การศึกษาการเพาะฟักและอนุบาลลูกปลาเรนโบว์เทราต์สองประชากรระดับความหนาแน่นที่แตกต่างกันในระบบน้ำหมุนเวียนแบบกึ่งปิดต้นแบบเกษตรอัจฉริยะบนระบบไอโอที (IoT)

Study on the incubation and nursing of two populations rainbow trout at different stocking densities in a semi-closed recirculating water system for smart agriculture using IoT system

ณรงค์ชัย สงวนศรี[1] วชิระ เกตุเพชร[1] สานนท์ น้อยชื่น[1] ศิวศักดิ์ กิติสาย[1] ประสาน พรโสภิณ[2] ธนัช ศิริศึกษา[2] และวรจักร์ เมืองใจ[3]

Narongchai Sanguansri[1], Wachira Ketpet[1], Sanon Noichun[1], Siwasak Kitisai[1] Prasarn Pornsophin[2], Thanat Sirisuksa[2] and Worachak Muangjai[3]

[1]มูลนิธิโครงการหลวง เชียงใหม่ 50100

[2]ศูนย์วิจัยและพัฒนาการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำจืดเชียงใหม่ เชียงใหม่ 50290

[3]มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา เชียงใหม่ 50300

[1]Royal Project Foundation, Chiang Mai, Thailand 50100

[2]Aquaculture Research and Development Regional Center 1 (Chiang Mai), Chiang Mai, Thailand 50200

[3]Rajamangala University of Technology Lanna, Chiang Mai, Thailand 50300

*Corresponding author: wachiraketpet@hotmail.co.th

Abstract

Rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) is a freshwater fish that lives in cold water with a temperature range of 12-25 degrees Celsius. The Royal Project Foundation, in collaboration with the Department of Fisheries, has successfully studied its aquaculture since 1998. However, current climate change has affected rainbow trout aquaculture, causing continuous and prolonged fish fry mortality. This research aimed to study the application of the recirculating aquaculture system (RAS), a prototype of smart agriculture based on the IoT system, for the hatchery and nursery of two all-female rainbow trout populations with different chromosome numbers, namely 2N (diploid) and 3N (triploid), to solve the problem of fish fry mortality. It was assumed that fish fry with different chromosome numbers may respond differently to the recirculating aquaculture system (RAS).

The study was divided into two activities: Activity 1: Hatching of rainbow trout eggs at the eyed stage from two populations for 30 days. It was found that the hatching rate of the 3N population was 97.02±0.23%, higher than that of the 2N population at 91.13±0.07%. There were 42,726 live eggs, more than the 2N population with 39,387 live eggs. There were 1,625 atresic eggs, fewer than the 2N

population with 4,147 atresic eggs. This was because the 3N population was stronger than the 2N population, resulting in more live eggs and a higher hatching rate. The difference was statistically significant ($p<0.05$). However, the weight and length of the newly hatched fish were higher in the 3N population, but not statistically significant ($p>0.05$). After 30 days of incubation, the 3N population had a higher survival rate (90.79%) than the 2N population (86.76%). As for the specific growth rate, the 2N population (7.15±0.00%) had a higher specific growth rate than the 3N population (6.86±0.00%), while the average weight and average length of the two populations were not significantly different ($p>0.05$). Activity 2: Nursery of two populations of rainbow trout at different stocking densities in a semi-closed recirculating water system for 90 days. It was found that the stocking density of 2,000 fish was the most suitable for the nursery of rainbow trout because it resulted in the highest survival rate for both the 2N population (94.07±0.15%) and the 3N population (93.87±0.60%). The specific growth rate, average weight, and average length of all treatments were not significantly different ($p>0.05$).

Keywords: nursery system, rainbow trout, recirculating aquaculture system, smart agriculture IoT system

บทคัดย่อ

ปลาเรนโบว์เทราต์ (*Oncorhynchus mykiss*) เป็นปลาน้ำจืดที่อาศัยอยู่ในน้ำเย็นที่มีอุณหภูมิของน้ำ 12-25 องศาเซลเซียส มูลนิธิโครงการหลวงร่วมกับกรมประมงได้ศึกษาวิจัยการเพาะเลี้ยงจนประสบความสำเร็จ ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2541 แต่อย่างไรก็ตามการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศในปัจจุบัน ส่งผลกระทบต่อการเพาะเลี้ยงปลาเรนโบว์เทราต์ ทำให้ประสบปัญหาลูกปลาตายในระหว่างเพาะเลี้ยงมาอย่างต่อเนื่องและยาวนาน การวิจัยครั้งนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาการนำเทคโนโลยีระบบน้ำหมุนเวียน (Recirculating Aquaculture System, RAS) ต้นแบบเกษตรอัจฉริยะบนระบบไอโอที (IoT) มาประยุกต์ใช้ในการเพาะฟักและอนุบาลลูกปลาเรนโบว์เทราต์สองประชากรเพศเมียล้วน (All female) ที่มีจำนวนโครโมโซมแตกต่างกัน คือ 2N (Diploid) และ 3N (Triploid) เพื่อแก้ไขปัญหาการตายของลูกปลาดังกล่าว โดยมีสมมุติฐานว่าลูกปลาที่มีจำนวนโครโมโซมแตกต่างกันอาจมีการตอบสนองต่อการเพาะเลี้ยงแตกต่างกัน โดยแบ่งเป็น 2 กิจกรรม คือ กิจกรรมที่ 1 การฟักไข่ระยะมีจุดตาของปลาเรนโบว์เทราต์สองกลุ่มประชากร เป็นเวลา 30 วัน พบว่าอัตราฟักไข่ของกลุ่มประชากร 3N มีค่า 97.02$\pm$0.23% สูงกว่ากลุ่มประชากร 2N ที่มีค่าอัตราฟักไข่ 91.13$\pm$0.07% มีจำนวนไข่ดี 42,726 ฟอง มากกว่ากลุ่มประชากร 2N ที่มีจำนวนไข่ดี 39,387 ฟอง และมีจำนวนไข่เสีย 1,625 ฟอง น้อยกว่ากลุ่มประชากร 2N ที่มีจำนวนไข่เสีย 4,147 ฟอง ทั้งนี้เป็นเพราะกลุ่มประชากร 3N มีความแข็งแรงมากกว่ากลุ่มประชากร 2N จึงมีจำนวนไข่ดีมากกว่าสามารถเพาะฟักได้ในอัตราสูงกว่า แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) แต่มีน้ำหนักและความยาวของลูกปลาฟักใหม่ไม่แตกต่างทางสถิติ ($p>0.05$) และหลังจากเพาะฟักเป็นเวลา 30 วัน พบว่ากลุ่มประชากร 3N มีอัตราการรอดตายมากกว่า (90.79%) กลุ่มประชากร 2N (86.76%) ส่วนอัตรา

