

การศึกษาประสิทธิภาพการเพาะฟักไข่ปลาดุกอยู่ในกรวยเพาะฟักระบบปิด

Study on Closed System Hatching Funnel Efficacy of Yellow Walking Catfish (*Clarias macrocephalus*, Gunther) Eggs

คำนำ

ปลาดุกเป็นปลาประจำถิ่นภูมิภาคเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ มีการเพาะเลี้ยงอย่างแพร่หลายในหลายประเทศ ได้แก่ ประเทศไทย เวียดนาม มาเลเซีย เกาหลี และฟิลิปปินส์ สำหรับประเทศไทย การเพาะเลี้ยงปลาดุกอยู่เริ่มต้นหลังจากความสำเร็จของการเพาะพันธุ์ปลาด้วยการผสมเทียมซึ่งมีพัฒนาการระหว่างปี พ.ศ. 2516–2520 และภายหลังการล่มสลายของอุตสาหกรรมเลี้ยงปลาดุกด้านจากโรคระบาดครั้งใหญ่ในปี พ.ศ. 2525 ระยะเริ่มต้นพัฒนาการของการเพาะเลี้ยงปลาดุกอยู่พันธุ์แท้เป็นไปอย่างเชื่องช้าเพราะไม่ได้รับความสนใจจากเกษตรกรมากนัก จากการเลี้ยงปลาที่ใช้ระยะเวลาจนถึง 8 เดือน แต่ต่อมาพัฒนาการอย่างรวดเร็วภายหลังการปรับปรุงพันธุ์ปลาดุกอยู่ประสบความสำเร็จในปี พ.ศ. 2531 จากการผสมข้ามพันธุ์ระหว่างปลาดุกอยู่เทศเมียนมาและปลาดุกแอฟริกันเทศผู้ ได้ปลาดุกอยู่สายพันธุ์ลูกผสมที่รู้จักกันดีในชื่อว่าปลาดุกบิ๊กอุย มีอัตราการเจริญเติบโตเร็วกว่าปลาดุกอยู่พันธุ์แท้และปลาดุกด้าน (ปรีชชัย และคณะ, 2533) อดทนต่อสภาพแวดล้อมและคุณภาพน้ำเสื่อมโทรม และต้านทานโรคได้ดี แต่ที่สำคัญที่สุดก็คือ เป็นสายพันธุ์ปลาดุกที่ให้ผลผลิตสูง ทำให้ปลาดุกอยู่ลูกผสมได้รับความนิยมจากเกษตรกรผู้เลี้ยงปลาจำนวนมาก ยังผลให้อุตสาหกรรมเลี้ยงปลาดุกขยายตัวอีกครั้งหนึ่ง และการขยายตัวครั้งนี้ไม่จำกัดอยู่เพียงพื้นที่ภาคกลางเท่านั้น แต่ได้ขยายตัวออกไปครอบคลุมทุกภูมิภาคของประเทศที่มีน้ำปริมาณเพียงพอจะเลี้ยงปลาได้ และพัฒนาการเลี้ยงปลาไปในหลายรูปแบบนอกเหนือจากการเลี้ยงปลาดุกอยู่ในบ่อดิน ความสำเร็จจากการปรับปรุงพันธุ์ปลาในครั้งนี้ยังผลทำให้ผลผลิตของปลาดุกจากการเลี้ยงเพิ่มสูงขึ้นอย่างต่อเนื่อง จากปริมาณผลผลิต 17.9 พันตัน ในปี พ.ศ. 2533 ไปสู่ปริมาณผลผลิตสูงสุด 159.3 พันตัน ในปี พ.ศ. 2547 และปัจจุบันผลผลิตมีแนวโน้มคงที่ในปริมาณ 140 พันตันต่อปี

ในปัจจุบันปลาดุกได้กลายเป็นปลาเศรษฐกิจที่สร้างงานและรายได้ค่อนข้างมาก มีฟาร์มเลี้ยงปลาทั่วประเทศมากกว่าหกหมื่นแห่ง รวมเนื้อที่เลี้ยงกว่าเจ็ดหมื่นไร่ สร้างรายได้ให้ประเทศไทยมากกว่าปีละสามพันล้านบาท เนื้อปลาดุกไม่เพียงบริโภคภายในประเทศเท่านั้น ยังมีการส่งออกไปขายสู่ตลาดต่างประเทศด้วย ทั้งสหรัฐอเมริกา ยุโรป ญี่ปุ่น สิงคโปร์ และมาเลเซีย ฯลฯ การส่งปลาออกไปตลาดต่างประเทศ มีหลายรูปแบบ อาทิ เนื้อปลาดุกแบบฟิเลตต์สดและแช่เย็น แบบบดแช่เย็นจนแข็ง ปลาดุกแห้งไม่รมควัน และปลาสดแช่เย็น เป็นต้น ปีหนึ่ง ๆ มีปริมาณรวมเกือบ 500,000 กิโลกรัม คิดเป็นมูลค่ากว่า 40 ล้านบาท (มานพ, 2548) และแนวโน้มการส่งออกเพิ่มสูงขึ้นเรื่อย ๆ จากนโยบายการเปลี่ยนครัวไทยให้เป็นครัวโลกโดยผ่านทางร้านอาหารไทยในต่างประเทศ

การเพาะเลี้ยงปลาดุกของประเทศไทยนับได้ว่ามีพัฒนาการที่ผ่านกาลเวลามายาวนานกว่า 50 ปี นับแต่การเลี้ยงปลาดุกด้านครั้งแรกที่สมุทรปราการ ราวปี พ.ศ. 2498 (ประเสริฐ, 2513) พัฒนาการของการเพาะเลี้ยงปลาดุกมีการเปลี่ยนแปลงมาแล้ว 3 ยุคสมัย คือ ยุคแรกเป็นยุคทองของการเพาะเลี้ยงปลาดุกด้านระหว่างปี พ.ศ. 2498-2525 ยุคที่สองเป็นพัฒนาการการเพาะเลี้ยงปลาดุกอุยพันธุ์แท้ระหว่างปี พ.ศ. 2522-2530 แต่ไม่ประสบความสำเร็จเท่าที่ควร แต่พัฒนาการครั้งที่สองได้นำมาสู่ความสำเร็จของการเพาะเลี้ยงปลาดุกอุยลูกผสม และยุคที่สามเป็นพัฒนาการการเพาะเลี้ยงปลาดุกอุยลูกผสมซึ่งเริ่มต้นในปี พ.ศ. 2531 และพัฒนาการการเพาะเลี้ยงปลาดุกทุกยุคสมัยมีจุดเริ่มต้นจากความสำเร็จของการเพาะพันธุ์ปลาทั้งสิ้น

แต่อย่างไรก็ตาม พัฒนาการการเพาะเลี้ยงปลาดุกอุยลูกผสมที่ผ่านมาเรียกได้ว่าประสบความสำเร็จเพียงระดับหนึ่งเท่านั้น ดังเห็นได้จากผลผลิตของปลาดุกจากการเพาะเลี้ยงที่เพิ่มขึ้นต่อเนื่องจนถึงปี พ.ศ. 2547 แล้วลดลงมาหยุดนิ่งในปริมาณ 140 พันตันต่อปี และไม่เพิ่มขึ้นมาเป็นเวลานานถึง 7 ปี ทั้งที่ความต้องการเลี้ยงปลาดุกของเกษตรกรยังมีอีกมาก ทั้งนี้เนื่องจากพันธุ์ปลาดุกที่ผลิตได้มีไม่เพียงพอ แหล่งผลิตพันธุ์ปลาดุกที่สำคัญไม่สามารถเพิ่มผลผลิตได้อีก และฟาร์มลูกปลาหลายแห่งเปลี่ยนไปเพาะพันธุ์ปลานิลเพิ่มมากขึ้น บ่อยครั้งที่ผู้เลี้ยงปลาต้องรอคอยพันธุ์ปลาเพื่อปล่อยเลี้ยงนานจนเลยเวลาที่เหมาะสมแก่การเลี้ยงไป นอกจากนี้ยังพบว่ามี การตายของลูกปลาหลังการปล่อยลงเลี้ยง จากสาเหตุของการลำเลียงระยะทางไกลซึ่งทำให้ลูกปลาบอบช้ำ คุณภาพของน้ำในบ่อเลี้ยงปลาที่แตกต่างไปจากคุณภาพของน้ำในแหล่งผลิตลูกปลา โดยเฉพาะความกระด้างและสภาพความเป็นด่างของน้ำ และการแพร่กระจายของโรคปลาจากแหล่งเพาะพันธุ์ที่ติดมากับลูกปลา ปัญหาเหล่านี้ก่อความเสียหายทางเศรษฐกิจที่มักถูกมองข้าม

เพื่อให้พัฒนาการของการเพาะเลี้ยงปลาดุกเป็นไปอย่างต่อเนื่อง จำเป็นต้องส่งเสริมให้มีการเพาะพันธุ์ปลาในทุกแห่งของประเทศที่มีการเลี้ยงปลาดุก เพื่อเพิ่มศักยภาพของการเลี้ยงปลาให้สูงขึ้นจากลูกปลาที่มีความเหมาะสมกับสภาพแหล่งเลี้ยง และควบคุมการแพร่กระจายของโรคปลาดังนั้นเทคโนโลยีการเพาะพันธุ์ปลาดุกต้องมีความเหมาะสมและสามารถนำไปปรับใช้ได้กับทุกพื้นที่ตามขนาดของกำลังผลิต

