ำมีความอุดมสมบูรณ์ที่เหมาะสมคือ 30-60 ซม

ปริมาณออกซิเจนที่ละลายน้ำ (DO) มีค่าอยู่ในช่วง 6.33-7.10 มก/ล บ่อที่ศึกษานี้มีการติดตั้งเครื่องตีน้ำและเปิดเกือบตลอดเวลาจะปิดเฉพาะก่อนให้อาหาร 1 ชั่วโมงเท่านั้น ค่า DO มีค่าค่อนข้างคงที่แม้ว่าช่วงการเลี้ยงไปได้ 88 วันมีค่าลดลง (อาจส่งผลเสียต่อการเจริญของกุ้ง) สอดคล้องกับค่าปริมาณความต้องการออกซิเจนในการย่อยสลายอินทรีย์วัตถุโดยแบคทีเรีย (BOD) ที่เพิ่มขึ้น (รูปที่ 2) แต่ปริมาณของ DO ดังกล่าวก็ยังจัดอยู่ในเกณฑ์ปกติ

ค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) ค่า pH เริ่มต้นการเลี้ยงมีค่าต่ำกว่าที่ควรจะเป็นคือมีค่า 7.09 แต่หลังจากการเลี้ยงมีค่าเพิ่มขึ้น และหลังจากการเลี้ยงได้ 28 วันก็มีค่าลดลงเป็น 7.69 จากนั้นก็เพิ่มขึ้นเป็น 8.67 เมื่ออายุการเลี้ยงได้ 63 วัน ซึ่งการเปลี่ยนของ pH มีค่าสูงมากใน 2 จุด (0-28 วัน และ 42-63 วัน) จึงส่งผลเสียต่อการเจริญของกุ้ง และการเปลี่ยนของ pH ที่กล่าวมาไม่สอดคล้องกับปริมาณของแอมโมเนีย (รูปที่ 3) ซึ่งจะกล่าวต่อไป แต่อย่างไรก็ตามเมื่อพิจารณาผลการวิเคราะห์ทางสถิติกลับพบว่าพีเอชไม่มีผลต่อการเจริญเติบโตของกุ้ง อาจเป็นเพราะว่าน้ำในบ่อเลี้ยงมีค่าความเป็นด่าง 85 มก/ล วัดเมื่อเริ่มต้นการเพาะเลี้ยง ซึ่งจัดว่าเหมาะสมต่อการเจริญของกุ้ง โดยค่าที่เหมาะสมอยู่ระหว่าง 80-120 มก/ล (เบญจมินทร์, 2544)

BOD มีค่าอยู่ในช่วง 15-65 มก/ล โดยสูงขึ้นตามระยะเวลาของการเลี้ยง (รูปที่ 2) ซึ่งสอดคล้องกับการเจริญของกุ้ง โดยปล่อยสิ่งขับถ่ายออกมามากจึงทำให้ BOD มีค่าสูงขึ้น แล้วส่งเสริมการเจริญของแบคทีเรีย (total bacterial count และ proteolytic bacteria) ทำให้ DO มีค่าลดลง (รูปที่ 5 และ 2) ค่า BOD ในการศึกษาครั้งนี้จัดว่ามีค่าสูงเมื่อเทียบกับการศึกษาของ สุทธินีและคณะ (2545) กับฟาร์มกุ้งใน จ. ประจวบคีรีขันธ์ซึ่งมีค่า 0.2-14.5 มก/ล สาเหตุน่ามาจากการปล่อยกุ้งอย่างหนาแน่น รวมทั้งอาจมีการให้อาหารมากเกินจึงเหลือตกค้าง ด้วยกิจกรรมการย่อยสลายสารอินทรีย์โดยเฉพาะสารอินทรีย์ในโตรเจนโดยแบคทีเรียที่กล่าวมาแล้วได้กรดอะมิโนและ/หรือแอมโมเนียม และจากนั้นเป็นบทบาทร่วมของพวก ammonifier ทำให้เกิดแอมโมเนียม (ammonification) ซึ่งค่าดังกล่าวก็สอดคล้องกับปริมาณของเชื้อที่กล่าวมา (รูปที่ 5 และ 6) ซึ่งส่งผลให้ในน้ำมีค่ามีแอมโมเนียมสูงในบางช่วงของการเพาะเลี้ยง แอมโมเนียในน้ำที่ศึกษาในบ่อกุ้ง มีค่าค่อนข้างสูง และสูงสุดคือ 0.56 มก/ล เมื่ออายุการเลี้ยงได้ 28 วัน (รูปที่ 3) ซึ่งช่วงที่แอมโมเนียมีค่าสูงตามที่กล่าวมาย่อมกดการเจริญของกุ้งพอสมควร จึงน่าเป็นอีกสาเหตุหนึ่งที่ทำให้กุ้งปรับตัวนานเพื่อการเจริญ และประกอบกับเป็นช่วงที่กุ้งมีการเจริญเติบโตสูงจึงมีสิ่งขับถ่ายมากส่งผลให้มีแอมโมเนียมสูงในช่วงดังกล่าว และมีค่า 0.43-0.56 เมื่ออายุการเลี้ยงอยู่ระหว่าง 14-45 วัน ซึ่งเกินค่ามาตรฐานคุณภาพน้ำสำหรับการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำที่ปลอดภัย (0.4 มก/ล) (ภาคผนวก ค) การที่แอมโมเนียสะสมมากที่ช่วง 28 วัน เพราะไม่มีการเปลี่ยนเป็นไนเตรท (รูปที่ 4) แอมโมเนียในน้ำส่วนหนึ่งมาจากการเกิดขึ้นบริเวณพื้นบ่อที่เกิดการย่อยสลายทำให้ได้แอมโมเนียละลายออกมาสู่ในน้ำแทรกอยู่ระหว่างเม็ดดิน (พุทธ และคณะ, 2533) จากที่กล่าวไว้การลดลงของ pH ไม่สอดคล้องกับปริมาณแอมโมเนียที่อายุการเลี้ยง 28 วัน ซึ่งเป็นสภาวะที่มีการลดลงของ pH มาก (7.69) แต่ปริมาณแอมโมเนียสูงสุด (0.56 มก/ล) ซึ่งสภาพ