การเจริญเติบโตจำเพาะพบว่ากลุ่มประชากร 2N (7.15±0.00%) มีอัตราการเจริญเติบโตจำเพาะมากกว่ากลุ่มประชากร 3N (6.86±0.00%) ในขณะที่น้ำหนักเฉลี่ยและความยาวเฉลี่ย ทั้ง 2 กลุ่มประชากรไม่แตกต่างทางสถิติ ($p>0.05$) กิจกรรมที่ 2 การอนุบาลลูกปลาเรนโบว์เทราต์ 2 กลุ่มประชากรที่ระดับความหนาแน่นที่แตกต่างกันในระบบน้ำหมุนเวียนแบบกึ่งปิด เป็นเวลา 90 วัน พบว่าระดับความหนาแน่นที่ 2,000 ตัว มีความเหมาะสมสำหรับอนุบาลลูกปลาเรนโบว์เทราต์มากที่สุด เพราะให้อัตรารอดตายมากที่สุด ทั้งกลุ่มประชากร 2N (94.07±0.15%) และกลุ่มประชากร 3N (93.87±0.60%) ในขณะที่อัตราการเจริญเติบโตจำเพาะ น้ำหนักเฉลี่ยและความยาวเฉลี่ย ทุกกรรมวิธีไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p>0.05$)

คำสำคัญ: ระบบการอนุบาล เรนโบว์เทราต์ ระบบน้ำหมุนเวียน เกษตรอัจฉริยะ ระบบไอโอที

คำนำ

ปลาเรนโบว์เทราต์มีชื่อวิทยาศาสตร์ *Oncorhynchus mykiss* (Harvey Pough *et al*., 1990) มีถิ่นกำเนิดจากทวีปอเมริกาเหนือแถบชายฝั่งด้านมหาสมุทรแปซิฟิก มีชื่อสามัญ Rainbow Trout, Steelhead trout หรือ Kamloops trout (Scott and Crossman, 1985) เป็นปลาน้ำจืดที่อาศัยอยู่ในลำธารตามธรรมชาติของทวีปอเมริกาเหนือ เช่น แคนาดา และสหรัฐอเมริกา เป็นต้น อาศัยอยู่ในน้ำเย็นที่มีอุณหภูมิของน้ำ 12 องศาเซลเซียส และไม่เกิน 25 องศาเซลเซียส สำหรับประเทศไทย ในปี พ.ศ. 2516 พระบาทสมเด็จพระบรมชนกาธิเบศร มหาภูมิพลอดุลยเดชมหาราช บรมนาถบพิตร มีรับสั่งให้กรมประมงหาพันธุ์ปลาที่สามารถเลี้ยงได้บนดอยหรือในที่มีอากาศหนาวเย็นมาเพาะเลี้ยง เพื่อสร้างอาชีพและรายได้ให้กับชาวเขาบนพื้นที่สูง ในปี พ.ศ. 2541 มูลนิธิโครงการหลวงร่วมกับกรมประมงได้มีการวิจัยการเลี้ยงปลาเรนโบว์เทราต์ในพื้นที่สถานีเกษตรหลวงอินทนนท์ขึ้นอีกครั้งจนประสบความสำเร็จ (Oonsrisong *et al.,* 2001) ผลกระทบของการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศของโลกในปัจจุบัน ส่งผลให้อุณหภูมิเฉลี่ยของโลกเปลี่ยนแปลง บางปีมีน้ำมาก บางปีมีน้ำน้อย สถานการณ์ดังกล่าวได้ส่งผลต่อการเพาะเลี้ยงปลาเรนโบว์เทราต์ในพื้นที่หน่วยวิจัยประมงบนพื้นที่สูงดอยอินทนนท์ ทำให้ประสบปัญหาลูกปลาตายในระหว่างการเพาะเลี้ยงและอนุบาลมาอย่างต่อเนื่องและยาวนาน โดยเฉพาะลูกปลาเป็นจุดเริ่มต้นของการผลิต ซึ่งการลดความสูญเสียและเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตและอนุบาลลูกปลาจะทำให้ลูกปลามีอัตราการรอดตายมากขึ้นส่งผลให้ปลามีผลผลิตมากขึ้น คณะผู้วิจัยจึงมีแนวความคิดที่จะนำเทคโนโลยีสมัยใหม่เข้ามาเพิ่มประสิทธิภาพในการอนุบาลลูกปลาโดยระบบน้ำหมุนเวียน (Recirculating Aquaculture System, RAS) เพราะเป็นระบบที่ทันสมัยเหมาะสำหรับนำมาประยุกต์ใช้กับการเพาะเลี้ยงปลาเรนโบว์เทราต์ของมูลนิธิโครงการหลวงได้ โดยสามารถควบคุมคุณภาพน้ำให้สม่ำเสมอ โดยเฉพาะอุณหภูมิน้ำ ปริมาณการใช้น้ำ และปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำที่มีความจำเป็นต่อการอนุบาลลูกปลาเรนโบว์เทราต์ได้อย่างมีประสิทธิภาพได้ตลอดทั้งปี

