

การศึกษาประสิทธิภาพของรางดักตะกอนในการบำบัดน้ำทิ้งจากบ่อเลี้ยงปลานิล ในระบบหมุนเวียนน้ำแบบปิด

Performance of Sedimentation Gutters in Treating of Tilapia Ponds Effluent

กัญญ โงษ์ทัตติม (Pinyo Wongtubtim)* ดร.ปิยะบุตร วานิชพงษ์พันธุ์ (Piyabutr Wanichpongpan)**
ดร.วิมลศิริ ปรีดาสวัสดิ์ (Wimolsiri Pridasawas)*** ดร.ชีวิน อรรถสาสน์ (Shewin Attasat)****
ดร.สุกัลยา ตันติวิศวรจิ (Sukanlaya Tantiwisawaraji)*****

บทคัดย่อ

ตะกอนของแข็งที่เกิดขึ้นจากการขับถ่ายของสัตว์น้ำและเศษอาหารที่เหลือ เมื่อมีการย่อยสลายจะปล่อยสารพิษและอาจเข้าไปอุดช่องเหงือกของสัตว์น้ำทำให้เจริญเติบโตช้า ด้วยเหตุนี้ระบบเพาะเลี้ยงที่ดีต้องสามารถกำจัดตะกอนเหล่านี้ ออกได้อย่างรวดเร็วและอย่างมีประสิทธิภาพ การศึกษานี้แสดงให้เห็นว่า การใช้รางดักตะกอนสามารถบำบัดตะกอนของแข็งจากการเลี้ยงปลานิลในระบบน้ำหมุนเวียนได้อย่างมีประสิทธิภาพโดยสามารถควบคุมปริมาณของแข็งแขวนลอยในบ่อเลี้ยงให้อยู่ในระดับที่เหมาะสมสำหรับการเลี้ยงปลานิลตลอดระยะเวลาการทดลอง รูปแบบของการจัดวางรางดักตะกอนในลักษณะที่ต่างกัน มีผลเพียงเล็กน้อยต่อปริมาณตะกอนที่กักเก็บได้ในราง โดยสามารถกักเก็บของแข็งได้ในปริมาณที่ใกล้เคียงกัน คิดเป็นร้อยละ 9.5 – 11.3 ของน้ำหนักแห้งของอาหารเม็ดที่ใช้ในการเลี้ยง นอกจากนี้ยังพบว่ารูปแบบการจัดวางรางดักตะกอนมีผลเพียงเล็กน้อยต่อการเจริญเติบโตของปลาที่เลี้ยง และการเปลี่ยนแปลงของคุณภาพน้ำระหว่างการเลี้ยง ได้แก่ ปริมาณแอมโมเนีย ไนโตรเจน ไนเตรต และของแข็งแขวนลอย

ABSTRACT

Aquaculture animals produce solid waste, consisting of feces and uneaten food. This particulate matter can be degraded and release hazardous chemicals, clogging animal gills and reduce their growth rates. With this reason, good aquaculture systems have to remove the solid waste efficiently. In this study, sedimentation gutters can efficiently remove the solid waste produced from tilapia tanks cultured in recirculating system. The concentrations of total suspended solid in fish tanks were controlled to a suitable level during the experimental period. The experimental results also indicated that the arrangement of gutters layout slightly affected the amounts of solid waste retained in gutters, which varied from 9.5 to 11.3 percent of the weight of diet fed to fishes. Moreover, the arrangement of gutters layout slightly affected the growth rates of fish and the changes of water quality, i.e. total ammonia nitrogen, nitrite, nitrate, and total suspended solid, in the fish tanks.

