

ประสิทธิภาพการใช้ระบบน้ำหมุนเวียน
ร่วมกับผักตบชวาในการเลี้ยงปลาอุกบึกอูย
Efficiency of Water Recirculating System
Incorporated with Water Hyacinth in Hybrid Catfish
(*Clarias macrocephalus* x *C. gariepinus*) Culture

กานตกานท์ เทพนรงค์*

โปรแกรมวิชาการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ คณะเทคโนโลยีการเกษตร

มหาวิทยาลัยราชภัฏสงขลา ตำบลเขารูปช้าง อำเภอเมือง จังหวัดสงขลา 90000

Kantakan Thepnarong*

Program in Aquaculture, Faculty of Agricultural Technology,

Songkhla Rajabhat University, Khao Roob Chang, Muang, Songkhla 90000

บทคัดย่อ

การเลี้ยงปลาอุกบึกอูย (*C. macrocephalus* x *C. gariepinus*) ในระบบน้ำหมุนเวียนเพื่อควบคุมคุณภาพน้ำให้เป็นไปตามมาตรฐานน้ำทิ้งของกรมควบคุมมลพิษ วางแผนการทดลองแบบ completely randomized design (CRD) ประกอบด้วย 2 ชุดการทดลอง คือ (1) การใช้ระบบน้ำหมุนเวียน ผ่านชั้นกรองกายภาพ และกรองชีวภาพ (T1) และ (2) การใช้ระบบน้ำหมุนเวียน ผ่านชั้นกรองกายภาพ กรองชีวภาพ และผักตบชวา (T2) จำนวน 3 ซ้ำ โดยใส่ปลาในตู้ทดลองจำนวน 6 ตู้ ตู้ละ 14 ตัว (ความหนาแน่น 100 ตัว/ลบ.ม.) โดยทดลองเป็นระยะเวลา 8 สัปดาห์ ทุกชุดการทดลอง น้ำจะไหลผ่านด้วยอัตรา 200 ล./ชม. ผลการศึกษาพบว่าชุดการทดลองที่ 2 มีน้ำหนักรวมเพิ่มขึ้น อัตราการเจริญเติบโตโดยน้ำหนัก ความยาวที่เพิ่มขึ้น อัตราเจริญเติบโตโดยความยาว และผลผลิตต่อพื้นที่สูงกว่าชุดการทดลองที่ 1 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) ส่วนคุณภาพน้ำทั้ง 2 ชุดการทดลอง พบว่าทุกพารามิเตอร์อยู่ในเกณฑ์มาตรฐานน้ำทิ้งจากการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ ยกเว้นค่าความเป็นกรดเป็นด่าง (pH) ที่ต่ำกว่ามาตรฐาน และชุดการทดลองที่ 2 ควบคุมคุณภาพน้ำในพารามิเตอร์ ค่าบีโอดี แอมโมเนีย ไนโตรเจน และฟอสเฟตได้ดีกว่าชุดการทดลองที่ 1 อย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) ในช่วงสัปดาห์ที่ 7 และ 8

คำสำคัญ : แอมโมเนีย; ผักตบชวา; ระบบน้ำหมุนเวียน

Abstract

The hybrid catfish (*C. macrocephalus* x *C. gariepinus*) was cultured in water recirculating system for meeting the effluent standard of the Pollution Control Department. The experimental

arrangement was a completely randomized design (CRD) with 3 replications and 2 treatments as follow: (1) water recirculating system, physical-filter system and bio-filter system (T1), and (2) water recirculating system, physical-filter system, bio-filter system and water hyacinth (T2). 14 hybrid catfish were raised in each of 6 aquariums for 8 weeks (stocking: 100 hybrid catfish/m³). They were experimented in 2 water systems but the same water exchange rate at 200 L/hr. The results showed weight that gain, average diary growth, length gain, average diary length and production in T2 higher significantly ($p < 0.05$) than T1. During the experiments all major water quality parameters in the both treatments remained the effluent standard. pH was lower than the effluent standard. However, the efficiency of BOD, total ammonia, nitrate and phosphate removal in T2 was significantly ($p < 0.05$) greater than T1 in weeks 7 and 8.

Keywords: ammonia; water hyacinth; recirculation aquaculture system (RAS)

1. บทนำ

ปัจจุบันการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำมีบทบาทสำคัญมากขึ้น เนื่องจากการจับสัตว์น้ำในแหล่งน้ำธรรมชาติมีปริมาณไม่แน่นอน และมีแนวโน้มการจับสัตว์น้ำสูงขึ้นตามการเพิ่มจำนวนของประชากรของโลก ทำให้ปริมาณสัตว์น้ำในแหล่งน้ำลดลง อีกทั้งปัญหาการเสื่อมโทรมของสิ่งแวดล้อมในแหล่งน้ำต่าง ๆ เช่น ปัญหาน้ำเน่าเสีย ปัญหาความแห้งแล้งทำให้แม่น้ำ ลำคลองตื้นเขิน เกิดโรคระบาดในสัตว์น้ำ ประกอบกับความต้องการบริโภคสัตว์น้ำที่มีปริมาณเพิ่มมากขึ้น ทำให้สัตว์น้ำไม่เพียงพอต่อความต้องการ และการเลี้ยงสัตว์น้ำในแหล่งน้ำธรรมชาติในปัจจุบันทำได้ยากขึ้น ระบบน้ำหมุนเวียนจึงค่อย ๆ มีความสำคัญมากขึ้น เนื่องจากระบบที่สามารถควบคุมคุณภาพน้ำ โรค และสามารถนำน้ำกลับมาใช้ใหม่ ช่วยลดการใช้น้ำและปล่อยน้ำทิ้งสู่สิ่งแวดล้อม รวมถึงลดความเสี่ยงให้กับเกษตรกรได้ ด้วยเหตุนี้จึงทำให้ผู้วิจัยเกิดแนวคิดในการเลี้ยงปลาในระบบน้ำหมุนเวียนร่วมกับผักตบชวาเพื่อที่จะสามารถเลี้ยงปลาได้ในพื้นที่ที่จำกัด และใช้น้ำน้อยที่สุด โดยการออกแบบจะประยุกต์มาจากความสัมพันธ์ของปลากับสิ่งแวดล้อม โดยทำให้ของเสีย

จากการเลี้ยงปลาซึ่งอยู่ในรูปไนโตรเจนประมาณ 70-75 % [1] ถูกกำจัดออกจากระบบ และถูกนำไปเป็นธาตุอาหาร ที่ใช้ในการเจริญเติบโตของพืช แทนการถ่ายเทน้ำจากบ่อเลี้ยงปลาออกไป ในระบบบำบัดน้ำผักตบชวาจะทำหน้าที่ดึงของเสียต่าง ๆ มาใช้ในการเจริญเติบโต อีกทั้งปลาดุกเป็นปลาที่มีการบริโภคภายในประเทศสูงเป็นอันดับสองรองจากปลานิลและมีเกษตรกรผู้เลี้ยงเป็นจำนวนมาก ถ้าหากการทดลองครั้งนี้ได้ผลออกมาเป็นที่น่าพอใจ จะสามารถใช้เป็นข้อมูลในการเลี้ยงปลาดุกในระบบน้ำหมุนเวียนแก่เกษตรกรต่อไปได้

