รายงานการวิจัย

ประสิทธิภาพการใช้ระบบน้ำหมุนเวียนร่วมกับผักตบชวาในการเลี้ยงปลาดุกบิ๊กอุย

Efficiency of water Recirculating System incorporated with

Water Hyacinth in Hybrid Catfish

(*C. macrocephalus* x *C. gariepinus*) Culture.

กานตกานท์ เทพณรงค์

งานวิจัยนี้ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยจากงบประมาณกองทุนวิจัย

มหาวิทยาลัยราชภัฏสงขลา

ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2558

ชื่องานวิจัย ประสิทธิภาพการใช้ระบบน้ำหมุนเวียนร่วมกับผักตบชวาในการเลี้ยงปลาดุกบิ๊กอุย

ผู้วิจัย นายกานตกานท์ เทพณรงค์

คณะ เทคโนโลยีการเกษตร

ปี 2558

บทคัดย่อ

การเลี้ยงปลาดุกบิ๊กอุย (*Clarias macrocephalus* x *C. gariepinus*) ในระบบน้ำหมุนเวียนร่วมกับผักตบชวาเพื่อควบคุมคุณภาพน้ำให้เป็นไปตามมาตรฐานน้ำทิ้งของกรมควบคุมมลพิษ 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 ตู้ๆละ 14 ตัว (ความหนาแน่น 100 ตัว/ลบ.ม.) ทำการทดลองเป็นระยะเวลา 8 สัปดาห์ ทุกชุดการทดลองน้ำจะไหลผ่านด้วยอัตรา 200 ล./ชม. ผลการศึกษา พบว่า ชุดการทดลองที่ 2 มี น้ำหนักที่เพิ่มขึ้น อัตราการเจริญเติบโตโดยน้ำหนัก ความยาวที่เพิ่มขึ้น อัตราเจริญเติบโตโดยความยาว และผลผลิตต่อพื้นที่ สูงกว่าชุดการทดลองที่ 1 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) ส่วนคุณภาพน้ำทั้ง 2 ชุดการทดลอง พบว่าทุกพารามิเตอร์อยู่ในเกณฑ์มาตรฐานน้ำทิ้งจากการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ ยกเว้นค่าความเป็นกรดเป็นด่าง (pH) ที่ต่ำกว่ามาตรฐาน และชุดการทดลองที่ 2 ควบคุมคุณภาพน้ำในพารามิเตอร์ ค่าบีโอดี แอมโมเนีย ไนเตรท และฟอสเฟต ได้ดีกว่าชุดการทดลองที่ 1 อย่างมีนัยสำคัญ ($p<0.05$) ในช่วงสัปดาห์ที่ 7 และ 8

SONGKHLA RAJABHAT UNIVERSITY

Research Title	Efficiency of water Recirculating System incorporated with Water Hyacinth in Hybrid Catfish (C. macrocephalus x C. gariepinus) Culture.
Researcher	Mr. Kantakan Thepnarong
Faculty	Agricultural Technology
Year	2015

Abstract

The hybrid catfish (*Clarias macrocephalus x C. gariepinus*) was culture in water recirculating system incorporated with water hyacinth 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 different 2 water systems but the same water exchange rate at 200 l/hr. It was found that showed weight 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. And 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.

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยเรื่อง ประสิทธิภาพการใช้ระบบน้ำหมุนเวียนร่วมกับผักตบชวาในการเลี้ยงปลาดุกบิ๊กอุย สำเร็จลุล่วงได้ด้วยดี ผู้วิจัยขอขอบพระคุณ รศ.ดร.สมหมาย เชี่ยววารีสัจจะ และ ดร.คริษฐ์สพล หนูพรหม ที่ให้คำปรึกษาและแนะนำแนวทางในการทำวิจัยครั้งนี้ ขอบคุณ นายอติชาต มณฑิราช ผู้ช่วยวิจัย

โครงการวิจัยนี้ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยจากกองทุนวิจัยมหาวิทยาลัยราชภัฏสงขลา ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2558 ตามเลขที่สัญญา 16/2558 โดยผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูง

ขอขอบพระคุณคณบดีคณะเทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยราชภัฏสงขลา ดร.มงคล เทพรัตน์ ที่กรุณาให้การสนับสนุนวัสดุ อุปกรณ์ และพื้นที่ทดลองภายในสถานีปฏิบัติการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำเพื่อใช้ในการทำวิจัยครั้งนี้

สุดท้ายนี้ขอขอบคุณ อาจารย์ นักวิชาการเกษตร และเจ้าหน้าที่ คณะเทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยราชภัฏสงขลา ที่ให้คำปรึกษาและสนับสนุนงานวิจัยครั้งนี้ให้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยดี

ชื่อผู้วิจัย
นายกานตกานท์ เทพณรงค์
กุมภาพันธ์ 2560

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ข
กิตติกรรมประกาศ	ค
สารบัญ	ง
สารบัญตาราง	ฉ
สารบัญภาพ	ช
บทที่ 1 บทนำ	1
วัตถุประสงค์	1
บทที่ 2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	2
ชีววิทยาของปลาดุกบิ๊กอุย	2
ลักษณะทางสรีรวิทยาของปลาดุกบิ๊กอุย	2
การเลี้ยงปลาดุกบิ๊กอุย	3
คุณภาพน้ำทิ้งจากการเลี้ยงปลาดุก	5
วัฏจักรไนโตรเจน	6
ระบบบำบัดไนโตรเจนแบบน้ำหมุนเวียนในการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ	8
ผักตบชวา	11
บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย	13
วัสดุอุปกรณ์การทดลอง	13
วิธีการทดลอง	14

SONGKHLA RAJABHAT UNIVERSITY

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 4 ผลการทดลองละวิจารณ์ผล	19
ผลการทดลอง	19
การเจริญเติบโตของปลาดุกบิ๊กอุยในระบบน้ำหมุนเวียน	19
ประสิทธิภาพในการควบคุมคุณภาพน้ำในระบบน้ำหมุนเวียน	24
ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการเจริญเติบโตของปลาดุกบิ๊กอุย และคุณภาพน้ำทางด้านกายภาพและเคมี	31
วิจารณ์	33
บทที่ 5 สรุปและข้อเสนอแนะ	38
เอกสารอ้างอิง	39
ประวัติผู้วิจัย	42
ภาคผนวก	44

มหาวิทยาลัยราชภัฏสงขลา SONGKHLA RAJABHAT UNIVERSITY

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
1	คุณสมบัติของน้ำที่เหมาะสมในการเลี้ยงปลาดุก	3
2	คุณภาพน้ำในการเลี้ยงปลาดุกบิ๊กอุยในบ่อดิน บ่อซีเมนต์ เปรียบเทียบกับค่ามาตรฐานน้ำทิ้ง	6
3	ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ระหว่างอัตราการเจริญเติบโตของปลาดุกบิ๊กอุยและคุณภาพน้ำทางกายภาพและเคมี	32

มหาวิทยาลัยราชภัฏสงขลา SONGKHLA RAJABHAT UNIVERSITY

สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
1	ปฏิกิริยาต่างๆ ที่เกิดขึ้นในวัฏจักรไนโตรเจน โดย R-NH_2 คือสารอินทรีย์	7
2	ระบบกรองกายภาพ และกรองชีวภาพ	15
3	การเตรียมเนื้ออวนเก่า และจุลินทรีย์ ปม.1	16
4	ผักตบชวาในระบบกรอง	16
5	น้ำหนักปลาที่เพิ่มขึ้นในแต่ละชุดการทดลองระยะเวลา 8 สัปดาห์	19
6	อัตราการเจริญเติบโตโดยน้ำหนักระยะเวลา 8 สัปดาห์	20
7	ค่าเฉลี่ยความยาวทั้งหมดของปลาดุกระยะเวลา 8 สัปดาห์	21
8	ค่าเฉลี่ยความยาวที่เพิ่มขึ้นในแต่ละชุดการทดลองระยะเวลา 8 สัปดาห์	21
9	อัตราการเจริญเติบโตโดยความยาวของปลาดุกระยะเวลา 8 สัปดาห์	22
10	อัตราเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อของปลาดุกทั้ง 2 ชุดการทดลองระยะเวลา 8 สัปดาห์	22
11	ผลผลิตต่อพื้นที่ของการเลี้ยงปลาดุกทั้ง 2 ชุดการทดลอง ระยะเวลา 8 สัปดาห์	23
12	อัตรารอดตายของปลาดุกทั้ง 2 ชุดการทดลองระยะเวลา 8 สัปดาห์	24
13	การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของน้ำในการเลี้ยงปลาดุกระยะเวลา 8 สัปดาห์	24
14	การเปลี่ยนแปลงความเป็นกรด-ด่างของน้ำในการเลี้ยงปลาดุกระยะเวลา 8 สัปดาห์	25
15	การเปลี่ยนแปลงปริมาณออกซิเจนละลายน้ำในการเลี้ยงปลาดุกระยะเวลา 8 สัปดาห์	26
16	ค่าการนำไฟฟ้าของน้ำเลี้ยงปลาดุกระยะเวลา 8 สัปดาห์	26
17	การเปลี่ยนแปลงปริมาณของแข็งแขวนลอยของน้ำเลี้ยงปลาดุกระยะเวลา 8 สัปดาห์	27
18	การเปลี่ยนแปลงค่าบีโอดีของน้ำเลี้ยงปลาดุกระยะเวลา 8 สัปดาห์	28
19	การเปลี่ยนแปลงปริมาณแอมโมเนียของน้ำเลี้ยงปลาดุกระยะเวลา 8 สัปดาห์	28
20	การเปลี่ยนแปลงปริมาณไนไตรท์ของน้ำในการเลี้ยงปลาดุกระยะเวลา 8 สัปดาห์	29
21	การเปลี่ยนแปลงปริมาณไนเตรทของน้ำในการเลี้ยงปลาดุกระยะเวลา 8 สัปดาห์	30
22	การเปลี่ยนแปลงปริมาณฟอสเฟตของน้ำในการเลี้ยงปลาดุกระยะเวลา 8 สัปดาห์	30

บทที่ 1
บทนำ

ปลาดุกบิ๊กอุยเป็นปลาดุกที่ผสมข้ามพันธุ์ระหว่างปลาดุกอุยเพศเมียผสมกับปลาดุกเทศเพศผู้ มีคุณสมบัติ คือ มีอัตราการเจริญเติบโตรวดเร็ว ทนทานต่อโรคสูง มีลักษณะใกล้เคียงกับปลาดุกอุย เนื้อมีรสชาติอร่อย จึงเป็นที่นิยมสำหรับคนที่ชอบรับประทานปลาดุก

ปัจจุบันการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำเริ่มมีบทบาทสำคัญมากขึ้น เนื่องจากการจับสัตว์น้ำในแหล่งน้ำธรรมชาติมีปริมาณไม่แน่นอน และมีแนวโน้มการจับสัตว์น้ำสูงขึ้น ทำให้ปริมาณสัตว์น้ำในแหล่งน้ำลดลง อันเนื่องมาจากปัญหาด้านสภาพแวดล้อมของแหล่งน้ำ มีปัญหาน้ำเน่าเสีย ปัญหาความแห้งแล้งทำให้แม่น้ำ ลำคลองตื้นเขิน ประกอบกับความต้องการบริโภคสัตว์น้ำที่มีปริมาณเพิ่มมากขึ้น ทำให้สัตว์น้ำไม่เพียงพอต่อความต้องการ ด้วยเหตุนี้จึงทำให้ผู้วิจัยเกิดแนวคิดในการเลี้ยงปลาดุกในระบบน้ำหมุนเวียนร่วมกับผักตบชวา เพื่อที่จะสามารถเลี้ยงปลาดุกได้ในพื้นที่ที่จำกัด และใช้น้ำน้อยที่สุด โดยการออกแบบจะประยุกต์มาจากความสัมพันธ์ของปลากับสิ่งแวดล้อม โดยทำให้ของเสียจากการเลี้ยงปลาซึ่งอยู่ในรูปไนโตรเจนประมาณ 70-75 % (สุบัณฑิต และวีรพงศ์, 2552) ถูกกำจัดออกจากระบบ และถูกนำไปเป็นสารอาหาร ที่ใช้ในการเจริญเติบโตของพืช แทนการถ่ายเทน้ำจากบ่อเลี้ยงปลาออกไป ในระบบบำบัดน้ำผักตบชวาจะทำหน้าที่ดึงของเสียต่าง ๆ มาใช้ในการเจริญเติบโต ถ้าหากการทดลองครั้งนี้ ได้ผลออกมาเป็นที่น่าพอใจ จะสามารถใช้เป็นข้อมูลในการเลี้ยงปลาดุกในระบบน้ำหมุนเวียนแก่เกษตรกรต่อไปได้

วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาประสิทธิภาพในการควบคุมคุณภาพน้ำของระบบน้ำหมุนเวียนร่วมกับผักตบชวาในการเลี้ยงปลาดุกบิ๊กอุย
2. เพื่อศึกษาอัตราการเจริญเติบโตของปลาดุกบิ๊กอุยที่เลี้ยงในระบบน้ำหมุนเวียนร่วมกับผักตบชวา

บทที่ 2
เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ชีววิทยาของปลาดุกบิ๊กอุย

ปลาดุกบิ๊กอุยมีชื่อวิทยาศาสตร์ว่า *Clarias macrocephalus* x *C. gariepinus* (อรวรรณ และ คณะ, 2549) และมีชื่อสามัญว่า Hybrid catfish (นิรนาม, 2548) ปลาดุก (walking catfish) ใช้เรียกปลากลุ่มหนึ่งในสกุล *Clarias* วงศ์ Clariidae มีถิ่นอาศัยอยู่ทั่วโลก (นิรนาม, 2551ก) ในประเทศไทยนั้นพบว่ามีปลาดุกด้วยกัน 3 ชนิด คือ ปลาดุกอุย (*C. macrocephalus*) ปลาดุกด้าน (*C. batrachus*) และปลาดุกลำพัน (*C. nieuhofii*) ส่วนที่มาจากต่างประเทศ คือ ปลาดุกรัสเซีย (*C. gariepinus*) และปลาดุกบิ๊กอุย (*C. macrocephalus* x *C. gariepinus*) (คณะสัตวแพทยศาสตร์ มก., 2542) ปัจจุบันนี้ พบว่า ปลาดุกมีขายอยู่ตามท้องตลาดทั่วไปและมีราคาค่อนข้างสูง เนื่องจากความนิยมของประชาชน แต่ค่านิยมในการเลี้ยงปลาดุกอุยและปลาดุกด้านของไทยกลับลดน้อยลง เนื่องจากพันธุ์ปลาหาได้ยากและโตช้า เกษตรกรผู้เลี้ยงปลาดุกส่วนใหญ่จึงหันมาเลี้ยงปลาดุกลูกผสม หรือที่เรียกกันทั่วไปว่า "บิ๊กอุย" ซึ่งเป็นลูกผสมระหว่างปลาดุกอุยกับปลาดุกรัสเซีย (ดุกยักษ์ หรือดุกเทศ) ซึ่งปลาดุกลูกผสมนี้จะเลี้ยงง่ายโตเร็ว และต้านทานโรคได้ดี (นิรนาม, 2551ข) พบว่าใช้เวลาเลี้ยงเพียง 2-3 เดือนก็สามารถจับขายได้แล้ว น้ำหนักเฉลี่ยอยู่ที่ 5-6 ตัวต่อกิโลกรัม (พิชัย, 2551)

2.2 ลักษณะทางสรีรวิทยาของปลาดุกบิ๊กอุย

ปลาดุกมีรูปร่างเรียวยาว ไม่มีเกล็ด มีอวัยวะช่วยหายใจลักษณะคล้ายพุ่มไม้สีขาวอยู่ภายในส่วนหัวเรียกว่า Dendrite ซึ่งช่วยให้ปลาดุกมีความอดทนสามารถอยู่ในที่ไม่มีน้ำหรือมีน้ำน้อยๆ ได้นาน ตามีขนาดเล็กมาก มีหนวด 4 คู่อยู่ที่ริมฝีปาก ซึ่งสามารถรับความรู้สึกได้ดี ใช้หนวดมากกว่าใช้ตาในการหาอาหารตามพื้นดิน ครีบหลังยาวไม่มีกระโดง ครีบอกก้านแรก มีลักษณะยื่นแหลม และอาจจะมีหรือไม่มีลักษณะเป็นฟันเลื่อยก็ได้ ส่วนนี้ช่วยพยุงร่างกายให้เกาะอยู่ในสภาพต่างๆ ได้ดี ปลาดุกสามารถสร้างเสียงด้วยการเคลื่อนไหวของครีบ ทำให้เกิดการกระทบกันของข้อต่อหรือการเคลื่อนไหวของถุงลม ปลาดุกชอบหากินตามหน้าดิน มีนิสัยว่องไว สามารถจะขึ้นมาอยู่บนบกได้นานกว่าปลาชนิดอื่นๆ รวมถึงสามารถที่จะอาศัยอยู่ในดิน โคลน เลน และในน้ำที่มีปริมาณออกซิเจนต่ำได้นาน เนื่องจากมีอวัยวะพิเศษช่วยในการหายใจนั่นเอง อาหารที่ปลาดุกชอบกิน ส่วนมากเป็นอาหารจำพวกเนื้อสัตว์ แต่ถ้านำมาเลี้ยงในบ่อก็สามารถฝึกให้กินอาหารจำพวกพืชได้ รวมถึงสามารถฝึกนิสัยให้ปลาดุกขึ้นมากินอาหารบริเวณผิวน้ำแทนการหาอาหารกินตามหน้าดินได้ (คณิต, 2543) ปลาดุกอุยเป็นปลาพื้นเมืองของไทย ผิวหนังมีสีน้ำตาล เนื้อมีสีเหลือง (กรมประมง, 2541) เป็นปลาที่อาศัยในแหล่งน้ำได้หลายสภาพ ปลาดุกในสกุล *Clarias* มีลักษณะที่สำคัญคือ ครีบหลัง ครีบหาง และครีบก้นเจริญแยกออกจากกัน ดังที่ได้กล่าวมาแล้วในข้างต้นว่า ปลาดุกบิ๊กอุยเกิดจากการผสมพันธุ์ระหว่างปลาดุกอุยเพศเมียผสมกับปลาดุกเทศเพศผู้ มีลักษณะใกล้เคียงกับปลาดุกอุย

2.3 การเลี้ยงปลาดุกบิ๊กอุย

ปลาดุกลูกผสมหรือปลาดุกบิ๊กอุย เป็นปลาที่นิยมเลี้ยงกันอย่างแพร่หลายในปัจจุบันเนื่องจากเป็นการรวมเอาข้อดีจากปลาดุกเทศและปลาดุกอุยมารวมกัน จึงได้มีการส่งเสริมจากกรมประมงให้เกษตรกรเลี้ยงปลาชนิดนี้ โดยกรมประมงได้มีข้อแนะนำในการเลี้ยงปลาดุกบิ๊กอุยดังนี้

2.3.1 คุณสมบัติของน้ำ

ในการเลี้ยงปลาดุกบิ๊กอุยก่อนปล่อยปลาลงเลี้ยงควรตรวจวัดคุณสมบัติของน้ำที่ใช้เลี้ยงก่อนว่ามีคุณสมบัติที่เหมาะสมหรือไม่ โดยคุณสมบัติของน้ำที่ใช้เลี้ยงปลาดุกบิ๊กอุยก็เหมือนกับที่ใช้เลี้ยงปลาน้ำจืดชนิดอื่นโดยทั่วไปคือมีคุณสมบัติดังตารางที่ 1 เพราะน้ำเป็นสิ่งที่ปลาต้องใช้ในการดำรงชีวิตและมีกิจกรรมทุกๆอย่างอยู่ในน้ำทั้ง กินอาหาร หายใจ ขับถ่าย หากสามารถควบคุมคุณสมบัติของน้ำให้อยู่ในระดับที่เหมาะสมได้ก็จะเป็นการเพิ่มโอกาสประสบความสำเร็จในการเลี้ยง

ตารางที่ 1 คุณสมบัติของน้ำที่เหมาะสมในการเลี้ยงปลาดุก

(ศูนย์ศึกษาการพัฒนาห้วยฮ่องไคร้อันเนื่องมาจากพระราชดำริ, 2558)

พารามิเตอร์	ค่าที่เหมาะสม
pH	6.5 – 8.5
ปริมาณออกซิเจนละลายในน้ำ (DO)	ไม่ต่ำกว่า 5.0 มก./ล.
อุณหภูมิน้ำ (Tw)	19 - 28 ℃
ความขุ่น (Turbidity)	30 – 60 ซม.
ความเป็นด่าง (Alkalinity)	100 - 120 มก./ล.
ความกระด้าง (Hardness)	75 - 150 มก./ล.

2.3.2 อัตราปล่อยปลาดุกบิ๊กอุย

ลูกปลาขนาด 2-3 ซม. ควรปล่อยในอัตราประมาณ 40 - 100 ตัว / ตร.ม. ซึ่งขึ้นอยู่กับกรรมวิธีในการเลี้ยง คือ ชนิดของอาหาร ขนาดของบ่อและระบบการเปลี่ยนถ่ายน้ำซึ่งปกติทั่วๆไปอัตราปล่อยเลี้ยงประมาณ 50 ตัว /ตร.ม. และเพื่อป้องกันโรคซึ่งอาจจะติดมากับลูกปลา ใช้น้ำยาฟอร์มาลินใส่ในบ่อเลี้ยง อัตราความเข้มข้นประมาณ 30 ส่วนในล้าน (3 ลิตร/น้ำ 1000 ตัน) ในวันที่ปล่อยลูกปลาไม่จาเป็นต้องให้อาหารควรเริ่มให้อาหารในวันรุ่งขึ้น

2.3.3 การให้อาหาร

เมื่อปล่อยลูกปลาดุกบิ๊กอุยลงในบ่อดินแล้ว อาหารที่ให้ในช่วงที่ลูกปลาดุกมีขนาดเล็ก (2 – 3 ซม.) ควรให้อาหารผสมคลุกน้ำปั้นเป็นก้อนให้ลูกปลากิน โดยให้กินวันละ 2 ครั้ง หว่านให้กินทั่วบ่อโดยเฉพาะในบริเวณขอบบ่อ เมื่อลูกปลามีขนาดโตขึ้นความยาวประมาณ 5-7 ซม.สามารถฝึกให้กินอาหารเม็ดได้ หลังจากนั้นเมื่อปลาโตขึ้นจนมีความยาว 15 ซม.ขึ้นไป จะให้อาหารเม็ดเพียงอย่างเดียวหรืออาหารเสริมชนิดต่าง ๆ ได้ เช่น ปลาเป็ดผสมรำละเอียด อัตรา 9 : 1 หรือให้อาหารที่ลดต้นทุน เช่น อาหารผสมบดจากส่วนผสมต่างๆเช่น กระดูกไก่ ไส้ไก่ เศษขนมปัง เศษเส้นหมี่ เศษเลือดหมู

เลือดไก่ เศษเกี้ยว หรือเศษอาหาร เท่าที่สามารถหาได้นำมาบดรวมกันแล้วผสมให้ปลากินแต่การให้อาหารประเภทนี้จะต้องระวัง เรื่องคุณภาพของน้ำในบ่อเลี้ยงให้ดี เมื่อเลี้ยงปลาได้ประมาณ 3-4 เดือน ปลาจะมีขนาดประมาณ 200-400 กรัม/ตัว ซึ่งผลผลิตที่ได้จะประมาณ 10 - 14 ตัน/ไร่ อัตรารอดตายประมาณ 40- 70 %

2.3.4 การเปลี่ยนถ่ายน้ำ

เมื่อเริ่มเลี้ยงใหม่ๆ ในบ่อดินระดับความลึกของน้ำในบ่อควรมีค่าประมาณ 30 - 40 ซม. เมื่อลูกปลาเจริญเติบโตขึ้นในเดือนแรกจึงเพิ่มระดับน้ำสูงเป็นประมาณ 50 - 60 ซม. หลังจากเข้าเดือนที่สองควรเพิ่มระดับน้ำให้สูงขึ้น 10 ซม./สัปดาห์จนระดับน้ำในบ่อมีความลึก 1.20 - 1.50 เมตร การถ่ายน้ำควรเริ่มตั้งแต่การเลี้ยงผ่านไปประมาณ 1 เดือน โดยเปลี่ยนถ่ายน้ำประมาณ 20 % ของน้ำในบ่อ 3 วัน/ครั้ง หรือถ้าน้ำในบ่อเริ่มเสียจะต้องถ่ายน้ำมากกว่าปกติ สำหรับการเลี้ยงในบ่อซีเมนต์ ควรปรับสภาพน้ำในบ่อให้เป็นกลางหรือด่างเล็กน้อย แต่ต้องแน่ใจว่าบ่อซีเมนต์ต้องหมดฤทธิ์ของปูน ระดับน้ำเมื่อเริ่มปล่อยลูกปลาขนาด 2 – 3 ซม. ควรลึกประมาณ 20 – 30 ซม. เมื่อลูกปลาโตขึ้นค่อยๆ เพิ่มระดับน้ำ โดยเพิ่มระดับน้ำประมาณ 5 ซม./สัปดาห์