คำสำคัญ: ปลานิล การดักตะกอน ระบบหมุนเวียนน้ำแบบปิด

Keywords: Tilapia, Sedimentation, Recirculating Aquaculture System

*นักศึกษา หลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

**รองศาสตราจารย์ สาขาวิชาวิศวกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

***ผู้ช่วยศาสตราจารย์ สาขาวิชาวิศวกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

****สถาบันพัฒนาและฝึกอบรมโรงงานต้นแบบ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

*****สถาบันการเรียนรู้ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

บทนำ

การพัฒนาการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำเพื่อให้ได้ผลผลิตสูงสุดโดยการเลี้ยงแบบพัฒนาหรือแบบหนาแน่นนั้น จำเป็นต้องให้อาหารอย่างเต็มที่เพื่อเร่งผลผลิตได้มากที่สุด อาหารที่เหลือตกค้างและของเสียจากการขับถ่ายของสัตว์น้ำ ย่อมมีมากตามปริมาณอาหารที่ป้อนให้กับบ่อเกิดการตกค้างสะสมของสารอินทรีย์และสารอนินทรีย์ทั้งในรูปที่ละลาย น้ำและตะกอนแขวนลอยในบ่อ ส่งผลให้เกิดปัญหาการเสื่อมโทรมของคุณภาพน้ำในบ่อเลี้ยง ทำให้สัตว์น้ำมีสภาวะ เครียดมีความต้องการออกซิเจนสูงขึ้น อ่อนแอ และเสี่ยงต่อการติดโรค (วิลาสินี, 2546)

สำหรับของเสียที่ส่งผลกระทบต่อสัตว์น้ำก็คือของเสียที่มีไนโตรเจนเป็นองค์ประกอบ ที่สำคัญได้แก่ แอมโมเนีย (NH_3) และไนไตรท์ (NO_2^-) โดยแอมโมเนีย (NH_3) เป็นสารอนินทรีย์ที่เกิดจากการขับถ่ายของสัตว์น้ำและ จากการย่อยสลายของอาหารสัตว์ที่เหลือจากการบริโภค รวมถึงการย่อยสลายของตะกอนอินทรีย์ภายในบ่อเลี้ยงจัดเป็น สารที่มีความเป็นพิษต่อสัตว์น้ำเป็นอย่างมาก การสะสมของแอมโมเนียในน้ำ (NH_3) จะทำให้สัตว์น้ำมีอาการเครียด และ มีภาวะเสี่ยงต่อการติดโรค (Evans, Pasnik, 2006) ตามปกติแอมโมเนียในน้ำ (NH_3) จะถูกเปลี่ยนไปเป็นไนไตรท์ (NO_2^-) และไนเตรท (NO_3^-) โดยกระบวนการไนตริฟิเคชัน (Nitrification) ในส่วนความเป็นพิษของไนไตรท์ (NO_2^-) หากมีการ สะสมในบ่อเลี้ยง จะทำให้ความสามารถในการรับออกซิเจนของสัตว์น้ำต่ำกว่าปกติ เนื่องจากไนไตรท์ (NO_2^-) จะเข้าไป แย่งออกซิเจนจับกับเม็ดเลือดทำให้ความสามารถในการลำเลียงออกซิเจนไปสู่เซลล์และกล้ามเนื้อลดลง เกิดการขาด ออกซิเจนในสัตว์ (Chen, Chin, 1988) ด้วยเหตุนี้ การกำจัดตะกอนที่เกิดขึ้นในบ่อเลี้ยงสัตว์น้ำได้อย่างมีประสิทธิภาพจึง เป็นส่วนหนึ่งในการควบคุมคุณภาพน้ำในบ่อเลี้ยงให้มีระดับของสารพิษและสารอินทรีย์อยู่ในปริมาณที่เหมาะสม