ความสำเร็จของการเพาะพันธุ์ปลาดุกอยู่ที่จะได้ลูกปลาจำนวนมากและมีอัตราการรอดตายสูง ต้องให้ความสำคัญกับทั้งเทคโนโลยีการเพาะฟักไข่ปลาและคุณภาพน้ำสำหรับฟักไข่ควบคู่กัน นอกจากนี้ความหนาแน่นของไข่ในระบบฟักไข่ปลาต้องเหมาะสมกับความสามารถรองรับของระบบ ระบบฟักไข่ปลาที่มีประสิทธิภาพการถ่ายเทน้ำดีแต่น้ำที่ใช้ฟักไข่มีคุณภาพต่ำก็ทำให้ไข่ปลามีปริมาณการฟักต่ำไปด้วย ไข่ปลาจำนวนมากตายไปในขั้นของพัฒนาการ การเพาะฟักไข่ปลาดุกในพื้นที่ที่มีคุณภาพน้ำแตกต่างกันแม้จะใช้เทคโนโลยีการเพาะฟักไข่แบบเดียวกันจะให้เปอร์เซ็นต์การฟักที่แตกต่างกัน สำหรับการฟักไข่ปลาดุกที่แพร่หลายในประเทศไทยทุกวันนี้เลือกใช้การฟักไข่บนตะแกรงที่ปล่อยน้ำไหลผ่าน ซึ่งเทคโนโลยีการฟักไข่นี้เป็นเทคโนโลยีที่มีต้นทุนสูงจากการใช้พื้นที่และน้ำจำนวนมาก แต่มีประสิทธิภาพต่ำกว่าวิธีการฟักไข่ระบบน้ำหมุนเวียน เช่น ระบบเครื่องฟักไข่ปลาแบบกรวย กรวยแมคโดแนล หรือซอคจาร์ เป็นต้น ดังนั้นเพื่อลดข้อจำกัดดังกล่าวและทำให้การเพาะพันธุ์ปลาดุกสามารถทำได้ในทุกหนทุกแห่งโดยไม่ถูกจำกัดด้วยเงื่อนไขปริมาณน้ำไม่เพียงพอ และระบบการฟักไข่ที่ขาดประสิทธิภาพ จึงได้มีการพัฒนาเทคโนโลยีการฟักไข่ที่ก้าวหน้ากว่าที่เป็นอยู่ สามารถฟักไข่ปลาได้ครั้งละจำนวนมากแต่น้ำใช้ปริมาณน้อย และสามารถควบคุมการผลิตให้ปลอดภัยจากโรคได้ง่าย เทคโนโลยีดังกล่าวก็คือ เทคโนโลยีการฟักไข่ด้วยอุปกรณ์เพาะฟักไข่แบบกรวยแมคโดแนลระบบน้ำหมุนเวียน

การพัฒนาอุปกรณ์เพาะฟักไข่ปลาดุกอยู่ระบบน้ำหมุนเวียนครั้งนี้ได้ทำการวิจัยภายในขอบเขต 3 ประการ ได้แก่ การพัฒนาเทคนิคการชะล้างไข่ไม่ให้ติดกันก่อนนำไปฟักในกรวยโดยใช้ค่ากัมมันตภาพรังสีความเข้มข้นที่เหมาะสม การออกแบบอุปกรณ์เพาะฟักไข่แบบกรวยแมคโดแนลระบบน้ำหมุนเวียนที่มีประสิทธิภาพสูงในการฟักไข่ และการออกแบบระบบบำบัดน้ำที่มีประสิทธิภาพในการกำจัดของเสียไนโตรเจน คราบไขมัน และสารแขวนลอย

วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาระดับความเข้มข้นของค่าต่าง ๆ ที่เหมาะสมต่อการลดสารพิษของปลาช่อน
ไข่ปลาช่อนเพื่อการเพาะฟักในกรวยเพาะฟักระบบปิด
2. เพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพการฟักไข่ปลาช่อนในระบบกรวยเพาะฟักไข่แบบใช้น้ำ
หมุนเวียนและระบบตะแกรงฟักไข่แบบใช้น้ำหมุนเวียน
3. เพื่อศึกษาผลของความหนาแน่นของไข่และความกระด้างของน้ำต่ออัตราฟักเป็นตัวของ
ไข่ปลาช่อน
4. เพื่อพัฒนาเทคโนโลยีการเพาะฟักไข่ปลาช่อนระบบกรวยเพาะฟักไข่แบบใช้น้ำ
หมุนเวียนที่มีศักยภาพสูง

การตรวจเอกสาร

ชีววิทยาการสืบพันธุ์ของปลาคูกอุย

ปลาคูกอุย (yellow walking catfish, *Clarias macrocephalus*, Gunther) เป็นปลาน้ำจืดไม่มีเกล็ดในครอบครัว Clariidae มีแหล่งกำเนิดอยู่ในเขตร้อนแถบเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ เช่น อินเดีย ไทย พม่า ลาว กัมพูชา เวียดนาม อินโดนีเซีย หมู่เกาะบอร์เนียว และฟิลิปปินส์ ปลาคูกอุยมีรูปร่างลำตัวเรียวยาวแบนข้าง ส่วนหัวแบนลงและค่อนข้างทู่ กะโหลกท้ายทอยป้านสั้นและโค้งมน ครีบหูมีเงี่ยงลักษณะฟันเลื่อยทั้งด้านบนและด้านใน ครีบหลัง ครีบก้น และครีบหางเจริญแยกออกจากกัน ซึ่งเป็นลักษณะเด่นของปลาคูกในสกุล *Clarias* (วิทช์ และคณะ, 2530) ครีบหางมีปลายกลมมน ลำตัวมีสีดำปนเหลือง ท้องสีเหลืองจาง มีจุดประตามข้างของลำตัว ครีบหลังยาวไม่มีกระดูก มีอวัยวะพิเศษช่วยในการหายใจ (accessory breathing organ) ที่เรียกว่า dendrite อยู่ในช่องว่างส่วนหัวบริเวณช่องเหงือก ลักษณะเหมือนเหงือกรูปทรงคล้ายพุ่มไม้เล็ก ๆ สีขาว ซึ่งช่วยให้ปลาคูกอุยสามารถอดทนต่อคุณภาพน้ำที่มีออกซิเจนต่ำได้ หรือมีความอดทนอยู่ในที่ไม่มีน้ำหรือน้ำน้อย ๆ ได้นาน ตามีขนาดเล็ก มีหนวด 4 คู่ ซึ่งสามารถรับรู้สีกได้ดี ใช้หนวดมากกว่าใช้ตา เพื่อหาอาหารตามพื้นน้ำดิน โดยปกติปลาคูกมีนิสัยค่อนข้างดุและว่องไว ปลาคูกอุยมีถิ่นอาศัยอยู่ทั่วไปบริเวณลำคลอง หนอง บึง ซึ่งมีพรรณไม้น้ำปกคลุม และมีพื้นเป็นโคลนตม กินอาหารจำพวกสัตว์ซากพืช ซากสัตว์ (ภาณุ และคณะ, 2538)

การเจริญพันธุ์ของปลาคูกอุยขึ้นกับปัจจัยภายใน ได้แก่ ขนาดและอายุปลา และปัจจัยภายนอก ได้แก่ อุณหภูมิของน้ำ อาหาร ฤดูกาล และปริมาณน้ำฝน (Ahyaudin, 1993) ฤดูวางไข่ของปลาคูกอุยอยู่ในช่วงฤดูฝน ปลาคูกอุยเริ่มวางไข่ประมาณเดือนพฤษภาคมถึงเดือนพฤศจิกายน แต่จะวางไข่ชุกในเดือนมิถุนายนถึงเดือนตุลาคมของทุกปี ในปีที่มีฝนตกชุก อุณหภูมิของน้ำเหมาะสมปลาจะวางไข่เร็วขึ้น ในฤดูหนึ่ง ๆ ปลาคูกอุยสามารถวางไข่ได้ถึง 2 ครั้ง ปลาคูกอุยในสภาพธรรมชาติเจริญพันธุ์เมื่อมีอายุได้ 8 เดือนขึ้นไป ความคดของไข่ต่อน้ำหนักแม่ปลาอยู่ในช่วง 17.6-53.7 ฟอง/กรัม (Ahyaudin, 1993) แม่ปลาคูกอุยแต่ละตัววางไข่ได้ครั้งละประมาณ 5,000-7,000 ฟอง (เชิดฉั่น และคณะ, 2538) หากการเลี้ยงพ่อแม่พันธุ์มีความประณีต ได้รับอาหารอย่างเพียงพอ และควบคุมสภาพแวดล้อมให้มีระดับที่เหมาะสมแล้ว ปลาจะเจริญเติบโตเร็วกว่าปลาสภาพธรรมชาติ มีอายุเจริญพันธุ์ลดลง จากการศึกษาความคดไข่ของปลาคูกอุยที่เลี้ยงในนาข้าวมี

ความคืบหน้าค่อน้ำหนักแม่ปลาสูงสุด 83.5 ฟอง/กรัม แม่ปลาให้จำนวนไข่สูงสุด 14,066 ฟอง/ตัว (Ahyaudin, 1993)