อุปกรณ์และวิธีการ

การเตรียมสัตว์ทดลอง

การทดลองใช้สถานที่เพาะฟักที่หน่วยวิจัยประมงบนพื้นที่สูงดอยอินทนนท์ อำเภอจอมทอง จังหวัดเชียงใหม่ ลูกปลาที่ใช้ทดลองได้จากการนำเข้าไข่ปลาเพศเมียล้วนระยะมีตา (Eyed stage) จากบริษัท Trout lodge ประเทศสหรัฐอเมริกา แบ่งเป็น 2 กลุ่มประชากร คือ กลุ่มประชากรโครโมโซม 2 ชุด และกลุ่มประชากรโครโมโซม 3 ชุด (เป็นหมัน) อย่างละ 50,000 ฟอง ฟักไข่ในตะกร้าขนาด 40x25x20 ตารางเซนติเมตร จำนวน 12 ตะกร้า แขวนไว้ในรางฟักขนาด 300x50x25 ตารางเซนติเมตร ที่มีน้ำไหลผ่านในอัตรา 10-15 ลิตรต่อนาที และมีการให้อากาศโดยควบคุมให้ปริมาณออกซิเจนที่ละลายน้ำในรางอนุบาลไม่น้อยกว่า 6 ppm ควบคุมอุณหภูมิระหว่าง 10-12 องศาเซลเซียส พร้อมทั้งนำพลาสติกดำมาคลุมไว้เพื่อป้องกันแสง หลังจากเพาะฟักจึงนำมาใช้ในงานวิจัย อนุบาลลูกปลาโดยให้อาหารโปรตีนไม่น้อยกว่า 42% ให้อาหารจำนวน 8 ครั้งต่อวัน ในปริมาณ 5-8% ของน้ำหนักตัวต่อวัน

การตรียมรางอนุบาลในระบบน้ำหมุนเวียนกึ่งปิดอัตโนมัติ

ออกแบบระบบน้ำหมุนเวียน ประกอบด้วย 7 ระบบ (Figure 1) ดังนี้ 1) ระบบบำบัดน้ำ ประกอบด้วย ระบบกรองน้ำตัวกรองแบบดรัม (Drum filter) อัตราการไหลของน้ำ 30 ลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง และระบบกรองน้ำชีวภาพ ใช้ถังบรรจุน้ำขนาด 3,000 ลิตร ภายในถังบรรจุวัสดุกรอง (Moving bed media) 2) ระบบฆ่าเชื้อด้วย UV ประกอบด้วยบ่อพักน้ำขนาด 335x429x223 ลูกบาศก์เซนติเมตร ภายในติดตั้งหลอด UV ขนาด 40 วัตต์ จำนวน 10 หลอด (Thompongkrang and Preedalamphabut 2021) 3) ระบบเติมออกซิเจนเติมผ่านปั๊มลมซุปเปอร์ชาร์จเติมอากาศด้วยหัวทรายภายในบ่อพักน้ำเพื่อทำให้ Moving bed เคลื่อนที่ตลอดเวลา และเครื่องผลิตออกซิเจนบริสุทธิ์ 93-95% และเติมผ่านเครื่อง Oxygen cone 4) ระบบอนุบาล ประกอบด้วยรางสแตนเลส ขนาด 300x50x25 ตารางเซนติเมตร มีท่อระบายน้ำ และท่อให้อากาศโดยควบคุมปริมาณออกซิเจนในรางอนุบาล 5) ระบบทำความเย็น โดยใช้ปั๊มน้ำขนาด 0.5 แรงม้า ขนาดของคอมเพสเซอร์ขนาด 380-420 โวลท์ เพื่อควบคุมอุณหภูมิน้ำภายในบ่อพักให้อยู่ระหว่าง 10-12 องศาเซลเซียส สำหรับการฟักไข่ และ 15-18 องศาเซลเซียส สำหรับการอนุบาลลูกปลา 6) ระบบให้อาหารปลาอัตโนมัติที่สามารถตั้งค่าปริมาณและเวลาการให้อาหารได้รางละ 1 เครื่อง ติดตั้งบริเวณจุดกึ่งกลางของรางห่างจากท่อน้ำเข้าประมาณ 50 เซนติเมตร โดยสามารถควบคุมแบบอัจฉริยะกำหนดเวลาให้อาหารตามแผนการทดลองได้ 7) ระบบควบคุมแบบอัจฉริยะ ประกอบไปด้วยตัวรับสัญญาณขาเข้าจากเซ็นเซอร์ต่าง ๆ โดยมีไมโครคอนโทรลเลอร์ชนิด PLC ซึ่งมีหน้าที่ประมวลผล และควบคุมการทำงานของระบบทั้งหมดออนไลน์ด้วยระบบ IoT (Internet of Thing) ผ่านแอพลิเคชัน Haiwell Cloud แสดงผลผ่านหน้าจอแบบ LED