2. อุปกรณ์และวิธีการวิจัย

2.1 การเตรียมระบบกรอง

2.1.1 เตรียมถังขนาด 150 ลิตร สำหรับใส่กรองกายภาพ โดยนำแผ่นกรองใยแก้วบรรจุลงในตะกร้าทรงกลมขนาด 29.5 × 25 เซนติเมตร (เส้นผ่านศูนย์กลาง × สูง) บุผนังทุกด้านของตะกร้ายกเว้นด้านบนด้วยแผ่นกรองใยแก้วหนา 1 นิ้ว ต่อระบบน้ำให้ไหลผ่านชั้นกรองใยแก้วทางด้านบนตะกร้า นำตะกร้าที่บุใยแก้วแล้วใส่ในถังน้ำพลาสติก เพื่อรองรับน้ำและต่อ

เข้ากับระบบกรองชีวภาพ

2.1.2 เตรียมความพร้อมของระบบกรองชีวภาพโดยนำเนื้อวุ้นโพลีเอทิลีน (polyethylene) เก่า ชุดการทดลองละ 9 กิโลกรัม [2] ที่ใช้ทำวัสดุกรองมาใส่ถึงขนาด 200 ลิตร เติมสารละลายแอมโมเนียมคลอไรด์ ที่มีความเข้มข้นของแอมโมเนียประมาณ 2 มิลลิกรัมต่อลิตร [3] เติมจุลินทรีย์ ปม.1 ของกรมประมง และให้อากาศตลอดเวลา เพื่อกระตุ้นการเจริญเติบโตของไนตริไฟอิงแบคทีเรีย โดยสังเกตจากการเกิดขึ้นไบโอฟิล์ม และแอมโมเนียเปลี่ยนไปเป็นไนเตรททั้งหมด แล้วจึงย้ายไปใส่ในถังกรองพลาสติกขนาด 150 ลิตร และปิดฝาป้องกันการเกิดสาหร่าย

2.1.3 เตรียมผักตบชวาโดยคัดขนาดให้มีขนาดใกล้เคียงกันทุกต้น นำมาล้างให้สะอาดแช่ในสารละลายด่างทับทิมแล้วล้างออกทิ้งให้สะเด็ดน้ำและชั่งน้ำหนัก นำไปใส่ในกระบะทำจากถังพลาสติกกลมสีน้ำเงินขนาด 200 ลิตร ผ่าครึ่งในแนวนอน โดยให้เต็มพื้นที่ผิวของกระบะพลาสติกน้ำหนักประมาณ 2 กิโลกรัม ต่อระบบกรองทั้งหมดเข้ากับชุดทดลอง

2.1.4 การเตรียมตู้และน้ำในการทดลอง

ใช้ตู้กระจกขนาด $45 \times 75 \times 45$ เซนติเมตร เติมอากาศในตู้ทดลองโดยใช้หัวทราย 2 หัวต่อตู้ในด้านตรงข้ามกัน ใช้วาล์วปรับความแรงของอากาศในแต่ละตู้ให้ใกล้เคียงกันมากที่สุด ปิดแผ่นพลาสติกสีดำ 3 ด้าน เปิดด้านหน้าตู้ 1 ด้าน และด้านบนปิดแผ่นพลาสติกกันปลาระโดดและป้องกันเศษฝุ่น ใส่ น้ำในตู้ให้ได้ระดับ 42 เซนติเมตร ($45 \times 75 \times 42 = 141.75$ ลิตร) ตั้งชุดการทดลองทั้งหมดไว้ใต้หลังคาพลาสติกใสกลางแจ้งเพื่อให้ผักตบชวาได้รับแสงตลอดวัน และมุงตาข่ายพรางแสงในส่วนของผู้ทดลองอยู่เพื่อลดอุณหภูมิ

2.1.5 การเตรียมปลาทดลองและการให้อาหาร

เตรียมปลาทดลองโดยการคัดขนาดลูก

ปลาดุกบิ๊กอุย ขนาด 8-10 กรัมต่อตัว จำนวน 200 ตัว มาพักไว้ในบ่อซีเมนต์ เติมอากาศและให้อาหาร เป็นเวลา 7 วัน จากนั้นแยกใส่ในแต่ละชุดการทดลองตู้ละ 14 ตัว ให้อาหารในระหว่างการทดลองในช่วงเช้า 08:00 น. และเย็น 16:30 น. จนกว่าปลาจะอัม และหยุดให้อาหารในมือเช้าของวันที่ตรวจวัดอัตราการเจริญเติบโต และล้างใยแก้วในระบบกรองกายภาพ ทุก ๆ 2 สัปดาห์

2.2 ระเบียบวิธีการวิจัย

ศึกษาประสิทธิภาพของระบบการเลี้ยงปลาดุกบิ๊กอุย 2 แบบ โดยเปรียบเทียบอัตราการเจริญเติบโต อัตรารอด และประสิทธิภาพในการควบคุมคุณภาพของน้ำที่ใช้เลี้ยง ทดลองในตู้กระจก 6 ตู้ ปล่อยปลาดุกบิ๊กอุยในอัตรา 14 ตัวต่อตู้ (100 ตัวต่อลูกบาศก์เมตร) [4] ก่อนการทดลองให้ปลาดุกปรับสภาพในบ่อซีเมนต์เดียวกันกินอาหารสำเร็จรูปชนิดเดียวกันเป็นเวลา 7 วัน วางแผนการทดลองแบบสุ่มอย่างสมบูรณ์ (completely randomized design, CRD) โดยแบ่งออกเป็น 2 ชุดการทดลอง ชุดการทดลองละ 3 ตู้ ทดลองเป็นระยะเวลา 8 สัปดาห์ โดยชุดการทดลองที่ 1 ใช้ระบบน้ำหมุนเวียน ผ่านชั้นกรองกายภาพ และกรองชีวภาพ อัตราไหล 200 ลิตรต่อชั่วโมง ส่วนชุดการทดลองที่ 2 ใช้ระบบน้ำหมุนเวียน ผ่านชั้นกรองกายภาพ กรองชีวภาพ และผักตบชวา 2 กิโลกรัม อัตราไหล 200 ลิตรต่อชั่วโมง

2.3 การเก็บรวบรวมข้อมูล

2.3.1 การเก็บตัวอย่าง และตรวจวัดคุณภาพน้ำ

เก็บตัวอย่างน้ำ โดยใช้ขวดเก็บตัวอย่างปริมาตร 750 มิลลิลิตร เก็บตัวอย่างน้ำที่ระดับกลางของผู้ทดลอง แล้วนำมาตรวจวัดคุณภาพน้ำทันที โดยเก็บตัวอย่างน้ำจากตู้ทดลองทั้งหมด 6 ตู้ ทุก ๆ สัปดาห์

ในเวลา 13:00-16:00 น. เริ่มตรวจวัดครั้งแรกในวันที่ เริ่มทดลอง จนสิ้นสุดการทดลองเป็นเวลา 8 สัปดาห์

การตรวจวัดคุณภาพน้ำ โดยวิเคราะห์หาปริมาณแอมโมเนีย (ammonia) ปริมาณไนไตรท์ (nitrite) ปริมาณไนเตรท (nitrate) และค่าฟอสฟอรัส ทั้งหมด (total phosphorus) ใช้วิธีของ Boyd และ Tucker [5]

วิเคราะห์หาปริมาณของแข็งแขวนลอย (suspended solids) หาค่า dissolved oxygen (DO) และหาค่า biochemical oxygen demand (BOD) ใช้วิธีของ APHA และคณะ [6]