การแยกอนุภาคของแข็งในระบบเลี้ยงสัตว์น้ำนั้น โดยทั่วไปสามารถดำเนินการได้ 3 รูปแบบ ได้แก่ การแยก โดยอาศัยแรงโน้มถ่วง (Gravity separation) การกรอง (Filtration) และการลอยตัว (Flotation) (สิวกฤษณ์, 2554) ซึ่งแต่ละ รูปแบบมีความเหมาะสมกับขนาดของอนุภาคของแข็งที่แตกต่างกัน (สาวิตรี, 2546) ระบบการกำจัดตะกอนที่ดีนั้น จะต้องสามารถลดปริมาณตะกอนในน้ำได้อย่างมีประสิทธิภาพ ประหยัดพลังงาน และใช้งานง่าย จากแนวคิดดังกล่าว งานวิจัยนี้จึงเลือกใช้ระบบรางดักตะกอนซึ่งจะทำหน้าที่เสมือนเป็น Sedimentation basin ในการบำบัดตะกอนแขวนลอยในน้ำทั้งจากบ่อปลา

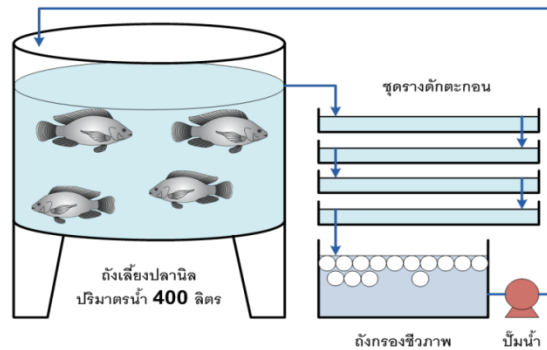
วัตถุประสงค์การวิจัย

ศึกษาเปรียบเทียบประสิทธิภาพของชุดรางดักตะกอนที่จัดวางในรูปแบบที่แตกต่างกัน 3 รูปแบบการทดลอง ในการบำบัดของแข็งแขวนลอย (Total Suspended Solid, TSS) ในน้ำทิ้งจากบ่อเลี้ยงปลานิลระบบหมุนเวียนน้ำแบบปิด

วิธีการวิจัย

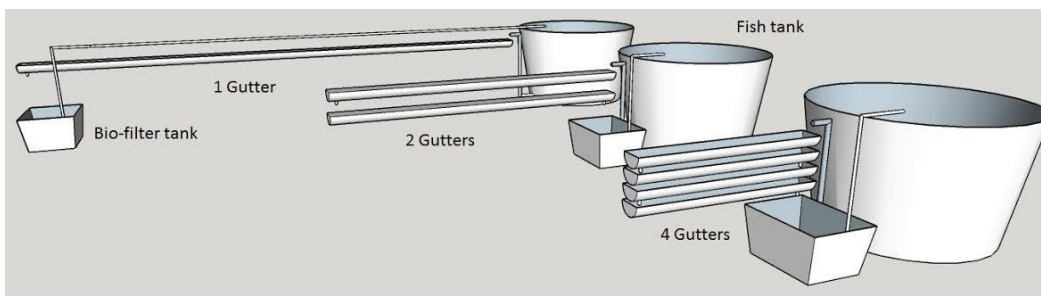
งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาประสิทธิภาพของรางดักตะกอน ในการบำบัดน้ำทิ้งจากบ่อเลี้ยงปลานิลในระบบ หมุนเวียนน้ำแบบปิด ทำการเลี้ยง 2 รอบ โดยในแต่ละรอบใช้ระยะเวลาในการเลี้ยง 31 วัน โดยทำการเลี้ยงในถัง พลาสติกกลมขนาด 500 ลิตร บรรจุน้ำ 400 ลิตร ปล่อยปลานิลน้ำหนักเฉลี่ย 250 กรัมต่อตัว ที่ความหนาแน่นเริ่มต้น 5 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ให้อาหารเม็ดแบบลอยน้ำชนิดโปรตีนร้อยละ 30 ในอัตราร้อยละ 2 ของน้ำหนักตัวต่อวัน ให้ อากาศภายในบ่อเลี้ยงผ่านหัวทราย ปริมาณออกซิเจนละลายในบ่อไม่ต่ำกว่า 4 มิลลิกรัมต่อลิตร น้ำทิ้งจากบ่อเลี้ยงจะ ไหลผ่านชุดรางดักตะกอนจากรางด้านบนลงสู่ด้านล่างตามแรงโน้มถ่วง และไหลลงสู่ระบบถังกรองชีวภาพขนาด 20 ลิตร ซึ่งบรรจุวัสดุกรองชีวภาพ ชนิด Raschig Ring ปริมาตร 5 ลิตร มีการเติมโซเดียมไบคาร์บอเนต (NaHCO_3) ในถัง กรองชีวภาพสัปดาห์ละ 70 กรัม คิดเป็นสัดส่วนร้อยละ 25 ของน้ำหนักอาหารเม็ดที่ให้ เพื่อเป็นแหล่งคาร์บอนแก่ไนตริไฟ