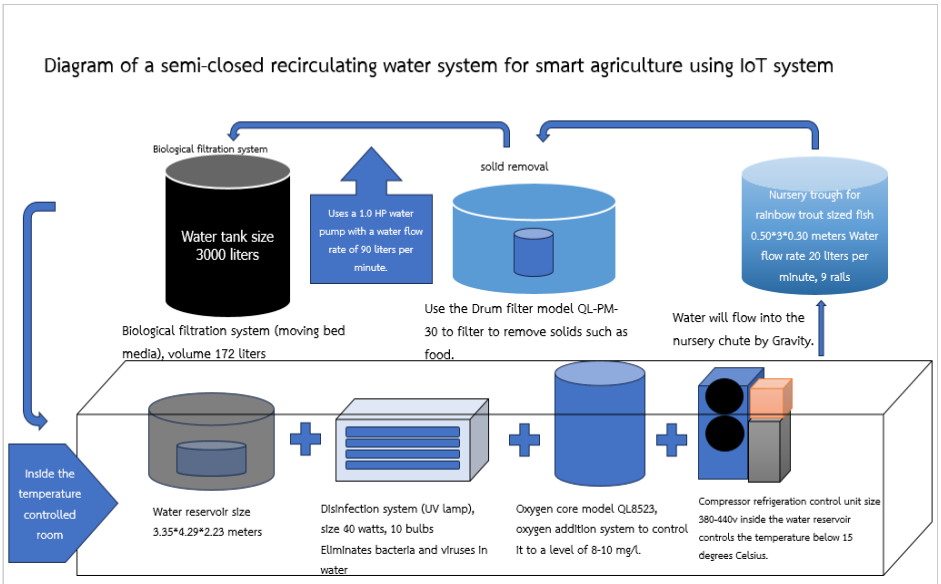

Figure 1 Diagram of a semi-closed recirculating water system for smart agriculture using IoT system

การวิเคราะห์คุณภาพน้ำ

วิเคราะห์คุณภาพน้ำ ได้แก่ อุณหภูมิของน้ำ มีหน่วยเป็นองศาเซลเซียส และปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำ (Dissolved oxygen) บันทึกข้อมูลด้วยตู้ Aqua eye controller PT100 (Temperature sensor) DO sensor ทุกวัน ตรวจวิเคราะห์เดือนละ 2 ครั้ง ความเป็นกรดเป็นด่าง (pH) ด้วยกระดาษลิตมัส ความเป็นด่าง (Alkalinity) มีหน่วยเป็นมิลลิกรัมต่อลิตรของแคลเซียมคาร์บอเนต ความกระด้าง (Hardness) มีหน่วยเป็นมิลลิกรัมต่อลิตรของแคลเซียมคาร์บอเนต ปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์อิสระในน้ำ (Free carbon dioxide) มีหน่วยเป็นมิลลิกรัมต่อลิตร ด้วยวิธีไตเตรทตามวิธีกล่าวอ้าง โดย Duangsawat and Somsri (1985) และปริมาณแอมโมเนียรวม (Total ammonia) มีหน่วยวัดเป็นมิลลิกรัมต่อลิตร ด้วยเครื่อง spectrophotometer ยี่ห้อ JASCO V-730

การวิเคราะห์ทางสถิติ

นำข้อมูลที่คำนวณได้มาทดสอบความแตกต่างทางสถิติโดยวิธีวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติ (Two Way ANOVA) และเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยระหว่างชุดการทดลองด้วยวิธี Duncan's new multiple range test ด้วยโปรแกรมทางสถิติ SPSS ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

กิจกรรมที่ 1 การฟักไข่ของปลาเรนโบว์เทราต์สองกลุ่มประชากร

ทำการสุ่มนับไข่ปลาเพศเมียล้วนระยะมีจุดตาที่นำเข้าจากบริษัท Trout Lodge ประเทศสหรัฐอเมริกา โดยนับจำนวนไข่ลงในตะกร้าเพาะฟัก วางแผนการทดลองแบบ Completely Randomized design (CRD) โดยเปรียบเทียบการฟักไข่จากไข่ปลา 2 กลุ่มประชากร คือ กลุ่มประชากรโครโมโซม 2 ชุด และกลุ่มประชากรโครโมโซม 3 ชุด ชุดการทดลองละ 6 ซ้ำ สุ่มลงฟักในตะกร้าฟักไข่ที่แขวนในราง จำนวน 12 ตะกร้า ตะกร้าละ 3,000 ฟอง ทั้งนี้ใช้ตะกร้าฟักไข่จำนวน 6 ตะกร้าต่อราง

จำนวน 2 ราง รวมทั้งสิ้น 12 ตะกร้า ทำการบันทึกผล ได้แก่ จำนวนไข่ดี จำนวนไข่เสีย ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางไข่ %การฟัก อัตราการฟักไข่ จำนวนปลาที่เพาะฟักเป็นตัว จำนวนปลาผิดปกติ บันทึกข้อมูลจำเพาะอายุ 1,7,15 และ 30 วัน

กิจกรรมที่ 2 การศึกษาการอนุบาลลูกปลาเรนโบว์เทราต์สองกลุ่มประชากรที่เพาะเลี้ยงในระดับความหนาแน่นที่แตกต่างกันในระบบน้ำหมุนเวียนแบบกึ่งปิด