2.3.5 การป้องกันโรค

การเกิดโรคของปลาดุกที่เลี้ยงมักจะเกิดจากปัญหาคุณภาพของน้ำในบ่อเลี้ยงไม่ดี ซึ่งอาจเกิดจากสาเหตุของการให้อาหารมากเกินไปจนอาหารเหลือเน่าเสีย เราสามารถป้องกันไม่ให้เกิดโรคได้โดยต้องหมั่นสังเกตว่าเมื่อปลาหยุดกินอาหารจะต้องหยุดให้อาหารทันที เพราะปลาดุกลูกผสมมีนิสัยชอบกินอาหารที่ให้ใหม่ โดยถึงแม้จะกินอิ่มแล้วถ้าให้อาหารใหม่อีกก็จะคายหรือสำรอกอาหารเก่าทิ้งแล้วกินอาหารให้ใหม่อีก ซึ่งปริมาณอาหารที่ให้ไม่ควรเกิน 4 - 5 % ของน้ำหนักตัวปลา

วิธีการป้องกันการเกิดโรคในปลาดุก

1. ควรเตรียมบ่อและน้ำตามวิธีการที่เหมาะสมก่อนปล่อยลูกปลา
2. ซื้อพันธุ์ปลาจากแหล่งที่เชื่อถือได้ว่าแข็งแรงและปราศจากโรค
3. หมั่นตรวจดูอาการของปลาอย่างสม่ำเสมอถ้าเห็นอาการผิดปกติต้องรีบหาสาเหตุและแก้ไขโดยเร็ว
4. หลังจากปล่อยปลาลงเลี้ยงแล้ว 3-4 วันควรสาดน้ำยาฟอร์มาลิน 2-3 ลิตร/ปริมาตร น้ำ 100 ตัน และหากปลาที่เลี้ยงเกิดโรคพยาธิภายนอกให้แก้ไขโดยสาดน้ำยาฟอร์มาลินในอัตรา 4 - 5 ลิตร/ปริมาตรน้ำ 100 ตัน
5. เปลี่ยนถ่ายน้ำจากระดับก้นบ่ออย่างสม่ำเสมอ
6. อย่าให้อาหารจนเหลือ

ในกรณีที่มีการป้องกันอย่างดีแล้วแต่ปลาก็ยังป่วยเป็นโรค ซึ่งมักจะแสดงอาการให้เห็น โดยแบ่งอาการของโรคเป็นกลุ่มใหญ่ ๆ ดังนี้

1. การติดเชื้อจากแบคทีเรีย จะมีการตกเลือด มีแผลตามลำตัวและครีบ ครีบกร่อน ตาขุ่น หนวดหงิก กกหูบวม ท้องบวมมีน้ำในช่องท้องกินอาหารน้อยลงหรือไม่กินอาหาร ลอยตัว

2. อาการจากปรสิตเข้าเกาะตัวปลา จะมีเมือกมาก มีแผลตามลำตัว ตกเลือด ครีบเปื่อย จุดสีขาวตามลำตัว สีตามลำตัวซีดหรือเข้มผิดปกติเหงือกซีด ว่ายน้ำทุรนทุราย ควงสว่านหรือไม่ตรงทิศทาง
3. อาการจากอาหารมีคุณภาพไม่เหมาะสม คือ ขาดวิตามินบี กะโหลกร้าว บริเวณใต้คางจะมีการตกเลือด ตัวคด กินอาหารน้อยลง ถ้าขาดวิตามินบี ปลาจะว่ายน้ำตัวเกรงและชักกระตุก
4. อาการจากคุณภาพน้ำในบ่อไม่ดี ปลาจะว่ายน้ำขึ้นลงเร็วกว่าปกติลอยหัวครีบกร่อนเปื่อย หนวดหงิก เหงือกซีดและบวม ลำตัวซีด ไม่กินอาหาร ท้องบวม มีแผลตามตัว

อนึ่ง ในการรักษาโรคปลาควรจะได้พิจารณาให้รอบคอบก่อนการตัดสินใจเลือกใช้ยาหรือสารเคมี สาเหตุของโรค ระยะรักษา ค่าใช้จ่ายในการรักษา ฯลฯ (กรมประมง, 2558)

2.4 คุณภาพน้ำทิ้งจากการเลี้ยงปลาดุก

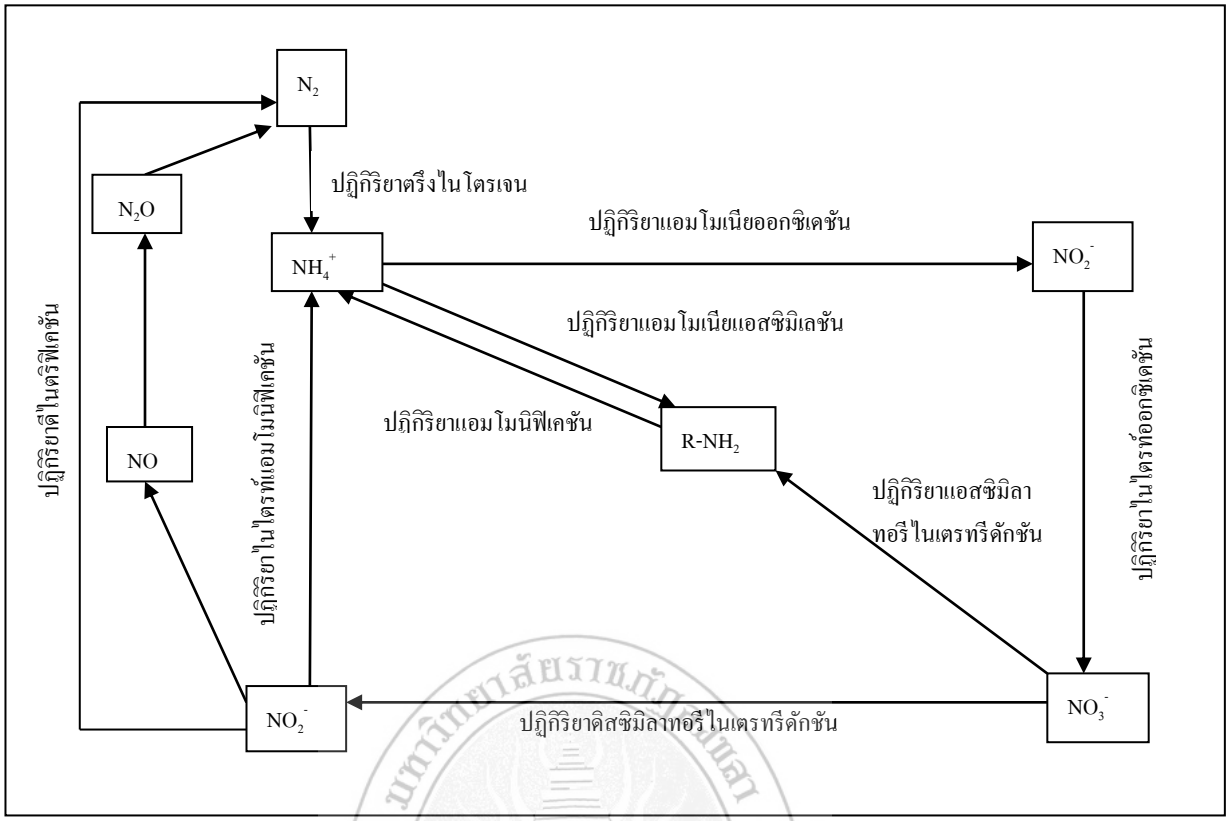
น้ำทิ้งจากการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำในระบบที่มีสัตว์น้ำหนาแน่นมักมีธาตุอาหารปนอยู่มาก เนื่องมาจากการใช้อาหารปริมาณมาก ธาตุอาหารเหล่านี้อยู่ในรูปที่เป็นสารละลายที่ได้จากกระบวนการเมแทบอลิซึม (Metabolism) ของสัตว์น้ำ และการละลายของอาหารสู่น้ำโดยตรง เช่น แอมโมเนีย ไนเตรท ไนไตรท์ ฟอสเฟตเป็นต้น และสัตว์น้ำเองก็ใช้ประโยชน์จากอาหารที่ให้กินได้ไม่หมด สารอาหารที่ไม่ได้ใช้ก็จะถูกขับถ่ายออกมาจากร่างกาย เช่น ปลาเรนโบว์เทร้าท์ มีปริมาณมูลปลาสูงถึง 26% ของปริมาณอาหารที่กิน โดยในมูลมีคาร์บอน 30% ไนโตรเจน 4% และฟอสฟอรัส 2% ซึ่งปริมาณของสารอาหารในมูลจะเปลี่ยนไปตามประสิทธิภาพการย่อยสารอาหารของสัตว์น้ำ (Penczak et al., 1982) นอกจากนี้ยังมีผลการศึกษาพบว่าในประเทศเดนมาร์กที่มีการเลี้ยงปลาเทร้าท์ การสูญเสียอาหารขึ้นอยู่กับชนิดของอาหารกล่าวคือ ในการเลี้ยงด้วยปลาเป็ดปริมาณอาหารสูญเสียถึง 10-30% ในการเลี้ยงด้วยอาหารเม็ดความชื้นสูงปริมาณอาหารสูญเสีย 5-10% และในการเลี้ยงด้วยอาหารเม็ดแห้งปริมาณอาหารสูญเสียเพียง 1-5% (Pillay, 1992) โดยในการเลี้ยงปลาดุกก็มีลักษณะคล้ายคลึงกัน เพราะปลาดุกเป็นปลาที่มีการเลี้ยงแบบหนาแน่นใช้อาหารจำนวนมาก และเป็นปลากินเนื้อจึงมีโปรตีนในอาหารสูง ในบางครั้งก็มีการให้อาหารสดกับปลาดุกที่เลี้ยงเพื่อเป็นการลดต้นทุนของเกษตรกร คุณภาพน้ำในการเลี้ยงปลาดุกจึงเป็นสาเหตุหลักที่ทำให้เกิดโรคในระหว่างการเลี้ยง และหากปล่อยทิ้งโดยไม่มีการบำบัดก็อาจส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมได้ โดยคุณน้ำทิ้งจากการเลี้ยงปลาดุกมีข้อมูลดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 คุณภาพน้ำในการเลี้ยงปลาดุกบิ๊กอุยในบ่อดิน (นำถม และสุนีรัตน์, 2553) บ่อซีเมนต์ (จรียา และสุรินทร, 2556) เปรียบเทียบกับค่ามาตรฐานน้ำทิ้ง (กรมควบคุมมลพิษ, 2553)

ดัชนีคุณภาพน้ำ	มาตรฐานน้ำทิ้ง บ่อเลี้ยงสัตว์น้ำจืด	คุณภาพน้ำเลี้ยง ปลาดุกบิ๊กอุยในบ่อดิน	คุณภาพน้ำเลี้ยง ปลาดุกบิ๊กอุยในบ่อซีเมนต์
1.pH	6.5-8.5	6.32	7.99
2.บีโอดี (มก./ล.)	ไม่เกิน 20	0.73 (มก./ล./ชม.)	23.01
3.สารแขวนลอย (มก./ล.)	ไม่เกิน 80	34.6	52.07
4.แอมโมเนีย (มก.-N/ล.)	ไม่เกิน 1.1	12.33	11.15
5.ไนไตรท์ไนโตรเจน (มก.-N/ล.)	-	0.33	-
6.ไนเตรทไนโตรเจน (มก.-N/ล.)	-	2.84	-
7.ออร์โธฟอสเฟต (มก.-P/ล.)	-	1.21	-
8.ฟอสฟอรัสรวม (มก.-P/ล.)	ไม่เกิน 0.5	-	3.99
9.ไนโตรเจนรวม (มก.-N/ล.)	ไม่เกิน 4.0	-	18.74

2.5 วัฏจักรไนโตรเจน

ธาตุไนโตรเจนสามารถพบได้หลายรูปแบบในแหล่งน้ำเสีย โดยมีการเปลี่ยนแปลงไปเป็นวัฏจักรต่างๆ ดังรูปที่ 1 โดยอาศัยกระบวนการเมแทบอลิซึมของจุลินทรีย์ ทำให้สารไนโตรเจนมีบทบาทสำคัญ ในระบบบำบัดน้ำเสียและจำเป็นต้องกำจัดออกจากแหล่งน้ำ สารประกอบอินทรีย์ไนโตรเจนที่สังเคราะห์ขึ้นโดยพืช และสาหร่ายสีเขียว เป็นไนโตรเจนสำหรับผู้บริโภค สัตว์ขับถ่ายสารประกอบอินทรีย์ไนโตรเจนออกมาระหว่างการดำรงชีวิต และเมื่อสิ่งมีชีวิตตายลง สารประกอบเหล่านี้จะถูกจุลินทรีย์เปลี่ยนเป็นสารอนินทรีย์ไนโตรเจนและถูกปล่อยออกมาในรูปของแอมโมเนีย แอมโมเนียบางส่วนจะถูกออกซิไดซ์โดยแบคทีเรียให้กลายเป็น ไนไตรท์ และไนเตรท ซึ่งผู้ผลิตสามารถนำกลับไปใช้ใหม่ได้



ภาพที่ 1 ปฏิกิริยาต่างๆ ที่เกิดขึ้นในวัฏจักรไนโตรเจน โดย R-NH_2 คือสารอินทรีย์ (Atlas and Bartha, 1993)

มีจุลินทรีย์ที่เกี่ยวข้องคือ

1. แบคทีเรียที่ผลิตแอมโมเนีย (ammonifying bacteria)

แบคทีเรียที่ย่อยสลายสารอินทรีย์ไนโตรเจนให้เป็นแอมโมเนีย เป็นพวกเฮทเธอโรโทรป ซึ่งพบได้ทั้งในชั้นน้ำ และดินตะกอน ปฏิกิริยาสร้างแอมโมเนียเกิดได้ทั้งในสภาวะที่มี และไม่มีออกซิเจน แต่เนื่องจากสารอินทรีย์ส่วนใหญ่มักตกอยู่ในชั้นดินตะกอน การสร้างแอมโมเนียจึงมักเกิดมากในชั้นของดินตะกอน แอมโมเนียที่เกิดขึ้นในชั้นน้ำสามารถถูกสาหร่ายดูดซึมไปใช้ได้อย่างรวดเร็ว และบางส่วนถูกแบคทีเรียเปลี่ยนเป็นไนเตรท ซึ่งจากการใช้แอมโมเนียดังกล่าวเกิดขึ้นได้ดีในที่ที่มีออกซิเจน จึงมักพบแอมโมเนียมากในสภาวะขาดออกซิเจน

2. แบคทีเรียไนตริฟายเออร์ (nitrifier)

แบคทีเรียที่สามารถทำปฏิกิริยาไนตริฟิเคชัน ประกอบด้วยแบคทีเรียออโตโทรป 2 สกุล ช่วยกันเปลี่ยนแอมโมเนียเป็นไนเตรท โดยใช้คาร์บอนไดออกไซด์เป็นแหล่งคาร์บอน *Nitrosomonas* และ *Nitrococcus* เปลี่ยนแอมโมเนียเป็นไนไตรท์ ส่วน *Nitrobacter* เปลี่ยนไนไตรท์เป็นไนเตรท ดังสมการที่ 1 และ 2

$$NH_4^+ + 1.5H_2O \longrightarrow NO_2^- + 2H^+ + H_2O \quad \text{..... (1)}$$

$$NO_2^- + 0.5O_2 \longrightarrow NO_3^- \quad \text{..... (2)}$$

แบคทีเรียกลุ่มนี้สามารถพบได้ทั้งในน้ำจืด น้ำเค็ม และชั้นดินตะกอน

3. แบคทีเรียดีไนตริฟายเออร์ (denitrifier)

แบคทีเรียที่สามารถทำปฏิกิริยาดีไนตริฟิเคชันได้ส่วนใหญ่เป็นแบคทีเรียชนิด facultative anaerobe โดยไนเตรทจะถูกรีดิวซ์ให้เป็นก๊าซไนโตรเจนในสภาวะขาดออกซิเจน และมีสารอินทรีย์เป็นแหล่งคาร์บอน ตัวอย่างแบคทีเรียกลุ่มนี้ เช่น *Pseudomonas alcaligenes* และ *Vibrio* ปฏิกิริยาดีไนตริฟิเคชันจะเกิดได้ดีในช่วงฤดูร้อนเนื่องจากมีสารอินทรีย์ และไนเตรทเข้มข้น การเกิดปฏิกิริยาส่วนใหญ่จะเกิดในชั้นน้ำที่ขาดออกซิเจน และในชั้นดินตะกอน

4. Nitrate dissimilatory bacteria

การรีดิวซ์ไนเตรทเป็นแอมโมเนีย เป็นกระบวนการที่เกิดในสภาวะขาดออกซิเจนโดยแบคทีเรียกลุ่มเฮทเธอโรโทรป ได้แก่ *Aeromonas*, *Vibrio*, *Klebsiella*, *Escherichia* และ *Clostridium* กระบวนการนี้เกิดขึ้นในบริเวณดินตะกอน แต่ยังมีการศึกษาในเรื่องนี้น้อยมาก

5. แบคทีเรียตรึงไนโตรเจน

แบคทีเรียตรึงไนโตรเจนมีมากถึง 59 สกุล โดยมีกลุ่มใหญ่ที่สุดคือ cyanobacteria โดยมี *Azotobacter* และ *Clostridium* เป็นเฮทเธอโรโทรปกลุ่มสำคัญที่สุดในการตรึงไนโตรเจนจากอากาศ การตรึงไนโตรเจนเกิดขึ้นได้ทั้งในสภาวะที่มีและไม่มีออกซิเจน แต่มักเกิดในชั้นผิวน้ำที่มีออกซิเจน และแสงแดด

2.6 ระบบบำบัดไนโตรเจนแบบน้ำหมุนเวียนในการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ

การสร้างและออกแบบระบบบำบัดไนโตรเจนในระบบน้ำหมุนเวียนเพื่อการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำอาศัยหลักการทางชีวภาพโดยอาศัยการทำงานของผู้ย่อยสลายคือแบคทีเรียในระบบมาย่อยสารอินทรีย์ส่วนเกินที่เกิดขึ้นในการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ โดยการควบคุมสภาวะแวดล้อมให้เหมาะสมเพื่อควบคุมชนิดของแบคทีเรียที่ต้องการให้เจริญเติบโตและทำหน้าที่ย่อยสลาย โดยแบคทีเรียในระบบบำบัดสามารถเจริญได้ใน 2 ลักษณะคือ 1.แบคทีเรียเจริญโดยการยึดเกาะพื้นผิวตัวกลาง (Attached-Growth) และ 2.แบคทีเรียที่เจริญอย่างอิสระในน้ำ(Suspended-Growth) แต่แบคทีเรียกลุ่มไนตริไฟอิงในพื้นผิววัสดุของชั้นกรองมีมากกว่าที่แขวนลอยในน้ำถึง 100 เท่า (Kawai et al., 1965) การบำบัดไนโตรเจนส่วนใหญ่จึงเกิดที่ชั้นของวัสดุที่เตรียมให้แบคทีเรียยึดเกาะ หรือชั้นกรอง การออกแบบระบบน้ำหมุนเวียนส่วนใหญ่จึงมีส่วนประกอบของระบบบำบัดไนโตรเจนที่เรียกกว่า ระบบกรองชีวภาพ (Biofiltration)

2.6.1 ระบบกรองชีวภาพ (Biofiltration)

ระบบกรองชีวภาพเป็นระบบที่มีค่าใช้จ่ายต่ำในการดำเนินการ เนื่องจากวัสดุกรองหาง่ายราคาถูก มีสารอาหารที่เหมาะสมกับการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ ไม่เกิดของเสียทุติยภูมิที่เป็นอันตราย ต่อสิ่งแวดล้อม สามารถใช้งานได้นาน ซึ่งวัสดุกรองในธรรมชาติ เช่น เปลือกหอย ซากปะการัง หิน เป็นต้น มีหลักการคือการตรึงจุลินทรีย์บนวัสดุกรอง โดยมีการนำตะกอนเร่ง (Activated sludge) มาคัดแยกเชื้อด้วยวิธีทางธรรมชาติ ด้วยการให้อาหารที่มีองค์ประกอบของสารอาหารที่เรา

ต้องการกำจัดเท่านั้น ดังนั้นจุลินทรีย์ที่ไม่สามารถใช้สารนั้นๆได้ก็จะตายไปเองในที่สุด เหลือแต่ที่เราต้องการแล้วจึงนำไปบรรจุในตัวคอลัมน์ จากนั้นจึงปล่อยน้ำเสียผ่านเข้าไปในระบบ จุลินทรีย์ในระบบจะย่อยสลายสารปนเปื้อนต่างๆในน้ำเสียไปเป็นสารต่างๆ เช่น คาร์บอนไดออกไซด์ น้ำ และเซลล์ใหม่ (สุบัณฑิต และวีรพงศ์, 2552) ข้อจำกัดของระบบนี้คือ อาจเกิดสภาวะที่เป็นพิษต่อจุลินทรีย์ในระบบหากน้ำเสียมีการปนเปื้อนในระดับที่สูง (สถิดา, 2547) หรือมีการปนเปื้อนสารเคมีและยาปฏิชีวนะ และต้องใช้พลังงานในการหมุนเวียนน้ำกลับมาใช้ใหม่ รวมถึงไม่เหมาะกับการเพาะเลี้ยงที่ใช้น้ำจำนวนมาก พรชัย และคณะ (2541) ได้ศึกษาระบบกรองชีวภาพ ด้วยการนำปุ๋ยหมักมาใช้ประโยชน์เพื่อเป็นแหล่งอาหารให้กับแบคทีเรียในระบบ และทดลองโดยใช้สารละลายแอมโมเนียมคลอไรด์ ที่มีความเข้มข้นต่างๆกัน ผ่านไปในระบบ พบว่าที่ความเข้มข้น 1500-2800 มก./ล. จะมีประสิทธิภาพในการบำบัดถึง 80% ในการเลี้ยงกุ้งกุลาดำแบบพัฒนาได้มีการทดลองการบำบัดน้ำด้วยกรองชีวภาพเช่นกัน โดยใช้แบคทีเรียที่ใช้ และไม่ใช้ออกซิเจนช่วยในการย่อยสลายสารอินทรีย์ โดยมีการสูบน้ำจากบ่อกุ้งมาเก็บไว้ในถังที่มีตัวกรองแพลงก์ตอนขนาด 30 ไมโครเมตร ปล่อยให้ไหลผ่านถังบำบัดที่มีแบคทีเรียที่ใช้ออกซิเจนให้มีอัตราไหล 0.25 ลิตรต่อนาที ใช้เวลา 7 ชั่วโมง และมีปริมาตรน้ำทั้งหมด 100 ลิตร และไหลผ่านถังบำบัดที่มีแบคทีเรียที่ไม่ใช้ออกซิเจน ด้วยอัตราไหลเดียวกัน ใช้เวลา 6-8 ชั่วโมง ปริมาตรน้ำทั้งหมด 90-120 ลิตร และปล่อยน้ำกลับสู่นากุ้ง พบว่าสามารถลดปริมาณแอมโมเนียได้ 91.15% และลดค่า BOD ได้ 43.4% ซึ่งอยู่ในระดับที่ไม่เป็นอันตรายต่อสัตว์น้ำ ภายในระยะเวลา 7 ชั่วโมง ซึ่งระบบย่อยสลายโดยใช้ออกซิเจนจะสามารถดำเนินการได้อย่างมีประสิทธิภาพ (สิริ และชนินทร์, 2541) อรัญญา และคณะ (2549) ทำการศึกษาประสิทธิภาพและความสามารถของระบบบำบัดน้ำทางชีวภาพในการควบคุมคุณภาพน้ำจากการเลี้ยงปลากะพงขาว ในบ่อไฟเบอร์ระบบน้ำหมุนเวียน ซึ่งมีระบบบำบัดด้วยกัน 2 ระบบคือ บ่อที่ใส่ก้อนอิฐ ก้อนกรวด และไบโอบอล ซึ่งมีพื้นที่ผิวสัมผัสสำหรับเป็นที่ยึดเกาะของแบคทีเรีย และบ่อสาหร่ายพวงองุ่น โดยทดลองเลี้ยงปลากะพงขาวทั้งหมด 4 บ่อบ่อละ 400 ตัว มีน้ำหนักเริ่มต้นเฉลี่ย 39.99±27.67 กรัม โดยให้อาหารเม็ดที่มีระดับโปรตีน 38.30% วันละสองครั้งกินจนอิ่ม ทดลองเลี้ยงเป็นเวลา 4 เดือน พบว่าความสามารถในการลดแอมโมเนีย ไนไตรท์ ไนเตรท ของระบบบำบัดมีค่าเท่ากับ 94.45%, 96.55% และ 33.03% ตามลำดับ และประสิทธิภาพของระบบบำบัดแอมโมเนีย ไนไตรท์ และไนเตรท ในระบบบำบัดน้ำหมุนเวียนชีวภาพ มีค่าในช่วง 25.0-81.8%, 50.0-87.9% และ 5.0-24.0% ตามลำดับ และในการศึกษาระบบบำบัดไนเตรทสำหรับระบบหมุนเวียนน้ำทะเลแบบปิดเพื่อการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำโดยสุวิมล (2545)โดยทำการพัฒนาระบบบำบัดไนเตรทสำหรับใช้ในการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำเค็ม โดยใช้ระบบบำบัดแบบท่อยาวที่ภายในบรรจุด้วยวัสดุพลาสติกทรงกลมสำหรับเป็นที่ยึดอาศัยของแบคทีเรีย แบ่งการศึกษาออกเป็น 3 การทดลอง โดยการทดลองแรกเป็นการศึกษาความสัมพันธ์ของอัตราการใช้ออกซิเจนของแบคทีเรีย อัตราการเกิดปฏิกิริยาดีไนตริฟิเคชันและการเกิดไฮโดรเจนซัลไฟด์ H_2S ในถังปฏิกรณ์ขนาด 1 ลิตร ที่สร้างขึ้นจากพลาสติกอคริลิคใสภายในบรรจุวัสดุกรองทรงกลมและน้ำเสียเทียมที่มีความเข้มข้นของไนเตรทตั้งแต่ 20-60 mgNO_3^--N/L หลังจากการเติมเมธานอลเป็นแหล่ง

