นิพนธ์ต้นฉบับ

น้ำเสียจากอาหารกุ้งทะเล และแนวโน้มในการบำบัดด้วยระบบตัวกรองภายใน

Wastewater Generated from Marine Shrimp Feed and Its Treatment Potential by Internal Filter System

คำสำคัญ (Key words): อาหารกุ้งทะเล การบำบัด การเกิดน้ำเสีย ระบบตัวกรองภายใน

สมพงศ์ โอทอง* รัตนา ใจภักดี นุกูล อินทระสังขา*****

* วท.บ. (ชีววิทยา) นักศึกษาปริญญาโท ภาควิชาเทคโนโลยีชีวภาพอุตสาหกรรม คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

** วท.บ. (ชีววิทยา) ภาควิชาชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยทักษิณ

*** Ph.D.(Microbiology) ภาควิชาชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยทักษิณ

Abstract

Shrimp farmers' high productivity expectation has lead to high stocking intensity and feeding approaches. The overfeeding becomes a significant source of the remaining organic matter in the pond both in soluble and insoluble forms. The aims of this report were to study the effects of shrimp feed on the quality of two types of wastewater, i.e., high salinity (2% NaCl) and low salinity (0.5% NaCl) wastewaters under aerobic and anaerobic conditions and its treatment potential by internal filter system, which is commonly used in the fish tank. The results showed that the shrimp feed solution (1.5 g/l.) generated high concentrations of NH_4^+-N, sCOD, PO_4^{3-}-P and SS. It was found that shrimp feed solution under anaerobic condition provided higher NH_4^+-N concentrations than under aerobic condition. Under aerobic condition, NH_4^+-N was oxidized to NO_2^--N and NO_3^--N by nitrifying bacteria. In high salinity condition (2.0% NaCl), it was found that shrimp feed was changed slowly, the insoluble organic carbon and nitrogen converted to soluble forms when determined chemically. Shrimp feed solution under aerobic condition revealed the average water qualities of NH_4^+-N, NO_2^--N, NO_3^--N, sCOD and PO_4^{3-}-P were 4.42 ± 0.95, 0.64 ± 0.21, 4.94 ± 1.89, 935 ± 85 and 3.29 ± 0.72 mg/l, respectively, and under anaerobic condition revealed the average of NH_4^+-N,

NO_2^--N, NO_3^--N, sCOD and PO_4^{3-}-P were 14.72 ± 4.74, 0.03 ± 0.003, 0.20 ± 0.03, 745 ± 140 and 5.65 ± 0.68 mg/l, respectively. In low salinity condition (0.5% NaCl), shrimp feed solution was changed rapidly. Under the aerobic condition, the average water qualities of NH_4^+-N, NO_2^--N, NO_3^--N, sCOD and PO_4^{3-}-P were 11.25 ± 2.56, 0.49 ± 0.06, 2.94 ± 1.72, 1189 ± 132 and 2.28 ± 0.57 mg/l, respectively, and under anaerobic condition were 14.62 ± 3.14, 0.04 ± 0.003, 0.24 ± 0.07, 1142 ± 197 and 4.00 ± 0.06 mg/l, respectively. The preliminary results of wastewater treatment system using internal filter system showed the removal of turbidity, suspended solids (SS) and total phosphate (TP) were achieved and differed significantly compared to the control ($P < 0.05$). However, there were no sign of the removal of NH_4^+-N, sCOD and PO_4^{3-}-P.

บทคัดย่อ

การเลี้ยงกุ้งในระยะเวลาที่ผ่านมามีการปล่อยกุ้งในอัตราต่อพื้นที่ค่อนข้างสูงมีการให้อาหารในปริมาณมากและถี่ในแต่ละวัน ซึ่งทำให้มีอาหารที่กุ้งกินไม่หมดเหลือตกค้างภายในบ่อเป็นจำนวนมาก อาหารกุ้งจึงมีบทบาทโดยตรงในการทำให้น้ำในบ่อเลี้ยงกุ้งสกปรก การทดลองครั้งนี้เป็นการศึกษาผลกระทบของอาหารกุ้งต่อคุณภาพน้ำในน้ำเสียสังเคราะห์ที่ความเค็มสูง (2% NaCl) และความเค็มต่ำ (0.5% NaCl) ในสภาวะที่มีออกซิเจนและไม่มีออกซิเจน และพัฒนาแนวทางในการบำบัดน้ำเสียที่เกิดจากอาหารกุ้งโดยใช้ระบบตัวกรองภายใน ผลการศึกษาพบว่าการเกิดน้ำเสียจากอาหารกุ้งทะเลเข้มข้น 1.5 ก/ล. ส่วนใหญ่ทำให้เกิดน้ำเสียเป็น NH_4^+-N, sCOD, PO_4^{3-}-P และ SS การเกิดน้ำเสียของอาหารกุ้งในสภาวะที่ไม่มีออกซิเจนมีการสะสมของ NH_4^+-N สูงกว่าในสภาวะที่มีออกซิเจน ในสภาวะที่มีออกซิเจน NH_4^+-N ได้เปลี่ยนไปเป็น NO_2^--N และ NO_3^--N โดยไนตริไฟอิงแบคทีเรีย ในน้ำเสียสังเคราะห์ที่มีความเค็มสูงอาหารกุ้งทะเล มีการเปลี่ยนแปลงเกิดขึ้นช้า สารอินทรีย์คาร์บอนและไนโตรเจนที่ไม่ละลายน้ำได้เปลี่ยนไปเป็นสารอินทรีย์และสารอนินทรีย์ที่ละลายน้ำโดยมีค่าเฉลี่ยของ NH_4^+-N, NO_2^--N, NO_3^--N, sCOD และ PO_4^{3-}-P ในสภาวะที่มีออกซิเจน 4.42 ± 0.95, 0.64 ± 0.21, 4.94 ± 1.89, 935 ± 85 และ 3.29 ± 0.72 มก/ล. ตามลำดับ ในสภาวะไม่มีออกซิเจน 14.72 ± 4.74, 0.03 ± 0.003, 0.20 ± 0.03, 745 ± 140 และ 5.65 ± 0.68 มก/ล. ตามลำดับ ในน้ำเสียที่มีความเค็มต่ำมีการเปลี่ยนแปลงเกิดขึ้นอย่างรวดเร็ว สารอินทรีย์คาร์บอนและไนโตรเจนที่ไม่ละลายน้ำได้เปลี่ยนไปเป็นสารอินทรีย์และสารอนินทรีย์ที่ละลายน้ำโดยมีค่าเฉลี่ยของ NH_4^+-N, NO_2^--N, NO_3^--N, sCOD และ PO_4^{3-}-P ในสภาวะที่มีออกซิเจนดังนี้ 11.25 ± 2.56, 0.49 ± 0.06, 2.94 ± 1.72, 1189 ± 132 และ 2.28 ± 0.57 มก/ล. ตามลำดับ และในสภาวะไม่มีออกซิเจนดังนี้ 14.62 ± 3.14, 0.04 ± 0.003, 0.24 ± 0.07, 1142 ± 197 และ 4.00 ± 0.06 มก/ล. ตามลำดับ การบำบัดน้ำเสียจากอาหารกุ้งในน้ำที่มีความเค็มสูงโดยใช้ระบบตัวกรองภายในที่ใช้ในการบำบัดน้ำในตู้เลี้ยงปลาสวยงามพบว่าสามารถบำบัด ความขุ่น (Turbidity) สารแขวนลอย (SS) และ ปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมด (TP) ของน้ำเสียจากอาหารกุ้งทะเลได้แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($P < 0.05$) เมื่อเปรียบเทียบกับชุดการทดลองที่ไม่ใช้ระบบตัวกรองภายใน แต่ไม่สามารถบำบัด NH_4^+-N, sCOD และ PO_4^{3-}-P ได้