ดังกล่าวผลเสียที่เกิดกับกุ้งจึงลดลงเพราะอยู่ในสภาพของแอมโมเนียมแทนที่จะเป็นแอมโมเนียโดยจะกล่าวรายละเอียดต่อไป และอาจอธิบายได้ว่าภาวะที่เกิดการลดลงของแพลงก์ตอนพืชอย่างกะทันหันหรือน้ำเปลี่ยนสีกะทันหัน (ตารางที่ 2) ทำให้ pH ตกต่ำได้ เพราะการสลายสารอินทรีย์แล้วส่วนหนึ่งเป็นแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ละลายอยู่ในน้ำมากแต่ไม่มีแพลงก์ตอนพืชนำไปใช้ในการสังเคราะห์แสงเท่าที่ควร การที่ pH ค่อนข้างต่ำ (7.4-7.7) ส่งผลกระทบกับกุ้งคือการใช้ออกซิเจนของกุ้งเพิ่มขึ้นโดยรวมคือกุ้งเครียดกินอาหารสะดุด แต่ในการศึกษานี้ไม่น่าจะส่งผลเพราะ DO มีค่าสูง (รูปที่ 2) (เบญจมินทร์, 2544) pH ที่เหมาะสมต่อการเลี้ยงกุ้งกุลาดำมากที่สุดคือ 7.80-8.30 แต่สภาวะปกติที่กุ้งกุลาดำอยู่ได้ในช่วง 7.4-9.0 และอีกจุดคือเมื่ออายุการเลี้ยงได้ 63 วันโดยมีค่า pH สูงสุดคือ 8.67 แต่มีปริมาณแอมโมเนียต่ำคือ 0.12 มก/ล (รูปที่ 3) ซึ่งอาจเป็นเพราะในช่วงเวลาดังกล่าวไม่มีไนไตรท์ และไนเตรทที่ทำให้ pH ลด (กระบวนการ nitrification ทำให้พีเอชมีค่าลดลง) (Bitton, 1994) การเกิดแอมโมเนียในน้ำมี 2 รูปแบบคือ un-ionized ammonia (NH_3) และ ammonium ion (NH^+_4) การเกิดแอมโมเนียทั้ง 2 รูปแบบ ขึ้นอยู่กับความสมดุลของอุณหภูมิกับพีเอช โดยที่พีเอชจะเป็นปัจจัยที่สำคัญกว่าอุณหภูมิ แอมโมเนียจะมีพิษทำลายเหงือกของสัตว์น้ำ และลดประสิทธิภาพการแลกเปลี่ยนออกซิเจนในเลือด ทำให้สัตว์น้ำต้องการออกซิเจนเพิ่มขึ้น และสัตว์น้ำมีความต้านทานลดลงทั้งนี้สัตว์น้ำแต่ละชนิดจะมีความทนทานต่อพิษแอมโมเนียต่างกัน โดยทั่วไปสัตว์น้ำจะมีความทนทานได้ในระยะสั้น (24-72 ชม.) เมื่อมีความเข้มข้นของแอมโมเนียในน้ำมากกว่า 0.20-0.40 มก/ล (กรรณิการ์, 2543) ซึ่งในการศึกษานี้พบว่าช่วงที่พีเอชมีค่าสูง (ไม่เหมาะสมต่อการเจริญของกุ้งคือเกิน 8.40) มีเพียงช่วงเดียวคือเมื่ออายุการเลี้ยงได้ 63 วัน จึงเป็นสภาวะที่ไม่กดดันการเจริญเติบโตของกุ้งจนเกินไปเพราะในน้ำมีแอมโมเนียมมากสุดที่ช่วง 28 วันของการเลี้ยงซึ่งพีเอชในระยะเวลาดังกล่าวทำให้ยังอยู่ในรูปแอมโมเนียม (รูปที่ 3) ซึ่งไม่อันตรายมากต่อกุ้ง (เบญจมินทร์, 2544)

ปริมาณของไนไตรท์ และ ไนเตรท จากการศึกษาครั้งนี้พบว่ามีค่าอยู่ในช่วง 0-0.01 มก/ล และ 0-0.02 มก/ล (รูปที่ 4) จัดว่าอยู่ในมาตรฐานคุณภาพน้ำที่ยอมรับได้ ไนไตรท์และไนเตรท เกิดจากการที่แอมโมเนียถูกออกซิไดซ์โดยแบคทีเรียกลุ่ม nitrifying bacteria ได้เป็นไนไตรท์โดย nitrite former และไนเตรท โดย nitrate former โดยปริมาณเชื้อดังรูปที่ 6 ซึ่งการที่มีแอมโมเนียสูงเกินไปในบางช่วงดังที่กล่าวมาแล้วแสดงว่ากระบวนการ nitrification เกิดขึ้นได้ไม่ดีเท่าที่ควรโดยเฉพาะช่วงการออกซิไดซ์แอมโมเนียมเป็นไนไตรท์ (ช่วงต้น) และเมื่อดูปริมาณของเชื้อที่ทำให้เกิดกระบวนการนี้พบว่ามีความไวต่อสภาวะแวดล้อมภายในบ่อมากคือมีความผันผวนของปริมาณเกือบตลอดระยะเวลาของการเลี้ยงกุ้ง ซึ่งก็สอดคล้องกับงานวิจัยของ สุทธินี และคณะ, 2545; Jun et al., 2000) ด้วยเหตุผลที่กล่าวมาจึงมีการใช้ nitrifying bacteria ในรูปกล้าเชื้อเพื่อรักษาคุณภาพน้ำโดยมีจำหน่ายมากมายในท้องตลาด

ฟอสฟอรัส จากการทดลองครั้งนี้พบว่าอยู่ในช่วง 0.30-1.20 มก/ล สำหรับบ่อกุ้งมาตรฐานฟอสฟอรัสในน้ำคือ 1 มก/ล (ดุสิต และคณะ, 2537) ซึ่งแหล่งที่มาของฟอสฟอรัสมาจากการใช้ปุ๋ย

อาหารที่เหลือ ตลอดจนสิ่งขับถ่ายจากกุ้งที่ตกลงก้นบ่อแล้วเปลี่ยนเป็นสารอินทรีย์ฟอสเฟต และอนินทรีย์ฟอสเฟตอยู่ระหว่างอนุภาคของดิน แล้วถูกปลดปล่อยออกมาแลกเปลี่ยนระหว่างดินและน้ำ (ดุสิต และคณะ, 2536) ฟอสฟอรัสที่เกิดขึ้นในบ่อในที่สุดจะถูกสะสมไว้ในพื้นบ่อเป็นส่วนใหญ่ (Boyd and Musig, 1981) ซึ่งก็สอดคล้องกับปริมาณฟอสฟอรัสในดินเลนช่วงใกล้สิ้นสุดการเลี้ยง ซึ่งมีปริมาณสูงขึ้น (รูปที่ 8) การมีฟอสฟอรัสในน้ำเพิ่มขึ้น (รูปที่ 3) สอดคล้องกับการที่สีของน้ำมีความเข้มลดลงช่วง 28 วันหลังการเลี้ยง (ตารางที่ 2) ซึ่งแสดงว่าสาหร่ายมีการเจริญลดลงหรือไม่ก็ไม่สามารถเจริญขึ้นมาทดแทนในการที่ถูกกินเป็นอาหารของกุ้งส่วนหนึ่ง จึงทำให้น้ำมีฟอสฟอรัสเพิ่มขึ้น ซึ่งย่อมมีผลเสียต่อการเจริญเติบโตของกุ้งในระดับหนึ่ง โดยเฉพาะช่วงที่ 42-63 วัน เพราะพบว่ากุ้งมีอัตราการเจริญลดลงขณะที่น้ำมีฟอสฟอรัสเพิ่มขึ้นสูงมาก (รูปที่ 3 และ 12)