คาร์บอนพบว่าแบคทีเรียในระบบสามารถลดปริมาณออกซิเจนละลายน้ำ (DO) ลงได้ด้วยอัตรา 1.25-2.30 mgO_2/bioball/h และเมื่อ DO ลดลงต่ำกว่า 1 mgO_2/L จึงตรวจพบการลดลงของไนเตรทโดยมีอัตราการเกิดปฏิกิริยาไนตริฟิเคชันเท่ากับ 1.46-13.69 $mgNO_3^-$-N/bioball/h และค่าศักย์ออกซิเดชันรีดักชัน (ORP) ในขณะที่เกิดปฏิกิริยาไนตริฟิเคชันอยู่ระหว่าง 0 ถึง -100 mV และเมื่อค่า ORP ต่ำกว่า -300 mV จะเกิดไฮโดรเจนซัลไฟด์ขึ้นในระบบ สำหรับการทดลองที่ 2 เป็นการศึกษาปฏิกิริยาดีไนตริฟิเคชันในระบบบำบัดไนเตรทแบบท่อความยาว 25 m ซึ่งภายในบรรจุวัสดุกรองทรงกลมโดยอาศัยแบคทีเรียในส่วนต้นของท่อ การลดปริมาณออกซิเจนให้ต่ำลงจนถึงระดับที่ทำให้เกิดปฏิกิริยาดีไนตริฟิเคชันได้ในส่วนปลายของท่อ พบว่ายังมีประสิทธิภาพไม่ดีเท่าที่ควร เนื่องจากแม้ว่าระบบจะสามารถลดปริมาณออกซิเจนให้ลดลงต่ำในส่วนปลายท่อได้ แต่เนื่องจากท่อที่สั้นเกินไปทำให้มีระยะเวลากักเก็บน้ำในท่อไม่เพียงพอต่อการเกิดปฏิกริยาดีไนตริฟิเคชันที่สมบูรณ์ ในการทดลองส่วนที่ 3 ได้เพิ่มความยาวของระบบบำบัดแบบท่อขึ้นเป็น 50 m พบว่าระบบสามารถบำบัดไนเตรทได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยในช่วงแรกที่เดินระบบโดยมีระยะเวลากักเก็บเท่ากับ 2.3 h และมีการเติมเมธานอลเข้าสู่ระบบจะทำให้เกิดการลดลงของไนเตรทแต่เกิดการสะสมไนไตรท์ขึ้นมาแทน ซึ่งแสดงว่าเป็นปฏิกิริยาดีไนตริฟิเคชันแบบไม่สมบูรณ์ แต่เมื่อเพิ่มระยะเวลากักเก็บเป็น 4.2 h พบว่าระบบสามารถบำบัดไนเตรทได้อย่างสมบูรณ์โดยมีค่า ORP ในระหว่างที่เกิดปฏิกริยาดีไนตริฟิเคชันอยู่ระหว่าง 0 ถึง-200 mV และเมื่อนำระบบบำบัดไนเตรทมาต่อเข้ากับบ่อเลี้ยงกุ้งขนาด 352 ลิตร โดยปรับตั้งสภาวะของระบบบำบัดตามการทดลองที่ได้ทำไว้ก่อน พบว่าระบบบำบัดแบบท่อยาวสามารถบำบัดไนเตรทได้โดยมีประสิทธิภาพการบำบัด 84-97% โดยเป็นปฏิกริยาดีไนตริฟิเคชันที่สมบูรณ์และระหว่างการบำบัดไม่พบการเกิดไฮโดรเจนซัลไฟด์ รวมทั้งน้ำที่ผ่านออกจากระบบบำบัดไม่มีผลกระทบต่อกุ้งที่เลี้ยงอยู่ในถัง และการทดลองระบบบำบัดไนเตรทเพื่อการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำด้วยระบบหมุนเวียนน้ำแบบปิดขนาดเล็กโดย อำไพเทพิน (2543) ได้ทำการพัฒนาระบบบำบัดไนเตรทแบบท่อยาวที่ใช้กระบวนการดีไนตริฟิเคชัน โดยมีแนวคิดที่จะให้แบคทีเรียที่อยู่ในส่วนต้นของท่อลดปริมาณออกซิเจนที่ละลายน้ำโดยกระบวนการหายใจของแบคทีเรียให้มีค่าต่ำลงจนถึงระดับที่แบคทีเรียในส่วนปลายท่อจะเกิดกระบวนการดีไนตริฟิเคชั่นได้ ใช้วัสดุกรองทรงกลมขนาดเล็ก (Super Bioball) ที่ใช้ในระบบกรองของตู้ปลา ซึ่งระบบบำบัดไนเตรทแบบท่อยาวที่สร้างขึ้นประกอบด้วยสายยางพีวีซีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1 นิ้ว ยาว 50 เมตรภายในบรรจุวัสดุกรองทรงกลมจำนวนทั้งหมด 2,870 ลูก โดยตัดสายยางเป็นท่อน ๆ ละ 10 เมตรเพื่อติดตั้งจุดเก็บน้ำตัวอย่าง โดยทำการทดลองระบบดังกล่าวกับน้ำเสียเทียมที่มีปริมาณความเข้มข้นของไนเตรท 100 ppm ซึ่งมีการเติมแหล่งคาร์บอน (เมธานอล) ให้กับระบบตลอดเวลาในอัตราไหล 4.5 ml/hr และน้ำเสียจากบ่อเลี้ยงกุ้งที่มีปริมาณไนเตรทสะสมอยู่สูง จากผลการทดลองพบว่า ระบบบำบัดไนเตรทแบบท่อยาวที่สร้างขึ้นสามารถลดความเข้มข้นของไนเตรทจากน้ำเสียเทียมที่มีความเข้มข้นของไนเตรทลงจาก 145.4 $mgNO_3^-$-N/L เหลือ 2.9 $mgNO_3^-$-N/L ภายในเวลา 8 วัน และเป็นการเกิดกระบวนการดีไนตริฟิเคชั่นแบบไม่สมบูรณ์จึงทำให้พบปริมาณแอมโมเนียเพิ่มขึ้นจากเดิมเล็กน้อย

นอกจากนี้ยังสามารถบำบัดไนเตรทในน้ำ จากบ่อเลี้ยงกุ้งที่มีปริมาณไนเตรทสะสมอยู่สูงได้โดยจำเป็นต้องมีการเติมแหล่งคาร์บอนให้กับระบบตลอดเวลา ซึ่งพบว่ามีประสิทธิภาพในการบำบัด ขณะทดลองโดยไม่เติมเมธานอลเท่ากับ 2.96% และเมื่อทดลองโดยเติมเมธานอลในอัตรา 45 ml/hr พบว่ามีประสิทธิภาพในการบำบัดเพิ่มขึ้นเป็น 31.08% และเมื่อหยุดเติมเมธานอลประสิทธิภาพการบำบัดของระบบลดลงเหลือ 6.61% โดยทั้งสามช่วงการทดลองเป็นการเกิดกระบวนการดีไนตริฟิเคชั่นแบบไม่สมบูรณ์

2.7 ผักตบชวา

การบำบัดน้ำเสียโดยใช้พืชน้ำ (Aquatic plant for wastewater treatment) อาศัยหลักการคือ พืชต้องการแร่ธาตุในการเจริญเติบโต เช่น ไนโตรเจน และฟอสฟอรัส โดยจะได้แร่ธาตุเหล่านี้จากกระบวนการย่อยสลายสารอินทรีย์เป็นสารอนินทรีย์ของแบคทีเรีย เมื่อพืชน้ำนำแร่ธาตุไปใช้ในการเจริญเติบโตก็เป็นการลดปริมาณแร่ธาตุต่างๆที่ละลายอยู่ในน้ำไปด้วย และในบริเวณรากของพืชน้ำยังเป็นพื้นที่ยึดเกาะของแบคทีเรียรวมทั้งช่วยดักจับตะกอนได้ด้วย (อภิชัย, 2533) ซึ่งหนึ่งในพืชน้ำหลายชนิดที่มีประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำและนิยมใช้คือ ผักตบชวา

2.7.1 ลักษณะทั่วไปของผักตบชวา

ผักตบชวา (Water Hyacinth) ชื่อวิทยาศาสตร์ : *Eichornia crassipes* เป็นพืชน้ำล้มลุก มีดอกสีม่วงอ่อน คล้ายช่อดอกกล้วยไม้ มีชื่อเรียกในแต่ละท้องถิ่นดังนี้: ผักปอด สวะ ผักโรค ผักตบชวา ผักยะวา ผักอีโยก

ผักป่องผักตบชวาเป็นพืชพื้นเมืองของทวีปอเมริกาใต้ เข้าใจว่ามีการกำเนิดอยู่ในประเทศบราซิล แม้ว่าในปัจจุบันผักตบชวาจะเป็นที่รู้จักอย่างแพร่หลายทั่วโลก แต่เอกสารทางพฤกษศาสตร์ไม่เคยมีบันทึกเรื่องผักตบชวาเลย จนกระทั่งถึงปี พ.ศ.2367 เมื่อนักพฤกษศาสตร์และนายแพทย์ชาวเยอรมันชื่อ Karl von Martius ได้ไปพบเข้าในขณะที่ทำการสำรวจพันธุ์พืชในบราซิล ในประเทศต่างๆ ในทวีปอเมริกาใต้ผักตบชวาไม่ได้ก่อให้เกิดปัญหาใดๆเลย ทั้งนี้ก็เพราะว่าในถิ่นกำเนิดของมันมีศัตรูตามธรรมชาติ เช่น แมลง โรค และศัตรูอื่นๆ คอยควบคุมการระบาดอยู่แล้ว แต่เมื่อถูกนำไปจากถิ่นกำเนิดซึ่งปราศจากศัตรูธรรมชาติ ผักตบชวาจึงเจริญเติบโตอย่างรวดเร็วและถึงขั้นทำให้เกิดปัญหาต่างๆ ได้

2.7.2 การสืบพันธุ์ของผักตบชวา

ผักตบชวาเป็นพืชชั้นสูงที่ไม่สืบพันธุ์โดยใช้เมล็ดในสภาวะปกติ แต่เมื่อสภาพแวดล้อมไม่เหมาะสม เช่น น้ำแห้งทำให้ต้นผักตบชวาแห้งตายหมด เมื่อถึงฤดูฝนหรือได้รับน้ำเมล็ดที่พักตัวอยู่ในดินจะเริ่มงอกขึ้นมาใหม่ การสืบพันธุ์ของผักตบชวาในสภาวะปกติจะใช้วิธีการแตกไหล เป็นลำต้นติดอยู่กับต้นแม่จนเกิดเป็นกอขนาดใหญ่ โดยต้นผักตบชวาเพียง 2 ต้น สามารถสร้างลูกหลานได้ถึง 300 ต้นภายในเวลาเพียง 20 วัน และเพิ่มเป็น 1200 ต้น ภายใน 4 เดือน (ทิพย์วัลย์ และวรรณวิไล, 2532)

2.7.3 บทบาทในการบำบัดน้ำเสีย

ผักตบชวาสามารถช่วยในการบำบัดน้ำเสีย โดยการทำหน้าที่กรองน้ำที่ไหลผ่านกอผักตบชวาอย่างช้าๆ ทำให้ของแข็งแขวนลอยต่างๆ ที่ปนอยู่ในน้ำถูกสกัดกรองออก นอกจากนั้น ระบบรากที่มีจำนวนมากจะเป็นที่ยึดเกาะของจุลินทรีย์ที่ช่วยย่อสลายสารอินทรีย์ รากผักตบชวาจะดูดธาตุอาหารที่อยู่ในน้ำ โดยเฉพาะไนโตรเจนและฟอสฟอรัส พบว่า ผักตบชวาสามารถบำบัดสารประกอบไนโตรเจน คือ ไนเตรท และแอมโมเนีย ในปริมาณที่แตกต่างกันคือ 80 % และ 77 % ตามลำดับ (นิรนาม , 2558) สถานที่แรกในประเทศไทยที่ใช้การบำบัดด้วยวิธีนี้คือ "บึงมักกะสัน" ซึ่งเป็นโครงการบึงมักกะสันอันเนื่องมาจากพระราชดำริของพระบาทสมเด็จพระเจ้าอยู่หัว โดยใช้หลักการบำบัดน้ำเสียตามแนวทฤษฎีการพัฒนาโดยการกรองน้ำเสียด้วยผักตบชวา (Filtration) และจากการศึกษาของ Kanabkaew (2003) พบว่าในบ่อจำลองที่ใช้ผักตบชวาบำบัดน้ำสามารถบำบัดสารอินทรีย์ไนโตรเจน แอมโมเนียไนโตรเจน และปริมาณของแข็งแขวนลอยทั้งหมดได้ 70 78 และ 85% ตามลำดับ

มหาวิทยาลัยราชภัฏสงขลา SONGKHLA RAJABHAT UNIVERSITY

บทที่ 3
วิธีดำเนินการวิจัย

3.1 วัสดุอุปกรณ์การทดลอง

1. อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง ต่อ 1 ชุด

1) ตู้กระจกขนาด (กว้าง×ยาว×สูง) 45×75×45 เซนติเมตร. จำนวน 1 ตู้
2) ถังน้ำพลาสติก 200 ลิตร จำนวน 1 ใบ
3) ถังน้ำพลาสติก 150 ลิตร 1 ใบ
4) เนื้ออวนเก่าจำนวน 9 กิโลกรัม
5) ตะกร้าพลาสติก 1 ใบ
6) ใยแก้ว
7) ข้อต่อเกลียวในเกลียวนอก 1.5 นิ้ว 2 ชุด
8) ข้องอ PVC ขนาด 1 นิ้ว 1 ตัว
9) สายยาง 1 นิ้ว ยาว 2 เมตร
10) ปั๊มสูบน้ำตู้ปลา 1 ตัว รุ่น AP 2005 ยี่ห้อ Lifetech
11) ปั๊มลมให้อากาศ รุ่น ACO-009 ยี่ห้อ Heilea
12) ข้อลด 1.5 นิ้ว เหลือ 1 นิ้ว 1 ตัว
13) ท่อ PVC ขนาด 1.5 นิ้ว ยาว 4 นิ้ว 1 ชิ้น

2. อุปกรณ์สำหรับตรวจวัดการเจริญเติบโตของปลา

1) เครื่องชั่งละเอียด 4 ตำแหน่ง รุ่น HAW-C+ ยี่ห้อ ELECTRONIC BALANCE
2) ไม้บรรทัด
3) ท่อ PVC ผ่าครึ่งพร้อมฝาปิด
4) อาหารที่ใช้เลี้ยงปลาดุก ยี่ห้อไฮเกรด ขนาดกลาง โปรตีนไม่น้อยกว่า 30% ไขมันไม่น้อยกว่า 4% ความชื้นไม่น้อยกว่า 12% กากไม่มากกว่า 4%

3. อุปกรณ์สำหรับตรวจวัดคุณภาพน้ำ

1) เครื่องวิเคราะห์น้ำหลายพารามิเตอร์ WTW รุ่น Multi 3430 SET F

4. อุปกรณ์ในการวิเคราะห์คุณภาพน้ำ

1) ขวด BOD
2) กระบอกตวง 250 มิลลิลิตร
3) เทอร์มอมิเตอร์
4) Erlenmeyer flask
5) Hot plate
6) ขาตั้ง และชุดจับบิวเรต
7) ตู้อบลมร้อน
8) ชุดกรองสูญญากาศ
9) ขวดเก็บตัวอย่างน้ำ ขนาดจุ 1 ลิตร
10) บีกเกอร์ขนาดจุ 50 100 และ250 มิลลิลิตร
11) กระดาษกรอง GF/C
12) Volumetric flask 50 100 และ 500 มิลลิลิตร
13) บิวเรต
14) ตู้บ่มเชื้อ
15) ปิเปต
16) ปากคีบ

3.2 วิธีการทดลอง

3.2.1. แผนการทดลอง

ศึกษาประสิทธิภาพของระบบการเลี้ยงปลาดุกบิ๊กอุย 2 แบบ โดยเปรียบเทียบอัตราการเจริญเติบโต อัตารอด และประสิทธิภาพในการควบคุมคุณภาพของน้ำที่ใช้เลี้ยง ทำการทดลองในตู้กระจก 6 ตู้ ปล่อยปลาดุกบิ๊กอุยในอัตรา 14 ตัวต่อตู้ (100 ตัวต่อลูกบาศก์เมตร) (กรมประมง, 2558) ก่อนการทดลองให้ปลาดุกปรับสภาพในบ่อซีเมนต์เดียวกันกินอาหารสำเร็จรูปชนิดเดียวกันเป็นเวลา 7 วัน

วางแผนการทดลองแบบสุ่มอย่างสมบูรณ์ (Completely Randomized Design: CRD) โดยแบ่งออกเป็น 2 ชุดการทดลองๆละ 3 ซ้ำ ทำการทดลองเป็นระยะเวลา 8 สัปดาห์

ชุดการทดลองที่ 1 ใช้ระบบน้ำหมุนเวียน ผ่านชั้นกรองกายภาพ และกรองชีวภาพ อัตราไหล 200 ลิตรต่อชั่วโมง

ชุดการทดลองที่ 2 ใช้ระบบน้ำหมุนเวียน ผ่านชั้นกรองกายภาพ กรองชีวภาพ และผักตบชวา 2 กิโลกรัม อัตราไหล 200 ลิตรต่อชั่วโมง

แผนผังการทดลอง

T1R3	T2R3	T1R2	T1R1	T2R2	T2R1

3.2.2. การเตรียมตู้และน้ำในการทดลอง

ในการทดลองใช้ตู้กระจกขนาด 45×75×45 เซนติเมตร เติมอากาศในตู้ทดลองโดยใช้หัวทราย 2 หัวต่อตู้ ในด้านตรงข้ามกัน ใช้วาวล์ปรับความแรงของอากาศในแต่ละตู้ให้ใกล้เคียงกันมากที่สุด ปิดแผ่นพลาสติกสีดำ 3 ด้าน เปิดด้านหน้าตู้ 1 ด้าน และด้านบนปิดแผ่นพลาสติกกันปลากระโดดและป้องกันเศษฝุ่น ใส่น้ำในตู้ให้ได้ระดับ 42 เซนติเมตร (45×75×42=141.75 ลิตร) ตั้งชุดการทดลองทั้งหมดไว้ใต้หลังคาพลาสติกใสกลางแจ้งเพื่อให้ผักตบชวาได้รับแสงตลอดวัน และมุงตาข่ายพรางแสงในส่วนของตู้ทดลองอยู่เพื่อลดอุณหภูมิ

3.2.3. การเตรียมระบบกรอง

เตรียมถังขนาด 150 ลิตร สำหรับใส่กรองกายภาพ โดยนำแผ่นกรองใยแก้วบรรจุลงในตะกร้าทรงกลมขนาด (เส้นผ่านศูนย์กลาง×สูง) 29.5×25 เซนติเมตร โดยบุผนังทุกด้านของตะกร้ายกเว้นด้านบนด้วยแผ่นกรองใยแก้ว ต่อระบบน้ำให้ไหลผ่านชั้นกรองใยแก้วทางด้านบนตะกร้า (ภาพที่ 2) นำตะกร้าที่บุใยแก้วแล้วใส่ในถังน้ำพลาสติกเพื่อรองรับน้ำและต่อเข้ากับระบบกรองชีวภาพต่อไป

ภาพที่ 2 ระบบกรองกายภาพ และกรองชีวภาพ

เตรียมความพร้อมของระบบกรองชีวภาพโดยนำเนื้ออวนเก่า ชุดการทดลองละ 9 กิโลกรัม (ดัดแปลงจาก พนม, 2552) ที่ใช้ทำวัสดุกรอง มาใส่ถังขนาด 200 ลิตร เติมสารละลายแอมโมเนียมคลอไรด์ ที่มีความเข้มข้นของแอมโมเนียประมาณ 2 มิลลิกรัมต่อลิตร (ดัดแปลงจาก นิคม และคณะ, 2554) เติมจุลินทรีย์ ปม.1 และให้อากาศตลอดเวลา (ภาพที่ 3) เพื่อกระตุ้นการเจริญเติบโตของไนตริไฟอิงแบคทีเรีย โดยสังเกตจากการเกิดชั้นไบโอฟิล์ม และแอมโมเนียเปลี่ยนไปเป็นไนเตรททั้งหมดแล้วจึงย้ายไปใส่ในถังกรองพลาสติกขนาด 150 ลิตร และปิดฝาป้องกันการเกิดสาหร่าย

ภาพที่ 3 การเตรียมเนื้ออวนเก่า และจุลินทรีย์ ปม.1

เตรียมผักตบชวาโดยคัดขนาดให้ใกล้เคียงกันทุกต้น นำมาล้างให้สะอาดแช่ในสารละลายด่างทับทิมแล้วล้างออกทิ้งให้เสด็จน้ำชั่งน้ำหนัก นำไปใส่ในกระบะทำจากถังพลาสติกกลมสีน้ำเงินขนาด 200 ลิตร ผ่าครึ่งในแนวยาว (ภาพที่ 4) โดยให้เต็มพื้นที่ผิวของกระบะพลาสติกน้ำหนักประมาณ 2 กิโลกรัม ต่อระบบกรองทั้งหมดเข้ากับชุดทดลอง

ภาพที่ 4 ผักตบชวาในระบบกรอง

3.2.4. การเตรียมปลาทดลองและการให้อาหาร

เตรียมปลาทดลองโดยการคัดขนาดลูกปลาดุกบิ๊กอุย ขนาด 8-10 กรัมต่อตัว จำนวน 200 ตัว มาพักไว้ในบ่อซีเมนต์ เติมอากาศและให้อาหาร เป็นเวลา 7 วัน จากนั้นแยกใส่ในแต่ละชุดการทดลองตู้ละ 14 ตัว ให้อาหารในระหว่างการทดลองในช่วงเช้า 8.00 น. และเย็น 16.30 น. จนกว่าปลาจะอิ่ม

และหยุดให้อาหารในมื้อเช้าของวันที่ตรวจวัดอัตราการเจริญเติบโต และล้างใยแก้วในระบบกรองกายภาพทุกๆ 2 สัปดาห์

3.2.5. การเก็บตัวอย่าง และตรวจวัดคุณภาพน้ำ

ทำการเก็บตัวอย่างน้ำ โดยใช้ขวดเก็บตัวอย่างปริมาตร 750 มิลลิลิตร เก็บตัวอย่างน้ำที่ระดับกลางของตู้ทดลอง แล้วนำมาตรวจวัดคุณภาพน้ำทันที โดยเก็บตัวอย่างน้ำจากตู้ทดลองทั้งหมด 6 ตู้ ทุก ๆ สัปดาห์ในเวลา 13.00-16.00 น. เริ่มตรวจวัดครั้งแรกในวันที่เริ่มทดลอง จนสิ้นสุดการทดลองเป็นเวลา 60 วัน

การตรวจวัดคุณภาพน้ำ

วิเคราะห์หาปริมาณแอมโมเนีย (ammonia) ปริมาณไนไตรท์ (Nitrite) ปริมาณไนเตรท (Nitrate) และค่าฟอสฟอรัสทั้งหมด (total phosphorus) ใช้วิธีของ Boyd and Tucker (1992)

วิเคราะห์หาปริมาณของแข็งแขวนลอย (suspended solids) หาค่า Dissoved Oxygen (DO) และหาค่า Biochemical Oxygen Demand (BOD) ใช้วิธีของ APHA *et al*. (1998)

3.2.6. การตรวจวัดอัตราการเจริญเติบโตของปลาและผักตบชวา

ตรวจวัดอัตราการเจริญเติบโตของปลา โดยการนำปลาทุกตัวมาชั่งน้ำหนัก และวัดความยาวทั้งหมด (Total length) ในวันเริ่มต้นการทดลอง และทุกๆ 2 สัปดาห์ จนครบ 8 สัปดาห์ นำค่าที่ได้ไปคำนวณหา ความยาวที่เพิ่มขึ้น อัตราเจริญเติบโตโดยความยาว น้ำหนักที่เพิ่มขึ้น อัตราเจริญเติบโตโดยน้ำหนัก อัตราเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อ ผลผลิตต่อพื้นที่ และอัตรารอดตาย และเก็บผักตบชวาที่ล้นกระบะออกเพื่อชั่งน้ำหนักตลอดการทดลองเพื่อหาน้ำหนักที่เพิ่มขึ้นของผักตบชวาเมื่อสิ้นสุดการทดลอง ดังนี้

วิธีคำนวณหาอัตราการเจริญเติบโต (พนม, 2552)

1) ความยาวทั้งหมด (Total length)

= วัดความยาวจากปลายสุดจงอยปากจนถึงปลายสุดของครีบหาง

2) ความยาวที่เพิ่มขึ้น

= ความยาวเฉลี่ยของปลาเมื่อสิ้นสุดการทดลอง – ความยาวเฉลี่ยของปลาเมื่อเริ่มทดลอง

3) อัตราเจริญเติบโตโดยความยาว

= (ความยาวปลาเมื่อสิ้นสุดการเลี้ยง – ความยาวปลาเมื่อเริ่มการทดลอง) /จำนวนวันที่เลี้ยง