บทนำ

ปัจจุบันอุตสาหกรรมการเลี้ยงกุ้งทะเลในประเทศไทยกำลังประสบปัญหาที่สำคัญคือ การรักษาสมดุลระหว่างผลผลิตกุ้งทะเลกับคุณภาพสิ่งแวดล้อมทางน้ำเพื่อที่จะให้ได้ผลตอบแทนที่เหมาะสม และสามารถรักษาสภาพของแหล่งน้ำให้อยู่ในสภาพที่ดี การเลี้ยงกุ้งในระยะเวลาที่ผ่านมามักปล่อยกุ้งในอัตราต่อพื้นที่ค่อนข้างสูง มีการให้อาหารในปริมาณมากและถี่ในแต่ละวัน ส่งผลให้เป็นสาเหตุของการเกิดน้ำเน่าเสียอันเนื่องมาจากสิ่งขับถ่ายของกุ้งและอาหารที่กุ้งกินไม่หมด ซึ่งนอกจากทำให้สภาพแวดล้อมในแหล่งน้ำเสื่อมโทรมแล้วยังทำให้ประสิทธิภาพในการเลี้ยงกุ้งต่ำอีกด้วย (Briggs และ Funge-Smith, 1994; Paez-Osuna *et. al.*, 1997; Burford และ Williams, 2001; McIntosh *et al.*, 2001) จากการศึกษาการเลี้ยงกุ้งแบบหนาแน่นในประเทศไทย พบว่า ในอาหารกุ้งที่ใช้ในการเลี้ยงมีเพียง 48% ของน้ำหนักอาหารแห้งที่กุ้งนำมาใช้ในการย่อยสลายสารอาหารให้เป็นพลังงานและในการลอกคราบ 17% เปลี่ยนไปเป็นเนื้อกุ้ง 15% เป็นอาหารที่เหลือ และ 20% เป็นขี้กุ้ง (McIntosh และ Phillips, 1992) การย่อยสลายของขี้กุ้งและอาหารกุ้งที่เหลือมีผลโดยตรงที่ทำให้น้ำในบ่อสกปรก (Boyd, 1992)

การย่อยสลายของอาหารกุ้งในบ่อถูกควบคุมด้วยปัจจัยหลายอย่าง เช่น อุณหภูมิ พีเอช ออกซิเจน ความเค็ม และส่วนประกอบของอาหารกุ้ง การย่อยสลายสารอินทรีย์ในอาหารกุ้งเกิดขึ้นได้ดีเมื่อมีอุณหภูมิที่เหมาะสม (15-35 ^{o}C) และพีเอชที่เป็นกลางซึ่งแบคทีเรียทั่วไปเจริญได้ดี การย่อยสลายของสารอินทรีย์เกิดทั้งในสภาวะที่มีออกซิเจนและไม่มีออกซิเจน ในสภาวะที่มีออกซิเจนสารอินทรีย์คาร์บอนส่วนใหญ่จะถูกเปลี่ยนไปเป็นคาร์บอนไดออกไซด์ ในสภาวะที่ไม่มีออกซิเจนจะถูกเปลี่ยนไปเป็นอัลกอฮอล์ กรดอินทรีย์ และมีเทน การย่อยสลายแบบใช้ออกซิเจนสามารถเกิดขึ้นได้รวดเร็วและสมบูรณ์กว่าแบบไม่ใช้ออกซิเจน อาหารกุ้งประกอบด้วยโปรตีน 35-45% และ ฟอสฟอรัส 1.3-1.8% การย่อยสลายอาหารกุ้งจึงทำให้เกิดการปลดปล่อยสารประกอบไนโตรเจนและฟอสฟอรัสออกมาเป็นจำนวนมาก (McIntosh *et. al.*, 2001)

Briggs และ Funge-Smith (1994) ได้ศึกษาปริมาณสารอาหารโดยเฉพาะไนโตรเจนและฟอสฟอรัสในบ่อเลี้ยงกุ้งแบบหนาแน่นพบว่า 92% ของไนโตรเจนในอาหารกุ้ง เปลี่ยนไปเป็นเนื้อกุ้งเพียง 21% ของไนโตรเจนทั้งหมด ตกค้างอยู่ในตะกอน 31% ในน้ำเปลี่ยนถ่ายระหว่างการเลี้ยง 22% และในน้ำปล่อยทิ้งในการจับกุ้ง 13% แหล่งสำคัญของสารไนโตรเจนในน้ำมาจากการขับถ่ายทางเหงือกของกุ้ง การละลายของอาหารกุ้ง และจากการละลายของขี้กุ้ง (Burford และ Williams, 2001; Avnimelech, 1996; Funge-Smith และ Briggs, 1998) สำหรับฟอสฟอรัสในบ่อกุ้งมาจากอาหารกุ้ง 51% ปุ๋ยที่เติมลงไปในบ่อ 21% และอีก 26% อยู่ในตะกอนดินที่ตกค้างอยู่ในบ่อ ส่วนฟอสฟอรัสในอาหารกุ้งเปลี่ยนไปเป็นเนื้อกุ้งเพียง 6% อยู่ในน้ำปล่อยทิ้ง 10% และ 84% ตกค้างอยู่ในตะกอน ซึ่งสารประกอบเหล่านี้เป็นอันตรายต่อตัวกุ้งและก่อเกิดภาวะมลพิษต่อสิ่งแวดล้อม เมื่อปล่อยออกสู่สิ่งแวดล้อมทำให้เกิดการเจริญเติบโตของพืชน้ำและสาหร่ายอย่างรวดเร็วที่เรียกว่า Eutrophication (Dierberg และ Kiattisimkul, 1996; Naylor *et al.*, 1998)

ดังนั้นอาหารกุ้งจึงเป็นสาเหตุสำคัญที่ทำให้น้ำในบ่อเลี้ยงสกปรก นอกจากนี้สารอาหารอนินทรีย์ที่มาจากอาหารกุ้ง (N และ P) ยังมีผลทางอ้อมในการเพิ่มสารอินทรีย์คาร์บอนจำนวนมากให้กับน้ำ โดยมาจากการเจริญเติบโตอย่างมากมายของแพลงก์ตอนที่เกิดจากอาหารกุ้ง ในรายงานการทดลองครั้งนี้เป็นผลจากการศึกษาการเปลี่ยนแปลงของอาหารกุ้งในน้ำเสียที่มีความเค็มสูงและต่ำทั้งในสภาวะที่มีออกซิเจนและไม่มีออกซิเจน โดยทำการตรวจวัดการเปลี่ยนแปลงของสารเคมีจากการละลายอาหารกุ้งในน้ำในสภาพแวดล้อมดังกล่าวในรูปแบบของสารอินทรีย์คาร์บอน (ซึ่งวัดโดยใช้ค่า sCOD) สารประกอบไนโตรเจนและฟอสฟอรัส รวมถึงการศึกษาแนวทางในการบำบัดด้วยระบบตัวกรองภายใน ซึ่งเป็นชุดบำบัดน้ำสำเร็จรูปที่มีจำหน่ายตามร้านขายปลาสวยงาม

อุปกรณ์และวิธีการทดลอง

1. การศึกษาองค์ประกอบของน้ำเสียจากอาหารกุ้งทะเล

อาหารกุ้งที่ใช้ในการทดลองเป็นอาหารกุ้งกุลาดำ Starter shrimp feed grobest GB-2 (Grobest Corporation, Ltd., Thailand) ขนาด 10 กิโลกรัม ส่วนประกอบของอาหารกุ้งประกอบด้วย ปลาป่น กุ้งป่น กากถั่วเหลือง แป้งสาลี วิตามิน และ เกลือแร่ คุณค่าทางด้านอาหารของอาหารกุ้ง ประกอบด้วยโปรตีนไม่ต่ำกว่า 40% ไขมันไม่ต่ำกว่า 4% ความชื้นไม่ต่ำกว่า 12% และกากไม่ต่ำกว่า 3% เหมาะสำหรับกุ้งขนาด 0.30-3.0 กรัม อัตราการให้อาหารกุ้งควรใช้ในปริมาณ 20-70% ของน้ำหนักตัวกุ้ง นำอาหารกุ้งปริมาณ 1.5 กรัม มาละลายในน้ำกลั่นปริมาตร 1 ลิตร และทำการตรวจสอบคุณสมบัติทางเคมีและกายภาพ เพื่อนำไปออกแบบน้ำเสียสังเคราะห์จากการเพาะเลี้ยงกุ้งทะเล