2.3.2 การตรวจวัดอัตราการเจริญเติบโตของปลาและผักตบชวา

ตรวจวัดอัตราการเจริญเติบโตของปลา โดยการนำปลาทุกตัวมาชั่งน้ำหนัก และวัดความยาวทั้งหมด (total length) ในวันเริ่มต้นการทดลอง และทุก ๆ 2 สัปดาห์ จนครบ 8 สัปดาห์ นำค่าที่ได้ไปคำนวณหาความยาวที่เพิ่มขึ้น อัตราเจริญเติบโตโดยความยาว น้ำหนักที่เพิ่มขึ้น อัตราเจริญเติบโตโดยน้ำหนัก อัตราเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อ ผลผลิตต่อพื้นที่ และอัตราการรอดตาย และเก็บผักตบชวาที่ล้นกระบะออก เพื่อชั่งน้ำหนักตลอดการทดลองเพื่อหาน้ำหนักที่เพิ่มขึ้นของผักตบชวาเมื่อสิ้นสุดการทดลอง

2.4 การวิเคราะห์ข้อมูล

วางแผนการทดลองแบบ completely randomized design นำข้อมูลที่ได้จากการทดลองทั้งหมดไปหาค่าเฉลี่ยและวิเคราะห์ความแตกต่างทางสถิติของตัวแปร โดยการทดสอบความแตกต่างทางค่าเฉลี่ยของกลุ่มตัวอย่าง 2 กลุ่ม ที่เป็นอิสระต่อกัน independent t-test ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์

3. ผลการวิจัยและวิจารณ์

3.1 การเจริญเติบโตของปลาคุกบักอยู่ในระบบน้ำหมุนเวียน

การศึกษาประสิทธิภาพของระบบการเลี้ยงปลาคุกบัก 2 แบบ โดยเปรียบเทียบอัตราการเจริญเติบโต อัตรารอด และประสิทธิภาพในการควบคุมคุณภาพของน้ำที่ใช้เลี้ยง โดยแบ่งชุดการทดลองเป็น 2 ชุดการทดลอง ชุดการทดลองละ 3 ซ้ำ ชุดการทดลองที่ 1 ใช้ระบบน้ำหมุนเวียนผ่านชั้นกรองกายภาพ และกรองชีวภาพ อัตราไหล 200 ลิตรต่อชั่วโมง ชุดการทดลองที่ 2 ใช้ระบบน้ำหมุนเวียนผ่านชั้นกรองกายภาพ กรองชีวภาพ และผักตบชวา 2 กิโลกรัม อัตราไหล 200 ลิตรต่อชั่วโมง เป็นเวลา 8 สัปดาห์

พบว่าชุดการทดลองที่ 1 และชุดการทดลองที่ 2 มีน้ำหนักเพิ่ม อัตราการเจริญเติบโตโดยน้ำหนัก (รูปที่ 1ก และ 1ข) ในสัปดาห์ที่ 6 และ 8 ความยาวเพิ่ม (รูปที่ 1ค) ในสัปดาห์ที่ 6 อัตราเจริญเติบโตโดยความยาว (รูปที่ 1จ) ในสัปดาห์ที่ 2 และผลผลิตต่อพื้นที่ (รูปที่ 1ข) แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) โดยชุดการทดลองที่สองที่ใช้ระบบกรองร่วมกับผักตบชวามีอัตราการเจริญเติบโตที่ดีกว่า

อัตราแลกเนื้อในชุดการทดลองที่ 1 และชุดการทดลองที่ 2 มีค่า 2.09 และ 2.00 ตามลำดับ (รูปที่ 1ฉ) สอดคล้องกับ อุทัยรัตน์ [7] ที่รายงานว่า การเลี้ยงปลาคุกผสมจะมีอัตราการแลกเนื้อสูงหรือต่ำและแตกต่างกันหรือไม่ขึ้นอยู่กับคุณภาพของอาหารเป็นหลัก ในการทดลองครั้งนี้มีการให้อาหารแบบเดียวกันและมีความหนาแน่นเท่ากัน และยังมีคุณภาพน้ำตลอดการเลี้ยงใกล้เคียงกันด้วย จึงทำให้อัตราการแลกเนื้อแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ แต่อัตราแลกเนื้อค่อนข้างสูงเมื่อเทียบกับ อุรร และคณะ [8] เลี้ยงปลาคุกผสมแบบบอควาโปนิคส์อยู่ที่ 1.36-1.48 เนื่องจากในการทดลองครั้งนี้อัตราการปล่อยสูงที่ 100 ตัวต่อลูกบาศก์เมตร และอุณหภูมิของน้ำสูง ทำให้ปลา

เครียดและใช้พลังงานสูง ซึ่งอุณหภูมิของน้ำที่เหมาะสมในการเพาะเลี้ยงสำหรับปลาดุกลูกผสมอยู่ในช่วง 19-28 องศาเซลเซียส [9]

เมื่อสิ้นสุดการทดลองความยาวที่เพิ่มขึ้นของปลาดุก ในชุดการทดลองที่ 1 มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 7.12 ± 0.48 เซนติเมตร และชุดการทดลองที่ 2 มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 8.08 ± 0.96 เซนติเมตรต่อตัว (รูปที่ 1ง) และมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) ในสัปดาห์ที่ 6 และอัตราเจริญเติบโตโดยความยาวของปลาดุก ในชุดการทดลองที่ 1 มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.12 ± 0.01 เซนติเมตรต่อวัน และชุดการทดลองที่ 2 มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.13 ± 0.02 เซนติเมตรต่อวัน (รูปที่ 1จ) โดยชุดการทดลองที่ 1 มีค่าเฉลี่ยความยาวเพิ่มขึ้นต่ำกว่าชุดการทดลองที่ 2 แต่เมื่อวิเคราะห์ทางสถิติทั้ง 2 ชุดการทดลอง มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) ในสัปดาห์ที่ 2 สอดคล้องกับอัตราการเจริญเติบโตในด้านของน้ำหนักที่ชุดการทดลองที่ 2 มีแนวโน้มอัตราการเจริญเติบโตที่ดีกว่า

ผลผลิตต่อพื้นที่ของชุดการทดลองที่ 1 ใช้ระบบน้ำหมุนเวียน ผ่านชั้นกรองกายภาพ และกรองชีวภาพ มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 817.29 ± 119.68 กรัมต่อตารางเมตร และชุดการทดลองที่ 2 ที่ใช้ระบบน้ำหมุนเวียน ผ่านชั้นกรองกายภาพ กรองชีวภาพ และผักตบชวา มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 1194.37 ± 150.80 กรัมต่อตารางเมตร (รูปที่ 1ข) มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) และมีผลผลิตต่ำกว่าเมื่อเทียบกับอุธร และคณะ [8] ที่เลี้ยงปลาดุกลูกผสมแบบอควาโปนิค มีผลผลิตต่อพื้นที่ $4.87-6.50$ กิโลกรัมต่อตารางเมตร ที่อัตราการปล่อย 40 ตัวต่อตารางเมตร เป็นเพราะในการศึกษาในครั้งนี้มีการปล่อยที่หนาแน่นกว่าอยู่ที่ 100 ตัวลูกบาศก์เมตร จึงทำให้ปลามีความเครียดได้มากกว่า ส่งผลให้โตช้ากว่าและอัตราแลกเนื้อสูงกว่า อัตรารอดตายอยู่ในช่วง 95.24 ถึง 100