4) น้ำหนักที่เพิ่มขึ้น

= น้ำหนักเฉลี่ยของปลาเมื่อสิ้นสุดการทดลอง – น้ำหนักเฉลี่ยของปลาเมื่อเริ่มการทดลอง

5) อัตราเจริญเติบโตโดยน้ำหนัก

= (น้ำหนักเฉลี่ยปลาเมื่อสิ้นสุดการทดลอง – น้ำหนักเฉลี่ยปลาเมื่อเริ่มการทดลอง) /จำนวนวันที่เลี้ยง

6) อัตราเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อ

= น้ำหนักอาหาร (แห้ง) ที่ปลากิน /น้ำหนักปลาที่เพิ่มขึ้นตลอดการทดลอง

7) ผลผลิตต่อพื้นที่

= น้ำหนักปลาที่เพิ่มขึ้นเมื่อสิ้นสุดการทดลอง / พื้นที่ (ตารางเมตร)

8) อัตรารอดตาย

= (จำนวนปลาที่เหลือเมื่อสิ้นสุดการทดลอง × 100)/จำนวนปลาที่เริ่มทดลอง

9) น้ำหนักที่เพิ่มขึ้นของผักตบชวาเมื่อสิ้นสุดการทดลอง

= น้ำหนักเฉลี่ยของผักตบเมื่อสิ้นสุดการทดลอง–น้ำหนักเฉลี่ยของผักตบเมื่อเริ่มทดลอง

3.3 การวิเคราะห์ข้อมูล

วิเคราะห์ความแตกต่างทางสถิติของตัวแปร โดยการทดสอบความแตกต่างทางค่าเฉลี่ยของกลุ่มตัวอย่าง 2 กลุ่ม ที่เป็นอิสระต่อกัน Independent t-test ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ รวมทั้งวิเคราะห์สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรคุณภาพน้ำต่างๆ กับอัตราการเจริญเติบโต

3.4 สถานที่ทำการทดลอง

อาคารเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ คณะเทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยราชภัฏสงขลา

บทที่ 4

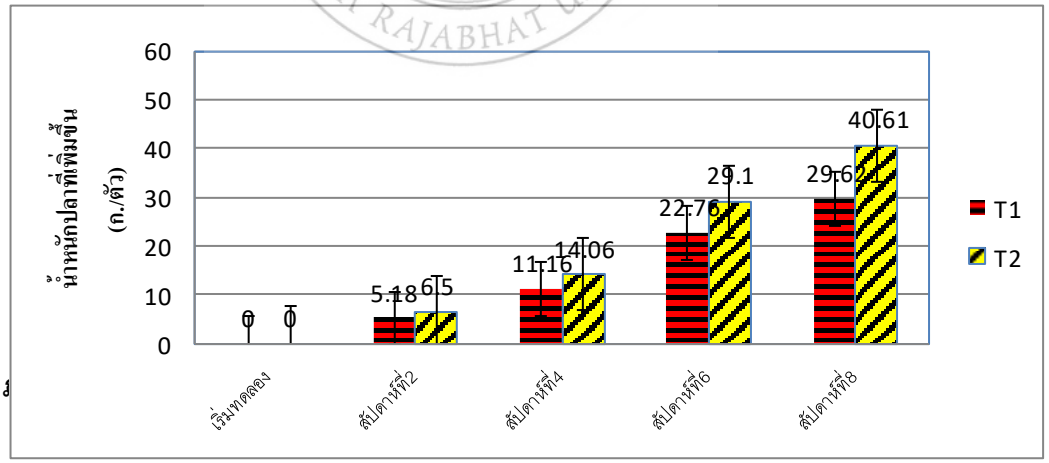
ผลการทดลองและวิจารณ์ผล

4.1 การเจริญเติบโตของปลาดุกบิ๊กอุยในระบบน้ำหมุนเวียน

ศึกษาประสิทธิภาพของระบบการเลี้ยงปลาดุกบิ๊กอุย 2 แบบ โดยเปรียบเทียบอัตราการเจริญเติบโต อัตรารอด และประสิทธิภาพในการควบคุมคุณภาพของน้ำที่ใช้เลี้ยง โดยแบ่งชุดการทดลองเป็น 2 ชุดการทดลอง ชุดการทดลองละ 3 ซ้ำ ชุดการทดลองที่ 1 ใช้ระบบน้ำหมุนเวียน ผ่านชั้นกรองกายภาพ และกรองชีวภาพ อัตราไหล 200 ลิตรต่อชั่วโมง ชุดการทดลองที่ 2 ใช้ระบบน้ำหมุนเวียน ผ่านชั้นกรองกายภาพ กรองชีวภาพ และผักตบชวา 2 กิโลกรัม อัตราไหล 200 ลิตรต่อชั่วโมง ทำการทดลองในตู้กระจกขนาด (กว้าง×ยาว×สูง) 45×75×45 ซม ปล่อยปลาดุกบิ๊กอุยในอัตรา 14 ตัว/ตู้ (อัตราความหนาแน่น 100 ตัวต่อลูกบาศก์เมตร) เป็นเวลา 60 วัน มีผลการศึกษาดังนี้

4.1.1. น้ำหนักที่เพิ่มขึ้น

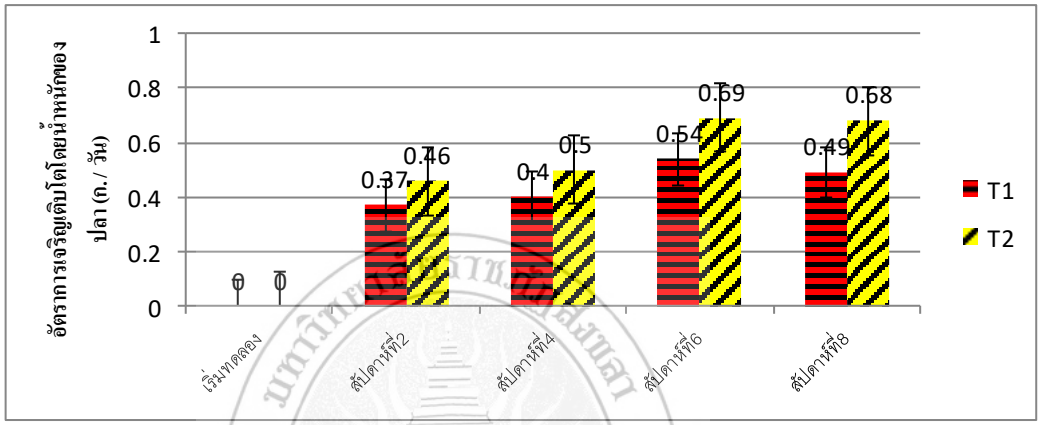
จากการทดลองศึกษาประสิทธิภาพของระบบการเลี้ยงปลาดุกบิ๊กอุย 2 แบบ น้ำหนักเมื่อเริ่มต้นการทดลอง พบว่า ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p>0.05$) โดยชุดการทดลองที่ 1 มีค่าอยู่ในช่วง 9.61±1.13 ถึง 10.00±1.81 กรัมต่อตัว และชุดการทดลองที่ 2 มีค่าอยู่ในช่วง 9.46±1.37 ถึง 10.29±1.16 กรัมต่อตัว เมื่อสิ้นสุดการทดลอง ชุดการทดลองที่ 1 ใช้ระบบน้ำหมุนเวียน ผ่านชั้นกรองกายภาพ และกรองชีวภาพ มีค่าเฉลี่ยน้ำหนักที่เพิ่มขึ้นเท่ากับ 29.62 ±4.07 กรัมต่อตัว และชุดการทดลองที่ 2 ที่ใช้ระบบน้ำหมุนเวียน ผ่านชั้นกรองกายภาพ กรองชีวภาพ และผักตบชวา มีค่าเฉลี่ยน้ำหนักที่เพิ่มขึ้นเท่ากับ 40.61±5.13กรัมต่อตัว โดยชุดการทดลองที่ 1 มีค่าเฉลี่ยน้ำหนักที่เพิ่มขึ้นตลอดการทดลองต่ำกว่า ชุดการทดลองที่ 2 (ภาพที่ 5) และแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) ในสัปดาห์ที่ 6 และ 8



ภาพที่ 5 น้ำหนักปลาที่เพิ่มขึ้นในแต่ละชุดการทดลอง (T1=ใช้ระบบน้ำหมุนเวียน T2=ใช้ระบบน้ำหมุนเวียนร่วมกับผักตบชวา) ระยะเวลา 8 สัปดาห์

4.1.2. อัตราการเจริญเติบโตโดยน้ำหนัก

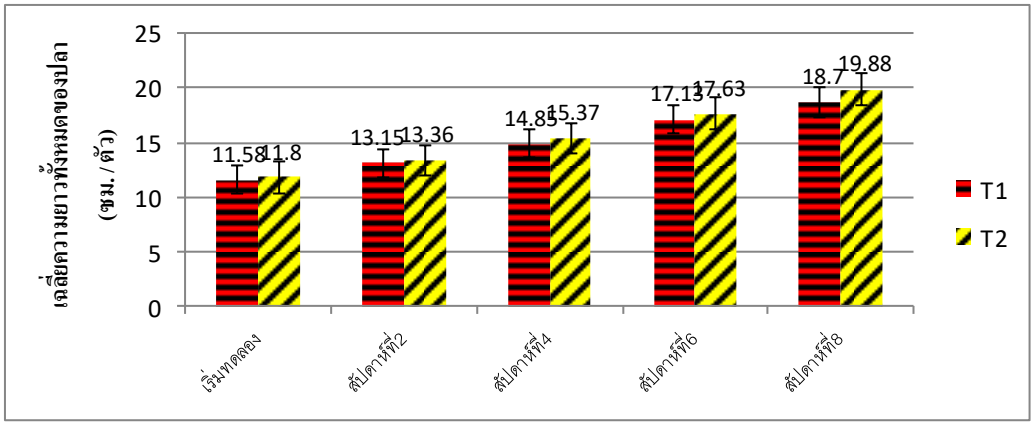
เมื่อสิ้นสุดการทดลองอัตราการเจริญเติบโตโดยน้ำหนักของปลาดุก ในชุดการทดลองที่ 1 ใช้ระบบน้ำหมุนเวียน ผ่านชั้นกรองกายภาพ และกรองชีวภาพ มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.49±0.07 กรัมต่อตัวต่อวัน และชุดการทดลองที่ 2 ที่ใช้ระบบน้ำหมุนเวียน ผ่านชั้นกรองกายภาพ กรองชีวภาพ และผักตบชวา มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.68±0.09 กรัมต่อตัวต่อวัน โดยชุดการทดลองที่ 1 มีค่าเฉลี่ยตลอดการทดลองต่ำกว่า ชุดการทดลองที่ 2 (ภาพที่ 6) และมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) ในสัปดาห์ที่ 6 และ 8



ภาพที่ 6 อัตราการเจริญเติบโตโดยน้ำหนักของปลาดุก (T1=ใช้ระบบน้ำหมุนเวียน T2=ใช้ระบบน้ำหมุนเวียนร่วมกับผักตบชวา) ระยะเวลา 8 สัปดาห์

4.1.3. ความยาวทั้งหมด

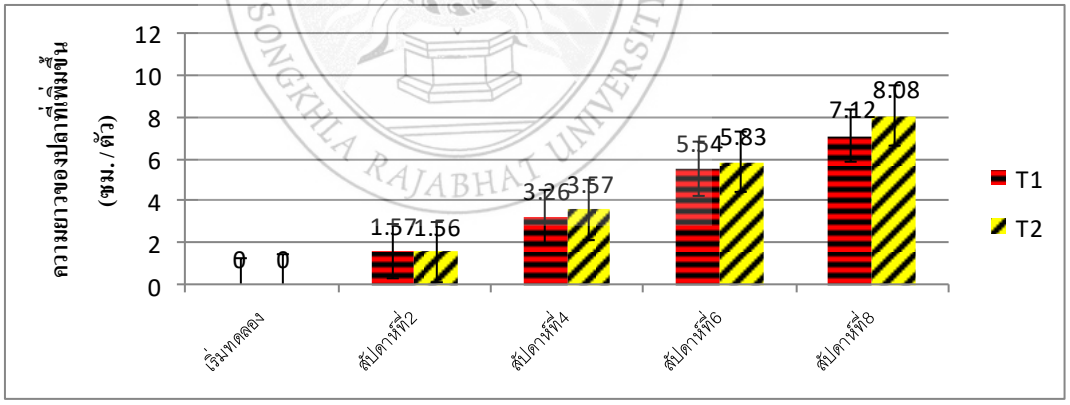
ความยาวเฉลี่ยของปลาเมื่อเริ่มต้นการทดลอง พบว่า ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) โดยชุดการทดลองที่ 1 ใช้ระบบน้ำหมุนเวียน ผ่านชั้นกรองกายภาพ และกรองชีวภาพ มีค่าอยู่ในช่วง 11.36±0.77 ถึง 11.79±0.32 เซนติเมตร และชุดการทดลองที่ 2 ที่ใช้ระบบน้ำหมุนเวียน ผ่านชั้นกรองกายภาพ กรองชีวภาพ และผักตบชวามีค่าอยู่ในช่วง 11.54±0.57 ถึง 11.96±0.50 ซม. เมื่อสิ้นสุดการทดลอง ความยาวทั้งหมดของปลาดุก ในชุดการทดลองที่ 1 มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 18.70±0.63 เซนติเมตร และชุดการทดลองที่ 2 มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 19.88±1.10 เซนติเมตร โดยชุดการทดลองที่ 1 มีความยาวทั้งหมดเฉลี่ยตลอดการทดลอง ต่ำกว่าชุดการทดลองที่ 2 (ภาพที่ 7) เมื่อวิเคราะห์ทางสถิติทั้ง 2 ชุดการทดลองไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p > 0.05$)



ภาพที่ 7 ค่าเฉลี่ยความยาวทั้งหมดของปลาดุก (T1=ใช้ระบบน้ำหมุนเวียน T2=ใช้ระบบน้ำหมุนเวียนร่วมกับผักตบชวา) ระยะเวลา 8 สัปดาห์

4.1.4. ความยาวที่เพิ่มขึ้น

เมื่อสิ้นสุดการทดลอง ความยาวที่เพิ่มขึ้นของปลาดุก ในชุดการทดลองที่ 1ใช้ระบบน้ำหมุนเวียน ผ่านชั้นกรองกายภาพ และกรองชีวภาพ มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 7.12±0.48 เซนติเมตร และชุดการทดลองที่ 2 ที่ใช้ระบบน้ำหมุนเวียน ผ่านชั้นกรองกายภาพ กรองชีวภาพ และผักตบชวา มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 8.08±0.96 เซนติเมตรต่อตัว โดยชุดการทดลองที่ 1 มีความยาวเพิ่มขึ้นเฉลี่ยตลอดการทดลองต่ำกว่าชุดการทดลองที่ 2 (ภาพที่ 8) เมื่อวิเคราะห์ทางสถิติ พบว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) ในสัปดาห์ที่ 6

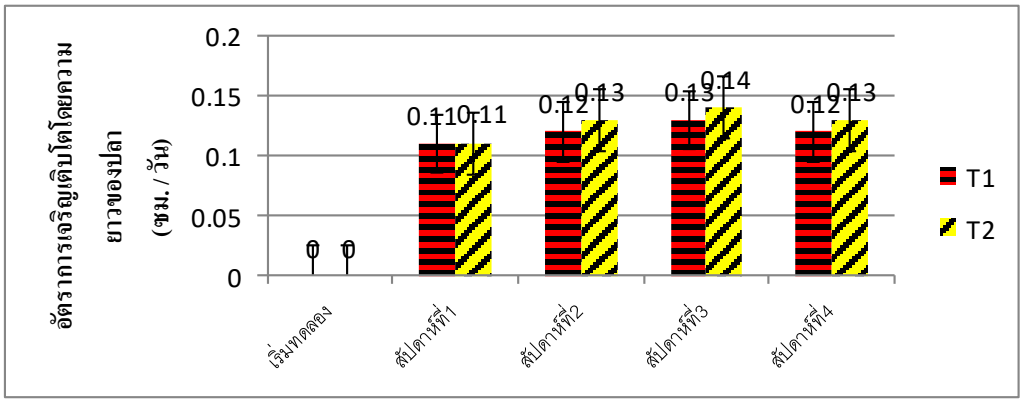


ภาพที่ 8 ค่าเฉลี่ยความยาวของปลาดุกที่เพิ่มขึ้นในแต่ละชุดการทดลอง (T1=ใช้ระบบน้ำหมุนเวียน T2=ใช้ระบบน้ำหมุนเวียนร่วมกับผักตบชวา) ระยะเวลา 8 สัปดาห์

4.1.5. อัตราเจริญเติบโตโดยความยาว

อัตราเจริญเติบโตโดยความยาวของปลาดุก ในชุดการทดลองที่ 1ใช้ระบบน้ำหมุนเวียน ผ่านชั้นกรองกายภาพ และกรองชีวภาพ มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.12±0.01 เซนติเมตรต่อวัน และชุดการทดลองที่ 2 ที่ใช้ระบบน้ำหมุนเวียน ผ่านชั้นกรองกายภาพ กรองชีวภาพ และผักตบชวา มีค่าเฉลี่ย

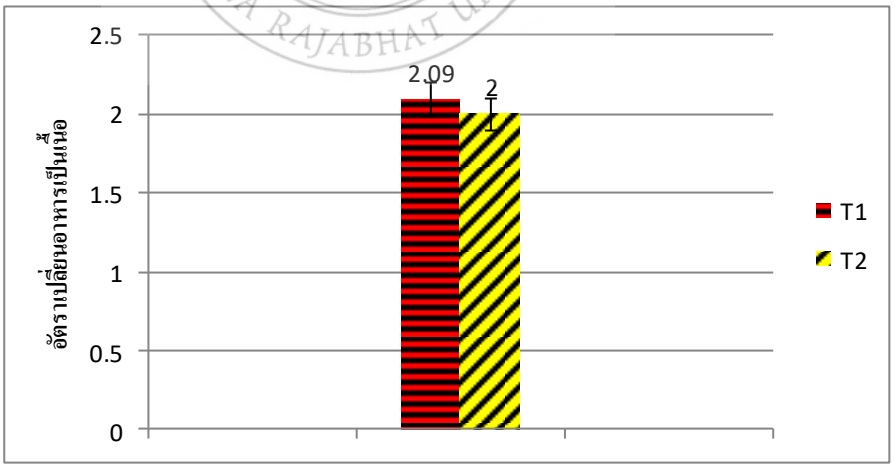
เท่ากับ 0.13±0.02 เซนติเมตรต่อวัน โดยชุดการทดลองที่ 1 มีค่าเฉลี่ยความยาวเพิ่มขึ้นต่ำกว่าชุดการทดลองที่ 2 (ภาพที่ 9) เมื่อวิเคราะห์ทางสถิติ ทั้ง 2 ชุดการทดลองมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) ในสัปดาห์ที่ 2



ภาพที่ 9 อัตราการเจริญเติบโตโดยความยาวของปลาดุก (T1=ใช้ระบบน้ำหมุนเวียน T2=ใช้ระบบน้ำหมุนเวียนร่วมกับผักตบชวา) ระยะเวลา 8 สัปดาห์

4.1.6. อัตราเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อ

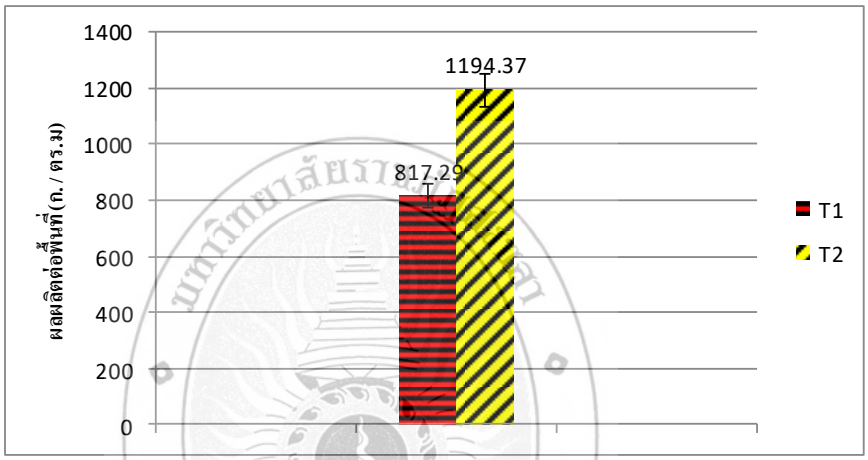
อัตราเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อ ชุดการทดลองที่ 1 ใช้ระบบน้ำหมุนเวียน ผ่านชั้นกรองกายภาพ มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 2.09±0.09 และชุดการทดลองที่ 2 ที่ใช้ระบบน้ำหมุนเวียน ผ่านชั้นกรองกายภาพ กรองชีวภาพ และผักตบชวา มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 2.00±0.22 (ภาพที่ 10) เมื่อวิเคราะห์ทางสถิติทั้ง 2 ชุดการทดลองไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p > 0.05$)



ภาพที่ 10 อัตราเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อของปลาดุกทั้ง 2 ชุดการทดลอง (T1=ใช้ระบบน้ำหมุนเวียน T2=ใช้ระบบน้ำหมุนเวียนร่วมกับผักตบชวา) ระยะเวลา 8 สัปดาห์

4.1.7. ผลผลิตต่อพื้นที่

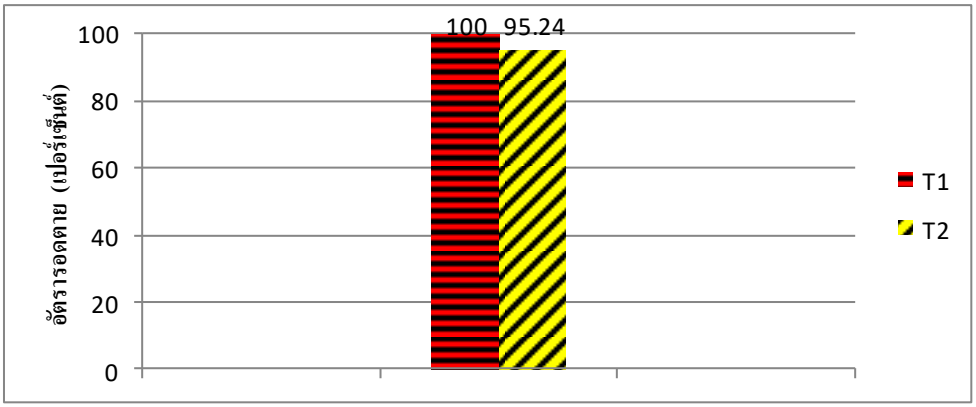
ผลผลิตต่อพื้นที่ของชุดการทดลองที่ 1 ใช้ระบบน้ำหมุนเวียน ผ่านชั้นกรองกายภาพ และกรองชีวภาพ มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 817.29±119.68 กรัมต่อตารางเมตร และชุดการทดลองที่ 2 ที่ใช้ระบบน้ำหมุนเวียน ผ่านชั้นกรองกายภาพ กรองชีวภาพ และผักตบชวา มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 1,194.37±150.80 กรัมต่อตารางเมตร (ภาพที่ 11) เมื่อวิเคราะห์ทางสถิติ ชุดการทดลองที่ 2 มีผลผลิตต่อพื้นที่มากกว่าชุดการทดลองที่ 1 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)



ภาพที่ 11 ผลผลิตต่อพื้นที่ของการเลี้ยงปลาดุกทั้ง 2 ชุดการทดลอง (T1=ใช้ระบบน้ำหมุนเวียน T2=ใช้ระบบน้ำหมุนเวียนร่วมกับผักตบชวา) ระยะเวลา 8 สัปดาห์

4.1.8. อัตรารอดตาย

อัตรารอดตายของปลาดุกในชุดการทดลองที่ 1 ใช้ระบบน้ำหมุนเวียน ผ่านชั้นกรองกายภาพและกรองชีวภาพ มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 100 เปอร์เซ็นต์ และชุดการทดลองที่ 2 ใช้ระบบน้ำหมุนเวียนผ่านชั้นกรองกายภาพ กรองชีวภาพ และผักตบชวา มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 95.24±8.25 เปอร์เซ็นต์ (ภาพที่ 12) เมื่อวิเคราะห์ทางสถิติทั้ง 2 ชุดการทดลองไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p > 0.05$)



ภาพที่ 12 อัตรารอดตายของปลาดุกทั้ง 2 ชุดการทดลอง (T1=ใช้ระบบน้ำหมุนเวียน T2=ใช้ระบบน้ำหมุนเวียนร่วมกับผักตบชวา)ระยะเวลา 8 สัปดาห์

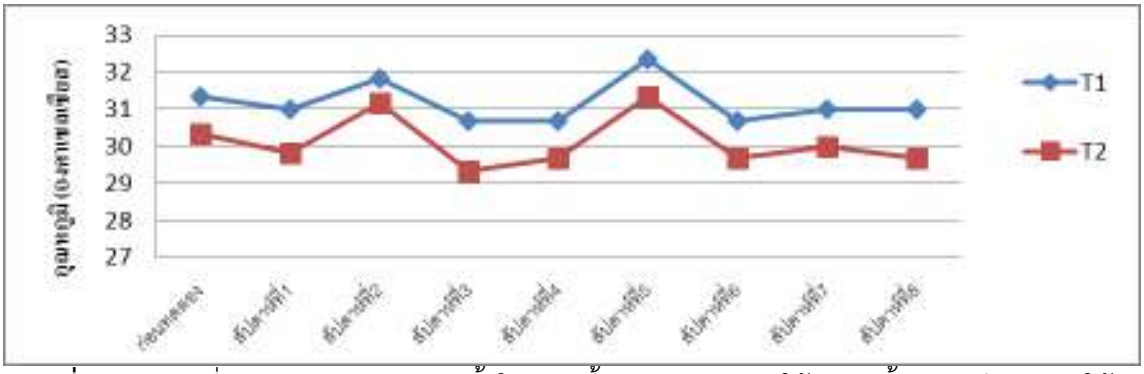
4.1.9. น้ำหนักที่เพิ่มขึ้นของผักตบชวาเมื่อสิ้นสุดการทดลอง