3. คุณภาพดินเลนขณะเลี้ยงต่อการเจริญเติบโตของกุ้ง

การสะสมตะกอนสารอินทรีย์ที่ก้นบ่อเลี้ยงกุ้งกุลาดำแบบหนาแน่นจะเกิดขึ้นได้รวดเร็วกว่าในแหล่งน้ำธรรมชาติ เนื่องจากการให้อาหารปริมาณมากทำให้สิ่งขับถ่ายของสัตว์น้ำและอาหารที่ให้ไปแล้วกินไม่หมดเหลือสะสมอยู่ในบ่อ (พุทธ และคณะ, 2533 ; ดุสิต และคณะ, 2536) ตะกอนดินเหล่านี้จะไม่ไหลถ่ายเทไปที่อื่นจนกว่าจะมีการจับกุ้ง เนื่องจากอาหารกุ้งกุลาดำเป็นอาหารที่มีโปรตีนสูง 35-40 % (ดุสิต และคณะ, 2536) กุ้งสามารถเก็บไนโตรเจนไว้ในเนื้อกุ้งได้ประมาณ 20 % ไนโตรเจนอีกประมาณเกือบ 80 % นั้นจะตกค้างอยู่ในบ่อในรูปของเศษอาหารและขี้กุ้งที่บริเวณก้นบ่อ (พุทธ และคณะ, 2543) การย่อยสลายของสารอินทรีย์ในอาหารที่เหลือตกค้างจะทำให้ตะกอนดินเป็นแหล่งสะสมของแอมโมนีย , ไนไตรท์ , ไนเตรท และอินทรีย์ไนโตรเจน Smitch (1996) พบว่าปริมาณไนโตรเจนรวมในดินก้นบ่อกุ้งกุลาดำส่วนใหญ่เป็นอินทรีย์ไนโตรเจน 88 % ดังนั้นแบคทีเรียในวัฏจักรไนโตรเจนจึงมีบทบาทดังที่ได้มาแล้วในหัวข้อที่ 2 นอกจากนี้ภายใต้สภาวะมีอากาศ น้อย กระบวนการ denitrification โดย facultative anaerobe และกระบวนการ nitrate reduction โดย facultative anaerobe จะมีบทบาทเด่นขึ้นมา (กรรณิการ์, 2543; ดวงพร, 2545) การเปลี่ยนแปลงของอนินทรีย์ไนโตรเจนในตะกอนดินพื้นบ่อเกิดขึ้นเนื่องจากแบคทีเรียโดยผ่าน 2กระบวนการหลัก ได้แก่ กระบวนการไนตริฟิเคชั่นและดีไนตริฟิเคชั่น (Nedwell and Trimmer, 1996) การแลกเปลี่ยนสารประกอบไนโตรเจนที่เกิดขึ้นที่ผิวสัมผัสน้ำ-ตะกอนดิน ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงปริมาณของแอมโมเนีย ไนเตรท และไนไตรท์ ในมวลน้ำและตะกอนดินและทำให้เกิดการลดลงของออกซิเจนในน้ำด้วย (Cowan and Boynton, 1996) ดังนั้นดินก้นบ่อเป็นที่สะสมสารต่าง ๆ ซึ่งเป็นศูนย์กลางของการหมุนเวียนธาตุอาหารในบ่อ โดยการดูดซับสารประกอบอินทรีย์ สิ่งขับถ่าย และสารเมแทบอไลท์ต่าง ๆ ดังนั้นกระบวนการต่าง ๆ ที่เกิดขึ้นบริเวณดินพื้นก้นบ่อจะเกี่ยวข้องกับคุณภาพน้ำ และอัตราการเจริญเติบโตของกุ้ง โดยเฉพาะอย่างยิ่งในระยะการเลี้ยงแบบพัฒนา (Boyd , 1990)

จากการศึกษาในครั้งนี้พบว่า สภาพเดิมของดินที่ใช้ในการทำนากุ้งกุลาดำเป็นดินชุดต้นไทร ซึ่งเป็นดินที่มีธาตุอาหารจำกัดทำให้แพลงก์ตอนครอปได้ง่ายและมีช่องว่างให้ตะกอนตกไปอยู่ใต้ทรายพื้นบ่ออาจจะเกิดการทับถมและหมักเน่าของสารอาหารต่าง ๆ ได้ง่าย จากการวิเคราะห์พบว่าไนโตรเจนที่สะสมอยู่ในรูปแอมโมเนียและไนเตรทมีการเปลี่ยนแปลงตลอดการเพาะเลี้ยงโดยปริมาณของไนเตรทขึ้นกับปริมาณของแอมโมเนียและไปด้วยกันคือในกรณีที่ไม่มีการเปลี่ยนของแอมโมเนียไปเป็นไนเตรท ปริมาณของไนเตรทมีค่าต่ำ ซึ่งการเปลี่ยนแปลงสอดคล้องปริมาณของ ammonifier และ nitrate former ที่ทำให้เกิดกิจกรรมดังกล่าว (รูปที่ 8 และ 10) ขณะที่ปริมาณของไนไตรท์คงที่ตลอดแสดงถึงเชื้อกลุ่มหลังของพวก nitrifier มีกิจกรรมดีในการออกซิไดซ์ไนไตรท์เป็นไนเตรท แต่ในกรณีที่ฟอสฟอรัสเพิ่มขึ้นในช่วงสุดท้ายของการเพาะเลี้ยงดังรูปที่ 8 ด้วยเหตุผลดังที่กล่าวมาแล้ว

