วารสารแก่นเกษตร
THAIJO

Content List Available at ThaiJo

Khon Kaen Agriculture Journal

Journal Home Page : https://li01.tci-thaijo.org/index.php/agkasetkaj

การเลี้ยงปลาชะโอนระดับความหนาแน่นที่แตกต่างกันในระบบน้ำหมุนเวียนแบบปิดขนาดเล็กในพื้นที่มีปริมาณน้ำที่จำกัดของต้นแบบเกษตรอัจฉริยะบนระบบไอโอที (IoT)

Culturing butter catfish (*Ompok bimaculatus* (Bloch, 1794)) in different densities in the small closed recirculating aquaculture system (RAS) under the limited water supply area of the smart agriculture model on the iot system

ชลิญญา สุดา[1], สายัณห์ อุ่นนันกาศ[2], โดม อดุลย์สุข[1], จงกล พรมยะ[1] และ จอมสุดา ดวงวงษา[1]*

Chalinya Suda[1], Sayan Unankard[2], Dome Adoonsook[1], Jongkon Promya[1] and Jomsuda Duanwongsa[1]*

[1] *คณะเทคโนโลยีการประมงและทรัพยากรทางน้ำ มหาวิทยาลัยแม่โจ้*
[1] *Faculty of Fisheries Technology and Aquatic Resources Maejo University*
[2] *คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยแม่โจ้*
[2] *Faculty of Science Maejo University*

บทคัดย่อ: การเลี้ยงปลาชะโอนระดับความหนาแน่นที่แตกต่างกันในระบบน้ำหมุนเวียนแบบปิดขนาดเล็กในพื้นที่มีปริมาณน้ำที่จำกัดของต้นแบบเกษตรอัจฉริยะบนระบบ IoT (Internet of Things) แบ่งการทดลองออกเป็น 4 ชุดการทดลองละ 3 ซ้ำโดยระดับความหนาแน่นของปลาในบ่อทดลอง 4 ระดับคือ 250, 300, 350 และ 400 ตัว/ตร.ม. ขนาดบ่อพลาสติกทรงกลม 1,000 ล. จุน้ำ 800 ล. ปลามีน้ำหนักและความยาวเริ่มต้นเฉลี่ย 1.31 ก. และ1.80 ซม. ทำการทดลองเป็นระยะเวลา 24 สัปดาห์ ผลการทดลองพบว่าประสิทธิภาพการเจริญเติบโตในด้านน้ำหนักและความยาวของปลาชะโอนไม่มีความแตกต่างทางสถิติ (P>0.05) และอัตราการรอดตายของระดับความหนาแน่นของปลาในบ่อทดลองที่ 250, 300, 350 และ 400 ตัว/ตร.ม. เท่ากับ 100 ± 0.00, 100±0.00, 99.28±0.01 และ 98.92±0.02 ตามลำดับ และไม่มีความแตกต่างทางสถิติ (p>0.05) ส่วนการรายงานผลและการแจ้งเตือนของคุณภาพน้ำโดยใช้ระบบเกษตรอัจฉริยะบนระบบไอโอที IoT (Internet of Things) ที่พัฒนาซอฟต์แวร์โดยทีมวิจัยนี้ เทียบกับการวิเคราะห์คุณภาพน้ำตามวิธีมาตรฐานในห้องปฏิบัติการตลอดระยะการเลี้ยง พบว่าไม่มีความแตกต่างทางสถิติ (p>0.05) ซึ่งมีค่าปริมาณออกซิเจนละลายในน้ำ มีค่าระหว่าง 7.01-7.91 มก./ล ค่ากรด-ด่าง มีค่าระหว่าง 6.82-7.89 อุณหภูมิ มีค่าระหว่าง 25.32-26.64 °C และ ความขุ่นในน้ำ มีค่าระหว่าง 12.49-12.88 NTU ซึ่งเป็นค่าที่อยู่ในระดับเหมาะสมกับการเลี้ยงปลาน้ำจืด เป็นเหตุทำให้ระบบแจ้งเตือนไม่ทำงานเนื่องจากไม่มีค่าพารามิเตอร์ตัวใดผิดปกติ ในด้านปริมาณน้ำของการเลี้ยงปลาชะโอนในระบบน้ำหมุนเวียนแบบปิดขนาดเล็กใช้น้ำทั้งระบบตลอดระยะเวลาในการเลี้ยงเท่ากับ 14.40 ตัน ไม่รวมปริมาณน้ำที่เติมจากการระเหยระหว่างการเลี้ยง ดังนั้นจึงสรุปว่าระดับความหนาแน่นที่เหมาะสมสำหรับการเลี้ยงปลาชะโอนในระบบน้ำหมุนเวียนจากการทดลองครั้งนี้สามารถเลี้ยงได้ถึง 400 ตัว/ตร.ม. และการใช้ต้นแบบเกษตรอัจฉริยะบนระบบ IoT เพื่อรายงานผลและแจ้งเตือนคุณภาพน้ำของบ่อเลี้ยงสัตว์น้ำจืดในพื้นที่ที่มีน้ำจำกัดได้อย่างมีประสิทธิภาพ

คำสำคัญ: ปลาชะโอน; ระบบน้ำหมุนเวียน; ระบบไอโอที; การเลี้ยงปลาในระบบปิด

* Corresponding author: daungwongsa2000@gmail.com

Received: date; May 11, 2021 Accepted: date; September 8, 2021 Published: date; January 15, 2022

ABSTRACT: The Butter catfish cultured in different densities in the small closed recirculating system under the limited water supply area of the smart agriculture model on the IoT system was divided into 4 treatments including 250, 300, 350, and 400 fish per square meter with 3 replications. The size of a plastic pond was 1,000 liters with a capacity of 800-liter water. The fish had an average initial weight of 1.31 grams and length of 1.80 centimeters. The experiment had been conducted for 24 weeks. The results showed that the growth efficiency of Butter catfish in terms of weight and length was not statistically different (P>0.05). Moreover, the survival rates of fish in the ponds at 250, 300, 350 and 400 fish per square meter were 100 ± 0.00, 100 ± 0.00, 99.28 ± 0.01 and 98.92 ± 0.02, respectively, and there was no statistical difference (p>0.05). Water quality monitoring and notification using the Smart Agriculture IoT system, developed by our research team, were compared with the standard method in the laboratory throughout the culture period. Four water quality parameters were measured. Dissolved oxygen was between 7.01-7.91 mg/l, pH was between 6.82-7.89, temperature was between 25.32-26.64 °C and turbidity in water was 12.49-12.88 NTU. All four parameters were at the appropriate level for fish culture so that there was no notification from the system. In terms of water quantity in fish farming, the use of water throughout the farming period was only 14.40 tons. The amount of water added from evaporation during aquaculture was not included. Therefore, it can be concluded that the optimum density for this fish culture can be raised up to 400 fish per square meter and the use of smart agriculture prototypes on the IoT system was effective.
Keywords: *Ompok bimaculatus* (Bloch, 1794); Recirculating Aquaculture System (RAS); Internet of Thing; Closed Systems

บทนำ

เนื่องจากปริมาณของสัตว์น้ำตามธรรมชาติลดลงจากการทำประมงและความเสื่อมโทรมของทรัพยากรทางน้ำ ส่งผลทำให้การเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำของเกษตรกรรายย่อยในบางพื้นที่ ไม่สามารถเลี้ยงสัตว์น้ำเป็นอาชีพหลักหรืออาชีพเสริมได้เนื่องจากมีปริมาณน้ำในการเลี้ยงสัตว์น้ำอย่างจำกัด ดังนั้นหากเกษตรกรรายย่อยมีความสนใจในการเลี้ยงสัตว์น้ำจะต้องคำนึงถึงมูลค่าทางเศรษฐกิจของสัตว์น้ำ และการนำใช้เทคโนโลยีในการเลี้ยงเพื่อให้เป็นรายได้หลักหรือรายได้เสริมให้คุ้มค่าทางเศรษฐกิจ และการนำเทคโนโลยีการเลี้ยงสัตว์น้ำในระบบน้ำหมุนเวียน (Recirculating Aquaculture Systems, RAS) ซึ่งเป็นการเลี้ยงสัตว์น้ำแบบปิดที่มีการนำน้ำที่ผ่านการเลี้ยงจะถูกนำไปบำบัดน้ำโดยระบบกรองชีวภาพที่มีการใช้จุลินทรีย์ก่อนหมุนเวียนน้ำกลับมาใช้ใหม่ ลดการใช้น้ำจากภายนอกระบบ จึงสามารถลดการใช้น้ำได้ถึง 90-99 % นอกจากนี้ยังสามารถเลี้ยงสัตว์น้ำให้เจริญเติบโตได้ดีในสภาพการเลี้ยงที่มีความหนาแน่นสูง (กาญจนรี, 2562) และการใช้ระบบน้ำหมุนเวียนสามารถลดการใช้น้ำ ลดผลกระทบจากน้ำทิ้งจากการเพาะเลี้ยงสู่สิ่งแวดล้อม และทำให้สามารถเพาะเลี้ยงปลาให้เติบโตได้ตลอดทั้งปีทุกฤดูกาล ที่มีปริมาณน้ำที่จำกัด (วรพงษ์ และสายชล, 2560) ซึ่งการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำความหนาแน่นในระบบปิดสามารถควบคุมปัจจัยการเลี้ยงทั้งภายนอกและภายในให้มีความสมดุลและเหมาะสมได้ (Rawlinson, 2002; Ionno et al., 2006)