วางแผนการทดลองแบบ 2x2 Factorial in Completely Randomized Design: CRD จำนวน 2 ปัจจัย ๆ ละ 3 ซ้ำ ปัจจัยที่ 1 ความหนาแน่น 2 ระดับ คือ 1,500 และ 2,000 ตัวต่อราง ปัจจัยที่ 2 ประชากรลูกปลาเรนโบว์เทราต์ จำนวน 2 กลุ่มประชากร คือ กลุ่มประชากรโครโมโซม 2 ชุด และ 3 ชุด ทำการสุ่มนับจำนวนลูกปลา อายุ 15 วัน อนุบาลลูกปลาในรางอนุบาล ขนาด 300x50x25 ตารางเซนติเมตร ควบคุมน้ำไหลผ่านรางในอัตรา 10 ลิตรต่อนาที โดยมีการเติมน้ำใหม่เข้าสู่ระบบ 10% และมีการให้อากาศโดยควบคุมให้ปริมาณออกซิเจนที่ละลายน้ำในรางอนุบาลไม่น้อยกว่า 6 ppm ตลอดระยะเวลาการอนุบาลด้วยชุดควบคุมอัจฉริยะ โดยให้อาหารจำนวน 8 ครั้งต่อวัน ด้วยอาหารเม็ดสำเร็จรูปโปรตีน 42% ในปริมาณ 5-8% ของน้ำหนักตัวต่อวัน บันทึกผลทุก 15 วัน เป็นเวลา 90 วัน เลี้ยงจนได้ลูกปลาขนาดนิ้ว (Fingerlings) น้ำหนักประมาณ 5 กรัม ทำการวิเคราะห์ข้อมูล ได้แก่ อัตรารอดตาย (Survival rate) อัตราการเจริญเติบโตจำเพาะ (Specific Growth Rate: SGR) น้ำหนักเพิ่มต่อวัน (Daily Weight Gain: DWG) และความยาวเพิ่มต่อวัน (Daily Length Gain: DLG)

ผลการวิจัย

กิจกรรมที่ 1 การฟักไข่และอนุบาลของปลาเรนโบว์เทราต์สองกลุ่มประชากร

การฟักไข่ลูกปลาเรนโบว์เทราต์สองกลุ่มประชากร พบว่าไข่ระยะมีจุดตาของกลุ่มประชากร 2N และ 3N มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางไข่เฉลี่ย 5.34±0.28 และ 5.26±0.36 มิลลิเมตร มีจำนวนไข่ดี 39,387 และ 42,726 ฟอง มีจำนวนไข่เสีย 4,174 และ 1,625 ฟอง คิดเป็นอัตราการฟักไข่เฉลี่ย 91.13±0.07 และ 97.02±0.23% ตามลำดับ เมื่อวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติพบว่า ขนาดไข่ทั้งสองกลุ่มประชากรแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) ในขณะที่อัตราการฟักไข่ในกลุ่มประชากร 3N มีค่าสูงกว่ากลุ่มประชากร 2N แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) ลูกปลาแรกฟักของทั้งสองกลุ่มประชากร มีน้ำหนักเฉลี่ย 0.11±0.00 และ 0.12±0.00 กรัม และมีความยาวเหยียดเฉลี่ย 15.28±1.34 และ 16.25±1.06 มิลลิเมตร ตามลำดับ มีความแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติของน้ำหนักและความยาวเหยียดแรกฟัก ระหว่างสองกลุ่มประชากร ($p>0.05$) (Table1)

Table 1 Hatching results of rainbow trout fry from two populations

Parameter	Duration (day)	Diploids (2N)	Triploids (3N)	P
Egg size at eye stage (mm)	1	5.34±0.28	5.26±0.36	0.785
Number of live eggs (eggs)	7	39,387±1,426.45^{b}	42,726±286.33^{a}	0.026
Number of atresia eggs (eggs)	7	4,147±11.15^{a}	1,625±78.95^{b}	0.014
Hatch rate (%)	7	91.13±0.07^{b}	97.02±0.23^{a}	0.020
Average weight of newly hatched fry (g)	8-14	0.11±0.00	0.12±0.00	1.000
Average total length (mm)	8-14	15.28±1.34	16.25±1.06	0.766

The mean (mean±SD) indicated by different English letters horizontally indicates a statistically significant difference ($p<0.05$).

การอนุบาลลูกปลาเรนโบว์เทราต์สองกลุ่มประชากรในระยะ 30 วัน พบว่าในด้านอัตราการรอดตายของลูกปลากลุ่มประชากร 2N และกลุ่มประชากร 3N มีอัตราการรอดตายโดย**อายุ 7 วัน** มีอัตราการรอดตาย 94.04 และ 97.68% **อายุ 15 วัน** มีอัตราการรอดตาย 90.06 และ 94.29% และ**อายุ 30 วัน** มีอัตราการรอดตาย 86.76 และ 90.79% เมื่อวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติพบว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติระหว่างกลุ่มประชากร ($p<0.05$) ในด้านอัตราการเจริญเติบโตจำเพาะของลูกปลากลุ่ม 2N และกลุ่ม 3N โดย**อายุ 7 วัน** มีอัตราการเจริญเติบโตจำเพาะ 6.22±0.00 และ5.79±0.00 % เมื่อ**อายุ 15 วัน** มีอัตราการเจริญเติบโตจำเพาะ 5.99±0.00 และ 5.65±0.00% **อายุ 30 วัน** มีอัตราการเจริญเติบโตจำเพาะ 7.15±0.00 และ 6.86±0.00% เมื่อวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติพบว่ามีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติของอัตราการเจริญเติบโตจำเพาะระหว่างสองกลุ่มประชากร ($p<0.05$) ในด้านน้ำหนักเฉลี่ยของทั้งสองกลุ่มประชากรมีน้ำหนักเฉลี่ย **อายุ 7 วัน** 0.17±0.00 และ 0.18±0.00 กรัม **อายุ 15 วัน** 0.27±0.00 กรัม และ 0.29±0.00 กรัม **อายุ 30 วัน** 0.94±0.00 และ 0.94±0.00 กรัม ตามลำดับ เมื่อวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติพบว่าไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p>0.05$) ในด้านความยาวเฉลี่ย พบว่าไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p>0.05$) เช่นเดียวกัน โดย**อายุ 7 วัน** มีความยาวเฉลี่ย 19.95±1.78 และ 19.54±1.38 มิลลิเมตร **อายุ 15 วัน** 28.94±1.94 และ 29.55±2.01 มิลลิเมตร **อายุ 30 วัน** 41.53±4.64 และ 42.71±2.59 มิลลิเมตร สรุปได้ว่ากลุ่มประชากรลูกปลาทั้ง 2 กลุ่ม เมื่ออายุ 7-30 วัน มีอัตราการรอดตายแตกต่างทางสถิติ โดยเฉพาะกลุ่มประชากร 3N มีอัตราการรอดมากกว่ากลุ่มประชากร 2N แต่กลุ่มประชากร 2N มีอัตราการเจริญเติบโตจำเพาะมากกว่ากลุ่มประชากร 3N ส่วนน้ำหนักเฉลี่ยและความยาวเฉลี่ยของลูกปลาไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ (Table 2)