สำหรับ %C ในดินเลนเริ่มต้นการเลี้ยงมีค่าสูง แต่เมื่อเลี้ยงกุ้งไปได้ 2 สัปดาห์ คาร์บอนลดลงมากและอยู่ในระดับต่ำจนถึงระยะโกล้สิ้นสุดการเลี้ยงมีค่าเพิ่มขึ้น ซึ่งตรงกันข้ามกับ %N ซึ่งค่อยๆ เพิ่มขึ้นซึ่งมาจากอาหารที่เลี้ยง สิ่งขับถ่ายจากกุ้ง การตายของจุลินทรีย์ การเปลี่ยนแปลงดังกล่าวส่งผลให้ C/N ซึ่งมีค่าสูงประมาณ 140 ในช่วงต้นๆของการเพาะเลี้ยงลดลงจนมีมีค่าต่ำประมาณ 20 เมื่อเมื่อเลี้ยงกุ้งไปได้ 28 วัน (รูปที่ 7) ซึ่งเหมาะสมต่อการเจริญของจุลินทรีย์ จึงส่งเสริมให้จุลินทรีย์ในดินเลนเจริญได้ดียิ่งขึ้น ระบบนิเวศน์ของแบคทีเรียทั้งในน้ำและดินเลน (รูปที่ 5 และ 9) พบว่าแบคทีเรียที่ตรึงไนโตรเจน (N_2 fixer) เป็นกลุ่มแบคทีเรียที่มีการแข่งขันที่ดีเพราะพบในปริมาณสูงตลอดการเลี้ยง โดยไม่ไวต่อการเปลี่ยนแปลงของคุณสมบัติทางเคมี-กายภาพ สำหรับสมาชิกของแบคทีเรียทั้งหมด (TBC) กับพวก PB มีส่วนหนึ่งเป็นสมาชิกที่ต่างกันไป (รูปที่ 5 และ 9) แบคทีเรียทั้ง 3 กลุ่มที่กล่าวมามีรูปแบบการเปลี่ยนแปลงคล้ายกันทั้งในน้ำและดินเลนโดยขึ้นกับค่า BOD โดยเฉพาะในดินเลน ขณะที่ในน้ำค่าขึ้นลงบ้างโดยเป็นผลกระทบจากกิจกรรมในดินเลน (รูปที่ 2, 5 และ 9) แต่สำหรับแบคทีเรียกลุ่มอื่นๆของวัฏจักรไนโตรเจน ได้แก่ nitrite former nitrate former ammonifier และ denitrifier ในน้ำและดินเลน (รูปที่ 6 และ 10) มีความไวมากต่อการเปลี่ยนแปลงของคุณสมบัติทางเคมี-กายภาพ โดยเฉพาะการเปลี่ยนแปลงในน้ำดังได้กล่าวมาแล้ว

4. พารามิเตอร์ในน้ำและดินเลนที่มีผลต่อการเจริญเติบโตของกุ้ง

การเจริญของกุ้งเข้าสู่ช่วงการเจริญอย่างรวดเร็ว (ความชันสูง) หลังเลี้ยงกุ้งไปได้ 28 วัน (รูปที่ 12) จึงน่าเป็นเหตุผลหนึ่งที่ทำให้น้ำมี NH_4^+ สูงสุด (จากการย่อยสลายโปรตีนได้กรดอะมิโนและกรดอะมิโนถูกสลายเป็น NH_4^+) แต่ค่า NO_3^- ต่ำสุด (รูปที่ 4) ขณะที่ปริมาณ NH_4^+ ในดินเลนลดลงจนมีค่าต่ำสุด (รูปที่ 8) แสดงว่า NH_4^+ จากดินได้แพร่กระจายขึ้นสู่น้ำ แสดงว่าสารอินทรีย์ไนโตรเจนทั้งในน้ำและดินเลนถูกย่อยโดยแบคทีเรียย่อยโปรตีน (PB) (รูปที่ 8 และ 9) และรูปแบบการเปลี่ยนแปลงของ PB ในน้ำและดินเลนเหมือนกัน และการที่ PB มีปริมาณต่ำสุดที่ช่วงเวลาดังกล่าวอาจเป็นได้ว่าไม่มีสารอินทรีย์ไนโตรเจนตกค้างเพราะกุ้งใช้เพื่อการเจริญ และยังพบว่าในน้ำรูปแบบการเปลี่ยนแปลง

ของ nitrite former สอดคล้องกับรูปแบบการเปลี่ยนแปลงของ NH_4^+ (รูปที่ 4 และ 6) เพราะแบคทีเรียกลุ่มนี้ออกซิไดซ์ NH_4^+ เป็น NO_2^- (ช่วงต้นของ nitrification) ส่วนปริมาณ NO_3^- ในน้ำมีรูปแบบการเปลี่ยนแปลงสอดคล้องกับการเปลี่ยนแปลงของ denitrifier เพราะแบคทีเรียกลุ่มนี้ใช้ NO_3^- (รูปที่ 4 และ 6) ในการหายใจ (denitrification) เพราะมีสารอินทรีย์มากพอ (รูปที่ 2) ปริมาณ P ในน้ำมีค่าเพิ่มขึ้นตลอดระยะเวลาการเลี้ยง และมีค่าสูงสุดที่ 63 วัน ของการเลี้ยงหลังจากนั้นมีค่าลดลง (รูปที่ 3) ซึ่งตรงกันข้ามกับปริมาณ P ในดินเลนที่เพิ่มขึ้นช่วงสุดท้ายการเลี้ยง (รูปที่ 8) แสดงว่า P ในน้ำในที่สุดส่วนหนึ่งไปสะสมที่ดินเลนดังที่เคยอธิบายมาแล้ว

ผลการวิเคราะห์ทางสถิติของพารามิเตอร์ในน้ำพบว่าคุณสมบัติทางเคมี-กายภาพที่มีผลต่อการเจริญเติบโตของกุ้ง ได้แก่ BOD , water color , P , NH_4^+ และ NO_3^- โดยที่มีความสัมพันธ์มากที่สุด คือ BOD และ water color ซึ่งมีความสัมพันธ์ทั้งแบบบวกและลบ หมายความว่า สารอินทรีย์ที่มีในน้ำในระดับหนึ่งที่ไม่มากเกินไปจำเป็นต่อการเจริญเติบโตของกุ้ง แต่ถ้ามีมากเกินไปย่อมส่งผลเสียต่อการเจริญของกุ้ง ซึ่ง water color มีความสัมพันธ์โดยตรงกับ BOD ซึ่งเป็นที่ทราบกันดีว่าการวัดคุณภาพน้ำที่เหมาะสมต่อการเลี้ยงกุ้งสามารถดูจากลักษณะสีของน้ำในบ่อเลี้ยงได้ แต่ต้องอาศัยผู้มีประสบการณ์ และผลการศึกษานี้ยังพบด้วยว่า P มีความสัมพันธ์ทางลบกับการเจริญเติบโตของกุ้ง แสดงว่าถ้าหากมีการสะสม P มากย่อมส่งผลเสียต่อการเจริญของกุ้ง หมายความว่าสารอินทรีย์ต่างๆที่ถูกย่อยสลายส่วนหนึ่งปลดปล่อย P และ P ที่เกิดขึ้นเพิ่มมากขึ้นอาจเป็นเพราะจุลินทรีย์ (ทั้งผู้ผลิตและผู้ย่อยสลาย) นำไปใช้ไม่หมด แสดงถึงความไม่สมดุลของระบบนิเวศในแง่ของ P ซึ่งในช่วงเวลาดังกล่าวสีของน้ำลดความเข้มลง แสดงถึงการเจริญของสาหร่ายลดน้อยลงดังกล่าวมาแล้ว แต่เมื่อพิจารณาดู P ในดินเลนกลับมีความสัมพันธ์ทางบวกกับการเจริญของกุ้ง แสดงว่าถ้าหาก P ส่วนเกินในน้ำมาสะสมที่ดินเลนย่อมส่งผลดีต่อการเจริญของกุ้ง และการควบคุมปริมาณ P เพื่อรักษาคุณภาพน้ำมักถูกมองข้ามไป โดยทั่วไปจะเน้นที่ NH_4^+ เท่านั้นเพราะถ้ามีในปริมาณที่สูงเป็นพิษต่อกุ้ง สำหรับ NH_4^+ ซึ่งเป็นพารามิเตอร์ที่สำคัญในการวัดคุณภาพน้ำของการเลี้ยงกุ้ง เพราะถ้ามีในปริมาณสูงจะเป็นอันตรายต่อกุ้ง พบว่าในการศึกษานี้ NH_4^+ กลับมีความสัมพันธ์ทางบวก ซึ่งผลการตรวจวิเคราะห์พบว่ามีเพียงช่วง 28 วัน ของการเลี้ยงเท่านั้นที่ปริมาณสูงเกินจนอยู่ในช่วงอันตรายต่อกุ้ง (รูปที่ 4) ดังนั้นการที่สารอินทรีย์ไนโตรเจนถูกย่อยสลายได้กรดอะมิโนเป็นสิ่งจำเป็น ซึ่งผลก็สอดคล้องกับพารามิเตอร์ทางจุลชีววิทยาที่พบว่า PB มีความสัมพันธ์ทางบวกกับการเจริญเติบโตของกุ้ง และพบว่าแบคทีเรียกลุ่ม ammonifier มีความสัมพันธ์ทางลบกับการเจริญเติบโตของกุ้ง เพราะเป็นกลุ่มแบคทีเรียที่ย่อยกรดอะมิโนเป็นแอมโมเนีย (ammonification) แฉะกรณีที่ NO_3^- มีความสัมพันธ์ทางบวกกับการเจริญเติบโตของกุ้ง เป็นเพราะว่า NH_4^+ ถูกออกซิไดซ์ไปเป็น NO_3^- (nitrification) และ NO_3^-ไม่อันตรายต่อการเจริญเติบโตของกุ้ง