น้ำหนักของผักตบชวาเมื่อเริ่มต้นการทดลอง มีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 2.33±0.36 กิโลกรัม/กระบะ เมื่อสิ้นสุดการทดลองพบว่าผักตบชวาตายลงจึงมีน้ำหนักที่เพิ่มขึ้นติดลบ เท่ากับ -1.13±0.17 กิโลกรัม

4.2 ประสิทธิภาพในการควบคุมคุณภาพน้ำในระบบน้ำหมุนเวียน

1. อุณหภูมิของน้ำ (Temperature)

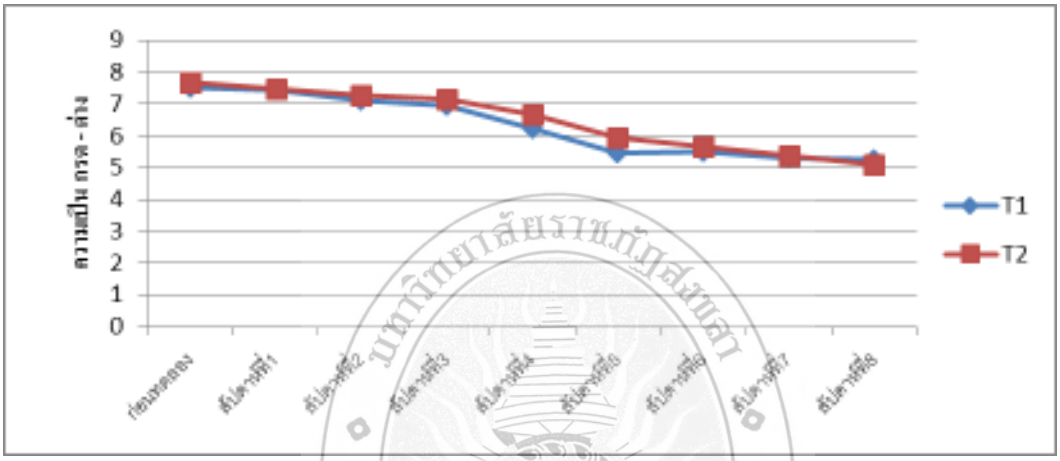
อุณหภูมิของน้ำมีแนวโน้มค่อนข้างคงที่ตลอดการทดลอง (ภาพที่ 13) และเมื่อเริ่มต้นการทดลองในชุดการทดลองที่ 1 ใช้ระบบน้ำหมุนเวียน ผ่านชั้นกรองกายภาพ และกรองชีวภาพ มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 31.33±0.58 องศาเซลเซียส และ31.00±0.00 องศาเซลเซียสในวันสุดท้าย และชุดการทดลองที่ 2 ใช้ระบบน้ำหมุนเวียน ผ่านชั้นกรองกายภาพ กรองชีวภาพ และผักตบชวา มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 30.33±0.58 องศาเซลเซียส และ 29.67±0.58 องศาเซลเซียสในวันสุดท้าย (ตารางภาคผนวกที่ 7) เมื่อวิเคราะห์ทางสถิติตลอดการทดลอง ทั้ง 2 ชุดการทดลองไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p > 0.05$)



ภาพที่ 13 การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของน้ำในการเลี้ยงปลาดุก (T1=ใช้ระบบน้ำหมุนเวียน T2=ใช้ระบบน้ำหมุนเวียนร่วมกับผักตบชวา)ระยะเวลา 8 สัปดาห์

2. ความเป็นกรด–ด่าง (pH)

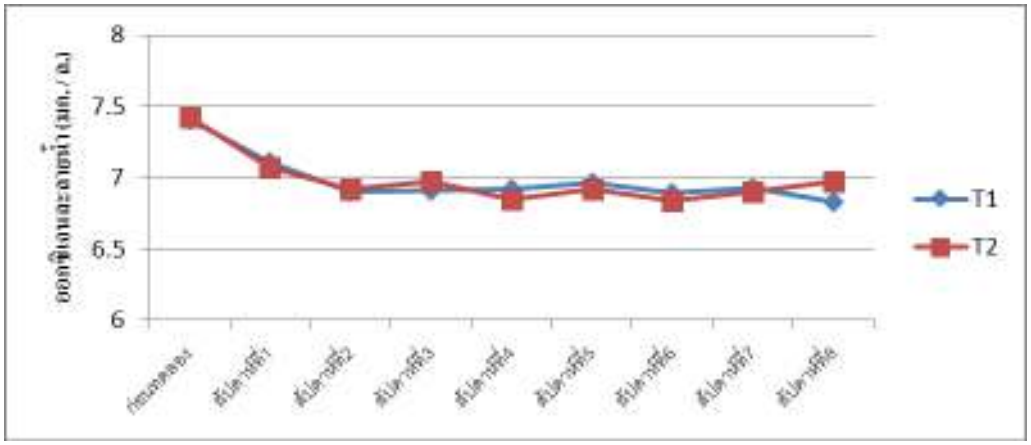
ความเป็นกรด–ด่าง ของน้ำมีแนวโน้มที่ลดลงเรื่อย ๆ ตามระยะเวลาการเลี้ยงที่เพิ่มขึ้น (ภาพที่14) โดยชุดการทดลองที่ 1 ใช้ระบบน้ำหมุนเวียน ผ่านชั้นกรองกายภาพ และกรองชีวภาพมีค่าความเป็นกรด–ด่าง ของน้ำ 7.50±0.28 ในวันเริ่มต้น และลดลงเหลือ 5.27±0.09 ในวันสุดท้าย และชุดการทดลองที่ 2 ใช้ระบบน้ำหมุนเวียน ผ่านชั้นกรองกายภาพ กรองชีวภาพ และผักตบชวา มีค่าความเป็นกรด–ด่าง ของน้ำ 7.66±0.06 ในวันเริ่มต้น และลดลงเหลือ 5.08±0.20 ในวันสุดท้าย (ตารางภาคผนวก ที่ 8) เมื่อวิเคราะห์ทางสถิติตลอดการทดลอง ทั้ง 2 ชุดการทดลองไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p > 0.05$)



ภาพที่ 14 การเปลี่ยนแปลงความเป็นกรด-ด่างของน้ำในการเลี้ยงปลาดุก (T1=ใช้ระบบน้ำหมุนเวียน T2=ใช้ระบบน้ำหมุนเวียนร่วมกับผักตบชวา) ระยะเวลา 8 สัปดาห์

3. ปริมาณออกซิเจนละลายน้ำ (Dissolved Oxygen)

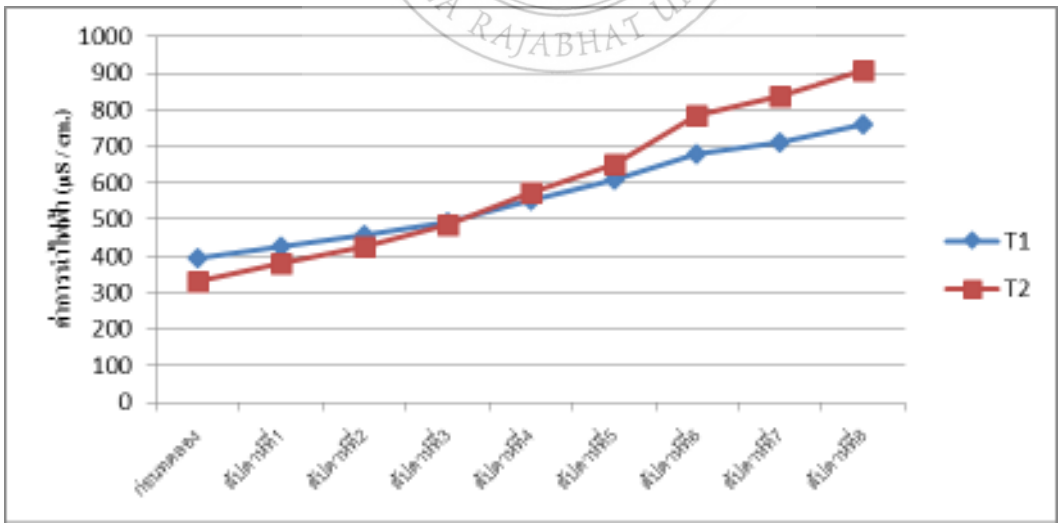
ปริมาณออกซิเจนละลายน้ำมีแนวโน้มลดลงเรื่อย ๆ ตามระยะเวลาการเลี้ยงที่เพิ่มขึ้น (ภาพที่15) ชุดการทดลองที่ 1 ใช้ระบบน้ำหมุนเวียน ผ่านชั้นกรองกายภาพ และกรองชีวภาพ มีค่าออกซิเจนละลายน้ำ 7.41±0.06 มิลลิกรัมต่อลิตร ในวันเริ่มทดลอง และลดลงเหลือ 6.83±0.12 มิลลิกรัมต่อลิตรในวันสุดท้าย และชุดการทดลองที่ 2 ใช้ระบบน้ำหมุนเวียน ผ่านชั้นกรองกายภาพ กรองชีวภาพ และผักตบชวา มีค่าออกซิเจนละลายน้ำ 7.42±0.12 มิลลิกรัมต่อลิตร ในวันเริ่มทดลอง และลดลงเหลือ 6.97±0.08 มิลลิกรัมต่อลิตรในวันสุดท้าย (ตารางภาคผนวก ที่ 9) เมื่อวิเคราะห์ทางสถิติตลอดการทดลอง ทั้ง 2 ชุดการทดลองไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p > 0.05$)



ภาพที่ 15 การเปลี่ยนแปลงปริมาณออกซิเจนละลายน้ำในการเลี้ยงปลาดุก(T1=ใช้ระบบน้ำหมุนเวียน T2=ใช้ระบบน้ำหมุนเวียนร่วมกับผักตบชวา)ระยะเวลา 8 สัปดาห์

4. ค่าการนำไฟฟ้า (Electrical Conductivity)

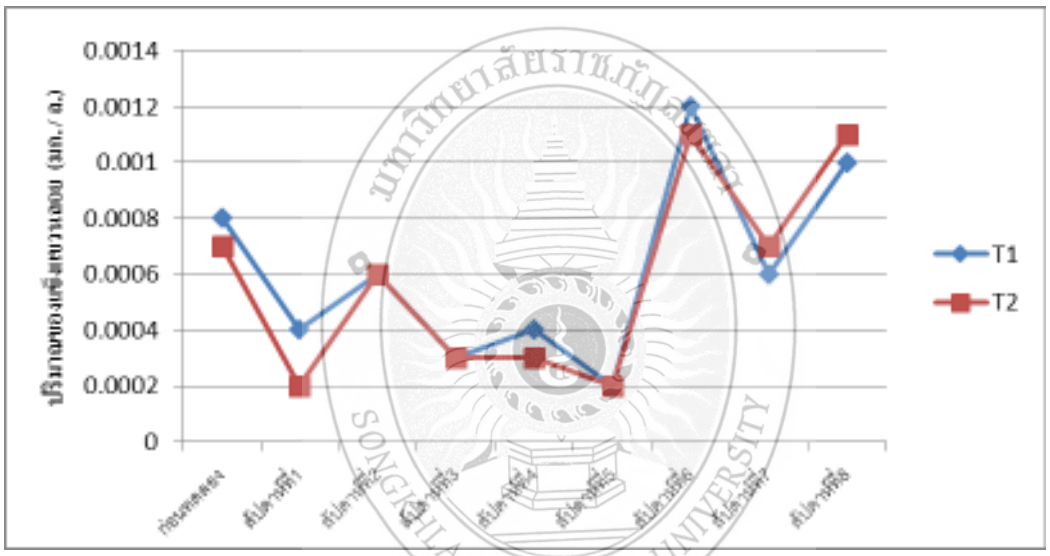
ค่าการนำไฟฟ้ามีแนวโน้มสูงขึ้นเรื่อย ๆ ตามระยะเวลาการเลี้ยงที่เพิ่มขึ้น (ภาพที่16) โดยชุดการทดลองที่ 1 ใช้ระบบน้ำหมุนเวียน ผ่านชั้นกรองกายภาพ และกรองชีวภาพ มีค่าการนำไฟฟ้า 393.00±49.93 ไมโครซีเมนส์ต่อเซนติเมตร ในวันเริ่มทดลอง และเพิ่มขึ้นเป็น 759.33±39.00 ไมโครซีเมนส์ต่อเซนติเมตร ในวันสุดท้าย และชุดการทดลองที่ 2 ใช้ระบบน้ำหมุนเวียน ผ่านชั้นกรองกายภาพ กรองชีวภาพ และผักตบชวา มีค่าการนำไฟฟ้า 330.33±12.50 ไมโครซีเมนส์ต่อเซนติเมตร และเพิ่มขึ้นเป็น 906.67±85.01 ไมโครซีเมนส์ต่อเซนติเมตรในวันสุดท้าย (ตารางภาคผนวก ที่ 10) เมื่อวิเคราะห์ทางสถิติตลอดการทดลอง ทั้ง 2 ชุดการทดลองมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) ในสัปดาห์ที่ 7



ภาพที่ 16 ค่าการนำไฟฟ้าของน้ำเลี้ยงปลาดุก (T1=ใช้ระบบน้ำหมุนเวียน T2=ใช้ระบบน้ำหมุนเวียนร่วมกับผักตบชวา)ระยะเวลา 8 สัปดาห์

5. ปริมาณของแข็งแขวนลอย (Suspended solids, SS)

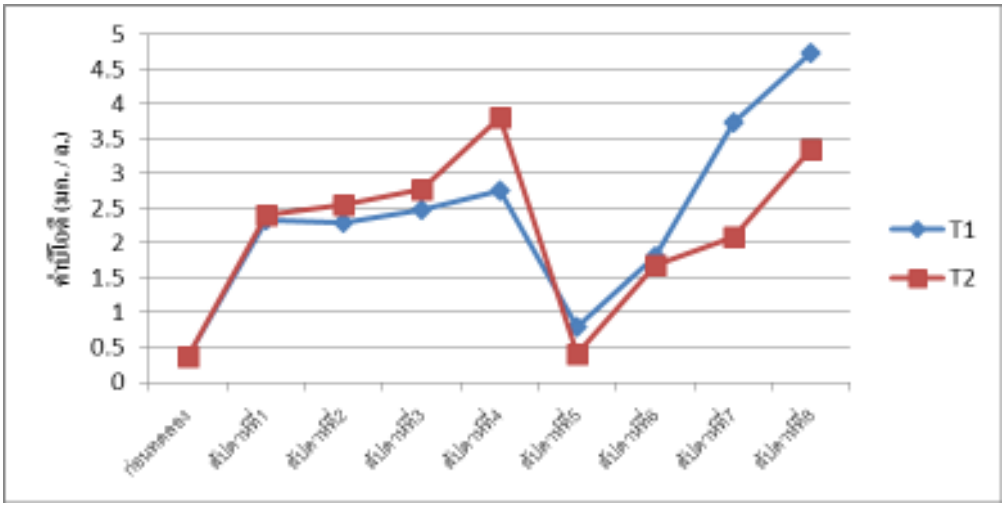
ปริมาณของแข็งแขวนลอยมีแนวโน้มสูงขึ้นตั้งแต่สัปดาห์ที่ 1 ตามระยะเวลาการเลี้ยงที่เพิ่มขึ้น มีค่าลดลงในสัปดาห์ที่ 5 เนื่องจากมีการเติมน้ำทุกชุดการทดลอง เท่า ๆ กัน (ภาพที่ 17) โดยชุดการทดลองที่ 1 ใช้ระบบน้ำหมุนเวียน ผ่านชั้นกรองกายภาพ และกรองชีวภาพ มีค่าของแข็งแขวนลอย 0.0033±0.0027 มิลลิกรัมต่อลิตร ในวันเริ่มทดลอง และมีค่า 0.0010±0.0003 มิลลิกรัมต่อลิตร ในวันสุดท้าย และชุดการทดลองที่ 2 ใช้ระบบน้ำหมุนเวียน ผ่านชั้นกรองกายภาพ กรองชีวภาพ และผักตบชวา มีค่าของแข็งแขวนลอย 0.0029±0.0030 มิลลิกรัมต่อลิตร ในวันเริ่มทดลอง และมีค่า 0.0011±0.0006 มิลลิกรัมต่อลิตรในวันสุดท้าย (ตารางภาคผนวก ที่ 11) เมื่อวิเคราะห์ทางสถิติตลอดการทดลอง ทั้ง 2 ชุดการทดลองไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p > 0.05$)



ภาพที่ 17 การเปลี่ยนแปลงปริมาณของแข็งแขวนลอยของน้ำเลี้ยงปลาดุก (T1=ใช้ระบบน้ำหมุนเวียน T2=ใช้ระบบน้ำหมุนเวียนร่วมกับผักตบชวา)ระยะเวลา 8 สัปดาห์

6. บีโอดี (Biochemical Oxygen Demand, BOD)

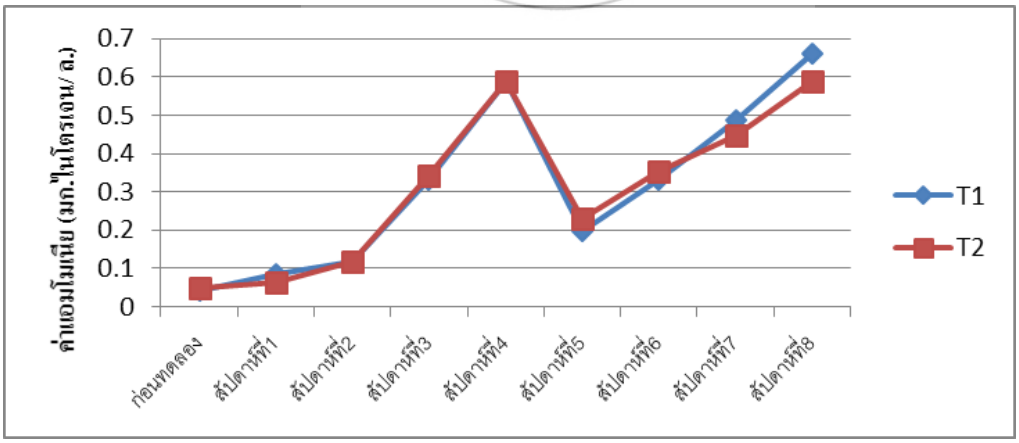
ค่าบีโอดีของน้ำตลอดการทดลองมีแนวโน้มค่อย ๆ สูงขึ้นตามระยะเวลาการเลี้ยงที่เพิ่มขึ้น ระหว่างการทดลองมีค่าบีโอดีลดลงในสัปดาห์ที่ 5 เนื่องจากมีการเติมน้ำในทุกชุดการทดลอง เท่า ๆ กัน (ภาพที่18) โดยชุดการทดลองที่ 1 ใช้ระบบน้ำหมุนเวียน ผ่านชั้นกรองกายภาพ และกรองชีวภาพ มีค่าบีโอดี 0.37±0.15 มิลลิกรัมต่อลิตร ในวันเริ่มทดลอง และมีค่าสูงขึ้นเป็น 4.73±0.34 มิลลิกรัมต่อลิตรในวันสุดท้าย และชุดการทดลองที่ 2 ใช้ระบบน้ำหมุนเวียน ผ่านชั้นกรองกายภาพ กรองชีวภาพ และผักตบชวา มีค่าบีโอดี 0.37±0.26 มิลลิกรัมต่อลิตร ในวันที่เริ่มทดลอง และมีค่าสูงขึ้น 3.35±0.29 มิลลิกรัมต่อลิตร ในวันสุดท้าย (ตารางภาคผนวก ที่ 12) เมื่อวิเคราะห์ทางสถิติตลอดการทดลอง ทั้ง 2 ชุดการทดลองมีค่าบีโอดีแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) ในสัปดาห์ที่ 8



ภาพที่ 18 การเปลี่ยนแปลงค่าบีโอดีของน้ำเลี้ยงปลาดุก (T1=ใช้ระบบน้ำหมุนเวียน T2=ใช้ระบบน้ำหมุนเวียนร่วมกับผักตบชวา)ระยะเวลา 8 สัปดาห์

7. แอมโมเนีย

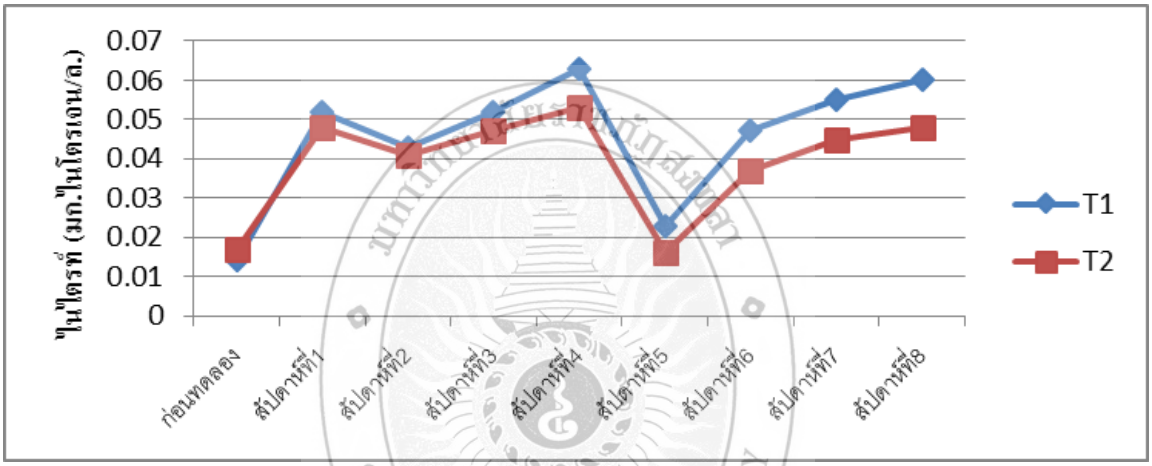
ความเข้มข้นแอมโมเนียของน้ำตลอดการทดลองมีแนวโน้มสูงขึ้นตามระยะเวลาการเลี้ยงที่เพิ่มขึ้น ระหว่างการทดลองมีค่าแอมโมเนียลดลงในสัปดาห์ที่ 5 (ภาพที่19) เนื่องจากมีการเติมน้ำในทุกชุดการทดลอง เท่า ๆ กัน โดยชุดการทดลองที่ 1 ใช้ระบบน้ำหมุนเวียน ผ่านชั้นกรองกายภาพและกรองชีวภาพ มีค่าแอมโมเนีย 0.043±0.028 มิลลิกรัมไนโตรเจนต่อลิตร ในวันเริ่มทดลอง และมีค่าสูงขึ้น 0.661±0.026 มิลลิกรัมไนโตรเจนต่อลิตรในวันสุดท้าย และชุดการทดลองที่ 2 ใช้ระบบน้ำหมุนเวียน ผ่านชั้นกรองกายภาพ กรองชีวภาพ และผักตบชวา มีค่าแอมโมเนีย 0.048±0.029 มิลลิกรัมไนโตรเจนต่อลิตร ในวันเริ่มทดลอง และมีค่าสูงขึ้น 0.588±0.010 มิลลิกรัมไนโตรเจนต่อลิตรในวันสุดท้าย (ตารางภาคผนวก ที่ 13) เมื่อวิเคราะห์ทางสถิติตลอดการทดลอง ชุดการทดลองที่ 2 มีค่าแอมโมเนียรวมน้อยกว่าชุดการทดลองที่ 1 อย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) ในสัปดาห์ที่ 7 และ 8



ภาพที่ 19 การเปลี่ยนแปลงปริมาณแอมโมเนียของน้ำเลี้ยงปลาดุก (T1=ใช้ระบบน้ำหมุนเวียน T2=ใช้ระบบน้ำหมุนเวียนร่วมกับผักตบชวา)ระยะเวลา 8 สัปดาห์