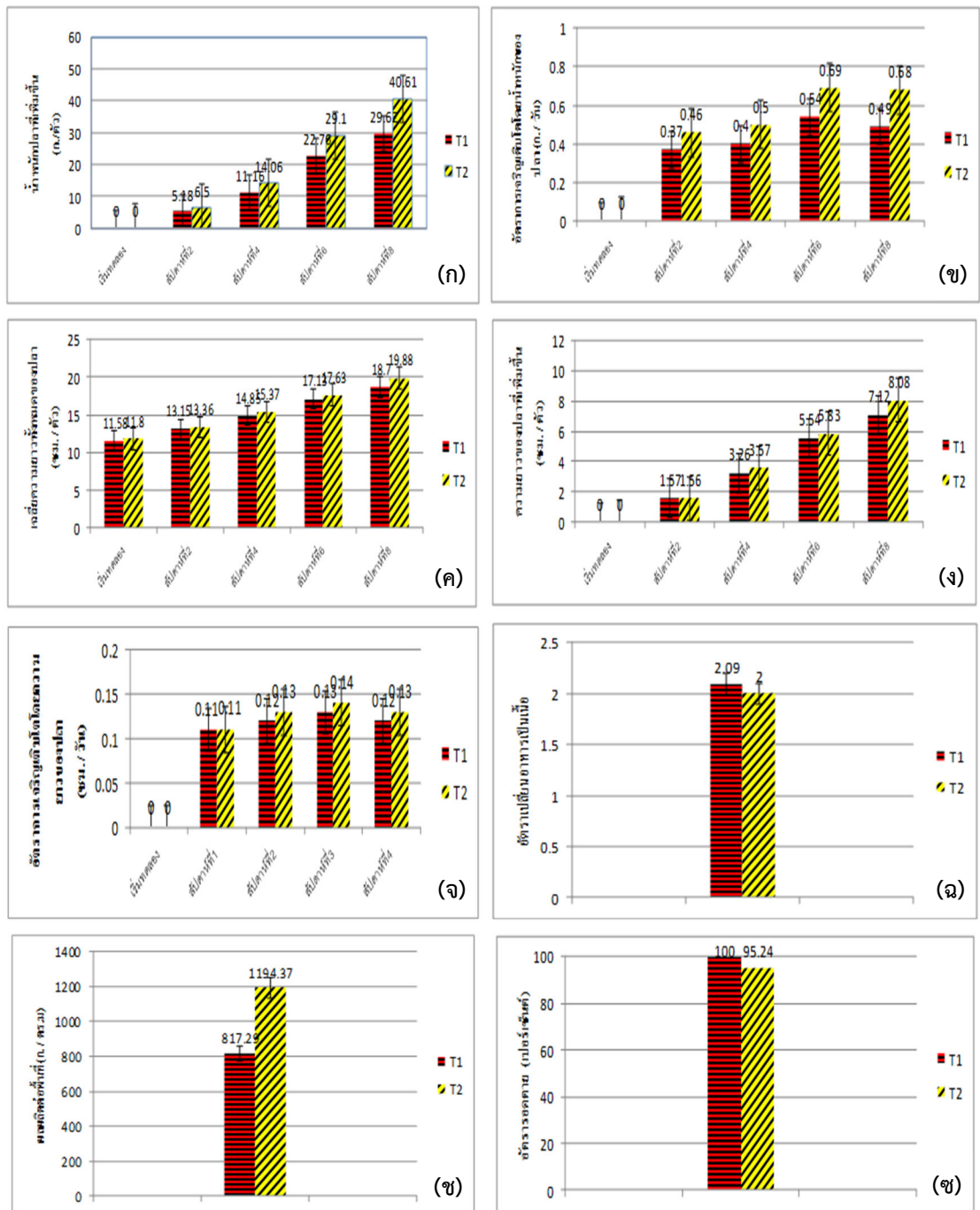
เปอร์เซ็นต์ (รูปที่ 1ข) ซึ่งเป็นอัตราการที่สูง สอดคล้องกับ สุฤทธิ์ [10] ที่รายงานว่าการเลี้ยงปลาดุกลูกผสมในระบบน้ำหมุนเวียน จากบ่อเลี้ยงเข้าสู่การกำจัดตะกอนและกรองชีวภาพใช้วัสดุกรองชีวภาพต่างชนิดกันพบว่าอัตราการรอดตายเท่ากับ 97.50 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งสูงกว่าการเลี้ยงในบ่อดินที่มีอัตราการรอด 40-70 เปอร์เซ็นต์ [4]

อัตราการเจริญเติบโตโดยน้ำหนักอยู่ในช่วง 0.49 (ชุดที่ 1) ถึง 0.68 (ชุดที่ 2) กรัมต่อตัวต่อวัน มีค่าสูงกว่าในการทดลองของ สุฤทธิ์ [10] ที่ใช้อุธรเป็นวัสดุกรอง มีอัตราการเจริญเติบโตโดยน้ำหนักอยู่ที่ 0.36 กรัมต่อวัน แสดงให้เห็นว่าการใช้วัสดุอวน และผักตบชวาเป็นระบบกรองเลี้ยงปลาดุก ทำให้ปลานั้นมีอัตราการเจริญเติบโตที่ดี แต่ต่ำกว่าการเลี้ยงปลาดุกในน้ำหมุนเวียนของ อุธร และคณะ [8] ที่ 8 สัปดาห์อยู่ที่ 1.94 ถึง 2.90 กรัมต่อวัน เพราะมีอัตราการปล่อยที่ต่ำกว่า เมื่อเทียบกันระหว่างทั้ง 2 ชุดการทดลองพบว่าชุดการทดลองที่ 2 มีอัตราการเจริญเติบโตโดยน้ำหนักและน้ำหนักเพิ่มที่ดีกว่าชุดการทดลองที่ 1 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) ในสัปดาห์ที่ 6 และ 8