ผลการวิเคราะห์ทางสถิติของพารามิเตอร์ในดิน ซึ่งในการศึกษานี้ก็พบว่าแบคทีเรียทั้งหมด (TBC) มีความสัมพันธ์ทางบวกกับการเจริญเติบโตของกุ้ง และสมาชิกบางชนิดของกลุ่ม TBC ก็เป็น

แบคทีเรียที่สามารถย่อยโปรตีนได้ขณะเดียวกันก็ย่อยใช้คาร์บอนไป (รูปที่ 7) ทำให้ของเสียที่พื้นบ่อลดน้อยลงซึ่งเป็นสภาพที่ดีช่วยรักษาแพงก์ตอนสีเขียวให้อยู่ได้นาน (บุญเชิญ 2546) จนถึงเข้าสู่ช่วง 88 วันของการเลี้ยงกุ้งมีค่าเพิ่มขึ้น แต่หลังจากนั้นปริมาณของคาร์บอนก็ลดลงอย่างรวดเร็วอีกครั้ง สารอินทรีย์ในโตรเจนที่มาจากอาหารที่เหลือ และสิ่งขับถ่ายซากเซลล์ที่ตายส่งผลให้ C/N มีค่าลดลงมาก (ความชันมาก) ในช่วงการเลี้ยงจากวันที่ 14 ไปวันที่ 28 หลังจากนั้นค่า C/N อยู่ในระดับค่อนข้างคงที่ตลอดการเลี้ยงโดยมีค่าประมาณ 20 (รูปที่ 7) ซึ่งเป็นสภาวะที่เหมาะสมต่อการเจริญของแบคทีเรีย ซึ่งก็พบว่า TBC และ PB เจริญขึ้นตามระยะเวลาการเลี้ยง (รูปที่ 9) ในการศึกษานี้ค่า C/N มีความสัมพันธ์ทางลบกับอัตราการเจริญของกุ้ง น่าจะเป็นการให้ข้อสังเกตว่ามีสารอินทรีย์ตกค้างอยู่ที่ก้นบ่อมาก ย่อมก่อให้เกิดกิจกรรมของจุลินทรีย์จากการย่อยสลายเช่นพบว่า NH_4^+ NO_3^- P มีค่าเพิ่มขึ้นมากในช่วงสุดท้ายของการเลี้ยง (รูปที่ 8) ซึ่งค่าเหล่านี้ก็สัมพันธ์กับแบคทีเรียที่ทำให้เกิดแอมโมเนีย และไนเตรท (รูปที่ 10) โดยที่ค่าแคทไอออนเหล่านี้มีความสัมพันธ์ทางบวกกับการเจริญเติบโตของกุ้ง ซึ่งน่าเป็นเพราะว่าปริมาณที่พบยังไม่อยู่ในระดับที่จะส่งผลเสียต่อคุณภาพน้ำ ประกอบกับสภาพของพีเอชในน้ำยังทำให้แอมโมเนียมอยู่ในรูปของไอออนแทนที่จะเป็นแก๊สจึงไม่ส่งผลกระทบต่อการเจริญเติบโตของกุ้ง สำหรับ denitrifier มีค่าต่ำตลอดการเลี้ยงกุ้ง แต่ค่าเริ่มเพิ่มขึ้นหลังจากการเลี้ยงกุ้งไปได้ 63 วัน (รูปที่ 10) ซึ่งเป็นช่วงที่น้ำในบ่อเลี้ยงกุ้งเริ่มมีค่า DO ลดลง แต่ยังจัดว่ามีค่าสูงพอต่อการเจริญของกุ้ง (รูปที่ 2) แต่อาจเป็นไปได้ว่าในส่วนของพื้นบ่อช่วงเวลาดังกล่าวปริมาณออกซิเจนไม่มากพอประกอบกับการมีสารอินทรีย์ตกค้างอยู่ซึ่งทำให้แบคทีเรียกลุ่มดังกล่าวเจริญได้ดี ดังนั้นการพบแบคทีเรียกลุ่มนี้เจริญขึ้นอย่างรวดเร็ว แสดงถึงสภาวะที่พื้นบ่อขาดออกซิเจน และทำให้แบคทีเรียกลุ่มที่ใช้ซัลเฟตในการหายใจแทนออกซิเจน (sulfate reducing bacteria) เจริญแข่งขันกับ denitrifier และปล่อยแก๊สพิษ H_2S ซึ่งเป็นพิษต่อสิ่งมีชีวิตรวมทั้งกุ้งด้วยสู่ท้องน้ำจึงมีผลเสียต่อการเจริญเติบโตของกุ้ง ดังนั้นการที่ denitrifier มีความสัมพันธ์ทางลบกับการเจริญเติบโตของกุ้งก็ด้วยเหตุผลที่กล่าวมา ส่งผลให้อัตราการเจริญของกุ้งลดลงมากในช่วง 88-105 วัน (รูปที่ 12) และสังเกตพบว่ากุ้งไม่แข็งแรงเท่าที่ควรจึงมีการจับกุ้งก่อนกำหนดเมื่อเลี้ยงไปได้ 105 วัน แทนที่จะเป็น 120 วันตามที่ควรจะเป็น