8. ไนไตรท์

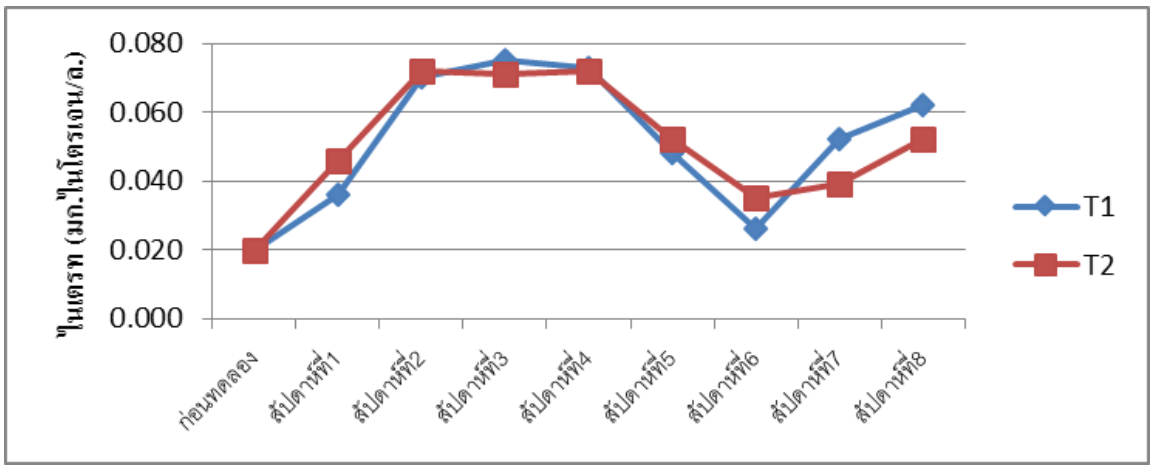
ความเข้มข้นของไนไตรท์ของน้ำตลอดการทดลองมีแนวโน้มสูงขึ้นตามระยะเวลาการเลี้ยงที่เพิ่มขึ้น ระหว่างการทดลองมีค่าไนไตรท์ลดลงในสัปดาห์ที่ 5 (ภาพที่20) เนื่องจากมีการเติมน้ำในทุกชุดการทดลอง เท่า ๆ กัน โดยชุดการทดลองที่ 1 ใช้ระบบน้ำหมุนเวียน ผ่านชั้นกรองกายภาพ และกรองชีวภาพ มีค่าความเข้มข้นของไนไตรท์ 0.014±0.004 มิลลิกรัมไนโตรเจนต่อลิตร ในวันเริ่มทดลอง และมีค่าสูงขึ้นเป็น 0.060±0.007 มิลลิกรัมไนโตรเจนต่อลิตรในวันสุดท้าย และชุดการทดลองที่ 2 ใช้ระบบน้ำหมุนเวียน ผ่านชั้นกรองกายภาพ กรองชีวภาพ และผักตบชวา มีค่าความเข้มข้นของไนไตรท์ 0.017±0.006 มิลลิกรัมไนโตรเจนต่อลิตร ในวันเริ่มทดลอง และมีค่าสูงขึ้น 0.048±0.002 มิลลิกรัมไนโตรเจนต่อลิตรในวันสุดท้าย (ตารางภาคผนวก ที่ 14) เมื่อวิเคราะห์ทางสถิติตลอดการทดลอง ทั้ง 2 ชุดการทดลองไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p > 0.05$)



ภาพที่ 20 การเปลี่ยนแปลงปริมาณไนไตรท์ของน้ำในการเลี้ยงปลาดุก (T1=ใช้ระบบน้ำหมุนเวียน T2=ใช้ระบบน้ำหมุนเวียนร่วมกับผักตบชวา)ระยะเวลา 8 สัปดาห์

9. ไนเตรท

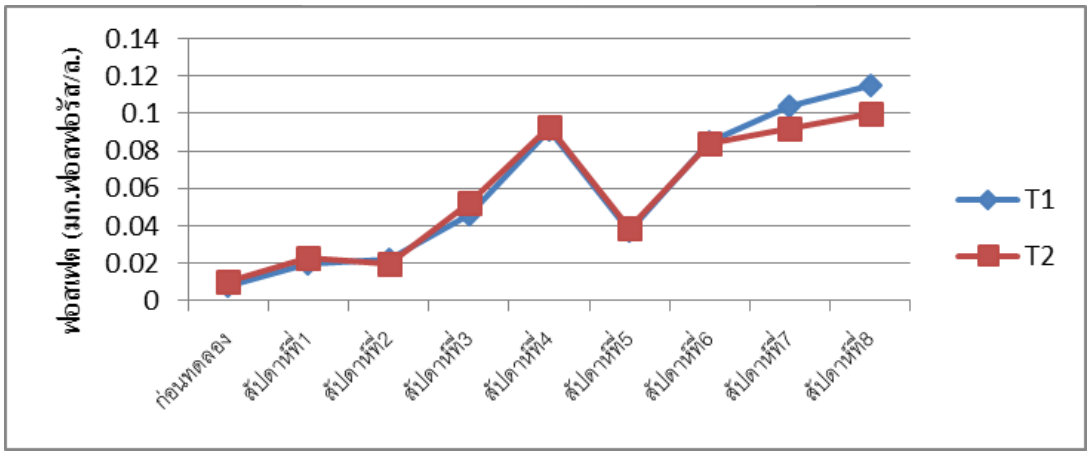
ความเข้มข้นของไนเตรทของน้ำตลอดการทดลองมีแนวโน้มสูงขึ้นตามระยะเวลาการเลี้ยงที่เพิ่มขึ้น ระหว่างการทดลองมีค่าไนเตรทลดลงในสัปดาห์ที่ 5 (ภาพที่21) เนื่องจากมีการเติมน้ำในทุกชุดการทดลอง เท่า ๆ กัน โดยชุดการทดลองที่ 1 ใช้ระบบน้ำหมุนเวียน ผ่านชั้นกรองกายภาพ และกรองชีวภาพ มีค่าความเข้มข้นของไนเตรท 0.020±0.013 มิลลิกรัมไนโตรเจนต่อลิตรในวันเริ่มทดลอง และมีค่าสูงขึ้นเป็น 0.062±0.005มิลลิกรัมไนโตรเจนต่อลิตรในวันสุดท้าย และชุดการทดลองที่ 2 ที่ใช้ระบบน้ำหมุนเวียน ผ่านชั้นกรองกายภาพ กรองชีวภาพ และผักตบชวามีค่าความเข้มข้นของไนเตรท 0.020±0.009 มิลลิกรัมไนโตรเจนต่อลิตรในวันที่เริ่มทดลอง และมีค่าสูงขึ้นเป็น 0.052±0.003 มิลลิกรัมไนโตรเจนต่อลิตรในวันสุดท้าย (ตารางภาคผนวก ที่ 15) เมื่อวิเคราะห์ทางสถิติตลอดการทดลอง ทั้ง 2 ชุดการทดลองแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) ในสัปดาห์ที่ 8



ภาพที่ 21 การเปลี่ยนแปลงปริมาณไนเตรทของน้ำในการเลี้ยงปลาดุก (T1=ใช้ระบบน้ำหมุนเวียน T2=ใช้ระบบน้ำหมุนเวียนร่วมกับผักตบชวา)ระยะเวลา 8 สัปดาห์

10. ฟอสเฟต

ความเข้มข้นของฟอสเฟตของน้ำตลอดการทดลองมีแนวโน้มสูงขึ้นตามระยะเวลาการเลี้ยงที่เพิ่มขึ้น ระหว่างการทดลองมีค่าความเข้มข้นของฟอสเฟตลดลงในสัปดาห์ที่ 5 (ภาพที่22) เนื่องจากมีการเติมน้ำในทุกชุดการทดลอง เท่า ๆ กัน โดยชุดการทดลองที่ 1 ใช้ระบบน้ำหมุนเวียน ผ่านชั้นกรองกายภาพ และกรองชีวภาพ มีค่าความเข้มข้นของฟอสเฟต 0.008±0.004 มิลลิกรัมฟอสฟอรัสต่อลิตร ในวันเริ่มทดลอง และมีค่าสูงขึ้นเป็น 0.115±0.008 มิลลิกรัมฟอสฟอรัสต่อลิตรในวันสุดท้าย และชุดการทดลองที่ 2 ที่ใช้ระบบน้ำหมุนเวียน ผ่านชั้นกรองกายภาพ กรองชีวภาพ และผักตบชวามีค่าความเข้มข้นของฟอสเฟต 0.010±0.004 มิลลิกรัมฟอสฟอรัสต่อลิตรในวันเริ่มทดลอง และมีค่าสูงขึ้นเป็น 0.100±0.003 มิลลิกรัมฟอสฟอรัสต่อลิตรในวันสุดท้าย (ตารางภาคผนวก ที่ 16) เมื่อวิเคราะห์ทางสถิติตลอดการทดลอง ทั้ง 2 ชุดการทดลองมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) ในสัปดาห์ที่ 8



ภาพที่ 22 การเปลี่ยนแปลงปริมาณฟอสเฟตของน้ำในการเลี้ยงปลาดุก (T1=ใช้ระบบน้ำหมุนเวียน T2=ใช้ระบบน้ำหมุนเวียนร่วมกับผักตบชวา)ระยะเวลา 8 สัปดาห์

4.3 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการเจริญเติบโตของปลาดุกบิ๊กอุยและคุณภาพน้ำทางด้านกายภาพและเคมี

เมื่อวิเคราะห์สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์พบว่า ชุดการทดลองที่ 1 ใช้ระบบน้ำหมุนเวียน ผ่านชั้นกรองกายภาพ และกรองชีวภาพ มีอัตราการเจริญเติบโตในพารามิเตอร์ น้ำหนักเฉลี่ย น้ำหนักเพิ่ม อัตราการเจริญเติบโตโดยน้ำหนัก ความยาวเฉลี่ย และความยาวเพิ่ม มีความสัมพันธ์ในทางตรงกันข้ามกับ pH ของน้ำอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) และมีอัตราการเจริญเติบโตในพารามิเตอร์ น้ำหนักเฉลี่ย น้ำหนักเพิ่ม ความยาวเฉลี่ย และความยาวเพิ่ม มีความสัมพันธ์ในทางเดียวกันกับค่าการนำไฟฟ้าของน้ำอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ ($p < 0.01$) และมีอัตราการเจริญเติบโตในพารามิเตอร์ อัตราการเจริญเติบโตโดยน้ำหนักมีความสัมพันธ์ในทางเดียวกันกับปริมาณของแข็งแขวนลอยของน้ำอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) (ตารางที่ 3)

ชุดการทดลองที่ 2 ใช้ระบบน้ำหมุนเวียน ผ่านชั้นกรองกายภาพ กรองชีวภาพ และผักตบชวา มีอัตราการเจริญเติบโตในพารามิเตอร์ น้ำหนักเฉลี่ย น้ำหนักเพิ่ม อัตราการเจริญเติบโตโดยน้ำหนัก ความยาวเฉลี่ย และความยาวเพิ่ม มีความสัมพันธ์ในทางตรงกันข้ามกับ pH ของน้ำอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ ($p < 0.01$) และมีอัตราการเจริญเติบโตในพารามิเตอร์ น้ำหนักเฉลี่ย น้ำหนักเพิ่ม ความยาวเฉลี่ย และความยาวเพิ่ม มีความสัมพันธ์ในทางเดียวกันกับค่าการนำไฟฟ้าของน้ำอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ ($p < 0.01$) และมีอัตราการเจริญเติบโตในพารามิเตอร์ อัตราการเจริญเติบโตโดยน้ำหนักมีความสัมพันธ์ในทางเดียวกันกับค่าการนำฟ้าของน้ำอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) แต่มีความสัมพันธ์ในทางตรงกันข้ามอย่างมีนัยสำคัญยิ่งกับปริมาณไนเตรทของน้ำ ($p < 0.01$) (ตารางที่ 3)

ตารางที่ 3 ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ระหว่างอัตราการเจริญเติบโตของปลาดุกบิ๊กอุยและคุณภาพน้ำทางกายภาพและเคมี

ชุดการทดลอง	การเจริญเติบโต	ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์									
		อุณหภูมิ	pH	ออกซิเจนละลาย	ค่าการนำไฟฟ้า	ของแข็งแขวนลอย	บีโอดี	แอมโมเนียรวม	ไนไตรท์	ไนเตรท	ฟอสฟอรัสรวม
T1	น้ำหนักเฉลี่ย	-0.539	-0.963*	-0.819	0.998**	0.784	0.592	0.627	0.355	-0.499	0.833
	น้ำหนักเพิ่ม	-0.539	-0.963*	-0.819	0.998**	0.781	0.595	0.630	0.359	-0.496	0.834
	อัตราเจริญเติบโตโดยน้ำหนัก	-0.616	-0.906*	-0.545	0.887	0.925*	0.146	0.331	0.047	-0.843	0.658
	ความยาวเฉลี่ย	-0.584	-0.975*	-0.793	1.000**	0.735	0.596	0.670	0.407	-0.483	0.866
	ความยาวเพิ่ม	-0.583	-0.975*	-0.795	1.000**	0.735	0.598	0.669	0.407	-0.482	0.865
	อัตราเจริญเติบโตโดยความยาว	-0.865	-0.797	-0.105	0.679	0.671	-0.153	0.353	0.168	-0.829	0.648
T2	น้ำหนักเฉลี่ย	-0.714	-0.999**	0.301	0.997**	0.835	-0.089	0.570	-0.043	-0.772	0.739
	น้ำหนักเพิ่ม	-0.720	-0.999**	0.295	0.998**	0.831	-0.085	0.576	-0.038	-0.772	0.745
	อัตราเจริญเติบโตโดยน้ำหนัก	-0.727	-0.914**	-0.074	0.911*	0.848	-0.408	0.395	-0.319	-0.955**	0.675
	ความยาวเฉลี่ย	-0.778	-0.999**	0.230	1.000**	0.791	-0.055	0.629	0.005	-0.769	0.797
	ความยาวเพิ่ม	-0.777	-0.999**	0.230	1.000**	0.792	-0.055	0.628	0.004	-0.770	0.797
	อัตราเจริญเติบโตโดยความยาว	-0.662	-0.578	-0.583	0.579	0.554	-0.574	0.209	-0.436	-0.886	0.532

* ตัวแปรมีความสัมพันธ์กันอย่างมีนัยสำคัณทางสถิติ ($p<0.05$), ** ตัวแปรมีความสัมพันธ์กันอย่างมีนัยสำคัณทางสถิติ ($p<0.01$)

(T1=ใช้ระบบน้ำหมุนเวียน, T2=ใช้ระบบน้ำหมุนเวียนร่วมกับผักตบชวา)

SONGKHLA RAJABHAT UNIVERSITY

4.2 วิจารณ์

1. การเจริญเติบโตของปลาดุกบิ๊กอุยในระบบน้ำหมุนเวียน

จากการศึกษาประสิทธิภาพของระบบการเลี้ยงปลาดุกบิ๊กอุย 2 แบบ โดยเปรียบเทียบอัตราการเจริญเติบโต อัตรารอด และประสิทธิภาพในการควบคุมคุณภาพของน้ำที่ใช้เลี้ยง โดยแบ่งชุดการทดลองเป็น2 ชุดการทดลอง ชุดการทดลองละ 3 ซ้ำ ชุดการทดลองที่ 1 ใช้ระบบน้ำหมุนเวียน ผ่านชั้นกรองกายภาพ และกรองชีวภาพ อัตราไหล 200 ลิตรต่อชั่วโมง ชุดการทดลองที่ 2 ใช้ระบบน้ำหมุนเวียน ผ่านชั้นกรองกายภาพ กรองชีวภาพ และผักตบชวา 2 กิโลกรัม อัตราไหล 200 ลิตรต่อชั่วโมง เป็นเวลา 8 สัปดาห์ พบว่าชุดการทดลองที่ 1 และชุดการทดลองที่ 2 มีน้ำหนักเพิ่ม อัตราการเจริญเติบโตโดยน้ำหนัก ในสัปดาห์ที่ 6 และ 8 ความยาวเพิ่ม ในสัปดาห์ที่ 6 อัตราเจริญเติบโตโดยความยาว ในสัปดาห์ที่ 2 และผลผลิตต่อพื้นที่ แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) โดยชุดการทดลองที่สองที่ใช้ระบบกรองร่วมกับผักตบชวามีอัตราการเจริญเติบโตที่ดีกว่า

อัตราแลกเนื้อในชุดการทดลองที่ 1 และ ชุดการทดลองที่ 2 มีค่า 2.09 และ 2.00 ตามลำดับ สอดคล้องกับ อุทัยรัตน์ (2544) ที่รายงานว่า การเลี้ยงปลาดุกลูกผสมจะมีอัตราการแลกเนื้อสูงหรือต่ำและแตกต่างกันหรือไม่ขึ้นอยู่กับคุณภาพของอาหารเป็นหลัก ในการทดลองครั้งนี้มีการให้อาหารแบบเดียวกันและมีความหนาแน่นเท่ากัน และยังมีคุณภาพน้ำตลอดการเลี้ยงใกล้เคียงกันด้วย จึงทำให้อัตราการแลกเนื้อไม่แตกต่างกันทางสถิติ แต่อัตราแลกเนื้อค่อนข้างสูงเมื่อเทียบกับ อุธร และคณะ (2553) เลี้ยงปลาดุกลูกผสมแบบอควาโปนิกส์อยู่ที่ 1.36-1.48 เนื่องจากมีอัตราการปล่อยสูงที่ 100 ตัวต่อลูกบาศก์เมตร และอุณหภูมิของน้ำสูงทำให้ปลาเครียดและใช้พลังงานสูง ซึ่งอุณหภูมิของน้ำที่เหมาะสมในการเพาะเลี้ยงสำหรับปลาดุกลูกผสมอยู่ในช่วง 19-28 ℃ (ศูนย์ศึกษาการพัฒนาห้วยฮ่องไคร้อันเนื่องมาจากพระราชดำริ, 2558)

เมื่อสิ้นสุดการทดลองความยาวที่เพิ่มขึ้นของปลาดุก ในชุดการทดลองที่ 1 มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 7.12±0.48 เซนติเมตร และชุดการทดลองที่ 2 มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 8.08±0.96 เซนติเมตรต่อตัว โดยชุดการทดลองที่ 1 มีความยาวเพิ่มขึ้นเฉลี่ยตลอดการทดลอง ต่ำกว่าชุดการทดลองที่ 2 และเมื่อวิเคราะห์ทางสถิติทั้ง 2 ชุดการทดลองพบว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) ในสัปดาห์ที่ 6 และอัตราเจริญเติบโตโดยความยาวของปลาดุก ในชุดการทดลองที่ 1 มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.12±0.01เซนติเมตรต่อวัน และชุดการทดลองที่ 2 มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.13±0.02 เซนติเมตรต่อวัน โดยชุดการทดลองที่ 1 มีค่าเฉลี่ยความยาวเพิ่มขึ้นต่ำกว่าชุดการทดลองที่ 2 แต่เมื่อวิเคราะห์ทางสถิติทั้ง 2 ชุดการทดลองมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) 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 เมื่อวิเคราะห์ทางสถิติทั้ง 2 ชุดการทดลองมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) และมีผลผลิตต่ำกว่าเมื่อเทียบกับ อุธร และคณะ (2556) เลี้ยงปลาดุกลูกผสมแบบอคะวาโปนิค มีผลผลิตต่อพื้นที่ 4.87-6.50 กิโลกรัมต่อ

ตารางเมตร ที่อัตราการปล่อย 40 ตัวต่อตารางเมตร เป็นเพราะในการศึกษาในครั้งนี้มีการปล่อยที่หนาแน่นกว่าอยู่ที่ 100 ตัวลูกบาศก์เมตร จึงทำให้ปลามีความเครียดได้มากกว่า ส่งผลให้โตช้ากว่าและอัตราแลกเนื้อสูงกว่า

อัตรารอดตายอยู่ในช่วง 95.24 ถึง 100 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งเป็นอัตรารอดที่สูง สอดคล้องกับ สุฤทธิ์ (2551) ที่รายงานว่า การเลี้ยงปลาดุกลูกผสมในระบบน้ำหมุนเวียน จากบ่อเลี้ยงเข้าสู่การกำจัดตะกอน และกรองชีวภาพใช้วัสดุกรองชีวภาพต่างชนิดกัน พบว่า ค่าอัตรารอดตายเท่ากับ 97.50 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งสูงกว่าการเลี้ยงในบ่อดินที่มีอัตรารอด 40–70 เปอร์เซ็นต์ (กรมประมง, 2541)

อัตราการเจริญเติบโตโดยน้ำหนัก อยู่ในช่วง 0.49 (ชุดที่1) ถึง 0.68 (ชุดที่2) กรัมต่อตัวต่อวัน มีค่าสูงกว่าในการทดลองของ สุฤทธิ์ (2551) ที่ใช้อิฐเป็นวัสดุกรอง มีอัตราการเจริญเติบโตโดยน้ำหนักอยู่ที่ 0.36 กรัมต่อวัน แสดงให้เห็นว่า การใช้วัสดุอวน และผักตบชวาเป็นระบบกรองเลี้ยงปลาดุก ทำให้ปลานั้นมีอัตราการเจริญเติบโตที่ดี แต่ต่ำกว่าของ อุธร และคณะ (2556) ที่ 8 สัปดาห์อยู่ที่ 1.94 ถึง 2.90 กรัมต่อวัน เพราะมีอัตราการปล่อยที่ต่ำกว่า เมื่อเทียบกันระหว่างทั้ง 2 ชุดการทดลองพบว่า ชุดการทดลองที่ 2 มีอัตราการเจริญเติบโตโดยน้ำหนัก และน้ำหนักเพิ่ม ที่ดีกว่าชุดการทดลองที่ 1 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) ในสัปดาห์ที่ 6 และ 8

น้ำหนักของผักตบชวาเมื่อเริ่มต้นการทดลอง มีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 2.33 กิโลกรัมต่อกระบะ เมื่อสิ้นสุดการทดลองพบว่าผักตบชวามีน้ำหนักลดลง เนื่องจากการกินของหอยที่ติดมาจากแหล่งที่ไปเก็บผักตบชวามา และสภาวะอากาศในช่วงที่ทำการทดลองเป็นช่วงอากาศที่ร้อนจัด และมีการตายของผักตบชวา สอดคล้องกับ สุฤทธิ์ (2551) ที่เลี้ยงปลาร่วมกับปลูกผัก ได้รายงานว่า ในช่วงที่อากาศร้อนจัด ผักกาดหอมห่อจะไม่สามารถเจริญเติบโตได้ ทำให้ผักบางส่วนตายไป ในสภาวะอากาศที่ร้อนจัดผักจะไม่เจริญเติบโตเท่าที่ควรโดยผักที่ปลูกในหน้าร้อนมักแคระแกร็น โตช้า และมีรสขม และอายุการเก็บเกี่ยวช้า เนื่องจากผักกาดหอมห่อที่ปลูกในฤดูร้อนมักเจอปัญหาสารละลายร้อนเกินไป มีค่ามากกว่า 30 องศาเซลเซียส และ ศุวศา (2538) กล่าวว่า ในบึงประดิษฐ์อุณหภูมิสูงอาจทำให้การ บำบัดเป็นไปไม่ดี เพราะความร้อนจะทำลายพืชบางชนิดหรือเพิ่มอัตราการย่อยสลายอาหารของ แบคทีเรีย ทำให้เกิดการเสียสมดุลของอัตราการลดค่าบีโอดีและการละลายออกซิเจนจากบรรยากาศได้

2. ประสิทธิภาพในการควบคุมคุณภาพน้ำในระบบน้ำหมุนเวียน

อุณหภูมิของน้ำต่ำสุด-สูงสุด อยู่ในช่วง 29.67-32.33 องศาเซลเซียส ซึ่งค่อนข้างสูงโดยอุณหภูมิของน้ำที่เหมาะสมในการเพาะเลี้ยงสำหรับปลาดุกลูกผสมอยู่ในช่วง 19-28 ℃ (ศูนย์ศึกษาการพัฒนาห้วยฮ่องไคร้อันเนื่องมาจากพระราชดำริ, 2558) แต่อุณหภูมิที่สูงจะทำให้ปลาโตเร็วขึ้นหากไม่สูงมากจนเกินไป สอดคล้องกับ ไมตรี และ จารุวรรณ (2528) รายงานว่า อุณหภูมิส่งผลต่อการเพาะเลี้ยงเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นจะทำให้ปลามีการเผาผลาญพลังงานเพิ่มมากขึ้นทำให้ปลาโตเร็วขึ้น จากการทดลองในครั้งนี้พบว่าอุณหภูมิของชุดการทดลองที่ 2 ใช้ระบบน้ำหมุนเวียนร่วมกับผักตบชวามีอุณหภูมิต่ำกว่าชุดการทดลองที่ 1 ตลอดการทดลอง เพราะมีผักตบชวาช่วยบดบังแสงทำให้น้ำได้รับแสงอาทิตย์น้อยกว่าอุณหภูมิของน้ำจึงต่ำกว่า อยู่ในช่วงที่เหมาะสมเป็นส่วนใหญ่จึงทำให้ปลาค่อนข้างโตกว่าชุดการทดลองที่ 1

ความเป็นกรด-ด่างของน้ำหรือ pH ต่ำสุด-สูงสุด เท่ากับ 5.08-7.66 ทั้งสองชุดการทดลองไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) ซึ่ง pH ระหว่างการทดลองในช่วง 3 สัปดาห์แรกอยู่ในช่วงที่

เหมาะสมสอดคล้องกับ ชาญยุทธ (2533) ที่รายงานว่า ค่า pH ที่เหมาะสมต่อการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำอยู่ระหว่าง 6.5-9.0 แต่ในช่วงท้ายของการทดลองมี pH ต่ำลงเพราะในน้ำมีการสะสมของ CO_2 จากปลาที่โตขึ้น และการย่อยสลายสารอินทรีย์แบบใช้ออกซิเจนที่เพิ่มมากขึ้นของจุลินทรีย์จึงทำให้ pH ต่ำลง เนื่องจาก เมื่อมี CO_2 ละลายสู่น้ำมากขึ้น CO_2 ทำปฏิกิริยากับน้ำได้เป็นกรดคาร์บอนิก (H_2CO_3) (สมหมาย, 2539)