Table 2 Survival rate, and growth of rainbow trout fry from two populations during 7-30 days old

Parameter	Age of fish fry (days)	Diploids (2N)	Triploids (3N)	P
Survival rate (%)	7	94.04^{b}	97.68^{a}	0.012
	15	90.06^{b}	94.29^{a}	0.015
	30	86.76^{b}	90.79^{a}	0.014
Specific growth rate (%)	7	6.22±0.00^{a}	5.79±0.00^{b}	0.023
	15	5.99±0.00^{a}	5.65±0.00^{b}	0.019
	30	7.15±0.00^{a}	6.86±0.00^{b}	0.013
Daily weight gain/per day (g)	7	0.17±0.00	0.18±0.00	1.000
	15	0.27±0.00	0.29±0.00	1.000
	30	0.94±0.00	0.94±0.00	1.000
Daily length gain/per day (mm)	7	19.95±1.780	19.54±1.380	0.214
	15	28.94±1.970	29.55±2.010	0.692
	30	41.53±4.640	042.7±259	1.000

The mean (mean±SD) indicated by different english letters horizontally indicates a statistically significant difference ($p<0.05$).

กิจกรรมที่ 2 การอนุบาลลูกปลาเรนโบว์เทราต์สองกลุ่มประชากรที่เพาะเลี้ยงในระดับความหนาแน่นที่แตกต่างกันในระบบน้ำหมุนเวียนแบบกึ่งปิด

จาก Table 3 พบว่าปัจจัยในเรื่องกลุ่มประชากรทั้งสองกลุ่มประชากรไม่มีผลต่อทุกลักษณะการเจริญเติบโต ในขณะที่ความหนาแน่นของการอนุบาลมีผลอย่างแตกต่างกันมีนัยสำคัญยิ่ง ($p<0.01$) ต่ออัตราการรอด แต่ไม่มีผลกับลักษณะอื่น ๆ ส่วนในเรื่องปฏิสัมพันธ์ระหว่างกลุ่มประชากรและความหนาแน่นมีผลอย่างมีผลแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p<0.05$) แต่ไม่มีผลกับลักษณะอื่น ๆ เช่นเดียวกัน ซึ่งในที่นี้พบว่าการอนุบาลปลาที่ระดับความหนาแน่น 2,000 ตัว มีอัตราการรอดมากที่สุด (93.967%) ทั้งกลุ่มประชากรดิพพลอยด์ (2N) หรือกลุ่มประชากรทริพพลอยด์ (3N) โดยมีอัตราการรอดมากที่สุดเมื่อมีความหนาแน่น 2,000 ตัว คือ 94.067 และ 93.867% ตามลำดับ

Table.3 Results of rearing two populations of rainbow trout at different densities in a semi-closed recirculating water system, a prototype of smart agriculture based on IoT (IoT), after cultivation for 90 days

Populations	Density	Survival rate[1/] (%)	Daily weight gain (g)	Daily length gain (mm)	Specific growth rate (%)
2n		93.133	0.078	0.668	2.975
3n		92.933	0.082	0.660	3.027
	1,500	92.100 b	0.084	0.687	3.082
	2,000	93.967 a	0.075	0.642	2.920
2n	1,500	92.200 b	0.085	0.690	3.110
	2,000	94.067 a	0.071	0.647	2.840
3n	1,500	92.000 b	0.083	0.683	3.053
	2,000	93.867 a	0.080	0.637	3.000
F-test	**Populations**	**ns**	**ns**	**ns**	**ns**
	Density	**	**ns**	**ns**	**ns**
	Populations x Density	*	**ns**	**ns**	**ns**
	CV (%)	**0.74**	**15.24**	**9.64**	**6.99**

ns, *, ** = are non-significantly difference, significantly difference at P<0.05 and P<0.01, respectively

[1/]Means within the same column followed by different letters are significantly different by DMRT