ผลการศึกษาที่กล่าวมาแสดงว่าคุณภาพน้ำที่ส่งผลต่อการเจริญเติบโตของกุ้งในบ่อเลี้ยงขึ้นกับคุณสมบัติทางเคมี-กายภาพของทั้งท้องน้ำและดินเลน รวมถึงระบบนิเวศวิทยาในบ่อเลี้ยงกุ้งซึ่งปัจจัยหลักที่เกี่ยวข้องคือกุ้ง และจุลินทรีย์ทั้งในท้องน้ำและดินเลน โดยเฉพาะแบคทีเรียในวัฏจักรไนโตรเจน นอกจากนี้ยังเกี่ยวกับวัฏจักรคาร์บอน ฟอสฟอรัส และซัลเฟอร์ สำหรับแนวทางในการจัดการคุณภาพน้ำในบ่อเพาะเลี้ยงเพื่อให้กุ้งเจริญได้โดยไม่มีปัญหา และที่ง่ายต่อการสังเกตโดยผู้เพาะเลี้ยงคือสีของน้ำ ซึ่งเป็นพารามิเตอร์ที่บ่งบอกถึงภาพรวมของกิจกรรมในบ่อเพาะเลี้ยงได้แต่จำเป็นต้องอาศัยประสบการณ์ว่าระดับสีเท่าไหร่จึงจัดว่าเหมาะสม และถ้าหากระดับสีต่างไปจากที่

ควรจะเป็นจะมีแนวทางการแก้ไขได้อย่างไรโดยการปฏิบัติตามคู่มือการเพาะเลี้ยงกุ้ง (เอกอนันต์, 2546) โดยเน้นการสร้างสภาวะแวดล้อมให้เหมาะสมสำหรับการอาศัยของกุ้งดังนี้

1. รักษาพีเอชของน้ำให้คงที่
2. ไม่ให้มีแก๊สพิษเช่น แอมโมเนีย ไนไตรท์
3. DO ให้เพียงพอต่อการเจริญเติบโตของกุ้งและกิจกรรมของจุลินทรีย์ที่ต้องใช้อากาศ
4. ให้อาหารกุ้งและอาหารธรรมชาติที่ดีมีคุณภาพ

ถ้าจัดการบ่อเลี้ยงได้ตามที่กล่าวมาจะทำให้กุ้งไม่เครียด ส่งผลให้มีภูมิคุ้มกันดี กุ้งก็จะเจริญเติบโตได้ดี แต่ในการเพาะเลี้ยงของฟาร์มกุ้งที่ศึกษาผลผลิตได้ต่ำกว่าที่ควรจะเป็นเทียบกับที่ผ่านมาน่าจะมาจากสาเหตุหลักต่อไปนี้คือ

1. การปล่อยกุ้งในปริมาณที่หนาแน่นเกินไปทำให้ยากต่อการรักษาคุณภาพน้ำ
2. กิจกรรมการสลายสารอินทรีย์ไนโตรเจน ทำให้เกิดแอมโมเนียมมากเกินไปในบางช่วงของการเพาะเลี้ยง ซึ่งเป็นผลจากแบคทีเรียกลุ่ม nitrifier ไวต่อสภาวะแวดล้อมที่เปลี่ยนไปของบ่อเลี้ยง
3. กิจกรรมที่เปลี่ยนไปในบ่อเลี้ยงทำให้เกิดสภาวะที่ไม่สมดุลระหว่างผู้ผลิตและผู้ย่อยสลาย สังเกตจากการมีฟอสฟอรัสสะสมมากขึ้นในน้ำ และดินเลน
4. ด้วยกิจกรรมตามที่กล่าวมาทำให้ยากต่อการควบคุมสมดุลตัวเองด้วยองค์ประกอบภายในบ่อเลี้ยง จึงพบว่ามีหลายพารามิเตอร์ทางเคมีที่เปลี่ยนแปลงมากและส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงของพีเอช และพบว่ามี 3 ช่วงเวลาที่ไม่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของกุ้ง
5. การจัดการคุณภาพน้ำภายในบ่อเลี้ยงของเจ้าของฟาร์มอาจช้าไปในบางครั้งจึงมีการสะดุดในการการเจริญเติบโตของกุ้ง และในกรณีของการเติมน้ำหมักกล้วยน้ำหว้าอาจเติมลงไปในช่วงเวลาที่ไม่เหมาะสม เพราะสภาวะบ่อเลี้ยงขณะนั้นต้องการแบคทีเรียพวก nitrifier แต่เติมแหล่งของ heterotroph ผลของการเติมดังกล่าวจึงไม่ดีเท่าที่ควร

ด้วยผลการวิเคราะห์ตามที่กล่าวมาการจัดการคุณภาพน้ำในบ่อเลี้ยงกุ้งเป็นสิ่งจำเป็นเพราะกิจกรรมภายในบ่อเลี้ยงมีการผันแปรของพารามิเตอร์ที่ติดตามตลอดเวลาจากการเจริญเติบโตของกุ้งส่งผลเป็นลูกโซ่ต่อระบบนิเวศน์ภายในบ่อเลี้ยง และย้อนกลับมาสะท้อนผลต่อการเจริญเติบโตของกุ้ง การจะจัดการอย่างไรจึงจำเป็นต้องติดตามพารามิเตอร์วัดคุณภาพน้ำ และพร้อมองค์ความรู้ในการแก้ไขกรณีที่มีปัญหา และด้วยผลการวิเคราะห์ตามที่กล่าวมาไม่ใช่เรื่องง่ายนักที่จะรักษาคุณภาพน้ำให้เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของกุ้งได้ตลอด ซึ่งวิธีการที่เกษตรนิยมใช้เวลามีปัญหาคือการเปลี่ยนถ่ายน้ำ ซึ่งทำให้มีน้ำส่วนหนึ่งต้องปล่อยสู่บ่อพักและในกรณีที่ไม่มีบ่อพักน้ำคือการปล่อยสู่แหล่งน้ำธรรมชาติหรือสิ่งแวดล้อมซึ่งจะส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมนั้น ๆ ได้ หรืออีกแนวทางหนึ่งคือการเติมกล้าเชื้อเพื่อรักษาคุณภาพน้ำ กรณีที่ใช้กล้าเชื้อปรับสภาพน้ำจะช่วยลดจำนวนครั้งที่ต้องมีการเปลี่ยนถ่ายน้ำ ผลจากการศึกษานี้พบว่ากล้าเชื้อที่จำเป็นต้องใช้เมื่อมีปัญหาเรื่องคุณภาพน้ำคือกล้าเชื้อ