จากการทดลองออกซิเจนละลายน้ำ ต่ำสุด-สูงสุด อยู่ในช่วง 6.83-7.42 มิลลิกรัมต่อลิตร ซึ่งมีความเหมาะสมกับการเลี้ยงปลาดุกตามรายงานของ ศูนย์ศึกษาการพัฒนาห้วยฮ่องไคร้อันเนื่องมาจากพระราชดำริ (2558) ที่รายงานว่า ค่าความเข้มข้นของออกซิเจนที่ละลายน้ำ ไม่ควรต่ำกว่า 5.0 มิลลิกรัมต่อลิตร และ ไมตรี และจารุวรรณ (2528) ที่กล่าวว่า ออกซิเจนละลายน้ำที่เหมาะสมในการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ อยู่ในช่วง 4.0-10.0 มิลลิกรัมต่อลิตร การทดลองในครั้งนี้ทั้งสองชุดการทดลองไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p>0.05$) ตลอดการทดลอง แต่แนวโน้มของออกซิเจนจะลดลงเมื่อการเลี้ยงผ่านไปนานขึ้น เพราะปลาที่โตขึ้นจะใช้ออกซิเจนมากขึ้น และจุลินทรีย์ใช้ออกซิเจนในการย่อยสลายสารอินทรีย์เพิ่มขึ้นตามการขับถ่ายของปลาที่เพิ่มขึ้นด้วย เช่นเดียวกับการทดลองของ จิรวัช (2549) ที่ทำการศึกษาประสิทธิภาพของระบบกรองชีวภาพเพื่อการเลี้ยงปลาในตู้ระบบปิดพบว่าออกซิเจนละลายน้ำจะสูงในช่วงเริ่มต้นและลดลงตามเวลาการเลี้ยงที่เพิ่มขึ้น

ค่าการนำไฟฟ้าพบว่า ทั้ง 2 ชุดการทดลองเมื่อเลี้ยงผ่านไปเรื่อยๆค่าการนำไฟฟ้ายิ่งเพิ่มขึ้นสอดคล้องกับ สุฤทธิ์ (2551) ที่ได้ทดลองเลี้ยงปลาดุกบิ๊กอุย พบว่าเมื่อเลี้ยงผ่านไป 30, 60 และ90 วัน มีค่าการนำไฟฟ้าเท่ากับ 395.0±23.00, 431.0±32.66 และ788.5±82.61 ไมโครซีเมนส์ต่อเซนติเมตร ตามลำดับ เนื่องจากเมื่อเลี้ยงนานขึ้นน้ำที่ใช้เลี้ยงจะมีการสะสมของแร่ธาตุต่างๆมากขึ้น จึงทำให้ค่าการนำไฟฟ้าสูงขึ้น ซึ่งการทดลองนี้เมื่อเลี้ยงนานขึ้นปลามีขนาดโตขึ้นกินอาหารมากขึ้น ขับถ่ายของเสียเพิ่มขึ้นสอดคล้องกับค่า บีโอดี แอมโมเนีย ไนไตรท์ ไนเตรท และฟอสเฟตที่เพิ่มขึ้นด้วยเช่นกัน และชุดการทดลองที่ 2 ค่าการนำไฟฟ้าสูงกว่าชุดการทดลองที่ 1 อย่างมีนัยสำคัญ ($p<0.05$) ในสัปดาห์ที่ 7 เนื่องจากการตายและย่อยสลายของผักตบชวาที่ไม่ได้เก็บออกทำให้ค่าการนำไฟฟ้าสูงขึ้น

ค่า BOD ของทั้ง 2 ชุดการทดลองอยู่ในช่วง 0.37–4.73 มิลลิกรัมต่อลิตร โดยพบว่าค่า BOD ของชุดการทดลองที่ 1 มีค่าต่ำกว่าชุดการทดลองที่ 2 ในช่วงเริ่มต้น เนื่องจากในชุดการทดลองที่ 2 มีเศษตะกอนจากผักตบชวาหลุดลงมาในตู้ทดลอง มีการตายและใบที่เน่าเสียรวมทั้งเศษจากหอยที่มากินผักตบชวา จึงเป็นการเพิ่มสารอินทรีย์ในน้ำ จึงทำให้ค่า BOD สูงกว่า แต่หลังจากสัปดาห์ที่ 5 ที่มีการเติมน้ำเท่ากันในทุกชุดการทดลอง เก็บเศษผักตบชวาที่เสียและหอยออก ค่า BOD ทั้ง 2 ชุดการทดลองใกล้เคียงกัน และชุดการทดลองที่ 2 มีค่า BOD ต่ำกว่าอย่างมีนัยสำคัญในสัปดาห์ที่ 8 เนื่องจากชุดการทดลองที่ 2 รากของผักตบชวาจะเป็นที่อยู่อาศัยของแบคทีเรียจึงมีการย่อยสลายสารอินทรีย์ได้มากกว่าชุดการทดลองที่ 1 ที่ใช้แค่ระบบกรอง และตลอดการทดลองทั้งสองชุดการทดลองมีค่าบีโอดีอยู่ในช่วงที่เหมาะสมกับการเลี้ยงสัตว์น้ำตลอดการทดลอง สอดคล้องกับ สุฤทธิ์ 2551 รายงานว่า ค่าบีโอดีที่เหมาะสมมีค่าไม่เกิน 10 มิลลิกรัมต่อลิตร และสูงสุดไม่เกิน 30 มิลลิกรัมต่อลิตร และกรมควบคุมมลพิษ (2553) ที่บอกว่าค่า BOD ที่เหมาะสมในการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำควรมีค่าไม่เกิน 20 มิลลิกรัมต่อลิตร

ปริมาณของแข็งแขวนลอยจากการทดลองพบว่า น้ำที่ใช้เลี้ยงปลาทั้ง 2 ชุดการทดลอง มีความใสมาก เป็นเพราะมีการกรองด้วยกรองกายภาพที่ใช้ใยแก้วที่ละเอียดและมีอัตราการหมุนเวียนน้ำในระดับที่สูง คือ 200

ลิตรต่อชั่วโมง ซึ่งน้ำในตู้มีปริมาณ 140 ลิตรคิดเป็น 142.86 เปอร์เซ็นต์ต่อชั่วโมง จึงทำให้มีตะกอนตกค้างในน้ำต่ำ และยังพบว่า ชุดการทดลองที่ 2 มีของแข็งแขวนลอยต่ำกว่าชุดการทดลองที่ 1 เพราะมีรากผักตบชวา ช่วยดักให้ตกตะกอนอีกชั้น แต่ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ และปริมาตรของแข็งแขวนลอยยังมีค่าที่ต่ำกว่ามาตรฐานน้ำทิ้งของกรมควบคุมมลพิษ (2553) ที่กำหนดให้ไม่เกิน 80 มิลลิกรัมต่อลิตร และของแข็งแขวนลอยยิ่งต่ำยิ่งเป็นผลดีต่อสัตว์น้ำซึ่งจากรายงานของไมตรี และจารุวรรณ (2528) ได้กล่าวว่า ปริมาณของแข็งแขวนลอยที่เหมาะสมอยู่ในช่วง 25-80 มิลลิกรัมต่อลิตร แต่ถ้าอยู่ในช่วงระหว่าง 80-400 มิลลิกรัมต่อลิตร จะทำให้ผลผลิตในการเลี้ยงปลาลดลง และถ้ามากเกิน 400 มิลลิกรัมต่อลิตร ขึ้นไปจะเลี้ยงปลาไม่ได้ผล

แอมโมเนีย ไนไตรท์ และไนเตรท พบว่า ตลอดการทดลองมีค่าอยู่ในช่วง 0.043-0.661, 0.014-0.063 และ0.020-0.075 มิลลิกรัมไนโตรเจนต่อลิตรตามลำดับ โดยทั้ง 2 ชุดการทดลองมีค่าแอมโมเนีย ไนไตรท์ ไนเตรท ต่ำในช่วงแรกของการทดลอง แล้วค่อย ๆ เพิ่มสูงขึ้นเมื่อระยะเวลาผ่านไป และลดลงตอนเติมน้ำในสัปดาห์ที่ 5 เนื่องจากน้ำระเหยลงต่ำกว่าที่กำหนดซึ่งสอดคล้องกับ สุฤทธิ์ (2551) ซึ่งทดลองเลี้ยงปลาดุกบิ๊กอุย มีค่าแอมโมเนีย ไนเตรท ไนไตรท์ เท่ากับ 0.429±0.063, 0.008±0.001, 0.053±0.013 มิลลิกรัมไนโตรเจนต่อลิตรในวันที่เริ่มต้น เพิ่มขึ้นเป็น 0.556±0.053, 0.026±0.006, 0.063±0.025 มิลลิกรัมไนโตรเจนต่อลิตรในวันที่ 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 (สุฤทธิ์, 2551) แต่อย่างไรก็ตามจะเห็นได้ว่า ค่าแอมโนเนีย ไนเตรท และ ไนไตรท์ อยู่ในเกณฑ์ที่ไม่เป็นอันตรายต่อสัตว์น้ำ ซึ่งกรมประมง (2559) ได้กำหนดมาตรฐานน้ำทิ้งไว้ที่ไนโตรเจนรวมไม่เกิน 4.0 มิลลิกรัมไนโตรเจนต่อลิตร

เมื่อเปรียบเทียบระหว่าง 2 ชุดการทดลองพบว่าค่าแอมโมเนียใกล้เคียงกันและไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) ในช่วงสัปดาห์ที่ 1 ถึง 6 เพราะในช่วงแรกปลายังมีการขับถ่ายของเสียออกมาน้อย เพราะยังมีขนาดเล็ก และในชุดการทดลองที่ 2 ที่ใช้ระบบกรองร่วมกับผักตบชวามีการตายและใบที่เน่าเปื่อยทำให้ระบบต้องรับภาระในการบำบัดที่มากกว่าจึงทำให้ยังไม่เห็นความแตกต่างในช่วงนี้ แต่เมื่อมีการเติมน้ำเท่ากันในทุกชุดการทดลองและนำใบและต้นผักตบชวาที่ตายออกในสัปดาห์ที่ 5 ภาระในการบำบัดของทั้งสองชุดการทดลองจึงใกล้เคียงกัน และผักตบชวาได้ดึงแอมโมเนียไปใช้ทำให้ ชุดการทดลองที่ 2 บำบัดแอมโมเนียในน้ำได้ดีกว่าชุดการทดลองที่ 1 ที่ไม่ใช้ผักตบชวา ได้แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) ในสัปดาห์ที่ 7 และ 8 ส่วนค่าไนไตรท์ และไนเตรท ก็มีแนวโน้มเดียวกับแอมโมเนีย คือมีค่าต่ำใกล้เคียงกันในช่วงแรกและเพิ่มสูงขึ้น โดยในสัปดาห์ที่ 8 ชุดการทดลองที่ 2 จะมีค่าไนเตรทต่ำกว่าชุดการทดลองที่ 1 อย่างมีนัยสำคัญ ($p<0.05$) เนื่องจากพืชน้ำสามารถดูดซึมแอมโมเนีย และไนเตรทผ่านระบบรากจึงทำให้ไนโตรเจนในน้ำทั้ง แอมโมเนีย ไนไตรท์ และไนเตรท ลดลงตามระยะเวลาที่เพิ่มขึ้น (Boyd, 2015)

ความเข้มข้นของฟอสเฟตเฉลี่ยตลอดการทดลองของทั้ง 2 ชุดการทดลอง อยู่ในช่วง 0.004–0.115 มิลลิกรัมฟอสฟอรัสต่อลิตร โดยพบว่าชุดการทดลองที่ 1 มีฟอสเฟตต่ำกว่าชุดการทดลองที่ 2 ในช่วงสัปดาห์ที่ 1 ถึง 5 เพราะเหตุผลเดียวกับแอมโมเนีย ไนไตรท์ ไนเตรท คือเมื่อปลาในชุดการทดลองที่ 2 โตเร็วกว่าชุดการทดลองที่ 1 กินอาหารมากกว่า สิ่งขับถ่ายมากกว่า รวมถึงการเน่าเปื่อยของผักตบชวา จึงทำให้ปริมาณของ

ฟอสเฟตในน้ำสูงกว่าตามไปด้วย และเมื่อมีการเติมน้ำเท่ากันในทุกชุดการทดลอง และเก็บผักตบชวาที่ตายและใบที่เน่าออก จึงส่งผลให้ในสัปดาห์ที่ 6 ถึง 8 ชุดการทดลองที่ 2 มีฟอสเฟตต่ำกว่าชุดการทดลองที่ 1 และแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p<0.05$) ในสัปดาห์ที่ 8 เนื่องจากในการเจริญโตของพืชน้ำฟอสฟอรัสเป็นธาตุอาหารหลัก 1 ใน 3ชนิดที่มีความจำเป็น ในการทดลองนี้ผักตบชวาจึงดึงฟอสฟอรัสไปใช้เช่นเดียวกับธาตุอาหารกลุ่มไนโตรเจน และจากการทดลองค่าฟอสเฟตของทั้ง 2 ชุดการทดลอง ก็ไม่เกินมาตรฐานน้ำทิ้งจากการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำจืดที่ไม่เกิน 0.5 มิลลิกรัมฟอสฟอรัสต่อลิตร (กรมควบคุมมลพิษ, 2553) และมีค่าต่ำกว่าการเลี้ยงปลาดุกแบบหนาแน่นในบ่อคอนกรีตที่มีปริมาณฟอสเฟตสูงถึง 0.5–5.7 มิลลิกรัมฟอสฟอรัสต่อลิตร (สุฤทธิ์, 2551)

จากการทดลองในครั้งนี้พบว่า ทั้งด้านอัตราการเจริญเติบโตในพารามิเตอร์ น้ำหนักที่เพิ่มขึ้น อัตราการเจริญเติบโตโดยน้ำหนัก ความยาวที่เพิ่มขึ้น อัตราเจริญเติบโตโดยความยาว และผลผลิตต่อพื้นที่ ของชุดการทดลองที่ 2 ที่ใช้ผักตบชวา ดีกว่าชุดการทดลองที่ 1 ในสัปดาห์ท้ายๆของการทดลองอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) อัตราการรอดตาย 2 ชุดการทดลองไม่มีความแตกต่างทางสถิติ ($p>0.05$) และประสิทธิภาพในการควบคุมคุณภาพน้ำของทั้ง 2 ชุดการทดลองให้ผลในการควบคุมคุณภาพน้ำทุกพารามิเตอร์ให้อยู่ในเกณฑ์มาตรฐานตลอดทั้งการทดลองโดยไม่มีปัญหาน้ำเน่าเสียเกิดขึ้นเลย และชุดการทดลองที่ 2 มีการควบคุมค่า บีโอดี แอมโมเนียใน ไนเตรท และฟอสเฟต สัปดาห์ที่ 7 และ 8 ได้ดีกว่าอย่างมีนัยสำคัญ ($p<0.05$) และมีแนวโน้มควบคุม ไนไตรท์ ได้ดีกว่าด้วย

มหาวิทยาลัยราชภัฏสงขลา SONGKHLA RAJABHAT UNIVERSITY

บทที่ 5
สรุปและข้อเสนอแนะ

1. สรุป

จากการศึกษาประสิทธิภาพของระบบการเลี้ยงปลาดุกบิ๊กอุย 2 แบบ โดยแบ่งชุดการทดลองเป็น 2 ชุดการทดลอง ชุดการทดลองที่ 1 ใช้ระบบน้ำหมุนเวียน ผ่านชั้นกรองกายภาพ และกรองชีวภาพ (อัตราไหล 200 ล./ชม.) ชุดการทดลองที่ 2 ใช้ระบบน้ำหมุนเวียน ผ่านชั้นกรองกายภาพ กรองชีวภาพ และผักตบชวา 2 กิโลกรัม เป็นเวลา 8 สัปดาห์ พบว่า อัตราการเจริญเติบโตในพารามิเตอร์ น้ำหนักที่เพิ่มขึ้น อัตราการเจริญเติบโตโดยน้ำหนัก ความยาวที่เพิ่มขึ้น อัตราเจริญเติบโตโดยความยาว และผลผลิตต่อพื้นที่ ในชุดการทดลองที่ 2 สูงกว่าอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$)

คุณภาพน้ำของชุดการทดลองที่1 และชุดการทดลองที่ 2 พบว่า อุณหภูมิของน้ำอยู่ในช่วง 29.67-32.33 องศาเซลเซียส ค่าความเป็นกรด-ด่างอยู่ในช่วง 5.08-7.66 ปริมาณออกซิเจนที่ละลายน้ำอยู่ในช่วง 6.83-7.42 มิลลิกรัมต่อลิตร ค่าการนำไฟฟ้าอยู่ในช่วง 330.33–906.67μS/cm. ปริมาณของแข็งแขวนลอยอยู่ในช่วง 0.0009–0.0048 มิลลิกรัมต่อลิตร ค่า BOD อยู่ในช่วง 0.37–4.73 มิลลิกรัมต่อลิตร ความเข้มข้นของแอมโมเนีย ไนไตรท์ และไนเตรทอยู่ในช่วง 0.043-0.661, 0.014-0.063 และ0.020-0.075 มิลลิกรัมไนโตรเจนต่อลิตรตามลำดับ และความเข้มข้นของฟอสเฟตอยู่ในช่วง 0.004–0.115 มิลลิกรัมฟอสฟอรัสต่อลิตรตลอดระยะเวลาการทดลองคุณภาพน้ำทุกพารามิเตอร์อยู่ในเกณฑ์ที่เหมาะสมต่อการดำรงชีวิตและไม่เป็นอันตรายต่อสัตว์น้ำ และชุดการทดลองที่ 2 ควบคุมคุณภาพน้ำในพารามิเตอร์ ค่าบีโอดี แอมโมเนีย ไนเตรท และฟอสเฟต ได้ดีกว่าชุดการทดลองที่ 1 อย่างมีนัยสำคัญ ($p<0.05$) ในช่วงสัปดาห์ที่ 7 และ 8

2. ข้อเสนอแนะ

การทำระบบกรองน้ำโดยใช้ระบบน้ำหมุนเวียน ผ่านชั้นกรองกายภาพ กรองชีวภาพ และผักตบชวา ในการเลี้ยงสัตว์น้ำชนิดต่าง ๆ จะส่งผลให้ต้นทุนเพิ่มสูงขึ้น แต่ทำให้การเลี้ยงมีประสิทธิภาพมากขึ้น เพราะระบบกรองสามารถบำบัดน้ำได้ทั้งทางกายภาพ ชีวภาพและเคมี ทำให้ไม่ต้องเปลี่ยนถ่ายน้ำหรือเปลี่ยนถ่ายในปริมาณเล็กน้อย สอดคล้องกับสถานการณ์น้ำในปัจจุบันที่มีปริมาณน้อยและคุณภาพเสื่อมโทรม หากจะทำให้ระบบกรองน้ำมีประสิทธิภาพสูงขึ้น ทำได้โดยการล้างกรองกายภาพอย่างสม่ำเสมอ และการปรับเปลี่ยนพืชที่จะใช้ดูดซับของเสียในน้ำ จากผักตบชวาเป็นผักชนิดอื่นที่สามารถนำมาประกอบอาหารได้ ก็จะทำให้สามารถประหยัดค่าอาหารไปด้วย ในการเลือกพืชมาทดแทนควรเป็นพืชที่เจริญเติบโตได้รวดเร็ว และสามารถอยู่ได้ในแหล่งน้ำที่มีแร่ธาตุน้อย เนื่องจากแร่ธาตุหรือของเสียในระบบน้ำหมุนเวียนจะมีปริมาณน้อยกว่าการปลูกพืชโดยใช้ดิน และจะไม่มีการเติมปุ๋ยลงในระบบเพราะจะเป็นการเพิ่มแร่ธาตุที่ต้องการกำจัดออกจากระบบ รวมถึงการออกแบบแปลงปลูกพืชให้แคบและยาวเพื่อเพิ่มระยะเวลาในการดูดซึมแร่ธาตุให้กับพืช และไม่ควรปล่อยปลาหนาแน่นจนเกินไปเพราะจะทำให้ปลาเครียดมีสิ่งขับถ่ายเยอะและอัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อสูงขึ้น

เอกสารอ้างอิง

กรมควบคุมมลพิษ. 2553. มาตรฐานควบคุมการระบายน้ำทิ้งจากบ่อเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำจืด. เข้าถึงได้จาก http://www.pcd.go.th (เมื่อวันที่ 10 มกราคม 2553).

กรมประมง. 2541. การเลี้ยงปลาดุกบิ๊กอุย. กระทรวงเกษตรและสหกรณ์. กรุงเทพฯ.

กรมประมง. 2558. การเพาะเลี้ยงปลาดุกบิ๊กอุย. สำนักส่งเสริมและฝึกอบรม. กระทรวงเกษตรและสหกรณ์. กรุงเทพฯ.

คณะสัตวแพทยศาสตร์. 2542. เรื่องของปลา. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. นครปฐม.

คณิต ชูคันหอม. 2543. การเลี้ยงปลาดุก. คณะสัตวแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น. ขอนแก่น.

จรียา ยิ้มรัตนบวร และสุรินทร บุญอนันธนสาร. 2556. ศักยภาพการหมุนเวียนน้ำกลับมาใช้ของระบบพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์สำหรับการเพาะเลี้ยงปลาดุกลูกผสม. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี.นครราชสีมา.

จิรวัช ช่วยรอดหมด. 2549. ประสิทธิภาพของระบบกรองชีวภาพเพื่อการเลี้ยงปลาในตู้ระบบปิด. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวาริชศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์. สงขลา.

ชาญยุทธ คงภิรมย์ชื่น. 2533. คู่มือปฏิบัติการคุณภาพน้ำทางการประมง. คณะเกษตรศาสตร์ บางพระสถาบันเทคโนโลยีราชมงคล. ชลบุรี.

ทิพย์วัลย์ คำเหม็ง และวรรณวิไล อธิวาสน์พงศ์. 2532. การวิเคราะห์ปริมาณโลหะในผักตบชวาจากแหล่งน้ำในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ. คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น. ขอนแก่น.

นำถม ตั้งคำ และสุนีรัตน์ เรืองสมบูรณ์. 2553. คุณภาพน้ำในบ่อเลี้ยงปลาดุกที่มีการเจริญเติบโตอย่างหนาแน่นของแพลงก์ตอนพืช. การประชุมทางวิชาการมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 48: สาขาประมง. หน้า 305-312.

นิคม ละอองศิริวงศ์, ลักขณา ละอองศิริวงศ์, พัชรา แมเร๊าะ และคมน์ ศิลปาจารย์. 2554. การเลี้ยงปลากะพงขาว ขนาด 4-6 นิ้ว ในระบบน้ำหมุนเวียน. การประชุมทางวิชาการมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 49: สาขาประมง. หน้า 92-99.

นิรนาม. 2548. ข้อบังคับปิดฉลากปลา Catfish. กองวัฒนธรรม สำนักวัฒนธรรม กีฬา และการท่องเที่ยว. กรุงเทพฯ.

นิรนาม. 2551ก. ปลาดุก. เข้าถึงได้จาก http://www.wikipedia.org (เมื่อวันที่ 25 ตุลาคม 2551).

นิรนาม. 2551ข. การเลี้ยงปลาดุกในเชิงเศรษฐกิจ. เข้าถึงได้จาก http://www.wikipedia.org (เมื่อวันที่ 25 ตุลาคม 2551).

นิรนาม. 2558. บทบาทในการบำบัดน้ำเสียของผักตบชวา. เข้าถึงได้จาก http://www.wikipedia.org (เมื่อวันที่ 2 มีนาคม 2558).

พนม สินวรพันธุ์. 2552. ระบบน้ำและความหนาแน่นที่เหมาะสมในการเลี้ยงหอยหวาน (*Babylonia areolata*). วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวาริชศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์. สงขลา.

พรชัย เจริญยิ่ง, ถาวร จิรพงศธร และอรณัท ปฐพีจำรัสวงศ์. 2541. วิธีบำบัดแอมโมเนีย/แอมโมเนียมที่ละลายน้ำเครื่องกรองแบบ Biofilter. ภาควิชาเคมีอุตสาหกรรม สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ. เข้าถึงได้จาก http:// library.kmitnb.ac.th. (เมื่อวันที่ 15 มกราคม 2553).

พิชัย สมบูรณ์วงศ์. 2551. การเลี้ยงปลาดุก. มหาวิทยาลัยแม่โจ้. เชียงใหม่.

ไมตรี ดวงสวัสดิ์ และ จารุวรรณ สมสิริ. 2528. คุณสมบัติของน้ำและวิธีการวิเคราะห์สำหรับการวิจัยทางการประมง. ประมงน้ำจืดแห่งชาติ, กรมประมง.

ศุวศา กานตวนิชกูร. 2538. การบำบัดน้ำเสียทางชีววิทยา. คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม. เชียงใหม่.

ศูนย์ศึกษาการพัฒนาห้วยฮ่องไคร้อันเนื่องมาจากพระราชดำริ. 2558. เข้าถึงได้จาก http://www.hongkhrai.com/pdf/report%20pdf%20High%20Light/data%2003.pdf. (เมื่อวันที่ 2 มีนาคม 2558).

สถิดา ไกรลาศ. 2547. Chemical Engineering: กลิ่นมลพิษที่วิศวกรเคมียอมไม่ได้. เข้าถึงได้จาก http://www.eng.mut.ac.th/Chemical. (เมื่อวันที่ 15 มกราคม 2553).

สมหมาย เชี่ยววารีสัจจะ. 2539. การจัดการคุณภาพน้ำ. ภาควิชาวาริชศาสตร์ คณะทรัพยากรธรรมชาติ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตหาดใหญ่. สงขลา.

สิริ ทุกข์วินาศ และชนินทร์ แสงรุ่งเรือง. 2541. การศึกษาวิจัยบำบัดน้ำทิ้งจากบ่อเลี้ยงกุ้งกุลาดำแบบพัฒนาด้วยระบบ Bio-filter. วารสารการประมง 51: 535-540.