2. น้ำเสียจากการเพาะเลี้ยงกุ้งทะเลสังเคราะห์

น้ำเสียสังเคราะห์จากการเพาะเลี้ยงกุ้งทะเล มีองค์ประกอบคล้ายกับน้ำทิ้งจากการเพาะเลี้ยงกุ้งทะเล ประกอบด้วย Total chemical oxygen demand (tCOD) 2000 มก/ล. Soluble chemical oxygen demand (sCOD) 1200 มก/ล. Total Kjeldahl Nitrogen (TKN) 180 มก/ล. แอมโมเนียม-ไนโตรเจน (NH_4^+-N) 5 มก/ล. ฟอสเฟต-ฟอสฟอรัส (PO_4^{3-}-P) 10 มก/ล. ความเค็ม 20 ก/ล. (2% NaCl) สำหรับน้ำเสียสังเคราะห์จากการเพาะเลี้ยงกุ้งทะเลที่ความเค็มสูง และ 5 ก/ล. (0.5% NaCl) สำหรับที่ความเค็มต่ำ (ตารางที่ 1)

3. การศึกษาการเปลี่ยนแปลงทางเคมีและกายภาพจากน้ำทิ้งสังเคราะห์

เตรียมน้ำเสียสังเคราะห์จากการเพาะเลี้ยงกุ้งทะเลความเค็มสูง (2% NaCl) และความเค็มต่ำ (0.5% NaCl) ปริมาตร 750 มิลลิลิตร ใส่ในขวดทดลองขนาด 1000 มิลลิลิตร แบ่งออกเป็น 2 ชุดการทดลอง ชุดทดลองที่ 1 มีการเติมอากาศตลอดเวลาผ่านตัวจ่ายอากาศ (Air pump) และหัวทราย ชุดทดลองที่ 2 ไม่มีการเติมอากาศโดยใช้จุกสำลีเพื่อปิดปากขวดให้แน่น เก็บตัวอย่างมาวิเคราะห์คุณสมบัติทางกายภาพและทางเคมีในวันที่ 0, 1, 3, 5 และ 7 ของการทดลอง

ตารางที่ 1. องค์ประกอบของน้ำเสียสังเคราะห์จากการเพาะเลี้ยงกุ้งทะเลที่ใช้ในการทดลอง ดัดแปลงจาก Shan และ Obbard (2001)

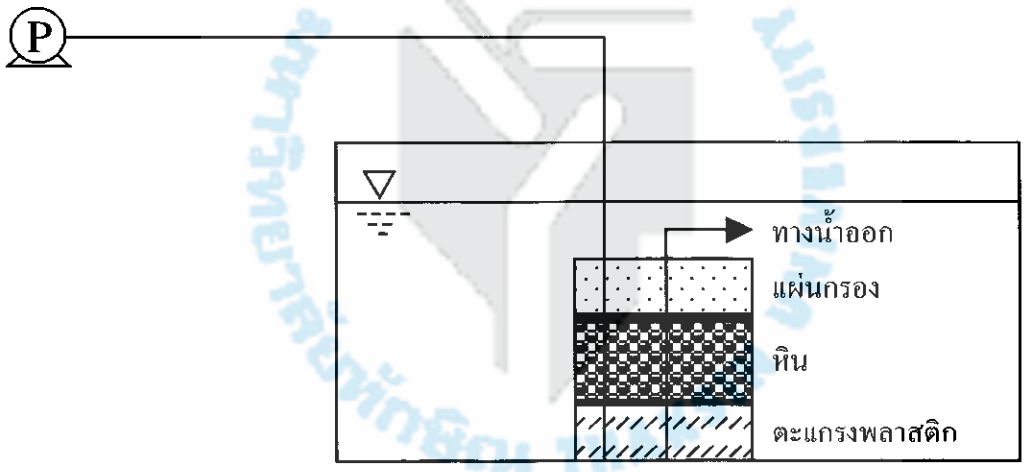
ส่วนประกอบ	ปัจจัยทางเคมี	ความเข้มข้น (ก/ล.)
Shrimp feed (Grobest®-2)	Chemical oxygen demand	1.5 (approx. 1200 mgO_2/l)
	$MgSO_4 7H_2O$	0.25
	KCl	0.5
	$CaCl_2 2H_2O$	0.25
	$FeSO_4 7H_2O$	0.001
	เกลือทะเล	5 (0.5%) - 20 (2%)
	$NaHCO_3$	0.5
	$(NH_4)_2SO_4$	0.024 (as 5 mg NH_4^+-N/l)
	K_2HPO_4	0.044 (as 10 mg PO_4^{3-}-P/l)

4. แนวทางในการบำบัดน้ำเสียที่เกิดจากอาหารกุ้งทะเลโดยใช้ระบบตัวกรองภายใน

เตรียมน้ำเสียสังเคราะห์จากการเพาะเลี้ยงกุ้งทะเลมีความเค็มสูง (2% NaCl) ปริมาตร 8 ลิตร ในตู้กระจกขนาด 10 ลิตรแบ่งออกเป็น 2 ชุดการทดลอง ชุดทดลองที่ 1 มีการเติมอากาศตลอดเวลาผ่านตัวจ่ายอากาศ และหัวทรายเป็นชุดควบคุม ชุดทดลองที่ 2 มีการเติมอากาศตลอดเวลาผ่านตัวจ่ายอากาศ หัวทราย และมีการเติมตัวกรองภายในซึ่งเป็นระบบบำบัดน้ำในอ่างเลี้ยงปลาสวยงาม ตัวกรองภายในประกอบด้วยแผ่นใยกรองสังเคราะห์ หิน พลาสติก (ภาพที่ 1) และใช้แรงดันอากาศเป็นตัวดึงมวลของน้ำผ่านเข้าไปในตัวกรอง เก็บตัวอย่างมาวิเคราะห์คุณสมบัติทางกายภาพและทางเคมีในวันที่ 0, 1, 3, 6, 9, 12 และ 15 ของการทดลอง

5. การวิเคราะห์คุณสมบัติทางกายภาพและทางเคมี

ทำการตรวจวัดอุณหภูมิ ความเค็ม พีเอช ค่าของออกซิเจนที่ละลายน้ำด้วย Multiprobe (YSI model 600QS, Germany) การตรวจวัดคุณสมบัติทางเคมีนำตัวอย่างมากรองด้วยกระดาษกรอง (กระดาษกรอง GF/C ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 47 mm) วิเคราะห์ค่า NO_2^--N, NO_3^--N, NH_4^+-N และ PO^{3-}_4-P โดยใช้ชุดวิเคราะห์สารเคมีสำเร็จรูป (test kit) ของ Spectroquant (Merck Ltd.) และตรวจวัดด้วยเครื่อง Spectrophotometer (Spectroquant NOVA 60, Merck Ltd.) ตรวจวัดค่า Chemical oxygen demand (COD) ในน้ำที่มีปริมาณคลอไรด์อยู่สูงทั้ง sCOD และ tCOD โดยวิธีของ Soto *et al.* (1989) ซึ่งดัดแปลงให้เหมาะกับน้ำที่มีความเค็ม ตรวจวัดค่า ฟอสฟอรัสรวม (TP) วิเคราะห์โดยนำน้ำตัวอย่างที่ไม่ผ่านการกรองมาย่อยด้วย Sulfuric acid และ Nitric acid ด้วยอุณหภูมิสูงตามวิธีของ APHA (1992) และนำสารละลายดังกล่าวมาวิเคราะห์หา PO^{3-}_4 - P โดยใช้ชุดวิเคราะห์สารเคมีสำเร็จรูปของ Spectroquant (Merck Ltd.) วัดด้วยเครื่อง Spectrophotometer (Spectroquant NOVA 60, Merck Ltd.) ตรวจวัดค่า Total Kjeldahl Nitrogen (TKN) และสารแขวนลอยในน้ำ (SS) โดยใช้วิธีมาตรฐานในการวิเคราะห์น้ำเสีย (APHA, 1992) ตรวจวัดค่าความขุ่น (Turbidity) โดยเครื่อง Turbidimeter (HACH - 2100AN, Germany)