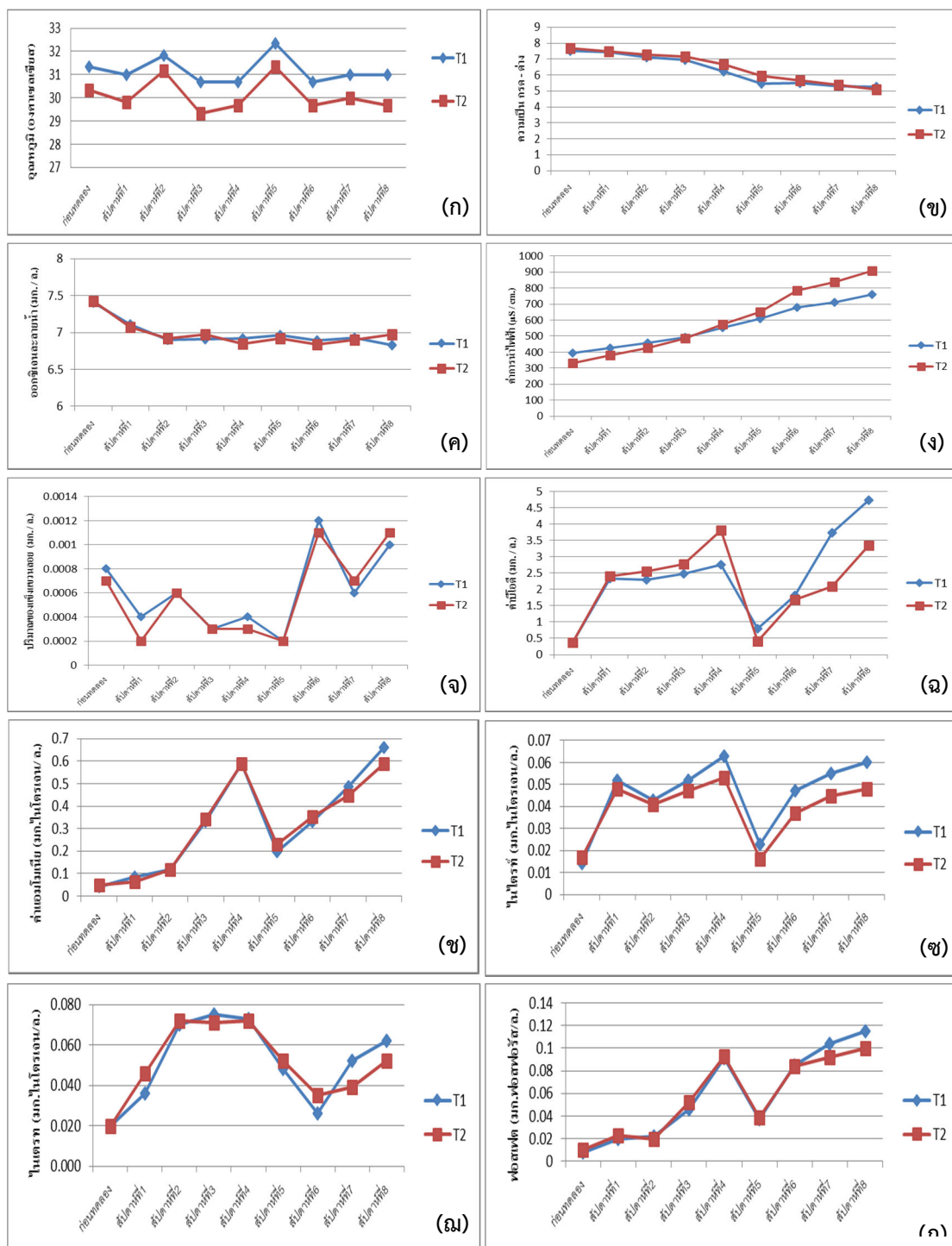
น้ำหนักของผักตบชวาเมื่อเริ่มต้นการทดลองมีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 2.33 กิโลกรัมต่อกระบะ เมื่อสิ้นสุดการทดลองพบว่าผักตบชวามีน้ำหนักลดลงเนื่องจากการกินของหอยที่ติดมาจากแหล่งที่ไปเก็บผักตบชวามา และสภาวะอากาศในช่วงที่ทดลองเป็นช่วงอากาศที่ร้อนจัด และมีการตายของผักตบชวา

3.2 ประสิทธิภาพในการควบคุมคุณภาพน้ำในระบบน้ำหมุนเวียน

โดยอุณหภูมิของน้ำต่ำสุด-สูงสุด อยู่ในช่วง 29.67-32.33 องศาเซลเซียส (รูปที่ 2ก) ซึ่งค่อนข้างสูงอุณหภูมิของน้ำที่เหมาะสมในการเพาะเลี้ยงสำหรับปลาดุกปลาดุกลูกผสมอยู่ในช่วง 19-28 องศาเซลเซียส [9] แต่อุณหภูมิที่สูงจะทำให้ปลาโตเร็วขึ้นหากไม่สูงมาก



รูปที่ 1 (ก) น้ำหนักที่เพิ่มขึ้น (ข) อัตราเจริญเติบโตโดยน้ำหนัก (ค) ความยาวทั้งหมด (ง) ความยาวที่เพิ่มขึ้น (จ) อัตราเจริญเติบโตโดยความยาว (ฉ) อัตราเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อ (ช) ผลผลิตต่อพื้นที่ และ (ซ) อัตรารอดตายของปลาดุกบิ๊กอุย (T1 = ใช้ระบบน้ำหมุนเวียน, T2 = ใช้ระบบน้ำหมุนเวียนร่วมกับผักตบชวา) ที่เลี้ยงเป็นเวลา 8 สัปดาห์



รูปที่ 2 (ก) อุณหภูมิ (ข) ความเป็นกรด-ด่าง (ค) ออกซิเจนละลายน้ำ (ง) ค่าการนำไฟฟ้า (จ) ปริมาณของแอมโมเนีย (ฉ) ค่าไนไตรต์ (ช) แอมโมเนีย (ฌ) ไนเตรท (ฎ) ไนเตรท และ (ฏ) ฟอสเฟต ของน้ำในการเลี้ยงปลาดุก (T1 = ใช้ระบบน้ำหมุนเวียน, T2 = ใช้ระบบน้ำหมุนเวียนร่วมกับผักตบชวา) ระยะเวลา 8 สัปดาห์

จนเกินไป สอดคล้องกับ ไมตรี และจารุวรรณ [11] ที่รายงานว่าอุณหภูมิส่งผลต่อการเพาะเลี้ยงเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นจะทำให้ปลามีการเผาผลาญพลังงานเพิ่มมากขึ้น ทำให้ปลาโตเร็วขึ้น จากการทดลองในครั้งนี้พบว่า อุณหภูมิของชุดการทดลองที่ 2 ใช้ระบบน้ำหมุนเวียน ร่วมกับผักตบชวามีอุณหภูมิต่ำกว่าชุดการทดลองที่ 1 ตลอดการทดลอง เพราะมีผักตบชวาช่วยบดบังแสงทำให้ปลาได้รับแสงอาทิตย์น้อยกว่าอุณหภูมิของน้ำจึงต่ำกว่า อยู่ในช่วงที่เหมาะสมเป็นส่วนใหญ่จึงทำให้ปลาค่อนข้างโตกว่าชุดการทดลองที่ 1

ค่าความเป็นกรด-ด่างของน้ำ (pH) ต่ำสุด-สูงสุดเท่ากับ 5.08-7.66 (รูปที่ 2ข) ทั้งสองชุดการทดลองมีความแตกต่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) ซึ่ง pH ระหว่างการทดลองในช่วง 3 สัปดาห์แรก อยู่ในช่วงที่เหมาะสมสอดคล้องกับ ชาญยุทธ [12] ที่รายงานว่าค่า pH ที่เหมาะสมต่อการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำอยู่ระหว่าง 6.5-9.0 แต่ในช่วงท้ายของการทดลองมี pH ต่ำลงเพราะในน้ำมีการสะสมของคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) จากปลาที่โตขึ้น และการย่อยสลายสารอินทรีย์แบบใช้ออกซิเจนที่เพิ่มมากขึ้นโดยจุลินทรีย์ จึงทำให้ pH ต่ำลง เนื่องจากเมื่อมีคาร์บอนไดออกไซด์ละลายสู่น้ำมากขึ้น คาร์บอนไดออกไซด์ทำปฏิกิริยากับน้ำได้เป็นกรดคาร์บอนิก (H_2CO_3) [13]

การทดลองออกซิเจนละลายน้ำต่ำสุด-สูงสุดอยู่ในช่วง 6.83-7.42 มิลลิกรัมต่อลิตร (รูปที่ 2ค) ซึ่งมีความเหมาะสมกับการเลี้ยงปลาตามรายงานของ ศูนย์ศึกษาการพัฒนาห้วยฮ่องไคร้อันเนื่องมาจากพระราชดำริ [9] ที่รายงานว่าค่าความเข้มข้นของออกซิเจนที่ละลายน้ำไม่ควรต่ำกว่า 5.0 มิลลิกรัมต่อลิตร ซึ่ง ไมตรี และจารุวรรณ [11] กล่าวว่าออกซิเจนละลายน้ำที่เหมาะสมในการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำอยู่ในช่วง 4.0-10.0 มิลลิกรัมต่อลิตร การทดลองในครั้งนี้ทั้งสองชุดการทดลองไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ

($p > 0.05$) ตลอดการทดลอง แต่แนวโน้มของออกซิเจนจะลดลงเมื่อการเลี้ยงผ่านไปนานขึ้น เพราะปลาที่โตขึ้นจะใช้ออกซิเจนมากขึ้น และจุลินทรีย์ใช้ออกซิเจนในการย่อยสลายสารอินทรีย์เพิ่มขึ้นตามการขับถ่ายของปลาที่เพิ่มขึ้นด้วย เช่นเดียวกับการทดลองของ จิรวัช [14] ที่ศึกษาประสิทธิภาพของระบบกรองชีวภาพเพื่อการเลี้ยงปลาในตู้ระบบปิดพบว่าออกซิเจนละลายน้ำจะสูงในช่วงเริ่มต้นและลดลงตามเวลาการเลี้ยงที่เพิ่มขึ้น

ค่าการนำไฟฟ้า พบว่าทั้ง 2 ชุดการทดลองเมื่อเลี้ยงผ่านไปเรื่อย ๆ ค่าการนำไฟฟ้ายิ่งเพิ่ม (รูปที่ 2ง) ขึ้นสอดคล้องกับ สุฤทธิ์ [10] ที่ได้ทดลองเลี้ยงปลาดุกบิกอูย พบว่าเมื่อเลี้ยงผ่านไป 30, 60 และ 90 วัน มีค่าการนำไฟฟ้าเท่ากับ 395.0 ± 23.00 , 431.0 ± 32.66 และ 788.5 ± 82.61 ไมโครซีเมนส์ต่อเซนติเมตร ตามลำดับ เนื่องจากเมื่อเลี้ยงนานขึ้นน้ำที่ใช้เลี้ยงจะมีการสะสมของแร่ธาตุต่าง ๆ มากขึ้น จึงทำให้ค่าการนำไฟฟ้าสูงขึ้น ซึ่งการทดลองนี้เมื่อเลี้ยงนานขึ้นปลามีขนาดโตขึ้นกินอาหารมากขึ้น ขับถ่ายของเสียเพิ่มขึ้น สอดคล้องกับค่าบีโอดี แอมโมเนีย ไนโตรท์ ไนเตรท และฟอสเฟตที่เพิ่มขึ้นด้วยเช่นกัน และชุดการทดลองที่ 2 ค่าการนำไฟฟ้าสูงกว่าชุดการทดลองที่ 1 อย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) ในสัปดาห์ที่ 7 เนื่องจากการตายและย่อยสลายของผักตบชวาที่ไม่ได้เก็บออกทำให้ค่าการนำไฟฟ้าสูงขึ้น

ค่า BOD ของทั้ง 2 ชุดการทดลอง อยู่ในช่วง 0.37-4.73 มิลลิกรัมต่อลิตร (รูปที่ 2ฉ) โดยพบว่าค่า BOD ของชุดการทดลองที่ 1 มีค่าต่ำกว่าชุดการทดลองที่ 2 ในช่วงเริ่มต้น เนื่องจากในชุดการทดลองที่ 2 มีเศษตะกอนจากผักตบชวาลุดลงมาในตู้ทดลอง มีการตายและใบที่เน่าเสียรวมทั้งเศษจากหอยที่มากินผักตบชวา จึงเป็นการเพิ่มสารอินทรีย์ในน้ำ จึงทำให้ค่า BOD สูงกว่า แต่หลังจากสัปดาห์ที่ 5 ที่มีการ

เติมน้ำเท่ากันในทุกชุดการทดลอง เก็บเศษผักตบชวาที่เสียและหอยออก ค่า BOD ทั้ง 2 ชุดการทดลองใกล้เคียงกัน และชุดการทดลองที่ 2 มีค่า BOD ต่ำกว่าอย่างมีนัยสำคัญในสัปดาห์ที่ 8 เนื่องจากชุดการทดลองที่ 2 รากของผักตบชวาจะเป็นที่อยู่อาศัยของแบคทีเรีย จึงมีการย่อยสลายสารอินทรีย์ได้มากกว่าชุดการทดลองที่ 1 ที่ใช้แค่ระบบกรอง และตลอดการทดลองทั้งสองชุดการทดลองมีค่าบีโอดีอยู่ในช่วงที่เหมาะสมกับการเลี้ยงสัตว์น้ำตลอดการทดลอง ซึ่งสอดคล้องกับสุฤทธิ [2551] ที่รายงานว่าค่าบีโอดีที่เหมาะสมมีค่าไม่เกิน 10 มิลลิกรัมต่อลิตร และสูงสุดไม่เกิน 30 มิลลิกรัมต่อลิตร และกรมควบคุมมลพิษ [15] ที่บอกว่าค่า BOD ที่เหมาะสมในการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำควรมีค่าไม่เกิน 20 มิลลิกรัมต่อลิตร

ปริมาณของแข็งแขวนลอยจากการทดลองพบว่าน้ำที่ใช้เลี้ยงปลาทั้ง 2 ชุดการทดลอง มีความใสมากเป็นเพราะมีการกรองด้วยกรองกายภาพที่ใช้ใยแก้วที่ละเอียดและมีอัตราการหมุนเวียนน้ำในระดับที่สูง คือ 200 ลิตรต่อชั่วโมง ซึ่งน้ำในตู้มีปริมาณ 140 ลิตรคิดเป็น 142.86 เปอร์เซ็นต์ต่อชั่วโมง จึงทำให้มีตะกอนตกค้างในน้ำต่ำ และยังพบว่า ชุดการทดลองที่ 2 มีของแข็งแขวนลอยต่ำกว่าชุดการทดลองที่ 1 เพราะมีรากผักตบชวา ช่วยดักให้ตกตะกอนอีกชั้น แต่มีความแตกต่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ และปริมาตรของแข็งแขวนลอยยังมีค่าที่ต่ำกว่ามาตรฐานน้ำทิ้งของกรมควบคุมมลพิษ [15] ที่กำหนดให้ไม่เกิน 80 มิลลิกรัมต่อลิตร และของแข็งแขวนลอยยิ่งต่ำยิ่งเป็นผลดีต่อสัตว์น้ำ ซึ่งจากรายงานของ ไมตรี และจารุวรรณ [11] ได้กล่าวว่าปริมาณของแข็งแขวนลอยที่เหมาะสมอยู่ในช่วง 25-80 มิลลิกรัมต่อลิตร แต่ถ้าอยู่ในช่วงระหว่าง 80-400 มิลลิกรัมต่อลิตร จะทำให้ผลผลิตในการเลี้ยงปลาลดลงและถ้ามากเกินไป 400 มิลลิกรัมต่อลิตร ขึ้นไปจะเลี้ยงปลาไม่ได้ผล