ปลาชะโอน หรือปลาเนื้ออ่อน เป็นปลาที่มีสารอาหารสูง มีรสชาติดีส่งผลทำให้มีราคาสูง และมีคุณค่าทางโภชนาการ โดยมีปริมาณ โปรตีน 13.93 % ไขมัน 3.92 % (Paul et al., 2018) โซเดียม 1032.41 มก./กก. โพแทสเซียม 13428.02 มก./กก. และแคลเซียม 3152.30 มก./กก. จากการสำรวจปริมาณวิตามินพบว่ามีวิตามินที่ละลายในไขมัน เช่น วิตามิน A, D, E และ K มีปริมาณที่มากซึ่งเป็นประโยชน์ต่อสุขภาพ (Alam, et al., 2016) จึงนิยมนำมาประกอบอาหารได้หลากหลาย ซึ่งในปัจจุบันยังนำมาเลี้ยงเป็นปลาสวยงาม (ชลธิศักดิ์ และคณะ, 2536; อัมพร, 2549) โดยปลาสดมีราคาประมาณ 160-380 บาท/กก. (ตลาดไท, 2564) ซึ่งถือเป็นปลาน้ำจืดที่มีความสำคัญทางเศรษฐกิจของประเทศไทย ในปี 2562 จากการนำเข้าปลาชะโอนในรูปแบบแช่แข็งปริมาณ 107.32 ตัน คิดเป็นมูลค่า 10,421,751 บาท (ด่านตรวจสัตว์น้ำจังหวัดสุรินทร์, 2562) ในอดีตการเลี้ยงปลาชะโอน ขนาด 2.07 ซม. ในบ่อดิน มีอัตราการปล่อย 4 ตัว/ตร.ม. และการเลี้ยงในกระชัง มีอัตราการปล่อย 25 ตัว/ตร.ม. (ศูนย์วิจัยและพัฒนาประมงน้ำจืดชลบุรี, 2533) การอนุบาลปลาชะโอนขนาด 5.69 ซม. ในถังพลาสติกมีความหนาแน่นที่เหมาะสมในการอนุบาล คือ 2 ตัว/ล. (อัมพร, 2549) เนื่องจากการเลี้ยงปลาชะโอนซึ่งเป็นสัตว์เศรษฐกิจที่มีมูลค่าทางเศรษฐกิจสูง ด้วยเหตุนี้จึงมีการศึกษาและพัฒนาการเลี้ยงปลาชะโอนความหนาแน่นสูง ในระบบปิดและพื้นที่ปริมาณน้ำที่จำกัด ให้เกิดผลประโยชน์สูงสุดแก่เกษตรกร เป็นอีกหนึ่งทางเลือกของเกษตรกรรายย่อยสามารถช่วยเอื้ออำนวยความสะดวกในการเลี้ยงและลดต้นทุนในการผลิตได้ การนำเทคโนโลยีมาใช้ประโยชน์สามารถเชื่อมต่อกับมนุษย์ได้ หรือ

Internet of Things (IoT) โดยอาศัยโครงสร้างพื้นฐานทางการสื่อสารหรืออินเทอร์เน็ตเพื่อการใช้ประโยชน์จากทรัพยากรให้เกิดความคุ้มค่าสูงสุด เช่น การใช้เซ็นเซอร์ต่าง ๆ ที่เชื่อมผ่านเครือข่ายอินเทอร์เน็ต (Buyya, and Dastjerdi, 2016) การนำเทคโนโลยีสารสนเทศมาใช้ให้เกิดประโยชน์และผสมผสานกับเทคโนโลยีด้านอื่น ๆ เช่น คอมพิวเตอร์ อิเล็กทรอนิกส์ ไอที สื่อสาร และเซ็นเซอร์ เทคโนโลยีชีวภาพ (Soni et al., 2011) อีกทั้งการทำฟาร์มอัจฉริยะจึงเป็นแนวทางในการเกษตร เพื่อให้เกิดการผลิตสินค้าเกษตรที่เหมาะสมมีประสิทธิภาพ และช่วยส่งเสริมให้มีการใช้ทรัพยากรอย่างคุ้มค่าไม่ทำลายสิ่งแวดล้อม สามารถเพิ่มปริมาณและคุณภาพของผลผลิต เพิ่มรายได้ ลดต้นทุน ลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม สะดวกและรวดเร็วสามารถคาดการณ์ล่วงหน้าได้ นำไปสู่การเกษตรยั่งยืนและเป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม (จักรกฤษณ์, 2559) เช่น การนำเทคโนโลยีเข้ามาช่วยในการบริหารจัดการฟาร์มเกษตรอัจฉริยะเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพ การรายงานผลคุณภาพน้ำ ในการเลี้ยงสัตว์น้ำ โดยการใช้เครื่องมือในการตรวจสอบ แจ้งเตือน รายงานผลคุณภาพน้ำอัตโนมัติ และสามารถแจ้งเตือนให้เกษตรกรได้ทันที ก่อนที่จะเกิดความเสียหายต่อผลผลิตของสัตว์น้ำ

ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาระดับความหนาแน่นและอัตราการเจริญเติบโตของปลาชะโอนในระบบน้ำหมุนเวียนแบบปิดขนาดเล็ก โดยใช้ต้นแบบอัจฉริยะบนระบบไอโอที IoT (Internet of Things) มาจัดการคุณภาพน้ำร่วมกับการเลี้ยงปลาชะโอนเพื่อเป็นแนวทางแก่เกษตรในการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำสำหรับพื้นที่มีปริมาณน้ำที่จำกัด

วิธีการศึกษา

การเตรียมสัตว์ทดลอง

การทดลองโดยใช้สถานที่แปลงสาธิตคณะเทคโนโลยีการประมงและทรัพยากรทางน้ำ มหาวิทยาลัยแม่โจ้ จ. เชียงใหม่ ลูกปลาชะโอนที่ใช้ทดลอง จากศูนย์วิจัยและพัฒนาประมงน้ำจืดสุราษฎร์ธานี ขนาดน้ำหนักเริ่มต้นเฉลี่ย 1.31 ก. และความยาวเฉลี่ย 1.80 ซม. นำลูกปลาเลี้ยงในบ่อพักเติมอากาศ ขนาด 1,000 ลิตร (เส้นผ่าศูนย์กลาง 150 ซม. สูง 80 ซม.) มีจำนวนทั้งหมด 4,000 ตัว โดยใช้ปลาในการทดลองจำนวน 3,900 ตัว (เตรียมปลามากกว่าจำนวนปลาที่ใช้ในการทดลอง) และให้อาหารวันละ 4 ครั้ง เพื่อปรับตัวให้เข้ากับสิ่งแวดล้อมเป็นเวลา 7 วัน โดยสังเกตพฤติกรรมการยอมรับอาหารของลูกปลา (กานตกานท์, 2561)

การเตรียมบ่อเลี้ยงด้วยระบบน้ำหมุนเวียน

การออกแบบระบบน้ำหมุนเวียนแบบปิดขนาดเล็ก ประกอบด้วยบ่อพลาสติกขนาด 1,000 ล. (กว้าง 150 ซม. สูง 80 ซม.) ทั้งหมด 14 บ่อ แบ่งออกเป็น บ่อทดลองเลี้ยง จำนวน 12 บ่อ จุน้ำ 800 ล. และบ่อกรองชีวภาพ จำนวน 2 บ่อ จุน้ำที่ 400 ล. ซึ่งเป็นบ่อบำบัดโดยอาศัยกระบวนการแบคทีเรียกลุ่มไนตริฟิเคชันเป็นหลัก โดยน้ำที่ผ่านการบำบัดไหลหมุนเวียนคืนสู่บ่อเลี้ยงอย่างต่อเนื่อง แบคทีเรียกลุ่มนี้สามารถเจริญได้ดีต้องไปยึดเกาะอยู่บนพื้นผิวของวัสดุ (สุภาวดี, 2557) ภายในบรรจุผ้าสแลนสีดำน้ำหนัก 5 กก. โดยการจัดวางของบ่อในพื้นที่ต่างระดับเพื่อลดการใช้พลังงานในการขับเคลื่อนมวลน้ำ **(Figure 1)** ใช้ปั๊มขนาด 220-240 วัตต์ ยี่ห้อ Atman Ax-8000 สามารถขับเคลื่อนมวลน้ำได้ 8,000 ล./ชม. โดยมีปริมาณน้ำทั้งระบบ 14.40 ตัน สามารถหมุนเวียนน้ำทั้งระบบได้ภายในเวลา 2 ชม. 20 นาที/รอบ วันละ 10 รอบ คิดเป็นปริมาตรน้ำที่หมุนเวียน 117,069.12 ลิตร/วัน และในบ่อเลี้ยงมีการหมุนเวียนน้ำที่ 6.77 ลิตร/นาที/บ่อ น้ำที่ใช้เลี้ยงถูกส่งผ่านการกรองด้วยใยกรองขนาด 200 ไมครอน ให้อากาศด้วยปั๊มลมผ่านหัวทราย และมีการเติมน้ำที่พักไว้อย่างน้อย 7 วันก่อนเติมเข้าในระบบบ่อเลี้ยง ประมาณ 5 ซม. ต่อ 12 สัปดาห์ เป็นปริมาตรน้ำเท่ากับ 2,021 ล. เนื่องจากเกิดการระเหยของน้ำระหว่างการเลี้ยง

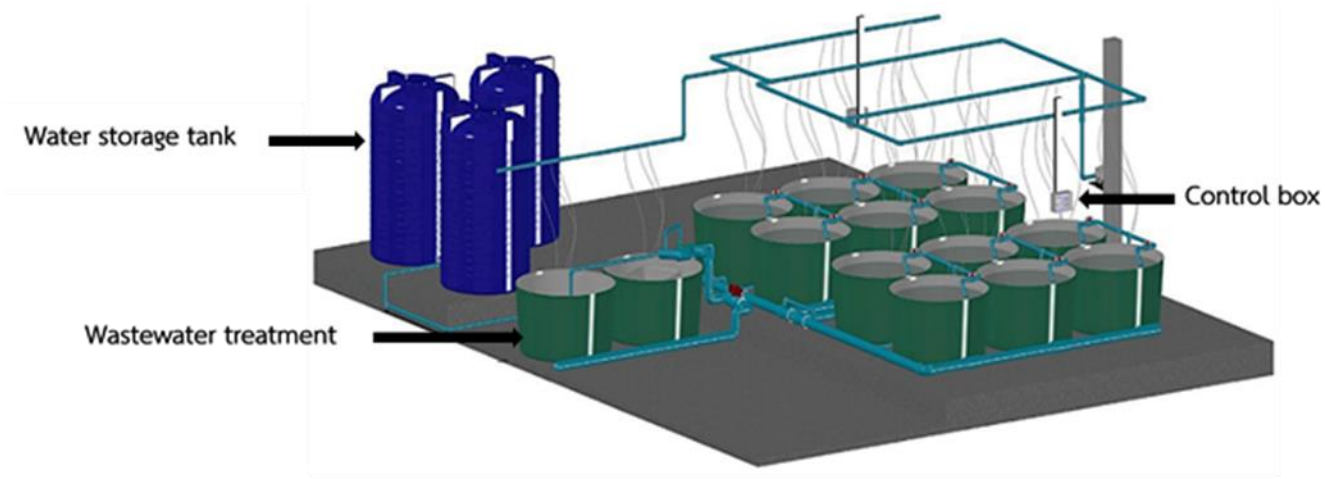


Figure 1 Recirculation Aquaculture Tanks; RAT

แผนการทดลอง

วางแผนการทดลอง แบบ CRD (Completely Randomized Design, CRD) โดยบ่อพลาสติกที่ใช้ในการเลี้ยงมีความสม่ำเสมอ สุ่มบ่อพลาสติกสำหรับเลี้ยงลูกปลาในระดับความหนาแน่นแตกต่างกัน 4 ระดับ (ชุดทดลอง: Treatments) ระดับละ 3 ซ้ำ (Replications) ดังนี้

ชุดการทดลองที่ 1 ระดับความหนาแน่น ของปลาชะโอน 250 ตัว/ตร.ม.