ภาพที่ 1 แผนภูมิแสดงส่วนประกอบของระบบบำบัดแบบตัวกรองภายในซึ่งทดลองในตู้ปลาขนาด 10 ลิตร

6. การวิเคราะห์ทางสถิติ

วิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติด้วย t-student test จากโปรแกรม Microsoft EXCEL 2000 และโปรแกรม Sigmaplot version 5.0

ผลการทดลองและการอภิปรายผล

โดยทั่วไปการเพาะเลี้ยงกุ้งทะเล การจัดการอาหารเหลือในบ่อเป็นสิ่งที่ทำได้ยาก ดังนั้นอาหารที่เหลือจากการกินของกุ้งจะเกิดการย่อยสลายจากสารอินทรีย์ที่ไม่ละลายน้ำไปเป็นสารอินทรีย์ และสารอนินทรีย์ที่ละลายน้ำโดยการทำงานของจุลินทรีย์ภายในบ่อ ซึ่งสารเหล่านี้ทำให้คุณภาพของน้ำในการเพาะเลี้ยงกุ้งทะเลเสื่อมโทรมไม่เหมาะสมต่อการเลี้ยงกุ้งและยังเป็นพิษต่อตัวกุ้ง ในการทดลองได้ศึกษาการเกิดน้ำเสียจากอาหารกุ้งทะเลในน้ำเสียสังเคราะห์ที่ความเค็มสูง (2% NaCl) และต่ำ (0.5% NaCl) ในสภาวะที่มีออกซิเจน ไม่มีออกซิเจน และแนวทางในการบำบัดน้ำเสียที่เกิดจากอาหารกุ้งด้วยระบบตัวกรองภายใน พบว่า การเกิดน้ำเสียจากอาหารกุ้งทะเลในน้ำเสียสังเคราะห์ที่ความเค็มสูงจะเกิดได้ช้า ในสภาวะที่มีออกซิเจนเกิดการสะสมของ NH_4^+-N น้อยกว่าในสภาวะที่ไม่มีออกซิเจน ในสภาวะที่มีออกซิเจนเกิดการสะสมของ NH_4^+-N เฉลี่ย 4.42 $\pm$ 0.95 มก/ล. ในสภาวะที่ไม่มีออกซิเจนเกิดการสะสมของ NH_4^+-N เฉลี่ย 14.72 $\pm$ 4.74 มก/ล. (ตารางที่ 2) ในสภาวะที่มีออกซิเจนเกิดปฏิกิริยาไนตริฟิเคชัน ทำให้ NH_4^+-N มีการเปลี่ยนแปลงไปเป็น NO_2^--N และ NO_3^--N แต่ในสภาวะไม่ออกซิเจน NH_4^+-N ไม่มีการเปลี่ยนแปลงไปเป็น NO_2^--N และ NO_3^--N การเลี้ยงกุ้งทะเลมีการให้อาหาร 4-6 มื้อต่อวัน จึงทำให้มีปริมาณอาหารเหลือมาก การสะสมของอาหารกุ้งที่เหลือในบ่อเลี้ยงกุ้งประเภทความเค็มสูง การเน่าสลายเกิดขึ้นได้ช้า อาหารที่เหลือในบ่อกุ้งจึงมีการสะสมในปริมาณที่มาก ทำให้อาหารที่เหลือเปลี่ยนไป NH_4^+-N ในปริมาณมากด้วย NH_4^+-N เป็นตัวแปรคุณภาพน้ำที่สำคัญมีรายงานว่ามีความสัมพันธ์เชิงลบกับการเจริญเติบโตและอัตราการรอดของกุ้งทะเลในบ่อเลี้ยงแบบพัฒนา (พุทธ, 2537; Sodenberg *et al.*, 1983) ในกุ้งทะเลน้ำหนัก 1.6-27 กรัมมีการขับถ่ายแอมโมเนียในระดับ 0.3-0.93 มก/ก/ล. (Wickins, 1985) ทำให้ตรวจพบ NH_4^+-N ระดับสูงในบ่อเลี้ยงและเพิ่มมากขึ้นในช่วงหลังของการเลี้ยง ในการเลี้ยงกุ้งที่ระดับความเค็มสูงในช่วงหลังของการเลี้ยงควรมีการจัดการกับตะกอนเลนภายในบ่อ เพื่อลดสารอินทรีย์ที่จะเปลี่ยนไปเป็น NH_4^+-N ซึ่งเป็นพิษต่อกุ้ง การเกิดน้ำเสียจากอาหารกุ้งทะเล ในน้ำเสียสังเคราะห์ความเค็มต่ำ เกิดการย่อยสลายอาหารกุ้งอย่างรวดเร็ว ทำให้น้ำมีความสกปรกสูงอย่างรวดเร็ว ในสภาวะที่มีออกซิเจนมีการสะสมของ NH_4^+-N สูงถึง 19.6 มก/ล. ในวันที่ 3 และในสภาวะที่ไม่มีออกซิเจนมีการสะสมของ NH_4^+-N สูงถึง 23.4 มก/ล. ในวันที่ 7 การบำบัดน้ำเสียที่เกิดจากอาหารกุ้งทะเลโดยใช้ระบบตัวกรองภายในที่ใช้กับตู้เลี้ยงปลาสวยงาม เพื่อเป็นแนวทางในการนำไปใช้กับฟาร์มเพาะเลี้ยงกุ้งทะเล พบว่าระบบตัวกรองภายในสามารถบำบัด สารแขวนลอยในน้ำ สารอินทรีย์ฟอสฟอรัสที่ไม่ละลายน้ำ และความขุ่น ได้แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) เมื่อเปรียบเทียบกับชุดควบคุม และสามารถบำบัดสารอินทรีย์คาร์บอนและไนโตรเจนที่ไม่ละลายน้ำได้ดีกว่าระบบที่ไม่มีตัวกรองภายใน ระบบตัวกรองภายในไม่มีความสามารถในการบำบัดสารอินทรีย์และสารอนินทรีย์ที่ละลายน้ำได้ ในการบำบัดน้ำเสียจากการเพาะเลี้ยงกุ้งจึงควรใช้ระบบตัวกรองภายในร่วมกับการทำงานของกลุ่มจุลินทรีย์ที่เหมาะสม เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการบำบัดสารอินทรีย์และสารอนินทรีย์ที่ละลายน้ำ ผลการศึกษาในแต่ละสภาพการทดลองมีดังนี้

1. คุณสมบัติของน้ำเสียจากอาหารกุ้งทะเล

อาหารกุ้งทะเล 1.5 กรัมละลายน้ำ 1 ลิตร (1.5 ก/ล.) สามารถทำให้เกิดความสกปรกในรูปของสารอินทรีย์คาร์บอนที่ละลายน้ำในรูป sCOD 1,200 มก/ล. และสารอินทรีย์คาร์บอนที่ไม่ละลายน้ำในรูป tCOD 2,000 มก/ล. ความสกปรกในรูปสารอาหาร NH_4^+-N, NO_2^--N, NO_3^--N, TKN, PO_4^{3-}-P และ TP เท่ากับ 0.59, 0.06, 0.58, 180, 2.05 และ 15.1 มก/ล. ตามลำดับ ตะกอนแขวนลอยอยู่ในน้ำ 1,920 มก/ล.