อิงแบคทีเรีย (Wheaton et al., 2002) น้ำจากถังกรองชีวภาพจะถูกสูบกลับเข้าสู่บ่อเลี้ยงปลาด้วยปั๊มแช่ ขนาดกำลังไฟ 32 วัตต์ ที่อัตราการหมุนเวียนน้ำ 7 ลูกบาศก์เมตรต่อวัน ดังรูปที่ 1



ภาพที่ 1 ภาพจำลองการเลี้ยงปลานิลในระบบหมุนเวียนน้ำแบบปิด

ชุดรางดักตะกอนทำมาจากท่อ PVC ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.13 เมตร (5 นิ้ว) ครอบปิดหัวท้ายแล้วผ่าครึ่งตามแนวยาว เจาะรูที่ปลายด้านหนึ่งเพื่อทำท่อน้ำส้น โดยมีความสูงของระดับน้ำในราง 0.035 เมตร ในการศึกษานี้จะทำการเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการบำบัดของแข็งของชุดรางดักตะกอนที่มีความยาวรวม 4 เมตร ที่ถูกจัดวางในรูปแบบต่างกัน 3 แบบ ได้แก่ (1) ชุดรางดักตะกอนซึ่งประกอบด้วยรางที่มีความยาว 4 เมตร จำนวน 1 ราง มีพื้นที่ผิวน้ำเท่ากับ 0.51 ตารางเมตร, (2) รางที่มีความยาว 2 เมตร จำนวน 2 ราง มีพื้นที่ผิวน้ำเท่ากับ 0.25 ตารางเมตรต่อราง วางซ้อนกัน 2 ชั้น, และ (3) รางที่มีความยาว 1 เมตร จำนวน 4 ราง มีพื้นที่ผิวน้ำเท่ากับ 0.13 ตารางเมตรต่อราง วางซ้อนกัน 4 ชั้น (รูปที่ 2) คิดเป็นอัตราน้ำส้นผิว (Surface loading rate) ต่อราง เท่ากับ 14, 27 และ 54 ลูกบาศก์เมตรต่อตารางเมตรต่อวัน ตามลำดับ ซึ่งในการออกแบบถังดักตะกอนนั้น ถ้าต้องการให้อนุภาคของแข็ง สามารถจมตัวได้ ต้องออกแบบให้อัตราน้ำส้นผิว น้อยกว่าความเร็วการจมตัวของอนุภาคของแข็ง (Settling velocity) หรืออาจกล่าวได้ว่าประสิทธิภาพของถังดักตะกอนขึ้นอยู่กับพื้นที่ผิวและเวลากักน้ำของถัง ส่วนความลึกของถังดักตะกอนจะมีผลเพียงเล็กน้อยเท่านั้น โดยทั่วไปแล้วถังดักตะกอนที่ใช้ในการบำบัดอนุภาคของแข็งจากระบบเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำมักออกแบบให้มีค่าอัตราน้ำส้นผิวของต่ำกว่า 60 ลูกบาศก์เมตรต่อตารางเมตรต่อวัน (Ebeling, Vinci, 2011) ทำการทดลองเลี้ยงปลาในระบบน้ำหมุนเวียนเป็นเวลา 31 วัน แบ่งเป็น 3 ชุดทดลอง ชุดทดลองละ 2 ซ้ำ