แอมโมเนีย ไนโตรท์ และไนเตรท พบว่าตลอดการทดลองมีค่าอยู่ในช่วง 0.043-0.661, 0.014-0.063 และ 0.020-0.075 มิลลิกรัมไนโตรเจนต่อลิตรตามลำดับ (รูปที่ 2ข, 2ค และ 2ฅ) โดยทั้ง 2 ชุดการทดลองมีค่าแอมโมเนีย ไนโตรท์ และไนเตรทต่ำในช่วงแรกของการทดลอง แล้วค่อย ๆ เพิ่มขึ้นเมื่อระยะเวลาผ่านไป และลดลงตอนเติมน้ำในสัปดาห์ที่ 5 เนื่องจากน้ำระเหยลงต่ำกว่าที่กำหนดซึ่งสอดคล้องกับสุฤทธิ [10] ที่เลี้ยงปลาคุกกี้ ซึ่งมีความแอมโมเนีย ไนเตรท และไนโตรท์เป็น 0.429 ± 0.063 , 0.008 ± 0.001 , 0.053 ± 0.013 มิลลิกรัมไนโตรเจนต่อลิตร ในวันที่เริ่มต้น เพิ่มขึ้นเป็น 0.556 ± 0.053 , 0.026 ± 0.006 , 0.063 ± 0.025 มิลลิกรัมไนโตรเจนต่อลิตร ในวันที่ 30 และเพิ่มขึ้นเป็น 0.691 ± 0.056 , 0.034 ± 0.006 , 0.128 ± 0.005 มิลลิกรัมต่อลิตร ในวันที่ 60 และสูงสุดเมื่อครบ 90 วัน มีค่า 0.770 ± 0.036 , 0.335 ± 0.005 , 0.179 ± 0.089 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ ซึ่งเป็นผลมาจากเมื่อเราเลี้ยงปลาเป็นระยะเวลานานขึ้น ก็จะมีการให้อาหารมากขึ้น และมีสิ่งขับถ่ายพวกสารประกอบไนโตรเจนมากขึ้นตามไปด้วย [10] อย่างไรก็ตาม จะเห็นได้ว่าค่าแอมโมเนีย ไนเตรท และไนโตรท์อยู่ในเกณฑ์ที่ไม่เป็นอันตรายต่อสัตว์น้ำ ซึ่งกรมประมง [4] ได้กำหนดมาตรฐานน้ำทิ้งไว้ที่ไนโตรเจนรวมไม่เกิน 4.0 มิลลิกรัมไนโตรเจนต่อลิตร

เมื่อเปรียบเทียบระหว่าง 2 ชุดการทดลองพบว่าค่าแอมโมเนียใกล้เคียงกันและความแตกต่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) ในช่วงสัปดาห์ที่ 1-6 เพราะในช่วงแรกปลายังมีการขับถ่ายของเสียออกมาน้อยเพราะยังมีขนาดเล็ก และในชุดการทดลองที่ 2 ที่ใช้ระบบกรองร่วมกับผักตบชวามีการตายและใบที่เน่าเปื่อยทำให้ระบบต้องรับภาระในการบำบัดที่มากกว่าจึงทำให้ยังไม่เห็นความแตกต่างในช่วงนี้ แต่เมื่อมีการเติมน้ำเท่ากันในทุกชุดการทดลองและน้ำใบและต้นผักตบ

ชาวที่ตายออกในสัปดาห์ที่ 5 ภาวะในการบำบัดของทั้งสองชุดการทดลองจึงใกล้เคียงกัน และผักตบชวาได้ดึงแอมโมเนียไปใช้ทำให้ ชุดการทดลองที่ 2 บำบัดแอมโมเนียในน้ำได้ดีกว่าชุดการทดลองที่ 1 ที่ไม่ใช้ผักตบชวา ได้แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) ในสัปดาห์ที่ 7 และ 8 ส่วนค่าไนโตรเจนในเตรท ก็มีแนวโน้มเดียวกับแอมโมเนีย คือ มีค่าต่ำใกล้เคียงกันในช่วงแรกและเพิ่มสูงขึ้น โดยในสัปดาห์ที่ 8 ชุดการทดลองที่ 2 จะมีค่าไนเตรทต่ำกว่าชุดการทดลองที่ 1 อย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) เนื่องจากพืชน้ำสามารถดูดซึมแอมโมเนีย และไนเตรทผ่านระบบรากจึงทำให้ไนโตรเจนในน้ำทั้ง แอมโมเนีย ไนเตรท และไนเตรท ลดลงตามระยะเวลาที่เพิ่มขึ้น [16]

ความเข้มข้นของฟอสเฟตเฉลี่ยตลอดการทดลองของทั้ง 2 ชุดการทดลอง อยู่ในช่วง 0.004-0.115 มิลลิกรัมฟอสฟอรัสต่อลิตร (รูปที่ 2) พบว่าชุดการทดลองที่ 1 มีฟอสเฟตต่ำกว่าชุดการทดลองที่ 2 ในช่วงสัปดาห์ที่ 1 ถึง 5 เพราะเหตุผลเดียวกับแอมโมเนีย ไนเตรท ไนเตรท คือ เมื่อปลาในชุดการทดลองที่ 2 โตเร็วกว่าชุดการทดลองที่ 1 กินอาหารมากกว่า สิ่งขับถ่ายมากกว่า รวมถึงการเน่าเปื่อยของผักตบชวา จึงทำให้ปริมาณของฟอสเฟตในน้ำสูงกว่าตามไปด้วย และเมื่อมีการเติมน้ำเท่ากันในทุกชุดการทดลอง และเก็บผักตบชวาที่ตายและใบที่เน่าออก จึงส่งผลให้ในสัปดาห์ที่ 6 ถึง 8 ชุดการทดลองที่ 2 มีฟอสเฟตต่ำกว่าชุดการทดลองที่ 1 และแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) ในสัปดาห์ที่ 8 เนื่องจากการเจริญโตของพืชน้ำฟอสฟอรัสเป็นธาตุอาหารหลัก 1 ใน 3 ชนิดที่มีความจำเป็น ในการทดลองนี้ ผักตบชวาจึงดึงฟอสฟอรัสไปใช้เช่นเดียวกับธาตุอาหารกลุ่มไนโตรเจน และจากการทดลองค่าฟอสเฟตของทั้ง 2 ชุดการทดลอง ก็ไม่เกินมาตรฐานน้ำทิ้งจากการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำจืดที่ไม่เกิน 0.5 มิลลิกรัมฟอสฟอรัส

ต่อลิตร [15] และมีค่าต่ำกว่าการเลี้ยงปลาแบบหนาแน่นในบ่อคอนกรีตที่มีปริมาณฟอสเฟตสูงถึง 0.5-5.7 มิลลิกรัมฟอสฟอรัสต่อลิตร [10]

การทดลองในครั้งนี้พบว่าทั้งด้านอัตราการเจริญเติบโตในพารามิเตอร์ น้ำหนักที่เพิ่มขึ้น อัตราการเจริญเติบโตโดยน้ำหนัก ความยาวที่เพิ่มขึ้น อัตราเจริญเติบโตโดยความยาว และผลผลิตต่อพื้นที่ ของชุดการทดลองที่ 2 ที่ใช้ผักตบชวา ดีกว่าชุดการทดลองที่ 1 ในสัปดาห์ท้าย ๆ ของการทดลองอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) อัตราการรอดตาย 2 ชุดการทดลอง มีความแตกต่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) และประสิทธิภาพในการควบคุมคุณภาพน้ำของทั้ง 2 ชุดการทดลองให้ผลในการควบคุมคุณภาพน้ำทุกพารามิเตอร์ให้อยู่ในเกณฑ์มาตรฐานตลอดทั้งการทดลอง โดยไม่มีปัญหาน้ำเน่าเสียเกิดขึ้นเลย และชุดการทดลองที่ 2 มีการควบคุมค่าบีโอดี แอมโมเนีย ไนเตรท และฟอสเฟต สัปดาห์ที่ 7 และ 8 ได้ดีกว่าอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) และมีแนวโน้มควบคุมไนโตรที่ได้ดีกว่าด้วย