ชุดการทดลองที่ 2 ระดับความหนาแน่น ของปลาชะโอน 300 ตัว/ตร.ม.

ชุดการทดลองที่ 3 ระดับความหนาแน่น ของปลาชะโอน 350 ตัว/ตร.ม.

ชุดการทดลองที่ 4 ระดับความหนาแน่น ของปลาชะโอน 400 ตัว/ตร.ม.

การเลี้ยงระหว่างการทดลอง

ทำการสุ่มนับและชั่งน้ำหนักลูกปลาเฉลี่ยเริ่มต้นเพื่อเลี้ยงในบ่อทดลอง ด้วยความหนาแน่น ที่แตกต่างกัน 4 ระดับ คือ 250, 300, 350 และ 400 ตัว/ตร.ม. ให้อาหารด้วยอาหารมีชีวิต (ไรแดง) ใน 8 สัปดาห์แรก และให้อาหารเม็ดลอย ที่มีระดับโปรตีนไม่ต่ำกว่า 30 % วันละ 4 ครั้ง (08.00 น., 12.00 น., 16.00 น. และ20.00 น.) โดยให้อาหารแบบให้กินจนอิ่ม (satiation) ด้วยการสังเกตพฤติกรรมการกินอาหาร (appetite) ของปลา บันทึกปริมาณอาหารที่ปลากิน โดยใช้ระยะเวลาในการเลี้ยงระหว่างวันที่ 1 กรกฎาคม ถึง 25 ธันวาคม 2563 เป็น 24 สัปดาห์ คุณภาพน้ำที่เหมาะสมสำหรับการเลี้ยง pH 6-9, อุณหภูมิ 27-29 °C, ความขุ่น 5-10 NTU, แอมโมเนียที่น้อยกว่า 1 mg/l (จรียา และคณะ, 2556) ซึ่งคุณภาพน้ำจะรายงานผล และแจ้งเตือนโดยระบบไอโอที IoT (Internet of Things) ซึ่งพัฒนาซอฟต์แวร์ด้วยทีมวิจัยนี้ (Duangwongsa, J. et al, 2021) ในขณะเดียวกันได้ตรวจวัดด้วยวิธีการมาตฐานในห้องปฏิบัติการเพื่อยืนยันความแม่นยำ

การคำนวนการเจริญเติบโต

ทำการสุ่มปลาจำนวน 20 % ของแต่ละซ้ำ นำมาชั่งน้ำหนักปลาด้วยเครื่องชั่งดิจิตอล ทศนิยม 2 ตำแหน่ง และวัดความยาวทุก 4 สัปดาห์ โดยงดให้อาหารปลา 1 วันก่อนชั่งน้ำหนัก (วรพงษ์, 2562) นำข้อมูลน้ำหนัก ความยาว น้ำหนักอาหารที่กินมาคำนวณ เพื่อประเมินการเจริญเติบโต และอัตราการรอด ในแต่ละชุดการทดลอง ตามวิธีของ Halver (1972) ได้แก่ น้ำหนักสุดท้ายเมื่อสิ้นสุดการทดลอง (Final Weight: FW), น้ำหนักที่เพิ่ม (Weight Gain: WG), ความยาวเฉลี่ย (Average Total length: ATL), อัตราการ

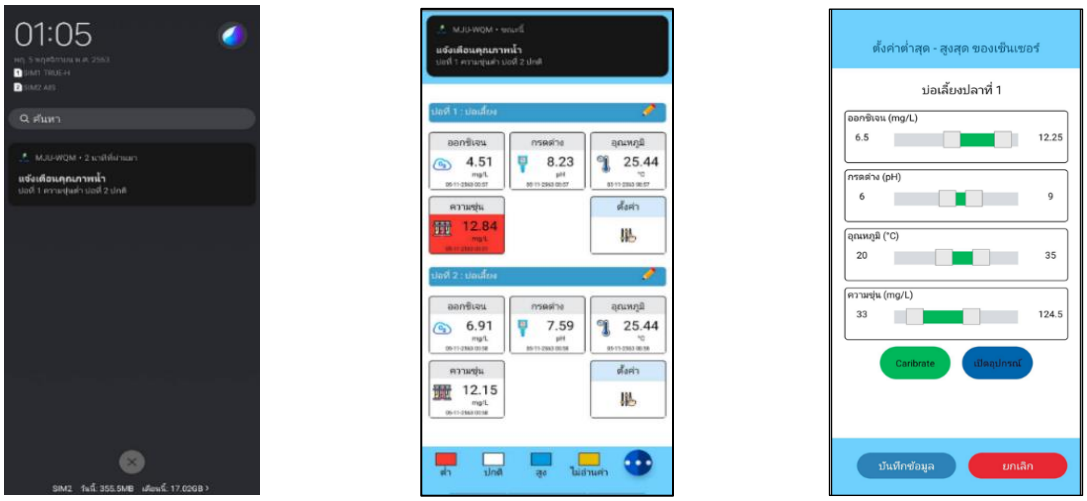
เจริญเติบโตต่อวัน (Average Daily Gain: ADG), อัตราการแลกเนื้อ (Feed conversion ratio: FCR) และอัตราการรอด (Survival Rate: SR%)

การตรวจสอบคุณภาพน้ำ

การจัดการคุณภาพน้ำด้วยระบบ IoT (Internet of Thing) ซึ่งเป็นแอปพลิเคชันที่พัฒนาซอฟต์แวร์ขึ้นมาโดยทีมวิจัยนี้ (Duangwongsa, J. et al, 2021) โดยใช้ระบบเซนเซอร์ที่เป็นไมโครคอนโทรลเลอร์ และแสดงผลเป็นแอปพลิเคชันบนมือถือ **(Figure 2)** สำหรับจัดการข้อมูล รายงานผลและแจ้งเตือนข้อมูล ระบบการแจ้งเตือนจะถูกควบคุมการทำงานบอร์ดส่งสัญญาณ WiFi ในแต่ละบ่อการทดลอง เพื่อนำข้อมูลที่วัดค่าได้ไปยังผู้ใช้ระบบผ่านแอปพลิเคชันบนมือถือ ซึ่งผู้วิจัยได้ทำการทดสอบซอฟต์แวร์ อุปกรณ์เซนเซอร์กับบ่อเลี้ยง และเปรียบเทียบคุณภาพด้วยวิธีมาตรฐานในห้องปฏิบัติการ พบว่าผลไม่มีความแตกต่างกัน ดังนั้นเซนเซอร์และซอฟต์แวร์มีประสิทธิภาพในการตรวจวัด เมื่อพารามิเตอร์คุณภาพน้ำมีค่าผิดปกติ คือ เมื่อมีค่าสูงกว่า หรือต่ำกว่า ค่ามาตรฐานที่กำหนดไว้ให้เหมาะสมกับสัตว์น้ำ โดยบอร์ด Arduino Nano 3.0 ถูกใช้เป็นตัวควบคุมการทำงานในการอ่านค่าอนาล็อกจากเซนเซอร์แต่ละตัว โดยเทคโนโลยีไอโอที IoT (Internet of Thing) แบบไร้เซิร์ฟเวอร์ ถูกสร้างขึ้นโดยใช้ Firebase Realtime Database (RTDB) และ ESP8266 ในงานวิจัยนี้ติดตั้งอุปกรณ์เซนเซอร์ตรวจวัดพารามิเตอร์ของคุณภาพน้ำที่กล่าวมาข้างต้น ตลอด 24 ชั่วโมงและแจ้งเตือนรายงานผลทุก 5 นาที โดยติดตั้ง จำนวน 2 ชุด เพื่อยืนยันข้อมูลในการรายงานผลและแสดงผลประกอบด้วยพารามิเตอร์ที่สำคัญในการเลี้ยงสัตว์น้ำ 4 พารามิเตอร์ คือ

1. ปริมาณออกซิเจนละลายในน้ำ Dissolved Oxygen (DO) โดยเซนเซอร์วัดค่าปริมาณออกซิเจนละลายในน้ำ (DO Analog Dissolved Oxygen Sensor) มีลักษณะหัวโพรบประเภท Galvanic Probe
2. กรด-ด่าง (pH) โดยใช้เซนเซอร์วัดค่า กรด-ด่าง (PH) (Analog pH Sensor)
3. อุณหภูมิ (Temperature) โดยใช้ระบบเซนเซอร์วัดอุณหภูมิในน้ำ (Water temperature sensor)
4. ความขุ่นในน้ำ (Turbidity) โดยใช้ระบบเซนเซอร์วัดความขุ่นในน้ำ (Turbidity sensor) ให้ค่าเอาต์พุตแบบ Analog/Digital)

หมายเหตุ : ได้มีการตรวจวัด ค่าแอมโมเนีย ไนไตรท์ และไนเตรท ในห้องปฏิบัติการเพื่อควบคุมค่าดังกล่าวแต่ไม่ได้นำมาวิเคราะห์เปรียบเทียบกับระบบ IoT เนื่องจากอุปกรณ์ฮาร์ดแวร์การตรวจสอบ ค่าแอมโมเนีย ไนไตรท์ และไนเตรท มีมูลค่าหรือราคาที่สูงซึ่งเป็นข้อจำกัดของงานวิจัยนี้



(A) (B) (C)

Figure 2 Water quality alerts through mobile applications. **(A)** Notification bar; **(B)** screen showing the water quality in the farm; **(C)** Water quality standard setting screen.