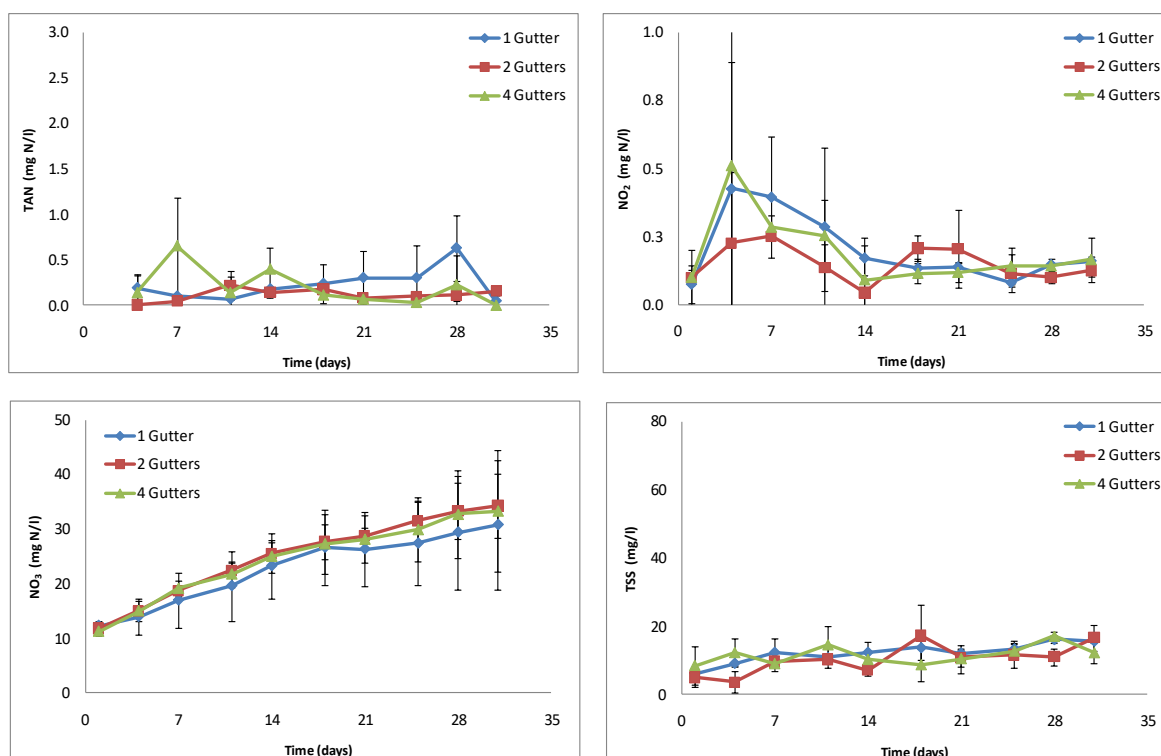


ภาพที่ 2 ภาพจำลองการทดสอบประสิทธิภาพของรางดักตะกอนลักษณะต่างๆ ในการบำบัดน้ำทิ้งจากการเลี้ยงปลานิล

ติดตามผลการทดลองโดยการเก็บตัวอย่างน้ำจากบ่อเลี้ยงปลา สัปดาห์ละ 2 ครั้ง (ทุกวันที่ 3 และวันที่ 7 ของสัปดาห์) บริเวณกลางบ่อที่ระดับความลึกจากผิวน้ำ 0.30 เมตร ปริมาตร 0.3 ลิตร หลังจากนั้นนำมาวิเคราะห์คุณภาพน้ำในบ่อเลี้ยงของแต่ละชุดการทดลอง โดยการกรองน้ำตัวอย่างผ่านกระดาษกรอง GF/C เพื่อหาปริมาณของแข็งแขวนลอย (Total Suspended Solid, TSS) ตามวิธีมาตรฐานของ APHA (1980) ส่วนตัวอย่างน้ำที่ผ่านกระดาษกรองจะนำไปหาปริมาณแอมโมเนียรวม (TAN) ไนไตรท์ (NO_2^-) ไนเตรท (NO_3^-) ตามวิธีของ Parsons et al. (1984) สำหรับประสิทธิภาพในการเลี้ยงจะพิจารณาจากอัตราการเจริญเติบโตของปลา (Specific Growth Rate, SGR), อัตราการแลกเนื้อ (FCR), อัตรารอด Survival rate)