พฤติกรรมการผสมพันธุ์วางไข่ของปลาคูกเป็นแบบการสร้างรังวางไข่ ตัวผู้สร้างโพรงไว้ตามชายน้ำที่มีพืชน้ำปกคลุม ตามบริเวณท้องนา คู คลอง ให้ตัวเมียวางไข่ ไข่ปลาที่ปฏิสนธิเกาะรากและโคนต้นของพืชน้ำ ตัวผู้จะเป็นผู้เฝ้าดูแลไข่ ไข่ปลาคูกอุยมีสีเหลืองปนน้ำตาล หรือสีน้ำตาลอมแดง มีลักษณะเป็นเม็ดกลม ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 1.2-1.6 มิลลิเมตร ไข่ปลาที่มีคุณภาพดีได้จากแม่พันธุ์ที่มีไข่แก่จัด ไม่บอบช้ำ และผ่านกระบวนการตกไข่ที่สมบูรณ์ ลักษณะฟองไข่ค่อนข้างมีส่วนของไข่โตพลาสซึมเคลื่อนที่ร่วมกับนิวเคลียสทางแอนิมัลโพล สังเกตเห็นเป็นจุดสีส้มอมน้ำตาลชัดเจน (อุทัยรัตน์, 2531) ไข่ฟักออกเป็นตัวใช้เวลาประมาณจากไข่จนฟักออกเป็นตัวภายใน 20 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิ 25-30 องศาเซลเซียส (เมฆ, 2525) แม่ปลาหนึ่งตัวสามารถให้ลูกปลาได้ 2,000-5,000 ตัว (ศักดิ์ชัย, 2536) ลูกปลาเกิดใหม่มีถุงไข่แดงที่หน้าท้องเรียกปลาคูกตัวอยู่รวมเป็นกลุ่มภายในโพรง ถุงไข่แดงของตัวอ่อนยุบในเวลา 3 วัน และลูกปลาแยกออกจากกลุ่มเพื่อหาอาหารระยะนี้เรียกปลาลูกไร

เทคโนโลยีการเพาะพันธุ์ปลาประเภทไข่ติด

การพัฒนาเทคนิคการเพาะฟักไข่ปลาขึ้นอยู่กับลักษณะเฉพาะของปลาแต่ละชนิดและประเภทของไข่ปลา (Woynarovitch and Horvath, 1980; Legendre *et al.*, 1996) ไข่ปลาประเภทจมนติดวัตถุ (adhesive-demersal egg) เป็นไข่ปลาที่มีสารเหนียวที่เปลือกไข่หลังสัมผัสกับน้ำ ทำให้ไข่สามารถเกาะติดกับวัสดุต่าง ๆ ได้ทันทีที่ไข่สัมผัส เช่น รากและลำต้นพรรณไม้น้ำ หรือผนังบ่อปลาที่มีไข่ลักษณะนี้ ได้แก่ ปลาสวาย ปลาคูกอุย ปลาคูกค้ำน ปลานู ปลาคาร์พ ปลากray ปลาทอง เป็นต้น (ประภาส, 2554)

เทคโนโลยีการเพาะฟักไข่ปลาประเภทไข่จมนได้มีการพัฒนาอย่างต่อเนื่อง มีการออกแบบเครื่องฟักไข่ปลาให้เหมาะสมกับประเภทและระยะต่าง ๆ ของไข่ปลา โดยเฉพาะการเพาะฟักไข่ปลาในเขตร้อนและเขตอบอุ่น ปลาบางชนิดแยกระยะของไข่ปลาได้ยาก เช่น ปลาเทราท์และปลาแซลมอน พัฒนาการของไข่ปลาทั้งสองแบ่งออกได้เป็นระยะการฟองตัว การแบ่งเซลล์ และตัวอ่อน การฟักไข่ด้วยเครื่องฟักไข่ที่เหมาะสมในแต่ละระยะของไข่ปลาทำให้มีอัตราการฟักเป็นตัวและอัตราการรอดตายของลูกปลาสูง (FAO, 1980) โดยทั่วไปเครื่องฟักไข่ถูกออกแบบให้ใช้ได้

อย่างกว้างขวางในทุกพื้นที่และมีราคาไม่สูงเกินไปนัก สามารถผลิตได้เองในท้องถิ่นและมีราคาถูกกว่าที่ผลิตจากโรงงาน ประเภทของเครื่องฟักไข่ ได้แก่

เครื่องฟักไข่แบบน้ำไหลผ่านตลอด (trough-type incubators) จัดเป็นเครื่องฟักไข่รุ่นแรกใช้สำหรับฟักไข่ปลาเทราท์ มีความยาวประมาณ 1-3 เมตร น้ำจะไหลเข้าด้านหนึ่งและน้ำส่วนเกินจะไหลออกด้านท้ายของเครื่องฟักไข่ เหมาะสำหรับการฟักไข่ปลาที่มีน้ำหนักรวม เช่น ปลาแซลมอน และสามารถฟักไข่ปลาที่มีลักษณะเหนียวติดวัสดุได้ด้วย เช่น ปลาแซลมอน แคมพีช ซึ่งเครื่องฟักไข่มีขนาดกว้าง 50 เซนติเมตร ยาว 2.5 เมตร และสูง 25 เซนติเมตร ทำด้วยอลูมิเนียมหรือแผ่นเหล็ก และกั้นแบ่งเป็นช่องเพื่อแยกฟักไข่แต่ละระยะ แต่ละช่องมีระบบน้ำแยกออกจากกัน และมีการพัฒนาเครื่องฟักไข่โดยใช้เครื่องตีน้ำให้น้ำไหลเพื่อลดสารเหนียวของเมือกไข่ปลา ทำให้ไข่ปลาแยกออกไม่เกาะติดกัน ไข่ได้รับออกซิเจนเพียงพอ และของเสียจะไหลออกจากระบบเครื่องฟักไข่

เครื่องฟักไข่แบบกล่อง (box incubators) พัฒนาจากเครื่องฟักไข่แบบน้ำไหลผ่านตลอด โดยใช้กล่องสองใบซ้อนกัน ก้นของกล่องชั้นในเจาะรูหรือปิดด้วยผ้าตะแกรง น้ำไหลผ่านก้นกล่อง และทำให้ไข่ปลาได้รับออกซิเจนอย่างเพียงพอ เครื่องฟักไข่แบบนี้มีประสิทธิภาพการฟักไข่ดีกว่าเครื่องฟักไข่แบบน้ำไหลผ่านตลอด เหมาะกับการเพาะฟักไข่ปลาแซลมอนและปลาประเภทไข่เหนียวติดวัสดุ

เครื่องฟักไข่แบบกรวย (funnel type incubators) เป็นเครื่องฟักไข่ที่มีรูปร่างเป็นกรวย เครื่องฟักไข่แบบกรวยต้นแบบทำด้วยแก้ว เรียกว่า Zoug Jar ซึ่งเป็นชื่อทะเลสาบในประเทศสวิสเซอร์แลนด์ที่มีการใช้กรวยฟักไข่เป็นครั้งแรก กรวยมีความจุตั้งแต่ 6-16 ลิตร น้ำไหลผ่านท่อจากก้นกรวยและไหลสลับออกทางปากกรวย ทำให้ไข่ปลาเคลื่อนที่ในกรวยตลอดเวลา ที่ปากกรวยอาจปิดด้วยฝาที่ทำด้วยพลาสติกหรือโลหะเพื่อป้องกันไข่สลับปากกรวย ที่ก้นกรวยมีหัวฝักบัวติดไว้เพื่อให้ น้ำไหลลักษณะเป็นฝอยป้องกันความแรงของกระแสน้ำเป็นอันตรายต่อไข่ปลา ปัจจุบันมีการพัฒนากรวยฟักไข่แบบ Zoug Jar โดยทำจากไฟเบอร์กลาส มีความจุตั้งแต่ 40-80 ลิตร หรือถึง 200 ลิตร กรวยฟักไข่ขนาดใหญ่ทำจากโลหะและทาสีด้านในกรวย ด้านบนกรวยปิดด้วยแผ่นตาข่ายพลาสติก (กรวยมีความจุ 6-8 ลิตร) หรือผ้าตะแกรงหรือพลาสติกลินิน (กรวยมีความจุ 15-100 ลิตร)

กรวยฟักไข่แบบแมคโดนัลด์ (McDonald jar) เป็นอุปกรณ์เพาะฟักไข่ปลาแบบหนึ่ง ทำจากวัสดุโปร่งใสจำพวกแก้ว มีรูปร่างทรงกระบอกสูง ก้นกรวยมีลักษณะกลมโค้งมน มีท่อน้ำไหลจากด้านบนของกรวยเปิดที่ก้นกรวย บังคับให้น้ำไหลจากก้นขึ้นสู่ด้านบนของกรวย เพื่อให้ไข่ในกรวยมีการหมุนเวียนผลัดกันให้ไข่ปลาที่ฟักในกรวยเคลื่อนที่ขึ้นลงตลอดเวลา (FAO, 1980) อัตราการไหลของน้ำในกรวยขึ้นกับระยะของคัพภะ ระยะเริ่มต้นการพัฒนาของไข่ปลาใช้อัตราการไหล 0.2 ลิตร/นาที่ และหลังจากไข่ปลาเข้าสู่ระยะบลาสโตพอร์ใช้อัตราการไหล 0.5-1 ลิตร/นาที่ สำหรับกรวยฟักไข่ความจุ 10 ลิตร อัตราการไหลของน้ำที่เหมาะสมต่อการฟักไข่ปลาจะต้องทำให้ไข่ทั้งหมดที่ฟักในกรวยเคลื่อนที่หมุนเวียนอย่างช้า ๆ ตลอดเวลา

เครื่องฟักไข่แบบถังทรงกระบอก (revolving barrel or drum incubators) เครื่องฟักไข่แบบนี้ทำจากผ้าตะแกรงที่ขึงตึงบนกรอบโลหะ ที่ปากและก้นของถังทำด้วยไม้หรือโลหะ มีประตูหรือหน้าต่างเพื่อนำไข่เข้าฟักและนำลูกปลาออกจากกระบอกฟักไข่ มีแกนหมุนให้เกิดน้ำหมุนเวียนเมื่อวางถังในแม่น้ำหรือการใช้มอเตอร์ เหมาะสำหรับการฟักไข่ที่มีน้ำหนักรวมาก เช่น ปลาสเตอร์เจียน