2.การเกิดน้ำเสียของอาหารกุ้งทะเลในน้ำที่มีความเค็ม 2% NaCl

การเกิดน้ำเสียของอาหารกุ้งทะเลในน้ำเสียจากการเลี้ยงกุ้งทะเลสังเคราะห์ในสภาวะที่มีออกซิเจน พบว่าในสภาวะที่มีออกซิเจนเกิดการเปลี่ยนแปลงของอาหารกุ้งทะเลไปอยู่ในรูปของ NH_4^+-N สูงสุด 7.35 มก/ล. ในวันที่ 3 และมีการสะสมของ NH_4^+-N น้อยกว่าในสภาวะที่ไม่มีออกซิเจนเพราะ NH_4^+-N ส่วนใหญ่ถูกใช้ไปโดยไดอะตอม และสาหร่ายสีเขียว แบคทีเรียที่มีบทบาทสำคัญในการใช้ NH_4^+-N คือไนตริไฟอิงแบคทีเรีย โดย NH_4^+-N มีการเปลี่ยนแปลงไปเป็น NO_2^--N และ NO_3^--N สูงสุด 1.45 มก/ล. ในวันที่ 2 และ 11.5 มก/ล. ในวันที่ 3 ตามลำดับ NH_4^+-N บางส่วนอาจหายไปด้วยกระบวนเติมอากาศให้แก่น้ำด้วยกระบวนการที่เรียกว่า Air stripping เนื่องจากในสภาวะที่มีออกซิเจนและ pH 8.5 ในวันที่ 5 และวันที่ 7 ของการทดลอง (ภาพที่ 2(1)) ผลการเปลี่ยนแปลงของฟอสฟอรัสที่ไม่ละลายน้ำได้เปลี่ยนไปเป็น PO_4^{3-}-P ที่ละลายอยู่ในน้ำเสียสูงที่สุด 6.3 มก/ล. ในวันที่ 2 โดยการทำงานของจุลินทรีย์หลายกลุ่มเช่น *Bacillus* spp. ที่สามารถเปลี่ยนสารประกอบอินทรีย์ฟอสฟอรัสให้เป็นออร์โธฟอสเฟสที่ละลายน้ำได้ (Bitton, 1994) และถูกใช้ไปลดเหลือ 2.55 มก/ล. ในวันที่ 7

การเกิดน้ำเสียของอาหารกุ้งทะเลในน้ำเสียจากการเลี้ยงกุ้งทะเลสังเคราะห์ความเค็มสูงในสภาวะที่ไม่มีออกซิเจน พบว่าในสภาวะที่ไม่มีออกซิเจนเกิดการเปลี่ยนแปลงไปอยู่ในรูปของ NH_4^+-N สูงสุด 30.35 มก/ล. (ภาพที่ 2(2)) จะเห็นว่ามีการสะสมของ NH_4^+-N มากกว่าในสภาวะที่มีออกซิเจน โดยแอมโมเนียจะเกิดขึ้นจากกระบวนการ Ammonification ในบ่อเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำจากการย่อยสลายอาหารที่เหลือ และสิ่งขับถ่ายของสัตว์น้ำโดยจุลินทรีย์พวกเฮทเธอโรโทรพ (Heterotroph) ในสภาวะไม่มีออกซิเจนทำให้เกิดการสะสมของ NH_4^+-N (Boyd, 1992) ส่วนในสภาวะที่ไม่มีออกซิเจนจะขาดก๊าซออกซิเจนอิสระในการออกซิไดซ์ NH_4^+-N ให้เปลี่ยนไปเป็น NO_2^--N และ NO_3^--N ค่าเฉลี่ยความเข้มข้นของ NH_4^+-N, NO_2^--N และ NO_3^--N ในสภาวะไม่มีออกซิเจนเท่ากับ 14.72 ± 4.74, 0.33 ± 0.03 และ 0.20 ± 0.03 มก/ล. ตามลำดับ (ตารางที่ 2) การเปลี่ยนแปลงของฟอสเฟต-ฟอสฟอรัสในสภาวะไม่มีออกซิเจนมีการละลายออกมาเพิ่มขึ้นและไม่มีการนำไปใช้ มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 5.65 ± 0.68 มก/ล. สารอินทรีย์คาร์บอนในอาหารกุ้งทะเลมีการเปลี่ยนแปลงไปเป็นสารตัวกลางต่างๆ ในวิถีการย่อยอาหาร ส่วนใหญ่ NH_4^+-N เป็นสารตัวกลางที่สำคัญมีการเกิดขึ้นอย่างรวดเร็วและมีปริมาณมาก มีรายงานว่าความเข้มข้นของ NH_4^+-N เพียง 0.4 มก/ล. สามารถทำให้กุ้งตายได้ และที่ความเข้มข้นของ NH_4^+-N 10 มก/ล. ทำให้กุ้งตายภายใน 10 ชั่วโมง (Chen, 1993) และถ้ามีการปล่อยลงสู่แหล่งน้ำโดยไม่ผ่านการบำบัดทำให้เกิดการเจริญเติบโตอย่างรวดเร็วของแพลงก์ตอนและพืชน้ำ ทำให้เพิ่มความสกปรกของสารอินทรีย์คาร์บอนและไนโตรเจนที่ไม่ละลายน้ำมีการเปลี่ยนแปลงไปเป็นสารอินทรีย์และสารอนินทรีย์ที่ละลายน้ำได้ ในสภาวะที่ไม่มีออกซิเจนในน้ำมี NH_4^+-N สูง แต่ pH มีการเปลี่ยนแปลงลดลงเพราะในกระบวนการหมักมีการเปลี่ยนสารอินทรีย์ไปเป็นกรดอินทรีย์บางตัว

3.การเกิดน้ำเสียของอาหารกุ้งทะเลในน้ำที่มีความเค็มต่ำ (0.5% NaCl)

การเปลี่ยนแปลงของอาหารกุ้งทะเลในน้ำเสียที่มีความเค็มต่ำในสภาวะที่มีออกซิเจนเกิด NH_4^+-N สูงสุด 19.6 มก/ล. มีการสะสมของ NH_4^+-N สูงเพราะกระบวนการเกิด NH_4^+-N (Ammonification) เกิดขึ้นอย่างรวดเร็วเพราะมีจุลินทรีย์หลายชนิดทำงานได้ดีที่ความเค็มต่ำ NH_4^+-N ส่วนใหญ่ถูกใช้ไปโดยไดอะตอมและสาหร่ายสีเขียว นอกจากนั้นแบคทีเรียในตริไฟอิงมีบทบาทสำคัญในการใช้ NH_4^+-N โดยทำการออกซิไดส์ NH_4^+-N และเปลี่ยนไปเป็น NO_2^--N และ NO_3^--N ตามลำดับ ผลการทดลองพบว่ามีการเปลี่ยนแปลงไปเป็น NO_2^--N สูงสุด 0.65 มก/ล. ใน

วันที่ 2 และ NO_3^--N สูงสุด 9.0 มก/ล. ในวันที่ 3 (ภาพที่ 3(1)) ฟอสเฟตมีการเปลี่ยนแปลงลดลงต่ำถึง 2.0 มก/ล. เพราะฟอตเฟสถูกใช้โดยเชื้อจุลินทรีย์กลุ่มที่ต้องการออกซิเจนในการเจริญเติบโต การเปลี่ยนแปลงของอาหารกุ้งในสภาวะไม่มีออกซิเจนเกิด NH_4^+-N สูงสุด 23.4 มก/ล. ส่วนไนเตรท-ไนโตรเจน ไนไตรท์-ไนโตรเจน และ ฟอสเฟต-ฟอสฟอรัสไม่พบมีการเปลี่ยนแปลง นอกจากนั้นสารอินทรีย์คาร์บอนในรูปของ sCOD มีการเปลี่ยนแปลงลดลง 27.6% ในสภาวะที่มีออกซิเจนและ 17% ในสภาวะไม่มีออกซิเจน การเกิดน้ำเสียจากอาหารกุ้งในน้ำเสียสังเคราะห์ความเค็มต่ำเกิดการย่อยสลายอย่างรวดเร็วในสภาวะที่มีออกซิเจนเกิด NH_4^+-N มีค่าเฉลี่ย 11.25 ± 2.56 มก/ล. ในสภาวะที่มีออกซิเจนและ 14.62 ± 3.14 ในสภาวะไม่มีออกซิเจน