nitrifier ซึ่งไวต่อสภาวะแวดล้อมที่เปลี่ยนภายในบ่อขณะที่แบคทีเรียกลุ่มอื่น ๆ ในวัฏจักรไนโตรเจนมีเพียงพอในการดำเนินกิจกรรม ดังนั้นในการศึกษาข้อถัดไปคือการคัดเลือก nitrifier ทั้ง 2 กลุ่ม ซึ่งแยกได้จากนากุ้งที่ศึกษาเพื่อหาสายพันธุ์ที่มีกิจกรรมดีที่สามารถนำมาใช้เป็นกล้าเชื้อปรับคุณภาพน้ำของบ่อเลี้ยง ส่วนเชื้อกลุ่มอื่น ๆ ที่แยกไว้ยังคงเก็บไว้เพื่อคัดเลือกและประยุกต์ใช้ให้เหมาะสมต่อไป (ไม่ใช่ในงานวิจัยนี้) และเมื่อสิ้นสุดการเพาะเลี้ยงก่อนการจับกุ้งการปล่อยน้ำควรปล่อยออกที่บ่อพักเพื่อบำบัดให้มีค่า BOD ต่ำคือไม่เกิน 10 มก/ล (ดุสิต และ คณะ, 2537) ตามมาตรฐานที่กำหนดก่อนปล่อยลงสู่สิ่งแวดล้อม กรณีการบำบัดน้ำในบ่อพัก และพื้นบ่อหลังการเลี้ยงกุ้ง ถ้าต้องการผลที่รวดเร็วก็จำเป็นต้องใช้กล้าเชื้อแบคทีเรียกลุ่มต่างๆของวัฏจักรไนโตรเจนไม่ว่าจะเป็นพวก proteolytic bacteria ammonifier nitrifier และ denitrifier โดยทั้งนี้ต้องพิจารณาจากคุณสมบัติของน้ำในบ่อพักและพื้นบ่อเป็นสำคัญ หรือในกรณีที่ให้ง่ายต่อการปฏิบัติการใช้กล้าเชื้อผสมของกลุ่มดังกล่าวก็ให้ผลดีได้เช่นกัน การปฏิบัติในลักษณะที่กล่าวมาเป็นวิธีการที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม และทำให้การเพาะเลี้ยงกุ้งแบบหนาแน่นเป็นการเพาะเลี้ยงที่ยั่งยืนได้

เอกสารอ้างอิง

กรมส่งเสริมการส่งออก. 2545. http://www.depthai.go.th/en/statistic-expro.shtml

กรรณิการ์ อธิราช. 2543. การใช้แบคทีเรีย และซีโอไลท์ในการลดปริมาณแอมโมเนียและไนไตรท์ในการเลี้ยงกุ้งกุลาดำ (*Penaeus monodon* Fabricus). วิทยานิพนธ์ปริญญาโท. บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. กรุงเทพฯ. 88 หน้า.

กองส่งเสริมประมง. 2531. การเลี้ยงกุ้งกุลาดำแบบพัฒนา. กรมประมง. กระทรวงเกษตร และสหกรณ์. กรุงเทพฯ. 41 หน้า.

ข่าวสด 26/5/2540.

คณิต ไชยาดำ และยงยุทธ ปรีดาลัมพะบุตร. 2537. แนวทางการป้องกันเพื่อลดผลกระทบที่มีต่อสิ่งแวดล้อมจากการพัฒนาการเลี้ยงกุ้งกุลาดำแบบพัฒนา. สงขลา. สถาบันวิจัยการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำชายฝั่ง กรมประมง กระทรวงเกษตรและสหกรณ์.

ชาญ ณรงค์ฤทธิ์. 2535. ผลกระทบจากการทำนากุ้งในพื้นที่ป่าชายเลนต่อสมบัติของดินบริเวณอำเภอกาญจนดิษฐ์ จังหวัดสุราษฎร์ธานี. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต สาขาสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

โชติ สหกิจรุ่งเรือง. 2533. ผลของการใช้อาหารชนิดต่าง ๆ ที่มีต่อคุณสมบัติบางประการของน้ำและอัตราการรอดตายของลูกกุ้งกุลาดำ (*Penaeus monodon* Fabricus). วิทยานิพนธ์ปริญญาโท. บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. กรุงเทพฯ. 90 หน้า.

ดวงพร คันธโชติ. 2545. นิเวศวิทยาของจุลินทรีย์ .กรุงเทพฯ. : โอเดียนสโตร์. 216 หน้า.

ดวงพร คันธโชติ, วิลาวัณย์ เจริญจิระตระกูล และ ณรงค์ฤทธิ์ อัศวเรืองพิภพ. ลักษณะของน้ำหมักชีวภาพจากพืชในภาคใต้ของประเทศไทย. วารสารสงขลานครินทร์ ฉบับวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี (in press).

ดุสิต ตันวิไลย , พุทธ ส่องแสงจินดา และ คณิต ไชยาดำ. 2536. การเปลี่ยนแปลงปริมาณและคุณภาพตะกอนดินในบ่อเลี้ยงกุ้งกุลาดำแบบพัฒนา เอกสารวิชาการฉบับที่ 5/2536. สถาบันเพาะเลี้ยงชายฝั่ง , กรมประมง. 20 หน้า.

ดุสิต ตันวิลัยและคณะ. 2537. การตรวจและติดตามคุณภาพน้ำและดินจากฟาร์มเลี้ยงกุ้งกุลาดำจังหวัดปัตตานี. . เอกสารวิชาการฉบับที่ 5/2537. กรุงเทพฯ: สถาบันวิจัยเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำชายฝั่ง กรมประมง กระทรวงเกษตรและสหกรณ์.

ทัศนีย์ ฉันทาดิสัย. 2531. ผลกระทบจากการเลี้ยงกุ้งกุลาดำ. วารสารสิ่งแวดล้อมฉบับทรัพยากรชายฝั่ง. 69-82.

ธนิษฐา ธิรักษพันธ์. 2531. การทดลองการใช้หอยแมลงภู่เพื่อปรับปรุงคุณภาพน้ำทิ้งจากบ่อเลี้ยงกุ้งกุลาดำแบบพัฒนา วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต มหาวิทยาลัยมหิดล.

เบญจมินทร์ ทองเปิง. 2544. การเลี้ยงกุ้งกุลาดำแบบยั่งยืน. สำนักพิมพ์ฐานเกษตรกรรม. กรุงเทพมหานคร.

บุญเชิญ จันทร์เมือง. 2546. จุลินทรีย์ในบ่อกุ้ง. www.nicaonline.com 24 กรกฎาคม 2546.