การวิเคราะห์ทางสถิติ

นำข้อมูลทั้งหมดมาวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) และ เปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยแต่ละชุดการ ทดลองโดยวิธี Duncan's new multiple rang test ด้วยโปรแกรมสำเร็จรูปทางสถิติ SPSS.15 ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 %

ผลการศึกษา

การศึกษาที่ 1 ระดับความหนาแน่นและอัตราการเจริญเติบโตของปลาชะโอนในระบบน้ำหมุนเวียนแบบปิดขนาดเล็ก

ผลการทดลองเลี้ยงปลาชะโอนในระบบน้ำหมุนเวียนแบบปิดขนาดเล็กเป็นระยะเวลา 24 สัปดาห์ ในระดับของความหนาแน่นที่แตกต่างกัน คือ 250, 300, 350 และ400 ตัว/ตร.ม. พบว่าค่าน้ำหนักสุดท้ายมีค่าเฉลี่ยมากที่สุดในระดับความหนาแน่น 400, 300, 350 และ 250 ตัว/ตร.ม. เท่ากับ 66.89±5.45, 65.57±5.19, 59.66±4.81 และ 59.02±4.14 ก. ตามลำดับ ความยาวสุดท้ายมีค่าเฉลี่ยมากที่สุดในระดับความหนาแน่นที่ 300, 400, 350 และ 250 ตัว/ตร.ม. เท่ากับ 22.52±0.41, 22.25±0.46, 22.24±0.48 และ 21.86±0.47 ซม. ตามลำดับ พบว่าความหนาแน่นทั้ง 4 ระดับ มีค่าไม่แตกต่างทางสถิติ ($p>0.05$) ส่วนอัตราการรอดมีค่าเฉลี่ยมากที่สุดในระดับความหนาแน่นที่ 250, 300, 350 และ 400 ตัว/ตร.ม. เท่ากับ 100±0.00,100±0.00, 99.28±0.01 และ98.92±0.02 % ตามลำดับ **(Table 1)** ซึ่งมีค่าไม่แตกต่างทางสถิติ ($p>0.05$)

Table 1 Density level and growth performance and survival rate for Butter catfish grow in different density levels of 24 weeks

Growth parameters	Density levels (m^2)				p-value
	250	300	350	400	
Initial weight (g/f)	1.32±0.009^a	1.31±0.01^a	1.30±0.22^a	1.30±0.12^a	0.695
final weight (g/f)	59.02±4.14^a	65.57±5.19^a	59.66±4.81^a	66.89±5.45^a	0.574
weight gain (g/f)	57.69±4.14^a	64.25±5.19^a	58.36±4.81^a	65.58±5.45^a	0.573
Initial length (cm)	1.79±0.22^a	1.82±0.21^a	1.80±0.01^a	1.79±0.02^a	0.625
final length (cm)	21.86±0.47^a	22.52±0.41^a	22.24±0.48^a	22.25±0.46^a	0.791
length gain (cm)	20.06±0.47^a	20.69±0.40^a	20.43±0.48^a	20.45±0.47^a	0.832
Average Daily Gain; ADG (g/f/d)	0.31±0.022^a	0.34±0.028^a	0.31±0.026^a	0.35±0.029^a	0.571
Feed Conversion Rate; FCR	1.43±0.12^a	1.41±0.12^a	1.46±0.12^a	1.48±0.13^a	0.983
Survival Rate; SR (%)	100±0.00^a	100±0.00^a	99.28±0.01^a	98.92±0.02^a	0.000

Remark: Means + SE within a row with different superscripts letters are significantly different ($p<0.05$) as determined by Duncan's new multiple range test.

การศึกษาที่ 2 การนำต้นแบบอัจฉริยะบนระบบไอโอที IoT (Internet of Things) มาจัดการคุณภาพน้ำร่วมกับการจัดการเลี้ยงปลาชะโอนเพื่อเป็นแนวทางให้เกษตรกร

คุณภาพน้ำในบ่อเพาะเลี้ยงจะรายงานผลและแจ้งเตือนโดยผ่านแอพพลิเคชั่นบนมือถือจากซอฟต์แวร์ขึ้นมาโดยทีมวิจัยนี้ (Duangwongsa, J. et al, 2021) ระหว่างการทดลองเป็นระยะเวลา 24 สัปดาห์ ค่าคุณภาพน้ำของการเลี้ยงสัตว์น้ำ 4 พารามิเตอร์ คือ ปริมาณออกซิเจนละลายในน้ำ Dissolved Oxygen (DO), กรด-ด่าง (pH), อุณหภูมิ (Temperature) และ ความขุ่นในน้ำ (Turbidity) โดยระบบใช้เซนเซอร์ที่เป็นไมโครคอนโทรลเลอร์โดยใช้ระบบการแจ้งเตือนคุณภาพน้ำผ่านแอพพลิเคชั่นบนมือถือ พบว่าปริมาณออกซิเจนละลายในน้ำ มีค่าระหว่าง 7.01-7.91 มก./ล ค่ากรด-ด่าง มีค่าระหว่าง 6.82-7.89 อุณหภูมิ มีค่าระหว่าง 25.32-26.64 °C และ ความขุ่นในน้ำ มีค่าระหว่าง 12.49-12.88 NTU ตามลำดับ **(Table 2)** ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบคุณภาพน้ำระหว่างการใช้ระบบเกษตรอัจฉริยะบนระบบ IoT และวิธีมาตรฐานในห้องปฏิบัติการ เพื่อเป็นการยืนยันความแม่นยำผลพบว่ามีค่าไม่แตกต่างทางสถิติ ($p>0.05$) ทั้งนี้การแจ้งเตือนรายงานผลของคุณภาพน้ำในทุกๆ พารามิเตอร์ ข้อมูลจะมีการแจ้งเตือนทุก 5 นาที ทั้งนี้สามารถปรับค่าพารามิเตอร์ได้ด้วยผู้ใช้เอง ในส่วนการแจ้งเตือนค่าวิกฤติหากมีพารามิเตอร์ตัวใดของคุณภาพน้ำกำลังจะถึงค่าวิกฤติระบบจะมีการแจ้งเตือนผ่านแอพพลิเคชั่นบนมือถือ เนื่องจากการทดลองครั้งนี้พบว่าคุณภาพน้ำอยู่ในเกณฑ์มาตฐาน จึงไม่มีการแจ้งเตือนเมื่อถึงค่าวิกฤติในทุกระดับความหนาแน่นของการเลี้ยงปลาชะโอนในระบบน้ำหมุนเวียนแบบปิดขนาดเล็ก และเมื่อนำมาทดสอบทางสถิติ พบว่าไม่แตกต่างทางสถิติ ($p>0.05$)

Table 2 Water quality in treatments of RAS cultured *Ompok bimaculatus* (Bloch, 1794) in different density levels of 24 weeks

Water quality	Density levels (m^2)				p-value
	250	300	350	400	
Dissolved oxygen, DO (mg/L)	7.79±1.29[a]	7.66±0.29[a]	7.01±0.30[a]	7.91±0.23[a]	0.262
pH	6.85±0.18[a]	7.89±0.10[a]	7.22±0.17[a]	7.12±0.17[a]	0.113
Temperature (°C)	26.64±0.09[a]	25.32±0.14[a]	26.57±0.08[a]	25.97±0.16[a]	0.691
Turbidity (NTU)	12.49±0.24[a]	12.75±0.22[a]	12.88±0.37[a]	13.13±0.28[a]	0.158

Remark: Means + SD within a row with different superscripts letters are significantly different ($p<0.05$) as determined by Duncan's new multiple rang test.

การศึกษาที่ 3 เพื่อเป็นแนวทางให้เกษตรในการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำในพื้นที่มีปริมาณน้ำที่จำกัด

ผลจากการเลี้ยงปลาชะโอนระดับความหนาแน่นที่แตกต่างกันในระบบน้ำหมุนเวียนแบบปิดขนาดเล็กในพื้นที่มีปริมาณน้ำที่จำกัดของต้นแบบเกษตรอัจฉริยะบนระบบไอโอที IoT (Internet of Things) พบว่าการเลี้ยงปลาชะโอนซึ่งเป็นสัตว์น้ำเศรษฐกิจมีมูลค่าในปัจจุบัน คือ 160-380 บาท/กก. (ตลาดไท, 2564) เพื่อเป็นแนวทางให้แก่เกษตรกรอยู่ในพื้นที่มีปริมาณน้ำที่จำกัด ซึ่งตลอดการเลี้ยงใช้น้ำเพียง 14.40 ตัน **(Table 3)** ไม่รวมกับการเติมน้ำเนื่องจากการระเหยของน้ำระหว่างการเลี้ยง ปริมาณน้ำที่เติมเพียง 2,121 ล. เท่านั้น อีกทั้งการใช้เทคโนโลยีไอโอที IoT (Internet of Thing) มีการแจ้งเตือนผ่านแอพพลิเคชั่นบนมือถือ รายงานผลการแจ้งเตือนค่าคุณภาพน้ำช่วยอำนวยความสะดวก เพื่อเพิ่มความแม่นยำในการจัดการการเลี้ยง เกษตรกรสามารถนำใช้ต้นแบบงานวิจัยนี้เป็นแนวทางในการเลี้ยง หรือเป็นแนวทางในการขยายพื้นที่จากต้นแบบนี้เพื่อให้ได้ผลผลิตที่มากเพิ่มขึ้นได้

Table 3 Water consumption in culturing *Ompok bimaculatus* (Bloch, 1794) in the Small Closed Recirculating Aquaculture System (RAS) under the limited water supply area of 24 weeks

Detail	Number of tanks	Volume of water (Cubic meter)
Water storage tank (2,000 L)	2	4.00
Wastewater treatment tank (400 L)	2	0.80
Aquaculture tank (800 L)	12	9.60
Total water volume		14.40

Remark: The amount of water added during culture in the case of evaporation is 2,021 liters.