4. สรุป

การศึกษาประสิทธิภาพของระบบการเลี้ยงปลาดุกบิ๊กอุย 2 แบบ โดยแบ่งชุดการทดลองเป็น 2 ชุดการทดลอง ชุดการทดลองที่ 1 ใช้ระบบน้ำหมุนเวียนผ่านชั้นกรองกายภาพและกรองชีวภาพ (อัตราไหล 200 ล./ชม.) ชุดการทดลองที่ 2 ใช้ระบบน้ำหมุนเวียนผ่านชั้นกรองกายภาพ กรองชีวภาพ และผักตบชวา 2 กิโลกรัม เป็นเวลา 8 สัปดาห์ พบว่าอัตราการเจริญเติบโตในพารามิเตอร์ น้ำหนักที่เพิ่มขึ้น อัตราการเจริญเติบโตโดยน้ำหนัก ความยาวที่เพิ่มขึ้น อัตราเจริญเติบโตโดยความยาว และผลผลิตต่อพื้นที่ ในชุดการทดลองที่ 2 สูงกว่าอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

คุณภาพน้ำของชุดการทดลองที่ 1 และชุดการ

ทดลองที่ 2 พบว่าอุณหภูมิของน้ำอยู่ในช่วง 29.67-32.33 องศาเซลเซียส ค่าความเป็นกรด-ด่างอยู่ในช่วง 5.08-7.66 ปริมาณออกซิเจนที่ละลายน้ำอยู่ในช่วง 6.83-7.42 มิลลิกรัมต่อลิตร ค่าการนำไฟฟ้าอยู่ในช่วง 330.33-906.67 $\mu\text{S}/\text{cm}$. ปริมาณของแข็งแขวนลอยอยู่ในช่วง 0.0009-0.0048 มิลลิกรัมต่อลิตร ค่า BOD อยู่ในช่วง 0.37-4.73 มิลลิกรัมต่อลิตร ความเข้มข้นของแอมโมเนียไนไตรท์ และไนเตรทอยู่ในช่วง 0.043-0.661, 0.014-0.063 และ 0.020-0.075 มิลลิกรัมไนโตรเจนต่อลิตรตามลำดับ และความเข้มข้นของฟอสเฟตอยู่ในช่วง 0.004-0.115 มิลลิกรัมฟอสฟอรัสต่อลิตรตลอดระยะเวลาการทดลองคุณภาพน้ำทุกพารามิเตอร์อยู่ในเกณฑ์ที่เหมาะสมต่อการดำรงชีวิตและไม่เป็นอันตรายต่อสัตว์น้ำและชุดการทดลองที่ 2 ควบคุมคุณภาพน้ำในพารามิเตอร์ค่าบีโอดี แอมโมเนีย ไนเตรท และฟอสเฟต ได้ดีกว่าชุดการทดลองที่ 1 อย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) ในช่วงสัปดาห์ที่ 7 และ 8

5. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณ กองทุนวิจัยมหาวิทยาลัยราชภัฏสงขลา ที่สนับสนุนทุนอุดหนุนทุนวิจัย สัญญาเลขที่ 16/2558 เพื่อให้งานวิจัยสามารถดำเนินการไปจนสำเร็จลุล่วงด้วยดี

6. รายการอ้างอิง

- [1] สุบัณฑิต นิมรัตน์ และวีรพงศ์ วุฒิพันธุ์ชัย, 2552, การเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำอย่างยั่งยืน : บทบาทของจุลินทรีย์และการประยุกต์ใช้, สำนักพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, กรุงเทพฯ.
- [2] พนม สินวรพันธุ์, 2552, ระบบน้ำและความหนาแน่นที่เหมาะสมในการเลี้ยงหอยหวาน (*Babylonia areolata*), วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์, สงขลา.
- [3] นิคม ละอองศิริวงศ์, ลักขณา ละอองศิริวงศ์, พัชรา แม่เริาะ และคมน์ ศิลปาจารย์, 2554, การเลี้ยงปลากระพงขาว ขนาด 4-6 นิ้ว ในระบบน้ำหมุนเวียน, น. 92-99, การประชุมทางวิชาการมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 49 : สาขาประมง, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.
- [4] กรมประมง, 2558, การเพาะเลี้ยงปลาดุกบักอูย, สำนักส่งเสริมและฝึกอบรม กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, กรุงเทพฯ.
- [5] Boyd, C.E. and Tucker, C.S. 1992. Water Quality and Pond Soil Analyses for Aquaculture. Alabama Agricultural Experiment Station, Auburn University, Alabama.
- [6] APHA, AWWA and WPCF, 1998, Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 20th Ed, American Public Health Association, Washington, D.C.
- [7] อุทัยรัตน์ ณ นคร, 2544, ปลาตุ๊ก, เอกสารคำสอน, ภาควิชาเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.
- [8] อุธร ฤทธิลิก, สรรลภา สงวนดีสกุล และศรัณยารักเสรี, 2553, การผสมผสานระบบปลูกพืชไร่น้ำเพื่อบำบัดน้ำเสียในระบบการเลี้ยงปลาแบบใช้น้ำหมุนเวียน, ว.วิจัยมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก 3(2): 38-53.
- [9] ศูนย์ศึกษาการพัฒนาห้วยฮ่องไคร้อันเนื่องมาจากพระราชดำริ, แหล่งที่มา : <http://www.hongkhrai.com/pdf/report%20pdf%20High%20Light/data%2003.pdf>, 2 มีนาคม 2558.
- [10] สุฤทธิ สมบูรณ์ชัย, 2551, การเลี้ยงปลาดุกลูกผสมในบ่อซีเมนต์ระบบหมุนเวียนร่วมกับ

- ระบบการปลูกพืชไฮโดรโปนิกส์, วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยแม่โจ้, เชียงใหม่.
- [11] ไมตรี ดวงสวัสดิ์ และจารุวรรณ สมศิริ, 2528, คุณสมบัติของน้ำและวิธีการวิเคราะห์สำหรับการวิจัยทางการประมง, สถาบันประมงน้ำจืดแห่งชาติ กรมประมง, กรุงเทพฯ.
- [12] ชาญยุทธ คงภิมย์ชื่น, 2533, คู่มือปฏิบัติการคุณภาพน้ำทางการประมง, คณะเกษตรศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีราชมงคลภาคตะวันออก, ชลบุรี.
- [13] สมหมาย เขียววาริ์สัจจะ, 2539, การจัดการคุณภาพน้ำ, ภาควิชาวาริชศาสตร์ คณะทรัพยากรธรรมชาติ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์, สงขลา.
- [14] จิรวัช ช่วยรอดหมด, 2549, ประสิทธิภาพของระบบกรองชีวภาพเพื่อการเลี้ยงปลาในตู้ระบบปิด, วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์, สงขลา.
- [15] กรมควบคุมมลพิษ, มาตรฐานควบคุมการระบายน้ำทิ้งจากบ่อเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำจืด, แหล่งที่มา : <http://www.pcd.go.th>, 10 มกราคม 2559.
- [16] Boyd, C.E., 2015, Water Quality: An Introduction, 2nd Ed., School of Fisheries, Aquaculture and Aquatic Sciences, Auburn University, Auburn, AL.