4. แนวทางในการบำบัดน้ำเสียที่เกิดจากอาหารเพาะเลี้ยงกุ้งทะเลโดยใช้ระบบตัวกรองภายใน

การบำบัดน้ำเสียด้วยระบบตัวกรองภายใน ใช้หลักการกรองของเสียที่แขวนลอยอยู่ในน้ำด้วยแผ่นกรองใยสังเคราะห์ ทราย และหิน รวมทั้งจากกลุ่มจุลินทรีย์ในธรรมชาติที่เกิดเป็น Biofilm เกาะกับแผ่นกรองใยสังเคราะห์ ทราย และหินในระบบตัวกรองภายใน การบำบัดน้ำเสียที่เกิดจากอาหารกุ้งในน้ำเสียสังเคราะห์ที่มีความเค็มสูงเนื่องจากการทดลองเบื้องต้นพบว่าในน้ำเสียที่มีความเค็มสูงเกิดการบำบัดด้วยตัวเองได้ช้า จึงได้ทำการบำบัดด้วยระบบตัวกรองภายใน ระบบตัวกรองภายในที่ใช้มีความสามารถในการลดความสกปรกของน้ำทางด้านกายภาพ น้ำที่ผ่านการบำบัดด้วยตัวกรองภายในมีค่าความขุ่นและค่าสารแขวนลอยในน้ำ 37.7 ± 17.6 NTU และ 160 มก/ล. ตามลำดับ หลังจากผ่านการบำบัดไป 7 วัน แต่คุณสมบัติทางเคมีของน้ำที่บำบัดด้วยตัวกรองภายในมีลักษณะทางเคมีคล้ายกับชุดควบคุม มีปริมาณ NH_4^+-N sCOD และ PO_4^{3-}-P ในชุดควบคุมเฉลี่ย 10.92 ± 4.25, 921 ± 237 และ 8.93 ± 0.54 ตามลำดับในชุดบำบัดด้วยตัวกรองภายในเฉลี่ย 7.97 ± 2.73, 906 ± 152 และ 7.8 ± 0.38 มก/ล. ตามลำดับ (ตารางที่ 3) เมื่อเวลาผ่านไป 15 วัน ทั้ง 2 ชุดการทดลองมีปริมาณ NH_4^+-N เท่ากับ 0 มก/ล. ในชุดควบคุมหลังจากวันที่ 12 ปริมาณ NO_2^--N เพิ่มขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับค่า NH_4^+-N ที่ลดลง ได้เปลี่ยนไปเป็น NO_2^--N และ NO_3^--N ด้วยกระบวนการไนตริฟิเคชัน ส่วนในชุดบำบัดด้วยตัวกรองภายใน การลดลงของแอมโมเนียในน้ำส่วนใหญ่ถูกใช้ไปโดยไดอะตอม (เช่น *Navicula*) และสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินชนิดที่เป็นเส้นสาย (ได้แก่ *Oscilatoria* และ *Spirulina*) ซึ่งสอดคล้องกับการทดลองของ Thompson และคณะ (2002) พบว่าในการบำบัดน้ำเสียจากการเพาะเลี้ยงกุ้งทะเลด้วย Biofilm NH_4^+-N ส่วนใหญ่ถูกใช้ไปโดยไดอะตอม และสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินชนิดที่เป็นเส้นสาย การบำบัดน้ำเสียจากอาหารกุ้งในน้ำที่มีความเค็มสูงโดยใช้ตัวกรองภายในพบว่าสามารถบำบัดน้ำเสียทางด้านกายภาพได้ดี โดยเฉพาะความขุ่น และสารแขวนลอยในน้ำได้ดี แต่ไม่สามารถบำบัดลักษณะทางเคมีของน้ำเสียได้ ดังนั้นในการบำบัดน้ำเสียที่เกิดจากอาหารกุ้งจำเป็นต้องใช้จุลินทรีย์ร่วมกับการบำบัดทางกายภาพ

สรุปผลการทดลอง

การศึกษาผลกระทบของอาหารกุ้งต่อคุณภาพน้ำในน้ำเสียสังเคราะห์ที่ความเค็มสูง (2% NaCl) และความเค็มต่ำ (0.5% NaCl) ในสภาวะที่มีออกซิเจนและไม่มีออกซิเจน และพัฒนาแนวทางในการบำบัดน้ำเสียที่เกิดจากอาหารกุ้งโดยใช้ระบบตัวกรองภายใน ผลการศึกษาพบว่าการเกิดน้ำเสียจากอาหารกุ้งทะเลเข้มข้น 1.5 ก/ล. ส่วนใหญ่ทำให้เกิดน้ำเสียเป็น NH_4^+-N, sCOD, PO_4^{3-}-P และ SS การเกิดน้ำเสียของอาหารกุ้งในสภาวะที่ไม่มีออกซิเจนมีการสะสมของ NH_4^+-N สูงกว่าในสภาวะที่มีออกซิเจน ในสภาวะที่มีออกซิเจน NH_4^+-N ได้เปลี่ยนไปเป็น NO_2^--N และ NO_3^--N โดยแบคทีเรียไนตริไฟอิง ในน้ำเสียสังเคราะห์ที่มีความเค็มสูงอาหารกุ้งทะเล มีการเปลี่ยนแปลงเกิดขึ้นช้า สารอินทรีย์คาร์บอนและไนโตรเจนที่ไม่ละลายน้ำได้เปลี่ยนไปเป็นสารอินทรีย์

และสารอนินทรีย์ที่ละลายน้ำโดยมีค่าเฉลี่ยของ NH_4^+-N, NO_2^--N, NO_3^--N, sCOD และ PO_4^{3-}-P ในสภาวะที่มีออกซิเจน 4.42 ± 0.95, 0.64 ± 0.21, 4.94 ± 1.89, 935 ± 85 และ 3.29 ± 0.72 มก/ล. ตามลำดับ ในสภาวะไม่มีออกซิเจน 14.72 ± 4.74, 0.03 ± 0.003, 0.20 ± 0.03, 745 ± 140 และ 5.65 ± 0.68 มก/ล. ตามลำดับ ในน้ำเสียที่มีความเค็มต่ำมีการเปลี่ยนแปลงเกิดขึ้นอย่างรวดเร็ว สารอินทรีย์คาร์บอนและไนโตรเจนที่ไม่ละลายน้ำได้เปลี่ยนไปเป็นสารอินทรีย์และสารอนินทรีย์ที่ละลายน้ำโดยมีค่าเฉลี่ยของ NH_4^+-N, NO_2^--N, NO_3^--N, sCOD และ PO_4^{3-}-P ในสภาวะที่มีออกซิเจนดังนี้ 11.25 ± 2.56, 0.49 ± 0.06, 2.94 ± 1.72, 1189 ± 132 และ 2.28 ± 0.57 มก/ล. ตามลำดับ และในสภาวะไม่มีออกซิเจนดังนี้ 14.62 ± 3.14, 0.04 ± 0.003, 0.24 ± 0.07, 1142 ± 197 และ 4.00 ± 0.06 มก/ล. ตามลำดับ การบำบัดน้ำเสียจากอาหารกุ้งในน้ำที่มีความเค็มสูงโดยใช้ระบบตัวกรองภายในที่ใช้ในการบำบัดน้ำในตู้เลี้ยงปลาสวยงามพบว่าสามารถบำบัด ความขุ่น สารแขวนลอย และปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมด ของน้ำเสียจากอาหารกุ้งทะเลได้แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($P < 0.05$) แต่ไม่สามารถบำบัดลักษณะทางเคมีของน้ำเสียโดยเฉพาะ NH_4^+-N, sCOD และ PO_4^{3-}-P ได้

กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยขอขอบพระคุณผู้ให้การสนับสนุนทุนการวิจัยครั้งนี้ บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ ทบวงมหาวิทยาลัย และภาควิชาชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยทักษิณ ที่ให้การสนับสนุนในเรื่องสถานที่วิจัยและทุนวิจัยบางส่วน

เอกสารอ้างอิง

พุทธ ส่องแสงจินดา. 2537. สหสัมพันธ์เชิงเส้นของตัวแปรคุณภาพน้ำกับข้อมูลการเลี้ยงกุ้งกุลาดำแบบพัฒนาในเขตอำเภอระโนด จังหวัดสงขลา. เอกสารวิชาการฉบับที่ 10/2534. สถาบันการวิจัยเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำชายฝั่ง. กรมประมง.