วิจารณ์

การศึกษาที่ 1 ระดับความหนาแน่นและอัตราการเจริญเติบโตของปลาชะโอนในระบบน้ำหมุนเวียนแบบปิดขนาดเล็ก

ในด้านประสิทธิภาพการเจริญเติบโตปลาชะโอนที่เลี้ยงในระบบน้ำหมุนเวียนแบบปิดขนาด ในระดับของความหนาแน่นที่แตกต่างกัน 4 ระดับ คือ 250, 300, 350 และ400 ตัว/ตร.ม. เมื่อนำมาวิเคราะห์ทางสถิติแล้วพบว่ามีค่าไม่แตกต่างทางสถิติ ($p>0.05$)

1. อัตราการเจริญเติบโต

ในการเลี้ยงปลาชะโอนระดับความหนาแน่นที่แตกต่างกันในระบบน้ำหมุนเวียนแบบปิดขนาดเล็กในพื้นที่มีปริมาณน้ำที่จำกัดของต้นแบบเกษตรอัจฉริยะบนระบบไอโอที IoT (Internet of Things) ครั้งนี้ อัตราการเจริญเติบโต ในด้านน้ำหนักและความยาว พบว่ามีค่าไม่แตกต่างทางสถิติ ($p>0.05$) เนื่องจากระดับความหนาแน่นในการเลี้ยงปลาชะโอน 250-400 ตัว/ตร.ม. มีขนาดน้ำหนักเฉลี่ย 66.89 ก. และความยาวเฉลี่ย 22.25 ซม. แสดงให้เห็นว่าความหนาแน่นในการเลี้ยงปลาชะโอนครั้งนี้ยังไม่ส่งผลทำให้อัตราการเจริญเติบโตแตกต่าง ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ ศูนย์วิจัยและพัฒนาประมงน้ำจืดชลบุรี (2533) กล่าวว่าการเลี้ยงปลาชะโอน ขนาด 2.07 ซม. ในบ่อดิน มีอัตราการปล่อย 4 ตัว/ตร.ม. ซึ่งค่อนข้างหนาแน่นเนื่องจากต้องการเลี้ยงไว้เป็นพ่อแม่พันธุ์ และพบว่าปลามีอัตราการเจริญเติบโตได้ดี ขนาดน้ำหนักเฉลี่ย 37.47 ก. และความยาวเฉลี่ย 16.42 ซม. ส่วนการเลี้ยงปลาชะโอนในกระชัง มีอัตราการปล่อย 25 ตัว/ตร.ม. พบว่า ขนาดน้ำหนักเฉลี่ย 42.65 ก. และความยาวเฉลี่ย 16.95 ซม. ซึ่งมีการเจริญเติบโตใกล้เคียงกับบ่อดิน และสอดคล้องกับงานวิจัยของอัมพร (2549) ได้ศึกษาความหนาแน่นในการอนุบาลลูกปลาชะโอน ขนาดความยาวเฉลี่ย 5.69 ซม. พบว่าลูกปลาชะโอนมีอัตราการเจริญเติบโตได้ดีที่ระดับความหนาแน่น 2 ตัว/ล. และสอดคล้องกับงานวิจัยของ วรพงษ์ (2562) ได้ศึกษาระดับความหนาแน่นต่อประสิทธิภาพการเจริญเติบโตและค่าคุณภาพน้ำของปลาหมอที่เลี้ยงในชุดถังเลี้ยงปลาระบบน้ำหมุนเวียน ที่ระดับความแน่นของปลาในถังทดลอง 5 ระดับ คือ 10, 15, 20, 25 และ30 ตัว/ถัง พบว่าความหนาแน่นที่ 20 ตัว/ถัง มีประสิทธิภาพการเจริญเติบโต และอัตรารอดที่ดีไม่แตกต่างทางด้านสถิติ ($p>0.05$) จากการเลี้ยงที่ระดับความหนาแน่นที่ต่ำกว่า และชุดถังเลี้ยงในระบบน้ำหมุนเวียนที่ใช้ถังเลี้ยงจำนวน 20 ถัง สามารถควบคุมค่าคุณภาพน้ำให้อยู่ในระดับที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของปลาหมอ และในงานวิจัยของ Chowdhury et al. (2002), Rowland et al. (2006) และ Chowdhury et al. (2020) กล่าวว่าการใช้ประโยชน์จากอาหารที่สูงขึ้นและระดับความเครียดต่ำส่งผลให้น้ำหนักตัวสุดท้ายเพิ่มขึ้นตาม ในงานวิจัยของ รุ่งตะวัน และคณะ (2554) กล่าวว่าการทดลองที่มีความหนาแน่นแตกต่างกันมีผลต่ออัตราการเจริญเติบโตพบว่า ระดับความหนาแน่นในการเลี้ยงปลามีผลต่อการเจริญเติบโตของปลา เมื่อเลี้ยงปลาที่ความหนาแน่นที่มากขึ้นการเจริญเติบโตของปลาจะลดลง เนื่องจากระดับความหนาแน่นที่มากขึ้นปลาจะมีความเครียดมากขึ้น ส่งผลให้อัตราการเจริญเติบโตลดลง ในงานวิจัยของ อนันต์ และคณะ (2541) และสำเนาว์ (2555) ได้อธิบายว่า ภายใต้สภาพแวดล้อมเดียวกันความหนาแน่นของประชากรปลา เป็นปัจจัยสำคัญในการควบคุมการเจริญเติบโต เนื่องจากบ่อเลี้ยงปลามีกำลังการผลิตสูงสุด (carrying capacity) จำกัด ส่งผลให้การเจริญเติบโตของปลาแต่ละตัวลดลง ในการเจริญเติบโตของปลานั้น หากมีสภาพแวดล้อมเหมาะสม ปลาจะกินอาหารและมีการสะสมอาหารในตัวปลามาก จึงทำให้ปลามีน้ำหนักเพิ่มขึ้น

2. อัตราการแลกเนื้อ (Feed conversion ratio: FCR)

อัตราการแลกเนื้อ (Feed conversion ratio: FCR) มีค่าเฉลี่ยมากที่สุด ในระดับความหนาแน่นที่ 400 ตัว/ตร.ม. เป็น 1.48 และมีค่าเฉลี่ยต่ำที่สุดในระดับความหนาแน่นที่ 300 ตัว/ตร.ม. เป็น 1.41 ซึ่งแตกต่างกับงานวิจัยของ ศูนย์วิจัยและพัฒนาประมงน้ำจืดชลบุรี (2533) ทำการเลี้ยงปลาชะโอนความหนาแน่น 4 ตัว/ตร.ม. ขนาด 2.07 ซม. ในบ่อดิน ให้อาหารวันละ 2 ครั้งเป็นเวลา 7 เดือน พบว่าปลามีอัตราการเจริญเติบโตได้ดี และมีอัตราการแลกเนื้อเป็น 1.7- 2.0 ทั้งนี้อาจเป็นเพราะความถี่ในการให้อาหารน้อยและมีอาหารธรรมชาติซึ่งไม่สามารถควบคุมได้ในบ่อดิน ประเด็นในการให้อาหารสอดคล้องกับงานวิจัยของ ชูศรี (2549) และ สราวุธ และสุธี (2561) ได้รายงานว่าอัตราการแลกเนื้อมีค่าต่ำที่สุดเมื่อให้อาหารในอัตราที่เหมาะสม และมีค่าสูงสุดเมื่อให้อาหารในอัตราสูงสุด การให้อาหารในอัตราที่เหมาะสมถึงแม้ว่าปลาจะเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อดีที่สุด แต่การเจริญเติบโตยังอยู่ในช่วงที่เพิ่มขึ้นในอัตราที่สูง ส่วนการให้อาหารในอัตราที่สูงแม้ทำให้ปลาเจริญเติบโต แต่ก็เติบโตในอัตราที่ลดลง ในงานวิจัยของ Balarin and Haller (1982) และเทพรัตน์ (2554) อธิบายว่า FCR ที่สูงขึ้นเมื่อเพิ่มอัตราการให้อาหาร เป็นผลมาจากกระบวนการย่อยอาหารที่ไม่สมบูรณ์ เพราะเมื่อปริมาณอาหารที่เคลื่อนผ่านระบบลำไส้มากขึ้นทำให้การย่อยและการดูดซึมลดน้อยลง ดังนั้นประสิทธิภาพการย่อยอาหารจะลดลงด้วยอัตราการให้อาหารที่สูงขึ้น จากผลการทดลองครั้งนี้ยังทำให้ทราบว่าความถี่ในการกินอาหารของปลาชะโอน เมื่อความถี่ในการให้อาหารของปลาชะโอนเป็น 4 ครั้ง/วัน และกินจนอิ่มสามารถทำให้อัตราการเจริญเติบโตในระดับความหนาแน่นที่สูงเพิ่มขึ้นตาม เนื่องจากปลาชะโอนเป็นปลากินเนื้อ (carnivorous fish) หากมีอาหารไม่พอจะทำให้ปลาเกิดการกินกันเอง (Bhattacharjee and Pal, 2020)

3. อัตราการรอด (Survival Rate: SR%)

อัตราการรอด (Survival Rate: SR%) ในระดับความหนาแน่นที่ 250 และ 300 ตัว/ตร.ม. มีค่าเฉลี่ยมากที่สุด มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 100% ในระดับความหนาแน่นที่ 350 และ 400 ตัว/ตร.ม. มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 99.28% และ 98.92%, ตามลำดับ จากงานวิจัยของอัมพร (2549) พบว่าผลการอนุบาลลูกปลาชะโอนวัยอ่อนขนาดเฉลี่ย 1.75 ซม.ในอัตราความหนาแน่นแตกต่างกัน 4 ระดับ คือ 10, 20, 40 และ 80 ตัว/ล. พบว่าอัตราการรอดตาย มีค่าไม่แตกต่างทางด้านสถิติ ($p>0.05$) ซึ่งแสดงว่าในระดับความหนาแน่นที่ 10-80 ตัว/ล. ยังไม่ถึงระดับที่ส่งผลต่ออัตราการรอดตายของลูกปลาชะโอน เช่นเดียวกับงานวิจัยครั้งนี้แสดงให้เห็นว่าการเลี้ยงปลาชะโอนในระดับความหนาแน่น 250-400 ตัว/ตร.ม. ยังไม่ส่งผลถึงระดับอัตราการตายของปลาชะโอน และในงานวิจัยของ รุ่งตะวัน และคณะ (2554) และ เหล็กไหล (2560) กล่าวว่า การทดลองที่มีความหนาแน่นแตกกันมีผลต่ออัตราการรอดตายของปลา อัตราการรอดจึงมีความสัมพันธ์สอดคล้องกันกับระดับความหนาแน่น เมื่อเลี้ยงปลาที่ความหนาแน่นที่มากขึ้นอัตราการรอดตายของปลาจะลดลง เนื่องจากระดับความหนาแน่นที่มากขึ้นปลาจะมีความเครียดมากขึ้นส่งผลให้อัตราการรอดตายลดลง