ผลการวิจัย

การเปลี่ยนแปลงคุณภาพน้ำระหว่างการทดลอง ได้แก่ ปริมาณแอมโมเนียรวม (TAN) ไนไตรท์ (NO_2^-) ไนเตรท (NO_3^-) และของแข็งแขวนลอย (TSS) ในบ่อเลี้ยงปลาของชุดรางคักตะกอนที่จัดวางในแบบต่างๆ แสดงไว้ในรูปที่ 3



ภาพที่ 3 การเปลี่ยนแปลงคุณภาพน้ำในบ่อเลี้ยงปลาของชุดรางคักตะกอนแบบต่างๆ

ค่าต่ำสุด-สูงสุด และค่าเฉลี่ยของคุณภาพน้ำในบ่อเลี้ยงที่ได้จากการทดลอง เปรียบเทียบกับคุณภาพน้ำที่เหมาะสมสำหรับการเลี้ยงปลานิล (Timmons, 2010) แสดงไว้ในตารางที่ 1 และประสิทธิภาพการเลี้ยงและปริมาณของแข็งที่บำบัดได้ของแต่ละชุดทดลอง แสดงไว้ในตารางที่ 2

ตารางที่ 1 คุณภาพน้ำในบ่อเลี้ยงปลาระหว่างการทดลอง

Water Quality	Recommended	1 Gutter		2 Gutters		4 Gutters	
		Min. – Max.	Avg. ± S.D.	Min. – Max.	Avg. ± S.D.	Min. – Max.	Avg. ± S.D.
TAN (mg N/l)	< 3.00	0.00 - 0.88	0.22 ± 0.06	0.00 - 0.33	0.11 ± 0.02	0.00 - 1.03	0.20 ± 0.08
NO ₂ (mg N/l)	< 1.00	0.03 - 0.76	0.20 ± 0.10	0.00 - 0.41	0.15 ± 0.05	0.00 - 0.90	0.19 ± 0.09
NO ₃ (mg N/l)	< 50.0	11.57 - 39.19	22.46 ± 6.34	10.96 - 38.44	24.91 ± 2.19	10.64 - 41.27	24.35 ± 4.28
TSS (mg/l)	< 80.0	4.89 - 16.96	12.18 ± 1.20	1.43 - 23.70	10.29 ± 1.74	4.38 - 18.39	11.53 ± 2.50

* ค่าที่แสดงในตารางเป็นค่าเฉลี่ยจากการทดลอง 2 ซ้ำ

ตารางที่ 2 ประสิทธิภาพการเลี้ยงปลานิลในระบบน้ำหมุนเวียนที่มีชุดรางคัดตะกอนต่างกัน

Sample	Specific Growth Rate (SGR, % d ⁻¹)	Feed Conversion Ratio, FCR	%Survival rate (%)	Total pellet feed weight (g)	Total solid captured (g)
1 Gutter	0.91 ± 0.57	1.84 ± 0.44	100	1260	120.04 ± 18.68
2 Gutters	0.90 ± 0.63	1.92 ± 0.39	100	1260	124.42 ± 42.83
4 Gutters	0.93 ± 0.54	1.84 ± 0.43	100	1260	141.79 ± 57.75