เครื่องฟักไข่แบบถาด (tray-type incubators) เป็นเครื่องฟักที่มีรูปร่างแบบถาด ส่วนพื้นถาดเป็นตะแกรงที่วางบนท่อน้ำเพื่อให้ไข่ปลาไหลผ่านไข่ทำให้ไข่ได้รับออกซิเจนอย่างเพียงพอและไข่ของเสียไหลออกไปจากระบบ น้ำไหลผ่านตะแกรงจากด้านล่างและไหลออกที่ขอบด้านบนของถาด เมื่อนำไข่กระจายบนตะแกรงและมีกระแสไข่ปลาไหลผ่านตลอด หากกระแสไข่ปลาแรงอาจเป็นอันตรายต่อไข่ปลาที่หลุดออกจากตะแกรงฟักในระหว่างการฟัก ระบบตะแกรงทำให้ไข่กองสุมกันและไข่เสียหลุดออกจากตะแกรงได้ง่าย ลูกปลาที่ฟักออกเป็นตัวใหม่ ๆ จะหลุดลอดผ่านตะแกรงฟักและเปลือกไข่จะเกาะติดอยู่ที่ตะแกรง เครื่องฟักไข่แบบนี้เป็นต้นแบบในการฟักไข่ปลาเทราท์และปลาแซลมอนซึ่งมีไข่ขนาดใหญ่ ไม่เกาะติดและวางไข่บนพื้นกรวดในธรรมชาติ นอกจากนี้มีการพัฒนาเครื่องฟักไข่เป็นแบบตะกร้าสำหรับฟักไข่ปลาแซลมอน แคมป์ซิค ตะกร้าวางในน้ำที่ไหลผ่านมีใบพัดตีน้ำเพื่อเพิ่มอากาศและเกิดการหมุนเวียนของน้ำ ตะกร้าจะวางไว้นอกบ่อพ่อแม่พันธุ์และใช้เป็นเครื่องฟักไข่ ส่วนการใช้ฉนวนภายในบ่อเพาะพันธุ์ใช้สำหรับการเพาะฟักไข่ปลาใน (Watson and Chapman, 2009)

เครื่องฟักไข่แบบกรวยนับว่ามีความเหมาะสมสำหรับการฟักไข่ปลาประเภทไข่จมติดกับวัตถุ แม้เครื่องฟักไข่ประเภทกรวยทุกชนิดออกแบบมาสำหรับฟักไข่ปลาประเภทไข่จมที่ไม่เกาะติดวัตถุ แต่สามารถปรับใช้กับไข่ปลาประเภทไข่จมติดวัตถุได้หลังจากได้ทำลายสารเหนียวที่เปลือกไข่ปลาให้หมดก่อนนำไปฟัก

การทำลายชั้นเยื่อเหนียวที่ผิวไข่ปลาประเภทไข่จมติด

ไข่ปลาประเภทจมติดวัตถุในระยะไข่สุกจะสร้างชั้นเยื่อเหนียวที่ผิวไข่ทำให้สามารถเกาะติดกับวัตถุได้หลังไข่เป็ยกน้ำ ชั้นเยื่อเหนียวมีสารประกอบไกลโคโปรตีนซึ่งมีน้ำตาลและโปรตีนเป็นองค์ประกอบ ความแข็งแรงในการยึดเกาะของไข่ปลาประเภทจมติดกับวัตถุแต่ละชนิดแตกต่างกันขึ้นกับความหนาของชั้นเยื่อเหนียว (เมฆ, 2525) ไข่ปลาหนังหลายชนิดโดยเฉพาะปลาแม่น้ำ เช่น ปลาสร้อย เทโพ แขง และปลากด เป็นต้น มีความสามารถในการยึดเกาะกับวัตถุได้แข็งแรงเพื่อป้องกันการพัดพาของกระแสน้ำ ปลาคูเคยเป็นปลาที่อาศัยในแหล่งน้ำนิ่ง ไข่ปลารับแรงปะทะจากน้ำไม่รุนแรงทำให้ความสามารถในการยึดเกาะกับวัตถุของไข่จึงไม่แข็งแรงนัก กลี้อแกงมีผลยับยั้งปฏิกิริยาของไกลโคโปรตีนช่วยให้ไข่ปลาในสารละลายกลี้อแกงไม่เกาะติดกัน แต่เมื่อกลี้อแกงถูกล้างหมดไปปฏิกิริยาของไกลโคโปรตีนก็เกิดขึ้นได้ตามปกติ การทำลายสารไกลโคโปรตีนนับว่ามีความจำเป็นสำหรับการฟักไข่ปลาประเภทจมติดกับวัตถุในกรวย การทำให้สารไกลโคโปรตีนหมดสภาพสามารถทำได้หลายวิธี ได้แก่ วิธีการย่อยด้วยเอนไซม์ hyaluronidase และเอนไซม์แบคทีเรียโปรเตส (bacterial proteases) การเคลือบไข่ปลาด้วยแป้งหรือดินโคลน การละลายชั้นสารเหนียวด้วยสารละลายโซเดียมซัลไฟด์หรือสารละลายคาร์บาไมด์ การทำให้โปรตีนเสียสภาพ (denature) ด้วยสารละลายแทนนินหลังจากไข่ปลาฟองตัวเต็มที่ และการออกซิไดซ์ไกลโคโปรตีนด้วยสารละลายด่างทับทิม เป็นต้น

ไข่ปลาสร้อยมีชั้นสารเหนียวหนามากทำให้ไข่เกาะติดกันแน่นเมื่อสัมผัสน้ำ การฟักไข่ปลาสร้อยในกรวยฟักไข่แบบแมคโดแนลหรือแบบ Zuger jar นิยมใช้น้ำโคลนกำจัดสารเหนียวของไข่ปลาก่อนนำไข่ไปฟักในกรวย ผลการทำลายสารเหนียวที่เปลือกไข่ทำให้ลูกปลาฟักออกเป็นตัวเร็วขึ้นกว่าการฟักไข่ในระบบน้ำนิ่ง 1-2 ชั่วโมง และมีอัตราการรอดตายของลูกปลาเพิ่มขึ้น (Kristanto *et al.*, 1998)

Monaco and Doroshov (1983) ศึกษาเปรียบเทียบวิธีการล้างไข่ปลาด้วยน้ำโคลนเพื่อลดสารเหนียวที่ผิวไข่ปลาไวท์สเตอร์เจียนก่อนนำไปฟักในกรวย 2 วิธี ซึ่งพบว่าวิธีการล้างไข่ด้วยน้ำโคลนแบบใช้มือกวาดไข่ปลาให้อัตราการรอดตายเท่ากับ 40% ขณะที่วิธีกวาดด้วยเครื่องให้อัตราการรอดตายเพียง 4%

ในประเทศอียิปต์ มีการศึกษาเปรียบเทียบอัตราการฟักเป็นตัวของปลาในหลังลดสารเหนียวที่ผิวไข่ปลาด้วยสารละลาย 2 ชนิด ได้แก่ น้ำยาคาร์บาไมด์ และสารละลายนมผง 12 กรัมผสมกับเกลือแกง 1 กรัมต่อลิตร ก่อนนำไปฟักในกรวย มีสารละลายเกลือแกง 1.5 กรัมต่อลิตรเป็นกลุ่มควบคุม พบว่า น้ำยาคาร์บาไมด์ให้อัตราการฟักเป็นตัว 98% ส่วนสารละลายนมผงกับเกลือแกงให้อัตราการฟักเป็นตัว 96% และสารละลายทั้ง 2 ชนิดให้อัตราการฟักเป็นตัวสูงกว่ากลุ่มควบคุมซึ่งให้อัตราการฟักเป็นตัว 50% และไข่ปลาในที่ลดสารเหนียวด้วยน้ำยาคาร์บาไมด์และสารผสมของนมผงกับเกลือแกงทำให้การฟักออกเป็นตัวของลูกปลาในฟักเป็นตัวเร็วกว่าไข่ปลาในที่ลดสารเหนียวด้วยสารละลายเกลือแกง 1-2 ชั่วโมง (Gamal and Greisy, 2008)

Linhart *et al.* (2003) ศึกษาผลการใช้เอนไซม์อัลคาเลสลดสารเหนียวที่ผิวไข่ต่ออัตราการฟักเป็นตัวของไข่ปลาใน พบว่า ไข่ปลาในหลังการปฏิสนธิ 20 นาที ที่แช่เอนไซม์อัลคาเลสระดับความเข้มข้น 2 มิลลิกรัมต่อลิตร ระยะเวลา 8-20 นาที และที่ระดับความเข้มข้น 20 มิลลิกรัมต่อลิตร ระยะเวลา 45-60 วินาที ให้อัตราการฟักเป็นตัว 80-87% นอกจากเอนไซม์อัลคาเลสแล้ว เอนไซม์อัลฟาไคโมทริปซิน (α -Chymotrysin) ก็สามารถลดสารเหนียวของเมือกไข่ปลาในได้เช่นกันแต่ประสิทธิภาพของเอนไซม์จะขึ้นอยู่กับสิ่งแวดล้อม คุณภาพน้ำ และสายพันธุ์ของปลาใน

รัฐนิวเซาท์เวลส์ ประเทศออสเตรเลีย ได้มีการทดลองใช้สารละลายเกลือแกงช่วยในการผสมเทียมและลดสารเหนียวที่ผิวไข่ปลาเมอร์เรย์คอด พบว่า ไข่ปลามีอัตราการปฏิสนธิ 95% อัตราการฟักเป็นตัว 70% ใช้ระยะเวลาการฟักเป็นตัว 8-13 วัน (Wyse, 1973)