ประทีป สองแก้ว. 2543. การบำบัดน้ำทิ้งจากการเลี้ยงกุ้งกุลาดำ (Penaeus monodon Fabricius) แบบพัฒนาโดยใช้หอยตะโกรมกรามขาว (Crassostrea belcheri sowerby วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.

พัฒนาที่ดิน , กรม . กองวางแผนการใช้ที่ดิน. 2527. เอกสารประกอบการประชุมกลุ่มย่อยการประชุมเชิงปฏิบัติการงานวิชาการ กรมพัฒนาที่ดินครั้งที่ 2 . กรุงเทพฯ . กระทรวงเกษตรและสหกรณ์.

พุทธ ส่องแสงจินดา และ คณะ. 2533. ข้อสังเกตเกี่ยวกับคุณสมบัติของดินบางประการในบ่อเลี้ยงกุ้งกุลาดำแบบพัฒนา . เอกสารวิชาการฉบับที่ 12/2533. กรุงเทพฯ: สถาบันวิจัยเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำชายฝั่ง กรมประมง กระทรวงเกษตรและสหกรณ์.

พุทธ ส่องแสงจินดา ลักขณา ละอองศิริวงศ์ และ ชัชวาล อินทรมนตรี .2543 . ฟลักซ์ ของสารประกอบไนโตรเจนที่ผิวสัมผัสของน้ำ-ตะกอนดินในบ่อเลี้ยงกุ้งทะเล.เอกสารวิชาการฉบับที่ 1/2543 . กรมประมง 13 หน้า.

ยงยุทธ ปรีดาลัมพะบุตร, เพิ่มศักดิ์ เพิงมาก, พุทธ ส่องแสงจินดา, ศุภโยค สุวรรณมณี และวิชาญ ชูสุวรรณ. 2532. การเปลี่ยนแปลงคุณภาพน้ำในบ่อเลี้ยงกุ้งกุลาดำแบบพัฒนา. เอกสารวิชาการฉบับวันที่ 10/2532 สงขลา. สถาบันวิจัยการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำชายฝั่ง กรมประมง กระทรวงเกษตรและสหกรณ์.

ยงยุทธ ปรีดาลัมพะบุตร และคณิต ไชยาดำ. 2537. ผลกระทบของน้ำทิ้งจากการเลี้ยงกุ้งต่อคุณภาพน้ำในแหล่งน้ำธรรมชาติ. เอกสารวิชาการฉบับที่ 7/2537. สงขลา : สถาบันวิจัยการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำชายฝั่ง กรมประมง กระทรวงเกษตรและสหกรณ์.

วัลลภ คงเพิ่มพูน. 2534. กุ้งกุลาดำ. กรุงเทพ โครงการหนังสือเกษตรชุมชน มท. 38-68.

สถาพร ดิเรกบุษราคม 2545. การเลี้ยงกุ้งปี 2544. บทเรียนที่ต้องช่วยกันทบทวน สำนักวิชาเทคโนโลยีการผลิตสัตว์น้ำ มหาวิทยาลัยวลัยลักษณ์.

สุทธินี ลิ้มธรรมมหิศร คมน์ ศิลปาจารย์ รัชดาภรณ์ เอี่ยมสำอางค์. 2545. ปริมาณออกซิไดซ์ซิ่งแบคทีเรียในบ่อเลี้ยงกุ้งกุลาดำ. นิตยสารคัมภีร์เพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ. 1 (10): 41-47.

สมศักดิ์ ธนวิริยะกุล. 2535. การคัดเลือกแบคทีเรียเฮตเทอโรโทรปจากธรรมชาติและความสามารถในการย่อยสลายสารอินทรีย์ในบ่อเลี้ยงกุ้ง. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. กรุงเทพฯ.

เอกอนันต์ ขุวเบญจพล. 2546. สรุปงานวันกุ้งกุลาดำ (สุราษฎร์) ครั้งที่ 13. 29-30 มีนาคม 2546 ณ. โรงแรมวังใต้ อ. เมือง จ. สุราษฎร์ธานี.

APHA, AWWA and WPCF. 1998. Standard Method for the Examination of Water and Wastewater. (In) Greegerg A.E., *J.J.* Connors, D. Jenkins and M.A.H. *Franson*, (ed) 20 th ed. American Public Health Association, American Water Works Association and Water Pollution Control Federation, New York : American Public Health Publishers.

Bitton, G. 1994. Wastewater Microbiology. New York, Wiley-Liss,

Boyd, C.E and Musing, Y. 1981. Orthophophate Uptake by Phytoplantoe. *Aquaculture*. **22**, 165-173.

Boyd, C. E. 1990. Water Quality in Pond for Aquaculture. Department of Fisheries and Allied Aquaculture. Aubrun University. Alabama. USA. 482 p.

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

Cowan, J. L. W. and W.R. Boynton. 1996. Sediment-water oxygen and nutrient exchanges along the longitudinal axis of Chesapeake Bay : Seasonal patterns, controlling factors and ecological significance. *Estuaries*, **19**(3), 562-580.

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

Harrison, R.M. 1990 Pollution, Cause, Effect, Control. 2nd edition: Royal Society of Chemical. New York

Jun, X., Xiuzheng, F. and Y. Tongbing. 2000. Physico-chemical factors and bacteria in fish ponds. *Naga, The ICLARM Quarterly*. **23** (4), 16-20.

Macintosh, D.J. and M.J. Phillips. 1992. Environment issues in shrimp forming. In Shrimp 92 Hongkong (eds.H.de Soram and T. Singh) pp. 118-145. INFOFISH. Kuala Lumpur.

Nedwell, D. B. and M. Trimmer. 1996. Nitrogen fluxes through the upper estuary of the Great Ouse, England: The role of the bottom sediments. Mar. *Ecol.Prog.Ser.*, **142**, 273-286.

Preston, N., C. Jackson, P. Thompson, M. Austin and M. Burford. 2000. Prawn farm effluent: composition, origin and treatment. Fishing Research and Development Corporation Final Report. 75-162, FRDC, Canberra, Australia.

Rodina, A.G. 1972. Methods in Aquatic Microbiology. University Park Press, London.

Seeley, H. W .Jr, P.J. VanDemark and J. J. Lee. 1991. Microbes in Action: A Laboratory Manual of Microbiology 4th ed. W.H. Freeman and Company, New York, 450 pp.

Smitch, P.T. 1996. Physical and chemical characteristics of sediments from prawn farms and mangrove habitats on the Clarence River, Australia. *Aquaculture*. **146**, 47-83.

Strickland J.D.H. and T.R. Parsons. 1972. A Practical Handbook of Seawater Analysis 2nd edition: Fisheries Research Board of Canada. Ottawa

Zieman, D.A., W.A. Walsh, E.G. Saphore and K. Fulton-Bennett. 1992. A survey of water quality characteristics of effluent from Hawaiian aquaculture facilities. *J. World Aquacult. Soc.*23, 180-191.