APHA. 1992. Standard methods for the examination of water and wastewater. 18th edition. American Public Health Association, American Water Works Association, Water Environment Federation, Washington.

Avnimelech, Y. 1999. Carbon/nitrogen ratio as a control element in aquaculture systems. Aquaculture. 176: 227-235

Bitton, G. 1994. Wastewater Microbiology. A John Wiley & Sons, Inc., New York.

Boyd, C. E. 1992. Shrimp pond bottom soil and sediment management. *In* J. Wyban (Ed.), Proceedings of Special Session on Shrimp Farming, Aquaculture 92. World Aquaculture Society, Baton Rouge, LA, USA. pp 166-181.

Briggs, M.R.P. and Funge-Smith, S. J. 1994. A nutrient budget of some intensive marine shrimp ponds in Thailand. Aquaculture Fisheries Management. 25: 789-911

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

Chen, J. C. and Kou, Y. Z. 1993. Accumulation of ammonia in the haemolymph of *Penaeus monodon* exposed to ambient ammonia. Aquaculture. 109: 177-185.

Dierberg,-F.E. and Kiattisimkul,-W. 1996. Issues, impacts, and implications of shrimp aquaculture in Thailand. Environmental Management. 20(5): 649-666.

Funge-Smith, S. J. and Briggs M.R.P. 1998. Nutrient budgets in intensive shrimp ponds: implications for sustainability. Aquaculture 164: 117-133.

McIntosh D. J. and Phillips M. J. 1992. Environmental consideration in shrimp farming. Infofish International 6: 38-92

McIntosh, D., Samocha, T. M., Jones, E. R., Lawrence, A. L., Horowitz, S. and Horowitz, A. 2001. Effects of two commercially available low-protein diets (21% and 31%) on water and sediment quality, and on the production of *Litopenaeus vannamei* in an outdoor tank system with limited water discharge. Aquaculture Engineering. 25: 69-82.

Naylor, R. L., Goldburg, R. J., Mooney, H., Beveridge, M., Clay, J., Folke, C., Kautsky, N., Lubchenco, J., Primavera, J. and Williams, M., 1998. Nature's subsides to shrimp and salmon farming. Science. 282: 883-884.

Paez-Osuna, F., Guerrero-Galvan, S. R., Ruiz-Fernamdez, A. C. and Espinoza-Angulo, R. 1997. Fluxes and mass balances of nutrients in a semi-intensive shrimp farm in north -western Mexico. Marine Pollution Bulletin. 34(5): 290-297.

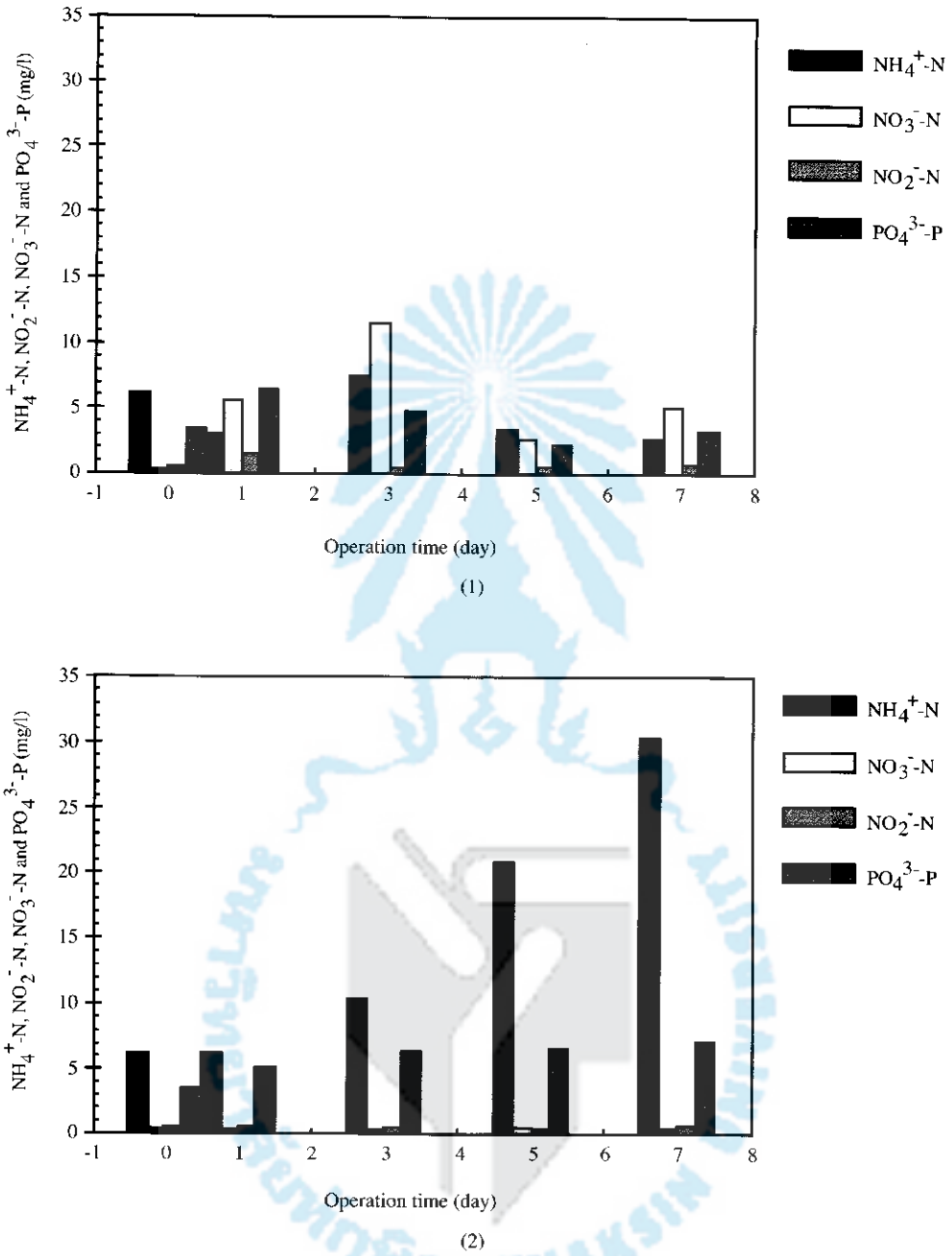
Shan, H. and Obbard, J. P. 2001. Ammonia removal from prawn aquaculture water using immobilized nitrifying bacteria. Appl. Microbiol. Biotechnol. 57: 791-798.

Sodenberg, R. F., Flynn, J. B. and Schmittou, H. R. 1983. Effects of ammonia on growth and survival of Rainbow trout in intensive static water culture. Transaction of the Ammonia Fisheries Society. 112: 448-451.