วิจารณ์ผลการวิจัย

การศึกษาการฟักไข่ของปลาเรนโบว์เทราต์ 2 กลุ่มประชากรที่มีจำนวนชุดโครโมโซมแตกต่างกัน เป็นเวลา 30 วัน พบว่ากลุ่มประชากร 3N มีจำนวนไข่ดี อัตราการเพาะฟักมากกว่ากลุ่มประชากร 2N และมีจำนวนไข่เสียน้อยกว่าเพราะกลุ่มประชากร 3N มีความแข็งแรงกว่ากลุ่มประชากร 2N ทำให้มีจำนวนไข่ดีมากกว่า จึงมีอัตราการเพาะฟักที่สูงกว่า และเมื่อเพาะฟักพบว่าจะมีน้ำหนักและความยาวมากกว่า สอดคล้องกับการรายงานของ Lee *et al.* (2023) ที่พบว่าไข่ปลาเรนโบว์เทราต์ที่มีโครโมโซม 3 ชุด Triploids (3N) มีการเจริญเติบโตรวดเร็วกว่าไข่ปลาเรนโบว์เทราต์ที่มีโครโมโซม 2 ชุด Diploids (2N) ทั้งในด้านของน้ำหนักเฉลี่ยและความยาวตัว การศึกษาการอนุบาลลูกปลาเรนโบว์เทราต์ 2 กลุ่มประชากรที่ระดับความหนาแน่นที่แตกต่างกันในระบบน้ำหมุนเวียนแบบกึ่งปิด เป็นเวลา 90 วัน พบว่าระดับความหนาแน่นที่ 2,000 ตัว เหมาะสมสำหรับอนุบาลลูกปลาเรนโบว์เทราต์ เพราะลูกปลามีอัตรารอดตาย 94.07$\pm$0.15% ซึ่งอาจเกิดจากการตายของลูกในความหนาแน่น 2 ระดับ มีจำนวนการตายใกล้เคียงกัน แต่เมื่อนำมาวิเคราะห์อัตราการรอดตาย

แล้วจึงทำให้เปอร์เซ็นต์อัตราการรอดตายของกลุ่มระดับความหนาแน่น 2,000 ตัวสูงกว่า เพราะมีจำนวนปลาในการทดลองมากกว่าระดับความหนาแน่น 1,500 ตัว ในขณะที่อัตราการเจริญเติบโตจำเพาะ น้ำหนักเฉลี่ยและความยาวเฉลี่ย ทุกกรรมวิธีไม่แตกต่างกันทางสถิติ แต่ที่ระดับความหนาแน่น 1,500 ตัว พบว่ามีแนวโน้มที่อัตราการเจริญเติบโตจำเพาะ น้ำหนักเฉลี่ยและความยาวเฉลี่ย มากกว่าเล็กน้อย ทั้ง 2 ประชากร เพราะมีระดับความหนาแน่นน้อยกว่า จึงทำให้มีอัตราการเจริญเติบโตจำเพาะ น้ำหนักเฉลี่ย และความยาวเฉลี่ยมากกว่าระดับ ความหนาแน่นที่ 2,000 ตัว ในขณะที่ Suda *et al.* (2022) ได้ศึกษาการเลี้ยงปลาชะโอนในระดับความหนาแน่นที่แตกต่างกัน 4 ระดับ คือ 250, 300, 350 และ 400 ตัว/ตรม. ในระบบหมุนเวียนแบบปิดขนาดเล็กต้นแบบเกษตรอัจฉริยะบนระบบ IoT เช่นเดียวกัน พบว่าอัตราการรอดตายทุกระดับความหนาแน่นไม่แตกต่างกัน คือ 100$\pm$0.00, 100$\pm$0.00, 99.28$\pm$0.01 และ 98.92$\pm$0.02 แต่ระดับความหนาแน่นที่เพิ่มขึ้นมีแนวโน้มลดอัตราการรอดตายของปลา อย่างไรก็ตาม สำหรับการอนุบาลลูกปลาอาจมีระดับความหนาแน่นของลูกปลาแตกต่างไปในชนิดของปลาและระบบการอนุบาล ซึ่งในที่นี้ใช้วิธีอนุบาลลูกปลาในรางสแตนเลส ซึ่งแตกต่างจากวิธีการอนุบาลลูกปลาดุกอุยเทศในระบบน้ำไหลของ Detanun *et al.* (2021) ที่ใช้วิธีการอนุบาลในถังพลาสติกรูปวงรี โดยพบว่าระดับความหนาแน่นที่เหมาะสม คือ 500 ตัว/ตรม. เนื่องจากมีน้ำหนักเฉลี่ย ความยาวเฉลี่ย และการเจริญเติบโตดีที่สุด แต่ระดับความหนาแน่น 5,000 ตัว/ตรม. มีอัตรารอดสูงที่สุด และการอนุบาลลูกปลาหมอในกระชัง Ungsetthaphan *et al.* (2011) ที่พบว่าระดับความหนาแน่นที่เหมาะสม คือ 200 ตัว/ตร.ม. โดยที่มีอัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อและอัตราการรอด ไม่แตกต่างกับความหนาแน่นที่ 100 และ 50 ตัว/ตร.ม แต่ให้ค่าผลตอบแทนต่อต้นทุนสูงที่สุด ส่วนลูกปลาน้ำหมึกพบว่าระดับความหนาแน่นที่เหมาะสมสำหรับการอนุบาลลูกปลาน้ำหมึกคือ 600 ตัว/ลบ.ม. (Seetapan, 2020)