การศึกษาที่ 2 การนำต้นแบบอัจฉริยะบนระบบไอโอที IoT (Internet of Things) มาจัดการคุณภาพน้ำร่วมกับการจัดการเลี้ยงปลาชะโอนเพื่อเป็นแนวทางให้เกษตรกร

จากการทดลองพบว่าค่าคุณภาพน้ำทุกพารามิเตอร์ในการเลี้ยงปลาชะโอนในระบบน้ำหมุนเวียนแบบปิดขนาดเล็กโดยจัดการคุณภาพน้ำด้วยระบบ IoT (Internet of Thing) โดยใช้ระบบเซนเซอร์ที่เป็นไมโครคอนโทรลเลอร์ และแสดงผลเป็นแอปพลิเคชันบนมือถือสำหรับจัดการข้อมูล รายงานผลและแจ้งเตือนข้อมูล พบว่าคุณภาพน้ำมีค่าไม่แตกต่างทางสถิติ ($p>0.05$) งานวิจัยของธวัชชัย (2557) รายงานว่า ระบบตรวจวัดคุณภาพน้ำและประมวลผลแบบอัตโนมัติในกระชังปลาทับทิม โดยใช้บอร์ดประมวลผล CPU X86 รุ่น VSX-6117 ทำหน้าที่ประมวลผลและแสดงผลของค่าออกซิเจน ค่า pH และค่าอุณหภูมิเพื่อบ่งบอกถึงคุณภาพน้ำ ผลการทดลองพบว่าระบบประมวลผล สามารถสั่งการให้ LED แสดงผลสถานะของคุณภาพน้ำปกติ และเฝ้าระวัง ค่าผิดปกติได้ถูกต้อง ในงานวิจัยของ Kim, Y. et al. (2018) ได้ศึกษาและวิจัยการควบคุมและตรวจวัดค่าคุณภาพน้ำโดยใช้เทคโนโลยี IoT โดยใช้ Massage Queue Telemetry Transport (MQTT) สำหรับการควบคุมระบบน้ำหมุนเวียนในบ่อเลี้ยงปลา ได้มีการพัฒนาเว็บแอปพลิเคชัน และแอปพลิเคชันบนมือถือสำหรับระบบปฏิบัติการ Android ในการแสดงผลค่าพารามิเตอร์ในน้ำ และควบคุมการทำงานได้ ในขณะที่ Saha et al. (2018) ได้นำเสนองานวิจัยเกี่ยวกับการมอนิเตอร์คุณภาพน้ำ โดยใช้เทคโนโลยี Raspberry Pi และ Arduino โดยใช้เซนเซอร์หลากหลายชนิด ได้แก่ กล้องจากมือถือ อุณหภูมิ ค่ากรด-เบส สีของน้ำ และพัฒนาแอปพลิเคชันบนระบบปฏิบัติการ Android ในการจัดการผ่านระบบ

Wi-Fi และ อินเตอร์เน็ต และงานวิจัยของธารารัตน์ (2562) ได้พัฒนาระบบเซนเซอร์ตรวจสอบคุณภาพน้ำโดยใช้บอร์ด Arduino Uno เป็นบอร์ดไมโครคอนโทรเลอร์ตระกูล AVR ที่มีการพัฒนาแบบ Open Source โดยเซนเซอร์ 2 ชนิด เป็นเซนเซอร์ตรวจสอบค่า pH และเซนเซอร์ตรวจสอบค่าความขุ่น มีความแม่นยำในการแสดงผล เมื่อเปรียบเทียบการตรวจสอบในห้องปฏิบัติการและทดสอบเซนเซอร์ทั้งสองชนิดมีค่าใกล้เคียงกัน ซึ่งทำให้เกษตรกรสามารถทราบได้ว่าคุณภาพน้ำเป็นอย่างไร สามารถเตรียมตัวเฝ้าระวัง ดูแล และแก้ปัญหาการเลี้ยงปลาได้อย่างทันที เช่นเดียวกับงานวิจัยครั้งนี้แสดงให้เห็นว่าการใช้ระบบ IoT (Internet of Thing) มาจัดการคุณภาพน้ำเพื่ออำนวยความสะดวกให้แก่ให้เกษตรกรและการเฝ้าระวังคุณภาพน้ำก่อนที่จะเกิดความเสียหายต่อผลผลิตของสัตว์น้ำ ได้อย่างมีประสิทธิภาพ

ขวัญชนก (2021) กล่าวว่า การใช้เทคโนโลยีการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำแบบ Recirculating aquaculture systems (RAS) ในบ่อกลมพบว่า สามารถควบคุมคุณภาพน้ำให้สม่ำเสมอในบ่อเลี้ยงได้ เนื่องจากมีการหมุนเวียนของน้ำในบ่อได้ดี สามารถควบคุมและการปรับระดับออกซิเจนในบ่อทรงกลมทำได้ง่าย เพราะน้ำทั้งหมดในบ่อทรงกลมมีการเคลื่อนที่และผสมกันอย่างต่อเนื่อง ทำให้ปริมาณออกซิเจนในน้ำทุกจุดในบ่อเท่ากัน จึงทำให้รักษาระดับออกซิเจนที่ต้องการในบ่อทรงกลมได้

ค่าปริมาณออกซิเจนละลายในน้ำ มีค่าระหว่าง 7.01-7.91 มก./ล. สอดคล้องกับงานวิจัยของไมตรี และจารุวรรณ (2528) และกานตกานท์ (2561) กล่าวว่า ออกซิเจนละลายน้ำที่เหมาะสมในการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำในช่วง 4.0-10.0 มก./ล. การทดลองในครั้งนี้ทั้งสอง ชุดการทดลองไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p>0.05$) ตลอดการทดลอง แต่แนวโน้มของออกซิเจนจะลดลงเมื่อการเลี้ยงผ่านไปนานขึ้น เพราะปลาที่โตขึ้นจะใช้ออกซิเจนมากขึ้น

ค่ากรด-ด่าง มีค่าระหว่าง 6.82-7.89 อยู่ในช่วงที่เหมาะสม สอดคลองกับ ชาญยุทธ (2533) และกานตกานท์ (2561) รายงานว่าค่า pH ที่เหมาะสมต่อการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำอยู่ระหว่าง 6.5-9.0 แต่ในช่วงท้ายของการทดลองมี pH ต่ำลงเพราะในน้ำมีการสะสมของคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) จากปลาที่โตขึ้น และการย่อยสลาย สารอินทรีย์แบบใช้ออกซิเจนที่เพิ่มมากขึ้นโดยจุลินทรีย์ จึงทำให้ pH ต่ำลงเนื่องจากเมื่อมีคาร์บอนไดออกไซด์ละลายสูงน้ำมากขึ้น คาร์บอนไดออกไซด์ทำปฏิกิริยากับ น้ำได้เป็นกรดคาร์บอนิก (H_2CO_3) และสอดคล้องกับงานวิจัยของ อุธร และคณะ (2556) กล่าวว่า ค่าความเป็นกรดเป็นด่างที่เหมาะสมอยู่ระหว่าง 6.5-9.0 เป็นระดับที่เหมาะสมแก่การเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ

อุณหภูมิ มีค่าระหว่าง 25.32-26.64 °C สอดคล้องกับงานวิจัยของ ภาณุ และคณะ (2539) และอัมพร (2549) รายงานว่าอุณหภูมิที่เหมาะสมอยู่ในช่วง 25.0-32.0 °C ในการทดลองบางช่วงระยะเวลาการทดลองมีอุณหภูมิน้ำอยู่ในระดับที่ต่ำซึ่งต่ำกว่าระดับที่เหมาะสมใน การเลี้ยงสัตว์น้ำจึงมีผลทำให้ปลาชะโอนวัยอ่อนกินอาหารน้อยกว่าปกติส่งผลให้ปลามีการเจริญเติบโตช้า และในงานวิจัยของไมตรี และ จารุวรรณ (2528) และกานตกานท์ (2561) รายงานว่าอุณหภูมิส่งผลต่อการเพาะเลี้ยงเมื่ออุณหภูมิ สูงขึ้นจะทำให้ปลามีการเผาผลาญพลังงานเพิ่มมากขึ้น ทำให้ปลาโตเร็วขึ้น

ความขุ่นในน้ำ มีค่าระหว่าง 12.49-12.88 NTU น้ำใสจะมีค่าความขุ่นไม่เกิน 25 NTU LEGA Corporation (2016) สอดคล้องกับงานวิจัยของกานตกานท์, 2561ปริมาณของแข็งแขวนลอยจากการทดลอง พบว่าน้ำเลี้ยงปลาทั้ง 2 ชุดการทดลอง มีความใสมากเป็นเพราะมีการกรองด้วยกรองกายภาพที่ใช้ใยแก้วที่ละเอียดและมีอัตราการหมุนเวียนน้ำในระดับที่สูง คือ 200 ล./ชม. ในงานวิจัยของ Chaiyakum and Preedalumpaburt (2006) กล่าวว่าการเลี้ยงปลาในระบบปิดแบบน้ำหมุนเวียนของเสียส่วนใหญ่เกิดขึ้นในรูปของตะกอน และงานวิจัยของ Weston (1996) และชลฤทัย และคณะ (2554) กล่าวว่าการกำจัดตะกอนออกจากระบบน้ำหมุนเวียนเป็นกระบวนการที่สำคัญในการกำจัดของเสียออกจากระบบทำให้ตะกอน ไม่ไปทับถมที่วัสดุกรอง ในการทดลองครั้งนี้ตะกอนขนาดใหญ่จะตกบริเวณใยแก้ว ส่วนตะกอนแขวนลอยขนาดเล็กจะไหลผ่านวัสดุตัวกลางซึ่งตะกอนบางส่วนจะไปสะสมอยู่ที่วัสดุตัวกลางทำให้วัสดุกรองเป็นที่สะสมของตะกอน