สุบัณฑิต นิ่มรัตน์ และวีรพงศ์ วุฒิพันธุ์ชัย. 2552. การเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำอย่างยั่งยืน: บทบาทของจุลินทรีย์และการประยุกต์ใช้. สำนักพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. กรุงเทพฯ.

สุฤทธิ์ สมบูรณ์ชัย. 2551. การเลี้ยงปลาดุกลูกผสมในบ่อซีเมนต์ระบบหมุนเวียนร่วมกับระบบการปลูกพืชไฮโดรโพนิกส์. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต. สาขาประมง มหาวิทยาลัยแม่โจ้. เชียงใหม่.

สุวิมล ตันฑสุกิจวณิช. 2545. ระบบบำบัดไนเตรทสำหรับระบบหมุนเวียนน้ำทะเลแบบปิดเพื่อการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิทยาศาสตร์สภาวะแวดล้อม จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. กรุงเทพฯ.

อภิชัย เชียร์ศิริกุล. 2533. การบำบัดน้ำเสียจากที่พักอาศัยด้วยบ่อผักตบชวา. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิทยาศาสตร์สภาวะแวดล้อม จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. กรุงเทพฯ.

อรวรรณ คงพันธุ์, รัศมีพร จิระเดชประไพ และประทุมวัลย์ สงคง. 2549. การพัฒนาผลิตภัณฑ์เนื้อปลาบดจากปลาดุกบิ๊กอุย. กรมประมง. กรุงเทพฯ.

อรัญญา อัศวอารีย์, นิคม ละอองศิริวงศ์ และยงยุทธ ปรีดาลัมพะบุตร. 2549. ประสิทธิภาพและความสามารถของระบบบำบัดน้ำทางชีวภาพในการควบคุมคุณภาพน้ำ จากการเลี้ยงปลากะพงขาว. เอกสารวิชาการฉบับที่ 32/2549. สถาบันวิจัยการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำชายฝั่ง. สงขลา.

อำไพเทพิน สิงหะพันธุ. 2543. ระบบบำบัดไนเตรทเพื่อการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำด้วยระบบหมุนเวียนน้ำแบบปิดขนาดเล็ก. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิทยาศาสตร์สภาวะแวดล้อม จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. กรุงเทพฯ.

อุทัยรัตน์ ณ นคร. 2544. ปลาดุก. เอกสารคำสอน. ภาควิชาเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. กรุงเทพฯ.

อุธร ฤทธิลึก, สรรลาภ สงวนดีสกุล และศรัณยา รักเสรี. 2553. การผสมผสานระบบปลูกพืชไรดินเพื่อบำบัดน้ำเสียในระบบการเลี้ยงปลาแบบใชน้ำหมุนเวียน. ว.วิจัยมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก. 3(2): 38-53.

APHA, AWWA and WPCF. 1998. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. 20th edition. American Public Health Association. Washington, D.C.

Atlas, R.M. and Bartha, R. 1993. Microbial Ecology: Fundamentals and Application. The Benjamin/Cumming Publishing Company, California.

Boyd, C.E. 2015. Water Quality: An Introduction (Second Edition). School of Fisheries, Aquaculture and Aquatic Sciences. Auburn University. Auburn, AL.

Boyd, C.E. and Tucker, C.S. 1992. Water Quality and Pond Soil Analyses for Aquaculture. Alabama Agricultural Experiment Station, Auburn University, Alabama.

Kanabkaew, T. 2003. Nitrogen Removal From Domestic Wastewater Using Aquatic Weeds. Master of Engineering Thesis in Energy and Environment at King Mongkut 's University of Technology Thonburi.

Kawai, A., Yoshida, Y. and Kinata, M. 1965. Biochemical studies on the bacteria in aquarium with circulating system. II. Nitrifying activity of the filter sand. Bull. Jap. Soc. Sci. Fish. 31: 65-71.

Penczak, T., Galicka, W., Molinski, M., Kusto, E. and Zalewski, M. 1982. The enrichment of a mesotrophic lake by carbon, phosphorus and nitrogen from the cage aquaculture of rainbow trout, *Salmo gairdneri*. J. Appl. Ecol. 19: 371-393.

Pillay, T.V.R. 1992. Aquaculture and the Environment. Fishing News Books. Oxford.

Tucker, C. S. and Robinson, E. H. 1990. Channel Catfish Farming Handbook. Van Nostrand Reinhold. New York.

ประวัติผู้วิจัย

หัวหน้าโครงการวิจัย

1. **ชื่อ-นามสกุล** (ภาษาไทย) : นายกานตกานท์ เทพณรงค์

   (ภาษาอังกฤษ) : Mr.Kantakan Thepnarong

2. **หมายเลขบัตรประชาชน** : 1829900052120

3. **ตำแหน่งปัจจุบัน** : อาจารย์ (พนักงานมหาวิทยาลัย)

4. **หน่วยงานและสถานที่อยู่ที่ติดต่อได้สะดวก**

ที่อยู่ : คณะเทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยราชภัฏสงขลา 160 ถนนกาญจนวนิช ตำบลเขารูปช้าง อำเมือง จังหวัดสงขลา 90000

เบอร์โทรศัพท์ : 084-0608695

โทรสาร : 074-336964

อีเมลล์ : racing-m@hotmail.co.th, kantakan8398@gmail.com

5. **ประวัติการศึกษา**

ปีที่สำเร็จการศึกษา	ระดับการศึกษา	คุณวุฒิ	มหาวิทยาลัย
2557	ปริญญาโท	วท.ม. วาริชศาสตร์	มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์
2552	ปริญญาตรี	วท.บ. วาริชศาสตร์	มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

6. **สาขาวิชาการที่มีความชำนาญพิเศษ**

   การจัดการคุณภาพน้ำเพื่อการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ

7. **ประสบการณ์ที่เกี่ยวข้องกับการบริหารงานวิจัย**

   7.1 ผู้อำนวยการแผนงานวิจัย

   -

   7.2 หัวหน้าโครงการวิจัย

   7.2.1 โครงการวิจัยเรื่อง ประสิทธิภาพการใช้ระบบน้ำหมุนเวียนร่วมกับผักตบชวาในการเลี้ยงปลาดุกบิ๊กอุย(หัวหน้าโครงการ)

   แหล่งทุน: กองทุนวิจัยมหาวิทยาลัยราชภัฏสงขลา

   ระยะเวลา: ปีงบประมาน 2558-ปัจจุบัน

7.3 งานวิจัยที่ทำเสร็จแล้ว

กานตกานท์ เทพณรงค์, สมหมาย เชี่ยววารีสัจจะ และ ดวงพร คันธโชติ. 2556. ประสิทธิภาพการใช้น้ำหมักชีวภาพ และอีเอ็มบอลในการบำบัดน้ำเสียจากการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำกร่อย. *ใน* การประชุมวิชาการงานเกษตรนเรศวร ครั้งที่ 11 ระหว่างวันที่ 30-31 กรกฎาคม 2556 ณ คณะเกษตรศาสตร์ทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยนเรศวร จังหวัดพิษณุโลก. หน้า 281-288.

กานตกานท์ เทพณรงค์, สมหมาย เชี่ยววารีสัจจะ และ ดวงพร คันธโชติ. 2558. ประสิทธิภาพการใช้น้ำหมักชีวภาพ และอีเอ็มบอลในการบำบัดน้ำเสียจากการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำจืด. ว.มหาวิทยาลัยทักษิณ. 18(1):15-22.

กานตกานท์ เทพณรงค์ และ สบาย ตันไทย.2559. การศึกษาอัตราการเจริญเติบโตและคุณภาพน้ำบางประการของการเลี้ยงปลาดุกบิ๊กอุยในระบบน้ำหมุนเวียนร่วมกับผักตบชวา. *ใน* งานประชุมวิชาการระดับชาติลุ่มน้ำทะเลสาบสงขลาครั้งที่ 4 และพัทลุงศึกษา-ภูมิปัญญาชุมชน-ลุ่มน้ำทะเลสาบสงขลาครั้งที่ 2 ระหว่างวันที่ 30-31 สิงหาคม 2559 ณ อาคารประชุมเฉลิมพระเกียรติ มหาวิทยาลัยทักษิณ วิทยาเขตพัทลุง. หน้า 170-177.

กานตกานท์ เทพณรงค์ และ วุฒิพร พรหมขุนทอง. 2560. การทดแทนพลังงานจากโปรตีนบางส่วนด้วยคาร์โบไฮเดรตในอาหารปลาดุกบิ๊กอุย. ว.วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี. 25(2): 267-277.

7.4 งานวิจัยที่กำลังทำ

-

มหาวิทยาลัยราชภัฏสงขลา SONGKHLA RAJABHAT UNIVERSITY

ภาคผนวก

ตารางภาคผนวก ที่ 1 อัตราการเจริญเติบโต อัตราการรอดตาย อัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อ ผลผลิตต่อพื้นที่การผลิตที่ใช้ในการเลี้ยงปลาดุก เป็นเวลา 8 สัปดาห์ (n=3)

พารามิเตอร์ / ชุดการทดลอง	T1	T2
น้ำหนักปลาเริ่มต้นการทดลอง (ก.)	9.77±0.02	10.00±0.47
น้ำหนักปลาที่เพิ่มขึ้น (ก./ตัว)	29.62 ±4.07	40.61±5.13
อัตราการเจริญเติบโตโดยน้ำหนัก (ก./วัน)	0.49±0.07	0.68±0.09
ความยาวทั้งหมด (ซม.)	18.70±0.63	19.88±1.10
ความยาวเริ่มต้น (ซม.)	11.59±0.22	11.80±0.23
ความยาวที่เพิ่มขึ้น (ซม./ตัว)	7.12±0.48	8.08±0.96
อัตราการเจริญเติบโตโดยความยาว (ซม./วัน)	0.12±0.01	0.13±0.02
อัตราการรอดตาย (%)	100±0	95.24±8.25
อัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อ	2.09±0.09	2.00±0.22
ผลผลิตต่อพื้นที่ (ก./ตร.ม.)	817.29±119.68[a]	1194.37±150.80[b]

หมายเหตุ: T1 = ระบบน้ำหมุนเวียน ผ่านชั้นกรองกายภาพ และกรองชีวภาพ
T2 = ระบบน้ำหมุนเวียน ผ่านชั้นกรองกายภาพ กรองชีวภาพ และผักตบชวา

ตารางภาคผนวกที่ 2 น้ำหนักที่เพิ่มขึ้น (กรัม/ตัว) ของปลาดุกบิ๊กอุย

ชุดการทดลอง	สัปดาห์ที่ 0	สัปดาห์ที่ 2	สัปดาห์ที่ 4	สัปดาห์ที่ 6	สัปดาห์ที่ 8
ชุดการทดลองที่ 1	0.00±0.00	5.18±1.52	11.15±2.47	22.58±3.04[a]	29.62 ±4.07[a]
ชุดการทดลองที่ 2	0.00±0.00	6.50±0.55	14.06±2.28	29.10±3.96[b]	40.61±5.13[b]

ตัวเลขที่นำเสนอเป็นค่าเฉลี่ย±ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (จากการวิเคราะห์ตัวอย่าง 3 ซ้ำ)
ค่าเฉลี่ยในสดมภ์ที่มีตัวอักษรต่างกันกำกับ มีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % (P<0.05)

ตารางภาคผนวกที่ 3 อัตราการเจริญเติบโตโดยน้ำหนัก (กรัม/ตัว/วัน) ของปลาดุกบิ๊กอุย

ชุดการทดลอง	สัปดาห์ที่ 0	สัปดาห์ที่ 2	สัปดาห์ที่ 4	สัปดาห์ที่ 6	สัปดาห์ที่ 8
ชุดการทดลองที่ 1	0.00±0.00	0.37±0.11	0.40±0.09	0.54±0.07[a]	0.49±0.07[a]
ชุดการทดลองที่ 2	0.00±0.00	0.46±0.04	0.50±0.08	0.69±0.09[b]	0.68±0.09[b]

ตัวเลขที่นำเสนอเป็นค่าเฉลี่ย±ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (จากการวิเคราะห์ตัวอย่าง 3 ซ้ำ)
ค่าเฉลี่ยในสดมภ์ที่มีตัวอักษรต่างกันกำกับ มีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % (P<0.05)

ตารางภาคผนวกที่ 4 ความยาวทั้งหมด (เซนติเมตร/ตัว) ของปลาดุกบิ๊กอุย

ชุดการทดลอง	สัปดาห์ที่ 0	สัปดาห์ที่ 2	สัปดาห์ที่ 4	สัปดาห์ที่ 6	สัปดาห์ที่ 8
ชุดการทดลองที่ 1	11.58±0.22	13.15±0.29	14.85±0.39	17.13±0.39	18.70±0.63
ชุดการทดลองที่ 2	11.80±0.23	13.36±0.59	15.37±0.95	17.63±1.68	19.88±1.10

ตัวเลขที่นำเสนอเป็นค่าเฉลี่ย±ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (จากการวิเคราะห์ตัวอย่าง 3 ซ้ำ)
ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % (P>0.05)

ตารางภาคผนวกที่ 5 ความยาวที่เพิ่มขึ้น (เซนติเมตร/ตัว) ของปลาดุกบิ๊กอุย

ชุดการทดลอง	สัปดาห์ที่ 0	สัปดาห์ที่ 2	สัปดาห์ที่ 4	สัปดาห์ที่ 6	สัปดาห์ที่ 8
ชุดการทดลองที่ 1	0.00±0.00	1.57±0.13	3.26±0.18	5.54±0.20[a]	7.12±0.48
ชุดการทดลองที่ 2	0.00±0.00	1.56±0.36	3.57±0.74	5.83±1.46[b]	8.08±0.96

ตัวเลขที่นำเสนอเป็นค่าเฉลี่ย±ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (จากการวิเคราะห์ตัวอย่าง 3 ซ้ำ)
ค่าเฉลี่ยในสดมภ์ที่มีตัวอักษรต่างกันกำกับ มีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % (P<0.05)

ตารางภาคผนวกที่ 6 อัตราเจริญเติบโตโดยความยาว (เซนติเมตร/วัน) ของปลาดุกบิ๊กอุย

ชุดการทดลอง	สัปดาห์ที่ 0	สัปดาห์ที่ 2	สัปดาห์ที่ 4	สัปดาห์ที่ 6	สัปดาห์ที่ 8
ชุดการทดลองที่ 1	0.00±0.00	0.11±0.01[a]	0.12±0.01	0.13±0.01	0.12±0.01
ชุดการทดลองที่ 2	0.00±0.00	0.11±0.03[b]	0.13±0.03	0.14±0.04	0.13±0.02

ตัวเลขที่นำเสนอเป็นค่าเฉลี่ย±ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (จากการวิเคราะห์ตัวอย่าง 3 ซ้ำ)
ค่าเฉลี่ยในสดมภ์ที่มีตัวอักษรต่างกันกำกับ มีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % ($P<0.05$)

ตารางภาคผนวกที่ 7 อุณหภูมิของน้ำ (C°) ที่ใช้ในการเลี้ยงปลาดุกบิ๊กอุย

สัปดาห์ที่	ชุดการทดลองที่ 1	ชุดการทดลองที่ 2
0	31.33±0.58	30.33±0.58
1	31.00±0.00	29.83±1.04
2	31.83±0.29	31.17±0.29
3	30.67±0.58	29.33±0.58
4	30.67±0.58	29.67±1.15
5	32.33±0.58	31.33±0.58
6	30.67±0.58	29.67±0.58
7	31.00±0.00	23.00±0.00
8	31.00±0.00	29.67±0.58

ตัวเลขที่นำเสนอเป็นค่าเฉลี่ย±ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (จากการวิเคราะห์ตัวอย่าง 3 ซ้ำ)
ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % ($P>0.05$)

มหาวิทยาลัยราชภัฏสงขลา SONGKHLA RAJABHAT UNIVERSITY

ตารางภาคผนวกที่ 8 ความเป็นกรด-ด่าง ของน้ำที่ใช้ในการเลี้ยงปลาดุกบิ๊กอุย

สัปดาห์ที่	ชุดการทดลองที่ 1	ชุดการทดลองที่ 2
0	7.50±0.28	7.66±0.06
1	7.42±0.18	7.46±0.09
2	7.12±0.29	7.27±0.08
3	6.97±0.23	7.17±0.11
4	6.22±0.44	6.66±0.08
5	5.47±0.29	5.95±0.45
6	5.49±0.14	5.64±0.17
7	5.31±0.15	5.39±0.22
8	5.27±0.09	5.08±0.20

ตัวเลขที่นำเสนอเป็นค่าเฉลี่ย±ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (จากการวิเคราะห์ตัวอย่าง 3 ซ้ำ)
ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % (P>0.05)

มหาวิทยาลัยราชภัฏสงขลา SONGKHLA RAJABHAT UNIVERSITY

ตารางภาคผนวกที่ 9 ออกซิเจนละลายน้ำ (มิลลิกรัม/ลิตร) ของน้ำที่ใช้ในการเลี้ยงปลาดุกบิ๊กอุย

สัปดาห์ที่	ชุดการทดลองที่ 1	ชุดการทดลองที่ 2
0	7.41±0.06	7.42±0.12
1	7.11±0.03	7.07±0.36
2	6.90±0.10	6.92±0.24
3	6.91±0.13	6.97±0.12
4	6.92±0.17	6.85±0.12
5	6.96±0.12	6.92±0.12
6	6.89±0.22	6.84±0.07
7	6.93±0.17	6.90±0.06
8	6.83±0.12	6.97±0.08

ตัวเลขที่นำเสนอเป็นค่าเฉลี่ย±ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (จากการวิเคราะห์ตัวอย่าง 3 ซ้ำ)
ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % (P>0.05)

มหาวิทยาลัยราชภัฏสงขลา SONGKHLA RAJABHAT UNIVERSITY

ตารางภาคผนวกที่ 10 ค่าการนำไฟฟ้า (ไมโครซีเมนส์/เซนติเมตร) ของน้ำที่ใช้ในการเลี้ยงปลาดุกบิ๊กอุย

สัปดาห์ที่	ชุดการทดลองที่ 1	ชุดการทดลองที่ 2
0	393.00±49.33	330.33±12.50
1	424.67±53.48	381.33±29.26
2	459.00±52.60	425.00±26.15
3	493.67±49.66	484.00±21.93
4	552.67±54.63	572.33±28.43
5	608.00±51.12	652.67±30.27
6	680.67±51.33	783.33±46.07
7	710.00±43.97[a]	836.00±49.76[b]
8	759.33±39.00	906.67±85.01

ตัวเลขที่นำเสนอเป็นค่าเฉลี่ย±ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (จากการวิเคราะห์ตัวอย่าง 3 ซ้ำ)
ค่าเฉลี่ยในแถวที่มีตัวอักษรต่างกันกำกับ มีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % (P<0.05)

มหาวิทยาลัยราชภัฏสงขลา SONGKHLA RAJABHAT UNIVERSITY

ตารางภาคผนวกที่ 11 ของแข็งแขวนลอยของน้ำ (มิลลิกรัม/ลิตร) ที่ใช้ในการเลี้ยงปลาดุกบิ๊กอุย

สัปดาห์ที่	ชุดการทดลองที่ 1	ชุดการทดลองที่ 2
0	0.0033±0.0027	0.0029±0.0030
1	0.0017±0.0016	0.0009±0.0002
2	0.0024±0.0016	0.0024±0.0008
3	0.0013±0.0006	0.0011±0.0005
4	0.0016±0.0007	0.0013±0.0010
5	0.0008±0.0004	0.0008±0.0007
6	0.0048±0.0004	0.0030±0.0027
7	0.0006±0.0003	0.0007±0.0002
8	0.0010±0.0003	0.0011±0.0006

ตัวเลขที่นำเสนอเป็นค่าเฉลี่ย±ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (จากการวิเคราะห์ตัวอย่าง 3 ซ้ำ)
ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % (P>0.05)

มหาวิทยาลัยราชภัฏสงขลา SONGKHLA RAJABHAT UNIVERSITY

ตารางภาคผนวกที่ 12 ค่าบีโอดีของน้ำ (มิลลิกรัม/ลิตร) ที่ใช้ในการเลี้ยงปลาดุกบิ๊กอุย

สัปดาห์ที่	ชุดการทดลองที่ 1	ชุดการทดลองที่ 2
0	0.37±0.15	0.37±0.26
1	2.33±0.92	2.40±0.61
2	2.29±0.51	2.55±0.67
3	2.47±0.57	2.77±0.88
4	2.75±1.11	3.81±1.07
5	0.79±0.58	0.40±0.46
6	1.81±1.08	1.69±1.11
7	3.73±1.03	2.09±1.00
8	4.73±0.34[a]	3.35±0.29[b]

ตัวเลขที่นำเสนอเป็นค่าเฉลี่ย±ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (จากการวิเคราะห์ตัวอย่าง 3 ซ้ำ)

ค่าเฉลี่ยในแถวที่มีตัวอักษรต่างกันกำกับ มีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % (P<0.05)

มหาวิทยาลัยราชภัฏสงขลา SONGKHLA RAJABHAT UNIVERSITY

ตารางภาคผนวกที่ 13 ปริมาณแอมโมเนียของน้ำ (มิลลิกรัมไนโตรเจน/ลิตร) ที่ใช้ในการเลี้ยงปลาดุกบิ๊กอุย

สัปดาห์ที่	ชุดการทดลองที่ 1	ชุดการทดลองที่ 2
0	0.043±0.028	0.048±0.029
1	0.086±0.026	0.063±0.028
2	0.119±0.021	0.117±0.037
3	0.333±0.041	0.342±0.029
4	0.587±0.054	0.587±0.066
5	0.196±0.039	0.229±0.031
6	0.333±0.022	0.353±0.021
7	0.488±0.019[a]	0.446±0.017[b]
8	0.661±0.026[a]	0.588±0.010[b]

ตัวเลขที่นำเสนอเป็นค่าเฉลี่ย±ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (จากการวิเคราะห์ตัวอย่าง 3 ซ้ำ)

ค่าเฉลี่ยในแถวที่มีตัวอักษรต่างกันกำกับ มีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % ($P<0.05$)

มหาวิทยาลัยราชภัฏสงขลา SONGKHLA RAJABHAT UNIVERSITY

ตารางภาคผนวกที่ 14 ปริมาณไนไตรท์ของน้ำ (มิลลิกรัมไนโตรเจน/ลิตร) ที่ใช้ในการเลี้ยงปลาดุกบิ๊กอุย

สัปดาห์ที่	ชุดการทดลองที่ 1	ชุดการทดลองที่ 2
0	0.014±0.004	0.017±0.006
1	0.052±0.005	0.048±0.002
2	0.043±0.008	0.041±0.006
3	0.052±0.005	0.047±0.010
4	0.063±0.005	0.053±0.004
5	0.023±0.011	0.016±0.007
6	0.047±0.004	0.037±0.011
7	0.055±0.006	0.045±0.008
8	0.060±0.007	0.048±0.002

ตัวเลขที่นำเสนอเป็นค่าเฉลี่ย±ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (จากการวิเคราะห์ตัวอย่าง 3 ซ้ำ)
ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % (P>0.05)

มหาวิทยาลัยราชภัฏสงขลา SONGKHLA RAJABHAT UNIVERSITY

ตารางภาคผนวกที่ 15 ปริมาณไนเตรทของน้ำ (มิลลิกรัมไนโตรเจน/ลิตร) ที่ใช้ในการเลี้ยงปลาดุกบิ๊กอุย

สัปดาห์ที่	ชุดการทดลองที่ 1	ชุดการทดลองที่ 2
0	0.020±0.013	0.020±0.009
1	0.036±0.010	0.046±0.012
2	0.070±0.012	0.072±0.002
3	0.075±0.013	0.071±0.010
4	0.073±0.010	0.072±0.006
5	0.048±0.015	0.052±0.009
6	0.026±0.005	0.035±0.004
7	0.052±0.006	0.039±0.006
8	0.062±0.005[a]	0.052±0.003[b]

ตัวเลขที่นำเสนอเป็นค่าเฉลี่ย±ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (จากการวิเคราะห์ตัวอย่าง 3 ซ้ำ)

ค่าเฉลี่ยในแถวที่มีตัวอักษรต่างกันกำกับ มีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % ($P<0.05$)

มหาวิทยาลัยราชภัฏสงขลา SONGKHLA RAJABHAT UNIVERSITY

ตารางภาคผนวกที่ 16 ปริมาณฟอสเฟตของน้ำ (มิลลิกรัมฟอสฟอรัส/ลิตร) ที่ใช้ในการเลี้ยงปลาดุกบิ๊กอุย

สัปดาห์ที่	ชุดการทดลองที่ 1	ชุดการทดลองที่ 2
0	0.008±0.004	0.010±0.004
1	0.020±0.004	0.023±0.005
2	0.022±0.003	0.020±0.005
3	0.046±0.010	0.052±0.003
4	0.091±0.006	0.093±0.005
5	0.037±0.004	0.039±0.007
6	0.085±0.015	0.084±0.012
7	0.104±0.009	0.092±0.004
8	0.115±0.008[a]	0.100±0.003[b]

ตัวเลขที่นำเสนอเป็นค่าเฉลี่ย±ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (จากการวิเคราะห์ตัวอย่าง 3 ซ้ำ)
ค่าเฉลี่ยในแถวที่มีตัวอักษรต่างกันกำกับ มีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % (P<0.05)

มหาวิทยาลัยราชภัฏสงขลา SONGKHLA RAJABHAT UNIVERSITY