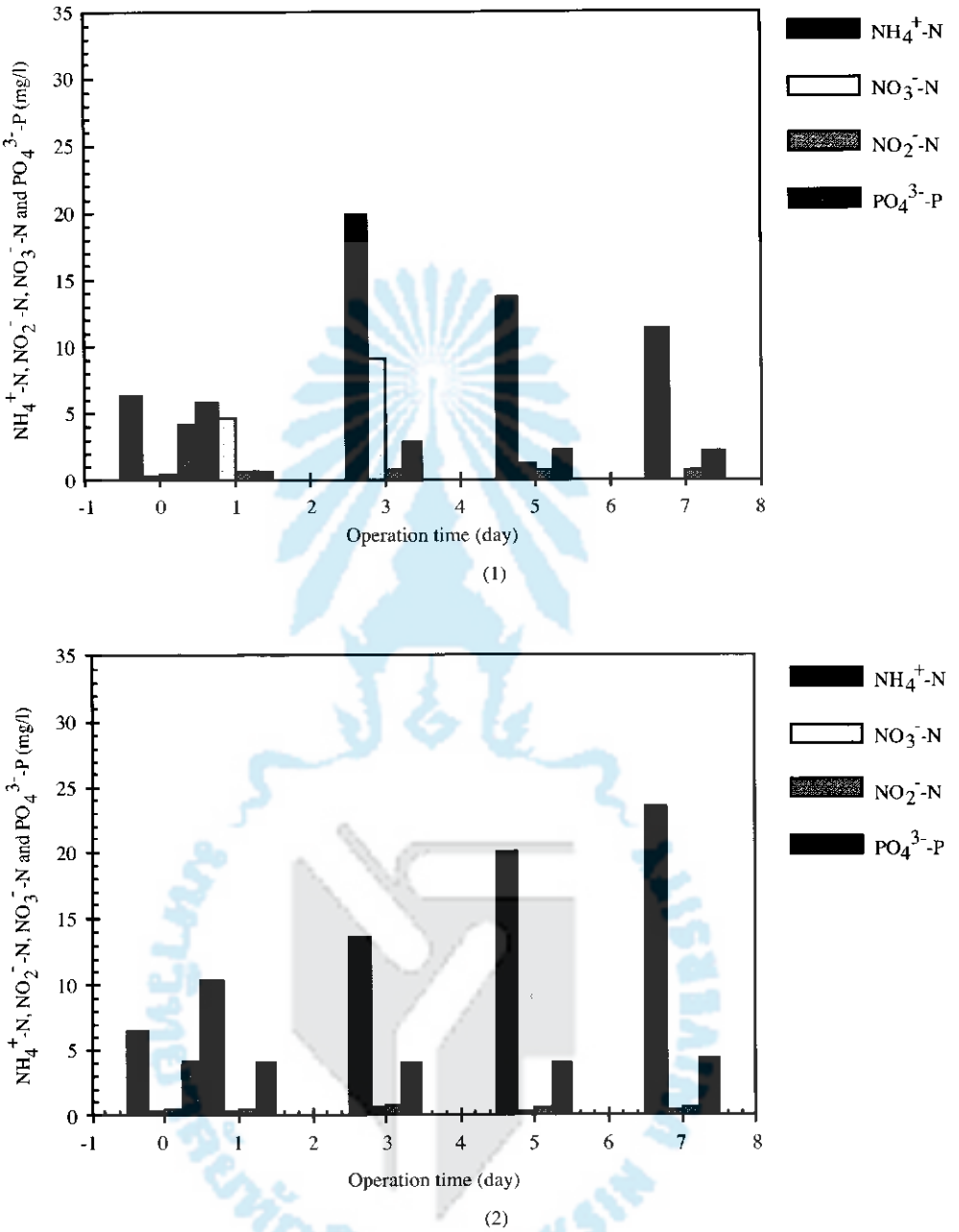
Soto, M., Veiga, M.C., Mendez, R. and Lema, J. M. 1989. Semi-micro COD determination method for high-salinity wastewater. Environmental Technology Letters. 10: 541-548.

Wickins, J. F. 1985. Ammonia production and oxidation during the culture of marine prawns and lobsters in laboratory recirculation systems. Aquaculture Engineering. 4: 155-174.

Thompson, F. L., Abreu, P. C. and Wasielesky, W. 2002. Importance of biofilm for water quality and nourishment in intensive shrimp culture. Aquaculture. 203: 263-278.



ภาพที่ 2. การเกิดน้ำเสียจากอาหารเพาะเลี้ยงกุ้งทะเลในน้ำทิ้งสังเคราะห์ความเค็มสูง (2% NaCl) (1) การเกิดน้ำเสียในสภาวะที่มีออกซิเจน (2) การเกิดน้ำเสียในสภาวะที่ไม่มีออกซิเจน



ภาพที่ 3. การเกิดน้ำเสียจากอาหารเพาะเลี้ยงกุ้งทะเลในน้ำทิ้งสังเคราะห์ความเค็มต่ำ (0.5% NaCl) (1) การเกิดน้ำเสียในสภาวะที่มีออกซิเจน (2) การเกิดน้ำเสียในสภาวะที่ไม่มีออกซิเจน

ตารางที่ 2. แสดงค่าเฉลี่ยคุณภาพน้ำทางกายภาพและทางเคมีที่เกิดจากอาหารกุ้งทะเลในน้ำเสียสังเคราะห์จากการเพาะเลี้ยงกุ้งทะเลในสภาวะที่มีออกซิเจนและไม่มีออกซิเจนเป็นเวลา 7 วัน (Mean ± s. e.)

Treatment	NH_4^+-N (มก/ล.)	NO_2^--N (mg/l)	NO_3^--N (mg/l)	TKN (mg/l)	PO_4^{3-}-P (mg/l)	TP (mg/l)	sCOD (mg/l)	tCOD (mg/l)	pH	DO (mg/l)	Temp (°C)	Salinity (mg/l)
High saline (2.0% NaCl)												
Aerobic	4.42 ± 0.95	0.64 ± 0.21	4.94 ± 1.89	137 ± 26	3.29 ± 0.72	11.70 ± 3.28	935 ± 85	1850 ± 14	8.25 ± 0.17	2.69 ± 0.26	28.57 ± 0.48	21.6 ± 0.70
Anaerobic	14.72 ± 4.74	0.33 ± 0.03	0.20 ± 0.03	161 ± 9	5.65 ± 0.68	13.15 ± 2.93	745 ± 140	1598 ± 199	7.38 ± 0.24	0.94 ± 0.46	28.34 ± 0.53	20.12 ± 0.15
Low saline (0.5 % NaCl)												
Aerobic	11.25 ± 2.56	0.49 ± 0.06	2.94 ± 1.72	116 ± 36	2.28 ± 0.57	13.6 ± 1.21	1189 ± 132	1691 ± 322	8.14 ± 0.10	4.06 ± 0.73	28.99 ± 0.59	6.87 ± 0.46
Anaerobic	14.62 ± 3.14	0.44 ± 0.06	0.24 ± 0.07	150 ± 12	4.00 ± 0.06	10.90 ± 1.18	1142 ± 197	1628 ± 343	7.28 ± 0.20	0.79 ± 0.26	29.13 ± 0.57	6.02 ± 0.01

ตารางที่ 3. แสดงค่าเฉลี่ยคุณภาพน้ำทางกายภาพและทางเคมีในการบำบัดน้ำเสียที่เกิดจากอาหารกุ้งทะเลในน้ำเสียสังเคราะห์จากการเพาะเลี้ยงกุ้งทะเลในสภาวะที่มีออกซิเจนด้วยระบบตัวกรองภายในเป็นเวลา 7 วัน (Mean ± s. e.)

Treatment	NH_4^+-N (mg/l)	NO_2^--N (mg/l)	NO_3^--N (mg/l)	TKN (mg/l)	PO_4^{3-}-P (mg/l)	TP (mg/l)	sCOD (mg/l)	tCOD (mg/l)	pH	DO (mg/l)	Temp (°C)	Salinity (mg/l)	SS (mg/l)	Turbidity (NTU)
Control	10.92 ± 4.25	0.68 ± 0.40	0.15 ± 0.02	131.43 ± 8.04	8.93 ± 0.54	25.08 ± 2.74*	921 ± 237	1618 ± 92	8.93 ± 0.13	6.00 ± 0.13	29.34 ± 0.24	23.17 ± 0.86	1510*	111.2 ± 21.4*
Internal filter system	7.97 ± 2.73	0.57 ± 0.38	0.22 ± 0.05	121.33 ± 17.81	7.8 ± 0.38	14.67 ± 2.09*	906 ± 152	1383 ± 219	8.99 ± 0.11	6.01 ± 0.20	29.68 ± 0.23	22.67 ± 0.59	160*	37.7 ± 17.6*

* แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ (P < 0.05)