การเปรียบเทียบวิธีลดสารเหนียวที่ผิวไข่ปลาไวท์สเตอร์เจียน (*Acipenser transmontanus*) ด้วยน้ำยาคาร์บาไมด์และสารละลายโซเดียมซัลไฟด์ (Na_2SO_3) ร่วมกับกรดแทนนิก พบว่า ไข่ปลาที่แช่ในน้ำยาคาร์บาไมด์ก่อนล้างด้วยกรดแทนนิกให้อัตราการฟักเป็นตัวสูงกว่าไข่ปลาที่แช่ในสารละลายโซเดียมซัลไฟด์ก่อนล้างด้วยกรดแทนนิก และทั้ง 2 วิธีให้อัตราการฟักเป็นตัวสูงกว่าวิธีการลดสารเหนียวที่ผิวไข่ปลาด้วยน้ำโคลน (Kowtal *et al.*, 1986)

เทคโนโลยีการเพาะพันธุ์ปลาดุกอุย

การเพาะพันธุ์ปลาดุกอุยด้วยวิธีผสมเทียมในประเทศไทยเริ่มต้นประมาณ ปี พ.ศ. 2503 โดยแผนกทดลองและเพาะเลี้ยง กรมประมง (สนิท, 2503) ต่อมาในปี พ.ศ. 2506 กรมประมงประสบความสำเร็จในการเพาะพันธุ์ปลาดุกอุยโดยการฉีดฮอร์โมนจากต่อมใต้สมองแก่แม่ปลา (สนิท, 2506) และมีการพัฒนาวิธีการใช้ฮอร์โมน การผสมเทียม การฟักไข่ การอนุบาลลูกปลาและการปรับปรุงพันธุ์อย่างต่อเนื่อง จนปัจจุบันการเพาะพันธุ์ปลาดุกได้กลายเป็นธุรกิจขนาดใหญ่ จำนวนฟาร์มเพาะพันธุ์ปลาดุกนับพันแห่งกระจุกตัวหนาแน่นบริเวณพื้นที่ภาคกลางตอนล่างผลิตลูกปลาป้อนแก่บ่อเลี้ยงมากกว่าสองพันล้านตัวต่อปี สร้างรายได้ต่อปีนับร้อยล้านบาท

(Lawonyawut, 2007)

เทคนิคการขยายพันธุ์พันธุ์ปลาดุกอุยมี 2 แบบ ได้แก่ การขยายพันธุ์แบบกึ่งเทียมและการขยายพันธุ์แบบเทียม วิธีการเพาะพันธุ์แบบกึ่งเทียมเป็นวิธีการดั้งเดิมที่มาจากการเลียนแบบการเพาะพันธุ์ปลาใน ใช้หลักการกระตุ้นเทียมให้ปลาวางไข่ในบ่อคูบิช (dubisch pond) ปลาดุกอุยวางไข่ติดรากหญ้าที่ปลูกไว้ในบ่อ หลังการฉีดฮอร์โมน 6-8 ชั่วโมง แต่วิธีการนี้ไม่ได้รับความนิยม มีอัตราการปฏิสนธิและอัตราการฟักเป็นตัวต่ำทั้งยังรวบรวมลูกปลาได้ยาก (สุจิต, 2517; สุจิต และคณะ, 2516 และ เมฆ, 2525) ส่วนการผสมเทียมเป็นวิธีที่ดีกว่าการเลียนแบบธรรมชาติ เพราะทุกขั้นตอนอยู่ภายใต้การควบคุม อัตราการปฏิสนธิของไข่ปลาจากการผสมเทียมจะขึ้นกับคุณภาพของพ่อแม่ปลาและเทคนิคการผสมเทียม ส่วนอัตราการฟักเป็นตัวขึ้นอยู่กับการประสิทธิผลของระบบการฟักและคุณภาพน้ำ ระบบฟักไข่ของการขยายพันธุ์แบบเทียมจำแนกได้ 2 แบบ ได้แก่ วิธีนำไข่ที่ปฏิสนธินำไปกระจายบนตะแกรงที่เตรียมไว้ และวิธีการฟักในกรวยฟักไข่แบบแมคโคแนล (อุทร, 2550)

การฟักไข่ปลาดุกอุยบนตะแกรงฟัก โดยนำไข่ปลามาโรยบนถาดในลอนสี่เหลี่ยมเบอร์ 20 ที่จิ้งจิงอยู่ใต้ระดับผิวน้ำประมาณ 10 เซนติเมตร มีระดับน้ำในบ่อลึกประมาณ 20-30 เซนติเมตร ให้ไข่กระจายติดตาข่ายอย่างสม่ำเสมอ เปิดน้ำไหลผ่านตลอดเวลาเพื่อให้ของเสียไหลออกไปจากบ่อ (โชคชัย, 2548; FAO, 1980) วิธีการนี้สามารถฟักไข่จำนวน 20,000-40,000 ฟอง/ตารางเมตร หรือมากกว่านั้นขึ้นกับคุณภาพของน้ำและอัตราการไหลของน้ำในระบบฟักไข่ (ภาณุ, 2522; ประเสริฐ, 2530 และ อุทัยรัตน์, 2531) การฟักไข่หนาแน่นก็ควรมีเครื่องเพิ่มอากาศในบ่อฟักเพื่อให้

น้ำฟักไข่มีออกซิเจนแก่ไข่ปลาบนตะแกรง (Watson and Chapman, 1996) และต้องใช้บ่อฟักไข่ที่สามารถกักเก็บน้ำได้สูงอย่างน้อย 50 เซนติเมตร

การฟักไข่ปลาอุกอยู่ในกรวยฟัก มีลักษณะเดียวกับการฟักไข่ปลาครั้งลอยครึ่งจมทั่วไป มีน้ำดันให้ไข่ลอยตัวจากกันกรวยอย่างสม่ำเสมอ ไข่ที่ไม่ได้รับการผสมหรือไข่เสียซึ่งมีน้ำหนักเบา กว่าไข่ดีจะไหลออกจากกรวยฟักไข่พร้อมกับน้ำ ก่อนนำไข่ลงฟักจะต้องชะล้างไข่ไม่ให้ติดกัน การฟักไข่ลักษณะนี้จะฟักไข่ได้อัตรารอดสูงแต่ใช้น้ำมากพอสมควร การฟักไข่วิธีนี้ให้ประสิทธิภาพการฟักไข่สูงกว่าแบบแรก เพราะสามารถควบคุมอัตราการหมุนเวียนของน้ำและคุณภาพน้ำ ทำให้ฟักไข่ปลาได้หนาแน่น (อุธร และคณะ, 2554)

การฟักไข่ปลาอุกในกรวยฟักแบบแมคโดแนล

การเพาะฟักและอนุบาลลูกปลาอุกจะประสบผลสำเร็จและให้ผลดีทั้งการเพาะฟักเป็นตัว และการเหลือรอดของลูกปลาวัยอ่อนขึ้นอยู่กับคุณภาพของพ่อแม่พันธุ์ ระยะการสุกของไข่ ระบบการเพาะฟัก ความหนาแน่นของไข่ขณะฟัก อาหารที่เหมาะสมกับลูกปลาวัยอ่อน ไข่ที่ได้รับการปฏิสนธิจากพ่อแม่ปลาที่เจริญพันธุ์อย่างสมบูรณ์ ให้อัตราการฟักเป็นตัวสูง ในสภาพน้ำที่มีคุณภาพดีตลอดการฟัก คือ ระดับความกระด้างและความเป็นกรดเป็นด่างเหมาะสม แอมโมเนียที่เกิดขึ้นขณะฟักมีระดับความเข้มข้นต่ำ ระบบฟักไข่ต้องมีประสิทธิภาพระบายของเสียที่เกิดจากการพัฒนาของไข่ได้ดี คุณภาพน้ำสำหรับใช้ฟักไข่ปลาควรเป็นน้ำใสหรือค่อนข้างใส มีโลหะหนักเจือปนต่ำกว่าระดับอันตราย ค่าอัลคาไลน์ดี (alkalinity) สูงกว่า 100 มิลลิกรัมต่อลิตร ระดับความกระด้างต่างจากค่าอัลคาไลน์ดี ไม่เกิน 25 มิลลิกรัมต่อลิตร ความเป็นกรดเป็นด่างควรอยู่ระหว่าง 7.0-8.0 (อุธร และคณะ, 2532)

การเลือกวิธีการเพาะฟักไข่ปลามีปัจจัยที่ต้องพิจารณา คือ วิธีการหรืออุปกรณ์ที่เหมาะสมกับประเภทของไข่ ขนาดของไข่ ความหนาแน่นของไข่ คุณภาพน้ำ การถ่ายเทน้ำ การใช้พื้นที่ และราคา (Watson and Chapman, 1996) และปัจจัยสำคัญที่ส่งผลกระทบต่อการใช้ฟักไข่ปลา ได้แก่ อุณหภูมิ น้ำ และปริมาณออกซิเจนที่ละลายน้ำ โดยเฉพาะค่าปริมาณออกซิเจนที่ละลายน้ำต้องไม่ต่ำกว่า 3 มิลลิกรัมต่อลิตร (อุทัยรัตน์, 2538)

การปักไข่ปลาจมนิดด้วยกรวยปักไข่ในประเทศไทย ได้มีผู้ทำการศึกษาเกี่ยวกับปลาหลายชนิด เช่น ปลาคูกด้าน (สุวรรณี และคณะ, 2548; สุวรรณี และ สมพร, 2548) ปลาบึก (ขงยุทธ และคณะ, 2544) เป็นต้น ซึ่งส่วนใหญ่ใช้วิธีชะล้างไข่ไม่ให้ติดกันด้วยน้ำโคลนก่อนนำไปปักในกรวย