จากการทดลองพบว่า การใช้รางคัดตะกอนร่วมกับระบบหมุนเวียนน้ำ สามารถควบคุมคุณภาพน้ำระหว่างการเลี้ยงได้ดีสารประกอบไนโตรเจนที่พบส่วนใหญ่อยู่ในรูปของไนเตรทและการเพิ่มขึ้นตลอดระยะเวลาการทดลอง แสดงถึงกิจกรรมของไนตริไฟอิงแบคทีเรียในระบบถังกรองชีวภาพ โดยพบการสะสมของแอมโมเนียรวม (TAN) และไนไตรท์ (NO₂) ในช่วงสัปดาห์แรกของการทดลอง เนื่องจากแบคทีเรียในถังกรองชีวภาพต้องใช้เวลาในการปรับตัวให้เข้ากับน้ำเสีย และพบการสะสมของแอมโมเนียรวมเล็กน้อยในช่วงท้ายของการทดลอง เนื่องจากค่าความเป็นด่าง (Alkalinity) ในน้ำต่ำ จึงได้ทำการเติม NaHCO₃ เพื่อเป็นแหล่งคาร์บอนแก่ไนตริไฟอิงแบคทีเรีย ส่งผลให้ปริมาณแอมโมเนียลดลง นอกจากนี้พบว่าชุดรางคัดตะกอนสามารถควบคุมปริมาณของแข็งแขวนลอย (Total Suspended Solid, TSS) ในน้ำให้ต่ำกว่า 20 มิลลิกรัมต่อลิตร ได้ตลอดระยะเวลาการทดลอง โดยรางคัดตะกอนที่จัดวางในลักษณะต่างๆ สามารถกักเก็บตะกอนในรูปของน้ำหนักแห้งได้ใกล้เคียงกัน คิดเป็นร้อยละ 9.5 - 11.3 ของน้ำหนักอาหารเม็ดที่ใช้ในการเลี้ยง นอกจากนี้ยังพบว่า ลักษณะในการจัดวางรางคัดตะกอนไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของคุณภาพน้ำระหว่างการเลี้ยง ได้แก่ ปริมาณแอมโมเนียรวม (TAN) ไนไตรท์ (NO₂) ไนเตรท (NO₃) และไม่มีผลต่อการเจริญเติบโตของปลา (Specific Growth Rate, SGR)

จากตารางที่ 2 พบว่า อัตราการเจริญเติบโตจำเพาะ (SGR) ของปลานิลในชุดทดลองมีค่าอยู่ในช่วง 0.90 - 0.93 ซึ่งมีค่าต่ำกว่าการเลี้ยงในระบบน้ำหมุนเวียนที่มีรายงานไว้ คือ 1.06 - 1.80 % ต่อวัน (ค่าเฉลี่ย 1.30 ต่อวัน) (El-Sayed, 2006) อย่างไรก็ตาม อัตราการแลกเนื้อ (FCR) ที่ได้จากการทดลองมีค่าอยู่ในช่วง 1.84 - 1.92 ซึ่งมีค่าอยู่ในช่วงการเลี้ยงในระบบน้ำหมุนเวียนที่มีรายงานไว้คือ 1.2 - 2.9 (ค่าเฉลี่ย 1.90) ซึ่งอัตราการเจริญเติบโตที่แตกต่างกันนั้น อาจเป็นผลมาจากอัตราให้อาหารที่แตกต่างกันในแต่ละการเลี้ยง