การศึกษาที่ 3 เพื่อเป็นแนวทางให้เกษตรในการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำในพื้นที่มีปริมาณน้ำที่จำกัด

ผลจากการเลี้ยงปลาชะโอนระดับความหนาแน่นที่แตกต่างกันในระบบน้ำหมุนเวียนแบบปิดขนาดเล็กในพื้นที่มีปริมาณน้ำที่จำกัดของต้นแบบเกษตรอัจฉริยะบนระบบไอโอที IoT (Internet of Things) ประกอบด้วยบ่อเลี้ยงขนาด 1,000 ล. ทั้งหมด 14 บ่อ รวม

บ่อบำบัดพบว่าตลอดการเลี้ยงใช้น้ำเพียง 14.40 ตัน **(Table3)** ไม่รวมกับการเติมน้ำเนื่องจากการระเหยของน้ำระหว่างการเลี้ยงเพียง 2,021 ล. เท่านั้น ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Srithong et al. (2015) รายงานว่าระบบหมุนเวียนน้ำสองระบบ (RAS) ใช้น้ำระหว่าง 4,750 ถึง 5,850 ล. สำหรับการเลี้ยงปลาดุกลูกผสม ในขณะที่ระบบแลกเปลี่ยนน้ำทุกวันใช้น้ำมากกว่า 40,000 ล. ในการเลี้ยงสัตว์น้ำ ดังนั้นระบบ RAS มีประสิทธิภาพในการประหยัดน้ำเพื่อใช้ในการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ และ สุภาวดี (2557) กล่าวว่าระบบการเลี้ยงสัตว์น้ำได้พัฒนาไปสู่ระบบปิดที่ไม่มีการทิ้งของเสียออกจากฟาร์ม โดยหมุนเวียนและบำบัดน้ำภายในพื้นที่ฟาร์ม ซึ่งมีข้อดี ได้แก่ ประหยัดทรัพยากรน้ำ จากงานวิจัยดังกล่าวจะเห็นได้ว่าระบบน้ำหมุนเวียนสามารถประหยัดได้เช่นเดียวกับงานวิจัยครั้งนี้ ซึ่งในเกษตรกรรายย่อยที่อยู่ในพื้นที่มีปริมาณน้ำที่จำกัดก็สามารถเลี้ยงสัตว์น้ำได้ตามแนวทางต้นแบบของงานทดลองนี้

สรุป

การศึกษาที่ 1 ระดับความหนาแน่นและอัตราการเจริญเติบโตของปลาชะโอนในระบบน้ำหมุนเวียนแบบปิดขนาดเล็ก

จากการศึกษาพบว่าอัตราการเจริญเติบโตของปลาชะโอนในระบบน้ำหมุนเวียนแบบปิดขนาดเล็ก ในระดับของความหนาแน่นที่แตกต่างกัน พบว่าปลาชะโอนสามารถเลี้ยงในระดับความหนาแน่นได้ถึง 400 ตัว/ตร.ม. เนื่องจากวิเคราะห์ทางสถิติแล้วประสิทธิภาพของการเจริญเติบโตทั้ง 4 ระดับ มีค่าไม่แตกต่างทางสถิติ ($p>0.05$)

การศึกษาที่ 2 การนำต้นแบบอัจฉริยะบนระบบไอโอที IoT (Internet of Things) มาจัดการคุณภาพน้ำร่วมกับการจัดการเลี้ยงปลาชะโอนเพื่อเป็นแนวทางให้เกษตรกร

จากการศึกษาการนำเทคโนโลยี IoT (Internet of Thing) ซึ่งเป็นแอปพลิเคชันที่พัฒนาซอฟต์แวร์ขึ้นมาโดยทีมวิจัยนี้ (Duangwongsa, J. et al, 2021) มาใช้ร่วมกับการจัดการการเลี้ยงปลาชะโอนในระบบน้ำหมุนเวียนแบบปิดขนาดเล็ก พบว่าค่าปริมาณออกซิเจนละลายในน้ำ มีค่าระหว่าง 7.01-7.91 มก./ล ค่ากรด-ด่าง มีค่าระหว่าง 6.82-7.89 อุณหภูมิ มีค่าระหว่าง 25.32-26.64 °C และ ความขุ่นในน้ำ มีค่าระหว่าง 12.49-12.88 NTU ซึ่งเป็นค่าที่อยู่ในระดับเหมาะสมกับการเลี้ยงปลาน้ำจืด และระดับความหนาแน่นทั้ง 4 ระดับ ยังสามารถรายงานผลและแจ้งเตือนค่าคุณภาพน้ำผ่านแอปพลิเคชันบนมือถือ เมื่อคุณภาพน้ำถึงจุดวิกฤต

การศึกษาที่ 3 เพื่อเป็นแนวทางให้เกษตรในการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำในพื้นที่มีปริมาณน้ำที่จำกัด

จากการศึกษาการเลี้ยงปลาชะโอนระดับความหนาแน่นที่แตกต่างกันในระบบน้ำหมุนเวียนแบบปิดขนาดเล็กในพื้นที่มีปริมาณน้ำที่จำกัดของต้นแบบเกษตรอัจฉริยะบนระบบไอโอที IoT (Internet of Things) พบว่าสามารถเป็นแนวทางให้แก่เกษตรกรอยู่ในพื้นที่มีปริมาณน้ำที่จำกัด ซึ่งตลอดการเลี้ยงใช้น้ำเพียง 14.40 ตัน ไม่รวมกับการเติมน้ำเนื่องจากการระเหยของน้ำระหว่างการเลี้ยง ปริมาณน้ำที่เติมเพียง 2,021 ล. เท่านั้น อีกทั้งการใช้เทคโนโลยีไอโอที IoT (Internet of Thing) มีการแจ้งเตือนผ่านแอพพลิเคชั่นบนมือถือรายงานผลการแจ้งเตือนค่าคุณภาพน้ำช่วยอำนวยความสะดวก เพื่อเพิ่มความแม่นยำในการจัดการการเลี้ยง เกษตรกรสามารถนำใช้ต้นแบบงานวิจัยนี้เป็นแนวทางในการเลี้ยง หรือเป็นแนวทางในการขยายพื้นที่จากต้นแบบนี้เพื่อให้ได้ผลผลิตที่มากเพิ่มขึ้นได้

คำขอบคุณ

คณะผู้วิจัยขอขอบคุณคณะเทคโนโลยีการประมงและทรัพยากรทางน้ำ ศูนย์วิจัยและพัฒนาประมงน้ำจืดสุราษฎร์ธานี สำนักวิจัยและส่งเสริมวิชาการการเกษตร มหาวิทยาลัยแม่โจ้ และสำนักงาน คณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ ที่ให้การสนับสนุนในการจัดสรรงบประมาณวิจัยรหัสทะเบียนวิจัย มจ.1-63-01-002 และบุคคลอื่นที่มิได้กล่าวถึงในที่นี้ ที่ได้ให้ความเกื้อหนุน ทำให้การวิจัยในครั้งนี้เสร็จสิ้นอย่างสมบูรณ์

เอกสารอ้างอิง

กานตกานท์ เทพณรงค์. 2561. ประสิทธิภาพการใช้ระบบน้ำหมุนเวียนร่วมกับผักตบชวาในการเลี้ยงปลาดุกบิ๊กอุย. วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี. 26(ฉบับเสริม): 1150-1161.

กาญจนรี พงษ์ฉวี. 2562. หลักการทั่วไปของการเลี้ยงสัตว์น้ำในระบบน้ำหมุนเวียน. กองวิจัยและพัฒนาการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำจืด, กรมประมง, กรุงเทพฯ. แหล่งข้อมูล: http://inlandfisheries.go.th/index.php/article. ค้นเมื่อ 29 เมษายน 2564.

ขวัญชนก พุทธจันทร์. 2021. เทคโนโลยีการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำแบบ Recirculating aquaculture systems (RAS). แหล่งข้อมูล: https://www.lib.ku.ac.th/2019/index.php/covid-19/1132-ras. ค้นเมื่อ 29 เมษายน 2564.

จรียา ยิ้มรัตนบวร และสุรินทร์ บุญอนันธนสาร. 2556. ศักยภาพในการหมุนเวียนน้ำกลับมาใช้ของระบบพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์สำหรับการเพาะเลี้ยงปลาดุกลูกผสม. สาขาวิชาเทคโนโลยีการผลิตสัตว์. สำนักวิชาเทคโนโลยีการเกษตร, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี, นครราชสีมา.

จักรกฤษณ์ หมั่นวิชา. 2559. เทคโนโลยีฟาร์มอัจฉริยะ. วารสารหาดใหญ่วิชาการ. 14(2): 201-210.

ชาญยุทธ คงภิรมย์ชื่น, 2533, คู่มือปฏิบัติการ คุณภาพน้ำทางการประมง, คณะเกษตรศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีราชมงคลภาคตะวันออก, ชลบุรี.

ชลธิศักดิ์ ชาวปากน้ำ, ไพบูลย์ วรสายัณห์ และสุพรม พวงอินทร์. 2536. การอนุบาลลูกปลาชะโอนวัยอ่อน. กองประมงน้ำจืด, กรมประมง, กรุงเทพฯ.

ชลฤทัย พิญเดช, ประจวบ ฉายบุ, เกรียงศักดิ์ เม่งอำพัน และ ฐปน ชื่นบาล. 2554. การเปรียบเทียบการเจริญเติบโตและคุณภาพน้ำในการเลี้ยงปลาบ่ทรายระบบปิด. วารสารวิจัยเทคโนโลยีการประมง. 9(1): 27-37.