วรรณยู และคณะ (2551) ศึกษาเปรียบเทียบประสิทธิภาพการปักไข่ปลาคอดแก้ว 6 แบบ พบว่า วิธีการปักไข่ในกรวยและถาดปักไข่ให้ประสิทธิภาพการปักสูงกว่าวิธีการปักแบบโรยบนตะแกรง ทั้งการปักไข่ที่หนาแน่นมากกว่า อัตราการปักเป็นตัวสูงกว่า และระยะเวลาปักเป็นตัวสั้นกว่า เป็นผลมาจากไข่ที่ปักในกรวยและถาดมีการเคลื่อนไหวฟุ้งกระจายอยู่ตลอดเวลาทำให้สัมผัสน้ำได้ทุกด้าน จึงตอบสนองต่ออุณหภูมิและปริมาณออกซิเจนได้ดีกว่า

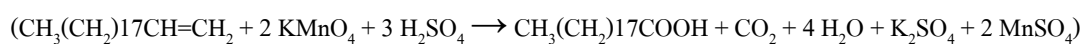
กรวยปักไข่แบบแมคโดแนลออกแบบสำหรับการปักไข่ประเภทจมนิดที่ไม่ติดกับวัตถุ มีการใช้กันมาเป็นระยะเวลานานแล้ว แต่เริ่มใช้ปักไข่ปลาประเภทจมนิดกับวัตถุในปี ค.ศ. 1950 โดยทดลองกับไข่ปลาแซนแนล แคทฟิช (channel catfish) แต่ก็ไม่ประสบความสำเร็จมากนักเพราะไข่ปลาเกาะติดกันเป็นก้อนและไม่เคลื่อนที่ในกรวย ผลทำให้ไข่ปลาได้รับออกซิเจนไม่เพียงพอและมีเชื้อราเกิดขึ้นทำให้ไข่เสียเป็นจำนวนมาก แต่หลังการค้นพบวิธีทำลายสารเหนียวที่ผิวไข่ด้วยสารเคมี โดยการใช้สารละลายโซเดียมซัลไฟด์ ($\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$) 1.5 เปอร์เซ็นต์ แช่ไข่ปลาเพื่อลดความเหนียวของเมือกไข่ปลาและไข่ปลาแยกออกจากกัน กลับใช้ปักไข่ปลาประเภทจมนิดติดวัตถุได้ผลดี จำนวนไข่เสียที่เกิดจากเชื้อราหรือเชื้อแบคทีเรียลดลงมาก อัตราการปักเป็นตัวของลูกปลาเพิ่มมากขึ้น การปักไข่ปลากลุ่มปลาหนัง (catfish) หรือกลุ่มปลาที่มีไข่ประเภทเหนียวเกาะติดวัตถุในกรวยปักไข่แบบแมคโดแนลจึงได้รับความนิยมมาถึงปัจจุบัน (Chappell, 2008)

อัตราการไหลของน้ำในกรวยแมคโดแนลที่คงที่และสม่ำเสมอจะเกิดการเปลี่ยนถ่ายน้ำในกรวยปักไข่เป็นหลายร้อยครั้งต่อวัน ทำให้ปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำยังคงมีอยู่ในระดับสูงและสารพิษต่าง ๆ ได้แก่ แอมโมเนีย และก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ มีอยู่ปริมาณต่ำในน้ำในระบบเพาะปักไข่ปลา แต่อัตราการไหลของน้ำในกรวยที่คงที่ที่สามารถรองรับจำนวนไข่ปลาสูงสุดระดับหนึ่งเท่านั้น การปักไข่ปริมาณที่หนาแน่นเกินขีดความสามารถรองรับของกรวย ทำให้ปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำลดลงหรือปริมาณสารพิษในน้ำมีระดับสูงขึ้น ทำให้ไข่ปลาที่มีอัตราการปักเป็นตัวต่ำลงเนื่องจากคุณภาพน้ำไม่เหมาะสม (Abernathy, 2004)

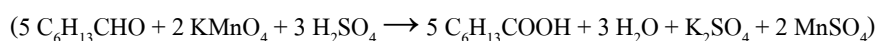
อุธร และคณะ (2554) ศึกษาอัตราการฟักไข่ปลาอุกอยู่ในกรวยแมคโคเนลที่ใช้ น้ำหมุนเวียนขนาดความจุ 12 ลิตร ใช้เทคนิคการลดสารเหนียวของไข่ปลาด้วยน้ำยาคาร์บาไมด์ ฟักไข่ปลาที่ระดับความหนาแน่น 3,500 ฟอง/ลิตร พบว่าไข่ปลาที่ฟักในกรวยแมคโคเนลที่ใช้ระบบบำบัดน้ำแบบโปรยกรองมีอัตราการฟักเป็นตัว 76.6 เปอร์เซ็นต์ และไข่ปลาที่ฟักในกรวยแมคโคเนลที่ใช้ระบบบำบัดน้ำแบบโปรยกรองและการดูดซับด้วยสาหร่ายสไปโรไจรา มีอัตราการฟักเป็นตัว 79.6 เปอร์เซ็นต์

ค้างทับทิมกับการเพาะปลาสัตว์น้ำ

ค้างทับทิมเป็นสารอินทรีย์มีคุณสมบัติเป็นตัวออกซิไดซ์อย่างแรง ลักษณะเป็นผลึกสีม่วงแดง ละลายน้ำได้ดี สารละลายค้างทับทิมทำปฏิกิริยากับสารอินทรีย์ในสภาพกรด ออกซิไดซ์ alkenes ได้ carboxylic acid ดังนี้



ออกซิไดซ์ aldehydes เปลี่ยนเป็น carboxylic acids



(Gardner and Mayer, 1995)

ค้างทับทิมมีคุณสมบัติเป็นสารออกซิไดซ์จึงนำมาใช้เป็นสารฆ่าเชื้อ (antiseptic) และรักษาโรคสัตว์น้ำอย่างกว้างขวาง การทำลายสารเมลานิน (melanin) และอะไมลอยด์ (amyloid) ในเนื้อเยื่อร่างกาย ทำให้เนื้อเยื่อเปลี่ยนคุณสมบัติไปจากเดิม (Wright, *et al.*, 1977; Rijswijk and Heusden, 1979) ผลของปฏิกิริยาออกซิไดซ์ของค้างทับทิมได้ MnO_2 มีสีน้ำตาลเข้มเคลือบบนสารอินทรีย์ที่ถูกออกซิไดซ์

ค้างทับทิมเป็นสารเคมีที่มีการนำมาใช้อย่างกว้างขวางทั้งในการอุตสาหกรรม การแพทย์ เกษตรกรรม และการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ (Lay 1971; Rose and Rose, 1966) ในวงการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำใช้ค้างทับทิมในการป้องกันและกำจัดโรคปลา ได้แก่ ปรสิตภายนอก (Allison, 1957; Herwig, 1979) และแบคทีเรียบางชนิด ได้แก่ *Aeromonas hydrophila* และ *Flexibacter columnaris* โดยใช้ความเข้มข้นประมาณ 3-4 ppm (Phelps *et al.*, 1977; Jee and Plumb, 1981) สารละลายค้างทับทิมเข้มข้น 2 มก./ล. แช่ไข่ปลาอุกอาฟริกัณระยะเวลา 30 นาที ทำให้มีอัตราการฟักเป็นตัวสูงขึ้น จาก 34.4 เปอร์เซ็นต์ เพิ่มขึ้นเป็น 96.7 เปอร์เซ็นต์ (Rasowoa *et al.*, 2007)

การใช้ด่างทับทิมในการรักษาโรคปลาหรือเพื่อปรับปรุงคุณภาพน้ำในประเทศไทย ยังคงปฏิบัติตามวิธีการที่ใช้กันในประเทศเป็นส่วนใหญ่ ทั้งที่ลักษณะการเพาะเลี้ยงและสภาพภูมิอากาศมีความแตกต่างกันมาก โดยเฉพาะอย่างยิ่งในเรื่องของอุณหภูมิ คุณสมบัติของน้ำและค่าความต้องการเปอร์แมงกาเนตของน้ำในบ่อ สิ่งต่าง ๆ เหล่านี้ล้วนเป็นปัจจัยที่สำคัญยิ่งในการกำหนดปริมาณการใช้ด่างทับทิม ซึ่งผู้ใช้ควรทราบเป็นอย่างดี ทั้งนี้เพื่อหลีกเลี่ยงการสูญเสียและพิษที่อาจจะเกิดแก่สัตว์น้ำได้ การใช้ด่างทับทิมในการป้องกันและกำจัดโรคปลา ควรจะทราบระดับความเป็นพิษเฉียบพลันของด่างทับทิมที่มีต่อปลาชนิดนั้น ๆ ก่อน เพื่อป้องกันไม่ให้เป็นอันตรายจากการใช้ด่างทับทิม จากการศึกษาความเป็นพิษของด่างทับทิมต่อลูกปลาคูอาฟริกกัน พบว่าระดับความเข้มข้นของด่างทับทิม 3.02 มก./ล. ทำให้ลูกปลาตายจำนวนครึ่งหนึ่งในเวลา 96 ชั่วโมง (Ovie, 2008) ระดับความเข้มข้น 4.00 และ 5.50 มก./ล. ทำให้ลูกออดอายุ 5-10 วัน กับ 20-30 วัน ตายครึ่งหนึ่งในเวลา 96 ชั่วโมง (กนกรัตน์, 2538) ความเป็นพิษของด่างทับทิม จะมีมากในช่วง 24 ชั่วโมงแรก ความเป็นพิษของด่างทับทิมสูงขึ้นในน้ำที่เป็นด่างและน้ำกระด้างจากการแตกตัวของ MnO_4 เพิ่มมากขึ้น (Noga, 1996; Marking and Bills, 1975) นอกจากนี้ความเป็นพิษของด่างทับทิมยังสัมพันธ์กับค่า COD ของน้ำ Tucker (1987) พบว่า ค่า 96 h LC 50 ของด่างทับทิมในลูกปลากดอเมริกกันเพิ่มจาก 4.5 มก./ล. เป็น 17.6 มก./ล. เมื่อค่า COD เพิ่มขึ้นจาก 21 มก./ล. เป็น 118 มก./ล. ไข่ปลาที่มีความต้านทานต่อพิษของด่างทับทิมได้ดีกว่าลูกปลาเพราะมีเปลือกไข่ป้องกันไว้ Marking *et al.* (1983) ศึกษาพิษของด่างทับทิมต่อไข่และลูกปลาวัยอ่อนของปลา 4 ชนิด พบว่าความเป็นพิษของด่างทับทิมต่อไข่ปลาของปลาทั้ง 4 ชนิดมีค่าสูงกว่า 10 มก./ล.