อภิปรายและสรุปผลการวิจัย

ชุดรางดักตะกอนสามารถควบคุมปริมาณของแข็งแขวนลอย (Total Suspended Solid, TSS) ระหว่างการเลี้ยงได้ดี โดยที่ความยาวรวมของรางดักตะกอนเท่ากัน ลักษณะในการจัดวางรางดักตะกอนที่แตกต่างกันจะไม่มีผลต่อปริมาณของตะกอนที่กักเก็บได้ และไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของคุณภาพน้ำระหว่างการเลี้ยง ได้แก่ ปริมาณแอมโมเนีย (NH_3) ไนไตรท์ (NO_2^-) ไนเตรต (NO_3^-) และไม่มีผลต่อการเจริญเติบโตของปลา อย่างไรก็ตาม ในการนำรางดักตะกอนไปใช้งานควรคำนึงถึงอัตราน้ำล้นผิวของแต่ละรางด้วย ซึ่งในการทดลองนี้มีค่าอยู่ระหว่าง 14 -54 ลูกบาศก์เมตรต่อตารางเมตรต่อวัน ที่อัตราน้ำล้นผิวสูงกว่านี้อาจสูงเกินกว่าความเร็วการจมตัวของอนุภาคของตะกอน ทำให้ความสามารถในการบำบัดตะกอนลดลง นอกจากนี้ ถึงแม้ว่าลักษณะในการจัดวางรางดักตะกอนจะไม่มีผลต่อปริมาณของตะกอนที่กักเก็บได้ แต่การจัดเรียงรางดักตะกอนในแบบที่มีความยาวรางละ 1 เมตร จำนวน 4 ราง วางซ้อนกัน 4 ชั้น จะมีข้อได้เปรียบเนื่องจากใช้พื้นที่ในการติดตั้งน้อยกว่าการจัดวางรางในรูปแบบอื่น และด้วยความยาวของรางที่สั้นที่สุด ทำให้สะดวกในการนำรางไปล้างทำความสะอาดเมื่อตะกอนในรางเต็มอีกด้วย

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยจาก สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2559 และคณะผู้วิจัยขอขอบคุณ ภูมิไทยฟาร์ม จังหวัดปราจีนบุรี ที่เอื้อเฟื้อพันธุ์ปลานิลเพื่อใช้ในการศึกษานี้

เอกสารอ้างอิง

- วิลาสินี ไตรยราช. สภาวะที่เหมาะสมของการบำบัดไนเตรตในน้ำทะเล ด้วยระบบบำบัดไนเตรตแบบท่อสำหรับบ่อเลี้ยงกุ้งทะเล (วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารธุรกิจ สาขาวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม). กรุงเทพฯ: บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย; 2546.
- สิวกฤษณ์ หนูฤทธิ์. การพัฒนาหน่วยแยกตะกอนและผลของตะกอนต่อคุณภาพน้ำในระบบเลี้ยงสัตว์น้ำแบบปิด (วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารธุรกิจ สาขาวิชาวิศวกรรมเคมี). กรุงเทพฯ: บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย; 2554.
- สาวิตรี จันทรานุกัษ์. กระบวนการแยกเชิงกลในอุตสาหกรรม. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์; 2546.
- APHA. Standard method for the examination of water and wastewater, 15th Ed. American Public Health Association (APHA), Washington DC; 1980.
- Chen JC, Chin TS. Acute toxicity of nitrite to tiger prawn, *Penaeus monodon*, larvae. *Aquaculture* 69, 253-262; 1988.
- Ebeling JM, Vinci BJ. Solid Capture [online] 2011 [cited 2016 Oct 25]. Available from: <https://ag.arizona.edu/.../5%20Solids%20Capture/Solids%20Control.pdf>
- El-Sayed, Abdel-Fattah M. Tilapia culture. Cabi Publishing Oxfordshire U.K. 277 p.; 2006.
- Evans JJ, Pasnik DJ. Un-ionized Ammonia Exposure in Nile Tilapia: Toxicity, Stress Response, and Susceptibility to *Streptococcus agalactiae*, *North American Journal of Aquaculture* 68, 23-33 p; 2006.
- Parsons TR, Maita Y, Lalli CM. A Manual of Chemical and Biological Methods for Seawater Analysis, Pergamon, Oxford, UK, 187 p; 1984.



Timmons MB, Ebeling JM, Recirculating Aquaculture 2nd Ed, Cayuga Aquaculture Ventures, Ithaca, NY, USA, 948 p.; 2010.

Wheaton FW, Timmons MD, Ebeling JH, Summerfelt ST, Vinci BJ, Recirculating Aquaculture Systems, 2nd Edition, NRAC Publications No 01-002, USA.; 2002.