ชูศรี วงศ์รัตนะ. 2549. เทคนิคการเขียนเค้าโครงการวิจัย: แนวทางสู่ความสำเร็จ. บริษัทไทเนรมิตกิจ อินเตอร์โปรเกรสซิ ฟ จำกัด, กรุงเทพฯ.

ด่านตรวจสัตว์น้ำจังหวัดสุรินทร์. 2562. ภาพรวมสถานการณ์การนำเข้าสินค้าสัตว์น้ำผ่านทางด่านตรวจสัตว์น้ำจังหวัดสุรินทร์. แหล่งข้อมูล: https://www4.fisheries.go.th/local/file_document/20191122132006_new.pdf. ค้นเมื่อ 2 มีนาคม 2564.

ตลาดไท. 2564. ราคาปลาเนื้ออ่อน. แหล่งข้อมูล: https://talaadthai.com/product-search/result?. ค้นเมื่อ 9 มีนาคม 2564.

เทพรัตน์ อึ้งเศรษฐพันธ์, ทิพสุคนธ์ พิมพ์พิมล และธนภัทร วรปัสสุ. 2554. การอนุบาลลูกปลาหมอในกระชัง ด้วยสูตรอาหารและความหนาแน่นที่ต่างกัน. วารสารวิจัยเทคโนโลยีการประมง. 5(2): 1-11.

ธารารัตน์ หัฐบูรณ์. 2562. การพัฒนาระบบเซนเซอร์ตรวจสอบคุณภาพน้ำต้นทุนต่ำสำหรับติดตามและเฝ้าระวังสภาพแวดล้อมที่มีผลต่อการเลี้ยงปลาในกระชังด้วย IoT และซอฟต์แวร์รหัสเปิด. คณะเกษตรศาสตร์ทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยนเรศวร, พิษณุโลก.

ภาณุ เทวรัตน์มณีกุล, สุจินต์ หนูขวัญ, กำชัย ลาวัณยวุฒิ, วีระ วัชรกรโยธิน และ นวลมณี พงศ์ธนา. 2539. หลักการเพาะและอนุบาลปลา. สถาบันวิจัยการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำจืด, กรมประมง, กรุงเทพฯ.

ไมตรี ดวงสวัสดิ์ และจารุวรรณ สมสิริ. 2528. คุณสมบัติของน้ำและวิธีการวิเคราะห์สำหรับการ วิจัยทางการประมง, สถาบันประมงน้ำจืด แห่งชาติ กรมประมง, กรุงเทพฯ.

รุ่งตะวัน พนากุลชัยวิทย์, ดุสิต เอื้ออำนวย, นวภัทร์ อินทรพุก และเบญจมาศ ทวีทรัพย์. 2554. การทำ ฟาร์มแบบผสมผสานระหว่างเลี้ยงปลานิลร่วมกับการปลูกผักบุ้งจีนลอยน้ำ. วารสารวิจัยเทคโนโลยีการประมง. 5(1): 37-46.

วรพงษ์ นลินานนท์ และสายชล เลิศสุวรรณ. 2560. การพัฒนาชุดถังเลี้ยงปลาระบบน้ำหมุนเวียน. วารสารปาริชาต มหาวิทยาลัยทักษิณ. 30(3): 127-137.

วรพงษ์ นลินานนท์ และสายชล เลิศสุวรรณ. 2562. ผลของระดับความหนาแน่นต่อประสิทธิภาพการเจริญเติบโตและคุณภาพน้ำ ในการเลี้ยงปลาหมอด้วยชุดถังเลี้ยงปลาระบบน้ำหมุนเวียน. แก่นเกษตร. 47(ฉบับพิเศษ 1): 1155-1162.

ศูนย์วิจัยและพัฒนาประมงน้ำจืดชลบุรี. 2533. การเพาะพันธุ์ปลาชะโอน. กองวิจัยและพัฒนาการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำจืด กรมประมง, กรุงเทพฯ.

สำเนาว์ เสาวกูล, กฤติมา เสาวกูล และปราณีต งามเสน่ห์. 2554. ผลของความหนาแน่นต่อการเจริญเติบโตและผลตอบแทนการเลี้ยงปลากดเหลืองในกระชัง. วารสารมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน. 5(1): 14-25.

สุภาวดี โกยดุลย์. 2557. การกำจัดไนโตรเจนในระบบการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำแบบไม่ทิ้งของเสียออกจากฟาร์ม. วารสารวิชาการมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ. 2(1): 66-80.

สราวุธ เย็นเอง และสุธี เกื้อเกตุ. 2561.การศึกษาอัตราการเจริญเติบโตและอัตราการแลกเนื้อของปลาดุกลูกผสมที่เลี้ยงโดยให้อาหารสำเร็จรูปร่วมกับการเสริมอาหารช่วงกลางคืนด้วยแมลงบินจากกับดักเครื่องดูดแมลงอัตโนมัติ. วารสารวิชาการสถาบันการอาชีวศึกษาเกษตร. 2(2): 19-29.

เหล็กไหล จันทะบุตร, จุฑารัตน์ แก่นจันทร์, บัณฑิตา สวัสดี, พุทธชาติ อิ่มใจ และชนวรรณ โทวรรณา. 2560. ความหนาแน่นที่เหมาะสมของการเลี้ยงปลานิลในระบบน้ำหมุนเวียนแบบอควาโปนิกส์. วารสารเกษตรพระวรุณ. 14(2): 225-230.

อนันต์ สี่หิรัญวงศ์, ไชยวัฒน์ รัตนดาดาษ และเจริญไชย ศรีสุวรรณ. 2541. ผลของความหนาแน่นต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตของการเลี้ยงปลาหมอไทยในกระชังพื้นที่ดินพรุ จังหวัดนราธิวาส. สถาบันประมงน้ำจืดแห่งชาติกองประมงน้ำจืด, กรมประมง, กรุงเทพฯ.

อัมพร วงค์ขวัญ. 2549. ความหนาแน่นที่เหมาะสมในการอนุบาลลูกปลาชะโอนวัยอ่อน. ศูนย์วิจัยและพัฒนาประมงน้ำจืดสระแก้ว, กรมประมง. เอกสารวิชาการฉบับที่ 23.

อุธร ฤทธิลึก, สรรลาภ สงวนดีกุล, และศรัณยา รักเสรี. 2556. การวิจัยพัฒนาระบบอะควาโปนิคสำหรับบำบัดน้ำเสียในระบบเลี้ยงปลาดุกลูกผสมแบบใช้น้ำหมุนเวียน. วารสารวิจัย. 6(1): 103-112.

Alam, S. M. D., M. H. Karim, A. Chakrabortty, R. Amin, and S. Hasan. 2016. Investigation of nutritional status of the butter catfish *Ompok bimaculatus*: an important freshwater fish species in the diet of common Bangladeshi people. International Journal of Nutrition and Food Sciences. 5(1): 62-67.

Balarin, J. A., and R. D. Haller. 1982. The intensive culture of tilapia in tanks, raceways and cages. Recent advances in aquaculture. 266-355.

Bhattacharjee, P., and P. Pal. 2020. Study on length weight relationship and feeding habits of a threaten fish *Ompok pabda* from Tripura, India. Journal of Entomology and Zoology Studies. 8(6): 1971-1975.

Buyya, R., and A. V. Dastjerdi. 2016. Internet of Things: Principles and Paradigms. Elsevier, New York.

Chaiyakum, K., and Y. Preedalumpaburt. 2006. Grouper (*Epinephelus coioides*, Hamilton) culture in circulating aquaculture systems with two biological treatment. Thai Fisheries Gazette. 59: 409–416.

Chowdhury, M. A., N. C. Roy, and A. Chowdhury. 2020. Growth, yield and economic returns of striped catfish (*Pangasianodon hypophthalmus*) at different stocking densities under floodplain cage culture system. The Egyptian Journal of Aquatic Research. 46(1): 91-95.

Chowdhury, R. H., S. B. Saha, M. N. Islam, and N. G. Das. 2002. Production of Thai Catfish (*Pangasius sutchi*, Fowler) in the Coastal Impoundments of Cox's Bazar at Different Stocking Densities. Journal of Aquaculture in the Tropics. 17(3): 231-240.

Duangwongsa, J., T. Ungsethaphand, P. Akaboot, S. Khamjai, and S. Unankard. 2021. Real-time Water Quality Monitoring and Notification System for Aquaculture. Joint International Conference on Digital Arts, Media and Technology with ECTI Northern Section Conference on Electrical, Electronics, Computer and Telecommunication Engineering. 2021: 9-13.

Halver, J. 1972. Fish Nutrition. Academic Press, New York.

Kim, Y., N. Lee, B. Kim, and K. Shin. 2018. Realization of IoT Based Fish Farm Control Using Mobile App. International Symposium on Computer, Consumer and Control (IS3C). 2018: 189-192.

LEGA Corporation Co., Ltd. 2016. Available: https://legatool.com/wp/78/. Accessed March 5, 2021.

Paul, B. N., S. Bhowmick, S. Chanda, N. Sridhar, and S. S. Giri. 2018. Nutrient profile of five freshwater fish species. SAARC Journal of Agriculture. 16(2): 25-41.

Rowland, S. J., C. Mifsud, M. Nixon, and P. Boyd. 2006. Effects of stocking density on the performance of the Australian freshwater silver perch (*Bidyanus bidyanus*) in cages. Aquaculture. 253(1-4): 301-308.

Soni, S., S. Mandloi, and J. K. Jain. 2011. Zig Bee Based Farming Using Sensor-Based Wireless Mesh Networks. In: Proceedings of the 5th National Conference; INDIACom-2011, Computing For Nation Development, 10 – 11 March. Bharati Vidyapeeth's Institute of Computer Applications and Management, New Delhi.

Srithong, C., Y. Musig, N. Areechon, and W. Taparhudee. 2015. Water quality and growth performance of hybrid catfish (Clarias macrocephalus x C. Gariepinus) Comparisons in Two Type of Water Recirculating System and a Water Exchange System. Journal of Fisheries and Environment. 39(3): 57-69.

Weston, D. P. 1996. Environmental considerations in the use of antibacterial drugs in aquaculture. Aquaculture and Water Resources Management. 45: 140-165.