คุณภาพน้ำกับการฟักไข่

คุณภาพน้ำที่มีผลต่ออัตราการฟักไข่และการรอดตายของลูกปลาวัยอ่อนมีอยู่หลายชนิด พารามิเตอร์คุณภาพน้ำหลายชนิดแม้มีผลต่อการอยู่รอดของตัวอ่อนอย่างมากหากมีปริมาณมากหรือน้อยเกินไป ได้แก่ ออกซิเจน แอมโมเนีย ไนไตรท์ คาร์บอนไดออกไซด์ และอุณหภูมิ แต่ปัจจัยเหล่านี้สามารถควบคุมไม่ให้เข้าสู่ระดับวิกฤติได้ด้วยการจัดการระบบฟักไข่ที่ดี แต่พารามิเตอร์คุณภาพน้ำอีกหลายชนิดก็ไม่สามารถควบคุมด้วยการจัดการระบบการฟักไข่ จำเป็นต้องปรับปรุงคุณภาพน้ำให้พารามิเตอร์เหล่านั้นมีความเหมาะสมก่อนการนำไปใช้ ได้แก่ ความเป็นกรดเป็นด่าง (pH) สภาพด่าง (alkalinity) และความกระด้าง (hardness) พารามิเตอร์คุณภาพน้ำทั้งสามชนิดดังกล่าว นับว่าความกระด้างมีความสำคัญ เกี่ยวข้องกับการพัฒนาการของไข่ปลาทุกขั้นตอน ตั้งแต่ขั้นการฟองตัว ขึ้นก่อนกำเนิด และขั้นคัพภะ น้ำที่มีค่าความเป็นกรดเป็นด่าง สภาพด่างที่

เหมาะสม ไม่ใช่ว่าจะมีความกระด้างเหมาะสมเสมอไป ความกระด้างอาจจะมีค่ามากเกินไปหรือน้อยเกินไปสำหรับการพัฒนาการของไข่ปลา

ความกระด้างของน้ำ หมายถึง ปริมาณของแคลเซียมที่มีประจุสองบวกในสภาพสารละลาย ในแหล่งน้ำจืดทั่วไปความกระด้างของน้ำมาจาก Ca^{2+} และ Mg^{2+} เป็นส่วนใหญ่ โดยปกติน้ำที่ใช้เลี้ยงปลาจะต้องมีความกระด้างไม่น้อยกว่า $20 \text{ mg l}^{-1} \text{ CaCO}_3$ (Boyd, 1998; Zweig *et al.*, 1999) Ca^{2+} มีบทบาทสำคัญต่อกระบวนการทางชีววิทยาหลายอย่าง ได้แก่ การสร้างกระดูก การแข็งตัวของเลือด และเกี่ยวข้องกับกระบวนการต่าง ๆ ภายในเซลล์ (Flik *et al.*, 1995) จากการศึกษาอัตราการรอดตายของปลากระดูกแข็งหลายชนิดที่สัมผัสน้ำที่มีสภาพกรดและสภาพด่างหลายระดับ พบว่าปลาที่สัมผัสกับน้ำกระด้างมีอัตราการรอดตายสูงกว่าปลาที่สัมผัสกับน้ำอ่อน (Freda and McDonald, 1988; Laitinen and Karttunen, 1994) ไข่ปลาแต่ละชนิดประสบความสำเร็จในการฟักไข่ในน้ำที่มีความกระด้างแตกต่างกัน เช่น ปลาเกล็ดเงิน (*Hypophthalmichthys molitrix*) มีอัตราฟักไข่และอัตราการรอดตายสูงในน้ำที่มีความกระด้างของน้ำระหว่าง $300\text{-}500 \text{ mg l}^{-1} \text{ CaCO}_3$ (Gonzal *et al.*, 1987) แต่สำหรับไข่ปลา striped bass (*Morone saxatilis*) น้ำที่มีความกระด้างสูงทำให้ขนาดของไข่หลังการฟักตัวเล็กลงและอัตราการฟักเป็นตัวลดต่ำลงด้วย (Spaade and Bristow, 1999)

ความกระด้างของน้ำมีผลโดยตรงต่อการฟักตัวของไข่ปลาหลังการปฏิสนธิ ซึ่งมีความสำคัญต่อการพัฒนาการของไข่ปลากระดูกแข็ง การฟักตัวของไข่ คือ กระบวนการที่ไข่รับน้ำจากภายนอกเข้าสู่ perivitelline space ซึ่งเป็นช่องว่างระหว่างเยื่อหุ้มตัวอ่อน (chorion) และเยื่อหุ้มเซลล์ไข่แดง (vitelline membrane) ล้อมอยู่รอบคัพภะ น้ำภายในช่องว่างรอบเซลล์ไข่แดง (perivitelline space) นอกจากทำหน้าที่ปกป้องตัวอ่อนยังมีบทบาทสำคัญในการทำหน้าที่แลกเปลี่ยนแร่ธาตุและก๊าซกับตัวอ่อน (Eddy, 1974) น้ำจากภายนอกไหลเข้าไปใน perivitelline space เพราะแรงดันออสโมติกของของเหลวภายใน perivitelline space มีค่าสูงกว่าแรงดันออสโมติกของน้ำล้อมรอบไข่ ไข่ปลามีกลไกการเพิ่มแรงดันออสโมติก ด้วยการปลดปล่อยสาร cortical ซึ่งสร้างจาก vitelline membrane เข้าไปใน perivitelline space ถ้าน้ำภายนอกไข่ปลาที่มีความกระด้างสูงทำให้ความแตกต่างของแรงดันออสโมติกระหว่างน้ำภายนอกและแรงดันออสโมติกของของเหลวภายใน perivitelline space น้อยลง ทำให้การฟักตัวของไข่น้อยลง ประสิทธิภาพการลอยตัวของไข่มีความสัมพันธ์กับการฟักตัวของไข่โดยตรง ดังนั้นไข่ปลาที่ฟักตัวน้อยกว่าปกติมักมีอัตราการรอดตายลดลง (Rudy and Potts, 1969; Alderdice, 1988) นอกจากนี้คุณสมบัติของแคลเซียมที่ไว

ต่อปฏิกริยากับโมเลกุลของสารอินทรีย์ที่มีขั้วเคลเชื่อมอออนจึงมีบทบาทสำคัญในการควบคุมการแลกเปลี่ยนแร่ธาตุระหว่างเอ็มบริโอกับสภาพแวดล้อมภายนอก ลดปัญหา osmoregulatory stress และเพิ่มความสำเร็จในการพัฒนาการของเอ็มบริโอ ดังนั้นระดับความกระด้างของน้ำที่ไปปลา สัมผัสในระยะแรกของการปฏิสนธิและระยะพัฒนาการของเอ็มบริโอจึงมีความสำคัญอย่างมากต่อ อัตราการฟักเป็นตัวและการรอดตายของตัวอ่อน

การบำบัดน้ำในระบบฟักไข่ใช้น้ำหมุนเวียน

ปัญหาสำคัญของการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำระบบน้ำหมุนเวียน คือ ของเสียจากกระบวนการการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ โดยเฉพาะอย่างยิ่งของเสียที่มีไนโตรเจนเป็นส่วนประกอบ ทั้งที่อยู่ในรูปสารอินทรีย์และสารอนินทรีย์มีความเข้มข้นสูงเกินระดับปลอดภัยต่อสัตว์น้ำ ของเสียดังกล่าวพบว่า แอมโมเนียมีความเป็นพิษต่อสัตว์น้ำมากที่สุด แอมโมเนียในรูปที่ไม่แตกตัวเป็นอันตรายต่อสัตว์น้ำตั้งแต่ระดับความเข้มข้น 0.06 มก./ล. มีผลทำลายเนื้อเยื่อสัตว์น้ำเมื่อสัมผัสต่อเนื่อง (Plum *et al.*, 1976) และระดับความเข้มข้นเกินกว่า 0.12 มก./ล. เหงือกถูกทำลายและสัตว์น้ำเจริญเติบโตลดลง (Robinette, 1976) ไนโตรที่ก่อพิษต่อปลาโดยทำปฏิกริยากับฮีโมโกลบินในเลือดผลิตเมทฮีโมโกลบิน (methemoglobin) ทำให้เลือดมีสีน้ำตาล สูญเสียความสามารถการลำเลียงออกซิเจนและขาดออกซิเจน (hypoxia) การขาดออกซิเจนของน้ำมีผลยับยั้งกระบวนการไนตริฟิเคชัน ไนโตรที่ไม่สามารถเปลี่ยนไปอยู่ในรูปไนเตรทและสะสมเพิ่มปริมาณสูงขึ้น ไนโตรที่เป็นพิษต่อปลาน้ำเย็นที่ความเข้มข้นตั้งแต่ 0.5 มก./ล. ปลาน้ำอุ่นทนต่อระดับความเข้มข้นของไนโตรที่ได้สูงกว่าเล็กน้อย (Wedemeyer and Yasutake, 1978; Perrone and Meade, 1977) ไนเตรทมีความเป็นพิษต่อสัตว์น้ำ น้อยมาก แต่ความเข้มข้นของไนเตรทที่มากเกินไปก็มีผลข้างเคียงทำให้กระบวนการไนตริฟิเคชัน เกิดได้ช้าลง ซึ่งเป็นสาเหตุหนึ่งในการเพิ่มขึ้นของแอมโมเนียและไนโตร