สรุปผลการวิจัย

การศึกษาการฟักไข่ของปลาเรนโบว์เทราต์ 2 กลุ่มประชากรที่มีจำนวนชุดโครโมโซมแตกต่างกัน เป็นเวลา 30 วัน พบว่ากลุ่มประชากร 3N มีจำนวนไข่ดี 42,726 ฟอง และอัตราการเพาะฟัก 97.02% มากกว่ากลุ่มประชากร 2N ที่มีจำนวนไข่ดี 39,387 ฟอง และอัตราการเพาะฟัก 91.13% และมีจำนวนไข่เสีย 1,625 ฟอง น้อยกว่ากลุ่มประชากร 2N ที่มีจำนวนไข่เสีย 4,147 ฟอง ทั้งนี้เป็นเพราะกลุ่มประชากร 3N มีความแข็งแรงมากกว่ากลุ่มประชากร 2N จึงมีจำนวนไข่ดีมากกว่า ทำให้สามารถเพาะฟักได้ในอัตราสูงกว่า และเมื่อเพาะฟักพบว่าจะมีน้ำหนักและความยาวมากกว่า แต่ไม่แตกต่างทางสถิติ และหลังจากเพาะฟักเป็นเวลา 30 วัน พบว่าอัตราการรอดตายจะลดลง โดยพบว่ากลุ่มประชากร 3N มีอัตราการรอดตายมากกว่า (90.79%) กลุ่มประชากร 2N (86.76%) ส่วนอัตราการเจริญเติบโตจำเพาะพบว่ากลุ่มประชากร 2N (7.15$\pm$0.00%) มีอัตราการเจริญเติบโตจำเพาะมากกว่า กลุ่มประชากร 3N (6.86$\pm$0.00%) ในขณะที่น้ำหนักเฉลี่ยและความยาวเฉลี่ย ทั้ง 2 กลุ่มประชากรไม่แตกต่างทางสถิติ ส่วนการศึกษาการอนุบาลลูกปลาเรนโบว์เทราต์ 2 กลุ่มประชากรที่ระดับความหนาแน่นที่แตกต่างกันในระบบน้ำหมุนเวียนแบบกึ่งปิด เป็นเวลา 90 วัน พบว่าระดับความหนาแน่นที่ 2,000 ตัว มีความเหมาะสมสำหรับอนุบาลลูกปลาเรนโบว์เทราต์มากที่สุด เพราะให้อัตรารอดตายมากที่สุด ทั้งกลุ่มประชากร 2N (94.07$\pm$0.15%) และกลุ่มประชากร 3N (93.87$\pm$0.60%) ในขณะที่อัตราการเจริญเติบโตจำเพาะ น้ำหนักเฉลี่ยและความยาวเฉลี่ย ทุกกรรมวิธีไม่แตกต่างกันทางสถิติ

ข้อเสนอแนะ

ระบบน้ำหมุนเวียนแบบกึ่งปิดต้นแบบเกษตรอัจฉริยะบนระบบไอโอที (IoT) (RAS) มีการลงทุนค่อนข้างสูงในระยะแรก อาจเหมาะสมกับการอนุบาลในระยะสั้นเท่านั้น จึงควรมีการศึกษากำลังผลิตสูงสุด (Maximum carrying capacity) ในการอนุบาลลูกปลาเรนโบว์เทราต์ เช่น 2,500-3,500 ตัว/ราง เพื่อหาศักยภาพสูงสุดในการอนุบาลลูกปลาเรนโบว์เทราต์ หรือเพิ่มรอบการอนุบาลลูกปลาเพื่อให้มีความคุ้มต่อการลงทุน

กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยขอขอบพระคุณมูลนิธิโครงการหลวงที่สนับสนุนงบประมาณในการวิจัยครั้งนี้ ขอขอบคุณศูนย์วิจัยและพัฒนาการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำจืดเชียงใหม่ ที่ให้ความอนุเคราะห์บุคลากรและวัสดุอุปกรณ์ในการทำวิจัย และขอขอบพระคุณกองทุนโครงการประมง มูลนิธิโครงการหลวงที่ให้ความอนุเคราะห์ปัจจัยการผลิต และขอขอบคุณสถานีเกษตรหลวงอินทนนท์ที่ให้ความอนุเคราะห์พื้นที่ในการทำวิจัย จนงานวิจัยเสร็จสมบูรณ์

เอกสารอ้างอิง

Detanun, P., K. Kasamawut and S. Saowakoon. 2021. Nursing of hybrid catfish (*Clarias macrocephalus* x *C. gariepinus*) in flow through water systems. **Agriculture and Technology Journal** 2(3): 22-33. [in Thai]

Duangsawat, M. and C. Somsri. 1985. **Water Properties and Analytical Methods for Fisheries Research.** Bangkok: Aquatic Animal Environment Research Division, National Freshwater Fisheries Research Institute, Department of Fisheries. 15 p.

Harvey Pough, F., J.B. Heiser and W.M. McFarland. 1990. **Vertebrate Life.** 3rd edition. New York: Macmillan Publishing Company. 943 p.

Lee, S.-B., J. Cadangin, S.-J. Park and Y.-H. Choi. 2023. Early-growth comparison of diploid and triploid rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) in South Korea. **Fisheries Aquatic Science** 26(7): 447-454.

Oonsrisong, K., P. Phonsophin, M. Bunyaratphalin, S. Akkathaweewat, S. Ngamwongchon, T. Wierasin, G. Hoerstgen-Schwark and U. TerMeulen. 2001. **Experiments in Raising and Breeding Rainbow Trout at Doi Inthanon.** 37 p. Complete Research Report According to Research Project No. 3050-3081: Annual Budget 1999-2001. Bangkok: Royal Project Foundation.

Scott, W.B. and E.J. Crossman. 1985. **Freshwater Fishes of Canada.** Toronto: The Bryant Press Limited. 184 p.

Seetapan, K. 2020. Larval development and optimum density for nursing Mackerel barb juvenile, *Opsarius pulchellus*. **Khon Kaen Agriculture Journal** 48(1): 43-54. [in Thai]

Suda, C., S. Unankard, D. Adoonsook, J. Promya and J. Duanwongsa. 2022. 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. **Khon Kaen Agriculture Journal** 50(2): 348-361. [in Thai]

Thompongkrang, P. and Y. Preedalamphabut. 2021. Design of a UV sterilization unit and its effects on microbial reduction in the recirculating aquaculture system for (*Scatophagus argus* Linnaeus, 1766). **Academic Journal** 5(2021): 1-3

Ungsetthaphan, T., T. Pimpimon and T. Worapassu. 2011. Study on diet and stocking density in net cage culture of climbing perch (*Anabas testudineus*) fingerlings. **Fisheries Technology Research Journal** 5(2): 1-10. [in Thai]