กระบวนการทางชีวภาพของการบำบัดของเสียไนโตรเจนจากการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำที่สำคัญ ได้แก่ กระบวนการต่าง ๆ ในวัฏจักรไนโตรเจน และกระบวนการดูดซับของแอลจีและพืชน้ำ กระบวนการในวัฏจักรไนโตรเจน ได้แก่ ปฏิกริยาไนตริฟิเคชัน (nitrification) เป็นปฏิกริยาการเปลี่ยนแอมโมเนียให้เป็นไนเตรทโดยแบคทีเรียกลุ่มไนตริฟายอิง ได้แก่ *Nitrosomonas*, *Nitrosospira*, *Nitrobacter* และ *Nitrococcus*

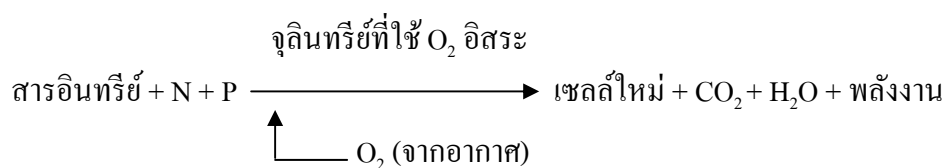
ปฏิกิริยาไนตริฟิเคชันประกอบด้วย 2 กระบวนการต่อเนื่อง คือ กระบวนการเปลี่ยนแปลงแอมโมเนียให้เป็นไนไตรท์ (nitrosification) และเปลี่ยนแปลงไนไตรท์ให้เป็นไนเตรท (nitrite oxidation) (Paul and Clark, 1996) กระบวนการดีไนตริฟิเคชัน (denitrification) เป็นปฏิกิริยารีดอกซ์ที่เกิดจากแบคทีเรียกลุ่มดีไนตริฟายอิง เป็นกลุ่มแบคทีเรียที่ใช้ไนเตรทหายใจแทนออกซิเจน ได้แก่ *Alcaligenes*, *Bacillus*, *Flavobacterium* และ *Pseudomonas* เป็นต้น สภาวะที่เหมาะสมสำหรับปฏิกิริยาต้องมีความเข้มข้นของไนเตรทสูงกว่า 50 มก./ล. และปริมาณออกซิเจนน้อยกว่า 1.5 มก./ล. ปฏิกิริยาดังกล่าวจะเปลี่ยนไนเตรทให้เป็นสารประกอบได้หลายชนิด ได้แก่ ไนไตรท์ (NO_2^-) ไนตริกออกไซด์ (NO) ไนตรัสออกไซด์ (N_2O) ในสภาวะที่น้ำมีออกซิเจนน้อยกว่า 0.5 มก./ล. ไนเตรทถูกเปลี่ยนเป็นก๊าซไนโตรเจน (Nootong, 2006)

ระบบบำบัดน้ำเสียทางชีวภาพ เป็นกระบวนการบำบัดน้ำเสียที่อาศัยจุลินทรีย์ในการย่อยสลายสารอินทรีย์ที่สามารถย่อยสลายทางชีวภาพได้ (biodegradable organic compound) โดยจุลินทรีย์จะใช้สารอินทรีย์เป็นอาหารและสารตั้งต้นในกระบวนการดำรงชีวิต การเจริญเติบโต และการสังเคราะห์เซลล์ใหม่ และได้ผลผลิตเป็นก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) น้ำ (H_2O) และสารตกค้างซึ่งไม่สามารถย่อยสลายได้ทางชีวภาพ กระบวนการบำบัดทางชีวภาพจำแนกได้เป็น 2 ประเภทตามชนิดของจุลินทรีย์ที่มีบทบาทสำคัญในการย่อยสลายสารอินทรีย์ ได้แก่ การบำบัดน้ำเสียแบบใช้ออกซิเจนหรือใช้ออกซิเจน (aerobic wastewater treatment) และการบำบัดน้ำเสียแบบไม่ใช้ออกซิเจนหรือไม่ใช้ออกซิเจน (anaerobic wastewater treatment) (สิริรัตน์ และคณะ, 2548)

กระบวนการบำบัดน้ำเสียแบบใช้ออกซิเจนหรือใช้ออกซิเจน เป็นกระบวนการบำบัดน้ำเสียโดยจุลินทรีย์กลุ่มที่ต้องอาศัยออกซิเจนละลายน้ำ หรือออกซิเจนอิสระ ในการย่อยสลายสารอินทรีย์ ปฏิกิริยาการย่อยสลายสารอินทรีย์โดยแบคทีเรียกลุ่มที่ใช้ออกซิเจน จำแนกได้ 2 ขั้นตอน คือ

ขั้นตอนที่ 1 เป็นกระบวนการนำสารอินทรีย์หรือสารอาหารเข้าไปในเซลล์ โดยจุลินทรีย์จะส่งเอนไซม์ออกมาย่อยสลายสารอินทรีย์ที่มาเกาะติดที่ผนังเซลล์เพื่อเปลี่ยนให้อยู่ในรูปของสารโมเลกุลเล็กที่สามารถซึมผ่านเข้าไปในเซลล์ของจุลินทรีย์ได้

ขั้นตอนที่ 2 เป็นกระบวนการทางชีวเคมีภายในเซลล์จุลินทรีย์ เพื่อที่จะผลิตพลังงานไปใช้ในกิจกรรมต่าง ๆ และการสร้างเซลล์ใหม่ โดยเขียนอยู่ในรูปสมการ ดังนี้



เมื่อสารอินทรีย์ในน้ำเสียถูกเปลี่ยนรูปมาเป็นจุลินทรีย์เซลล์ใหม่ จะรวมตัวกันเป็นฟล็อก (biological flocculation) ซึ่งจะมีน้ำหนักมากขึ้น และแยกออกจากน้ำเสียได้ง่ายด้วยการตกตะกอน กระบวนการบำบัดน้ำเสียแบบใช้อากาศสามารถจำแนกได้เป็น 2 ประเภทหลัก คือ

1. ระบบบำบัดที่จุลินทรีย์แขวนลอยอยู่ในระบบ (suspended system) เช่น บ่อแอโรบิก (aerobic pond) บ่อเติมอากาศ (aerated lagoon) ระบบเลี้ยงตะกอน เป็นต้น
2. ระบบบำบัดที่จุลินทรีย์เกาะติดผิวตัวกลาง หรือระบบฟิล์มตรึง (fixed film system) เช่น ระบบโปรยกรอง (trickling filter) และระบบแผ่นหมุนชีวภาพ (rotating biological contractor) เป็นต้น (สิริรัตน์ และคณะ, 2548)

ระบบบำบัดน้ำเสียทางชีวภาพ (biological process)

ระบบโปรยกรอง เป็นระบบบำบัดชีวภาพที่ใช้การฉีดน้ำเสียที่จะบำบัดให้เป็นฝอยตกลงมายังตัวกลางที่แบคทีเรียยึดเกาะ เช่น ก้อนหิน ไบโอบอล (bioball) จุลินทรีย์ที่เกาะอยู่กับวัสดุเหล่านี้ซึ่งมีลักษณะเป็นฟิล์มบาง ๆ ก็จะย่อยสลายอินทรีย์วัตถุในน้ำขณะที่น้ำไหลผ่านตัวกลางที่แบคทีเรียยึดเกาะ การฉีดน้ำให้เป็นฝอยก็เพื่อให้มีออกซิเจนเพียงพอที่จะทำให้จุลินทรีย์ทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ ขั้นตอนนี้จะได้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ซึ่งละลายในอากาศออกไป น้ำที่ผ่านออกไปจะไปสู่ถังตกตะกอน สิ่งเจือปนในน้ำเสียประมาณ 85-90 เปอร์เซ็นต์ จะถูกทำให้เป็นตะกอน และขจัดออกจากน้ำต่อไป ประสิทธิภาพของระบบบำบัดไนโตรเจนแบบแบคทีเรียยึดเกาะกับตัวกลางขึ้นกับรูปแบบของ biofilm reactor และขนาดพื้นที่ผิวสัมผัส biofilm reactor แบบ submerged filters ให้ประสิทธิภาพการบำบัดสูงสุด (Gomez *et al.*, 2003) การเจริญเติบโตของแบคทีเรียและอัตราไนตริฟิเคชัน (nitrification rate) ของ biofilm ขึ้นกับหลายปัจจัย ได้แก่ ความเข้มข้นของแอมโมเนีย ปริมาณสารอินทรีย์ที่เข้าสู่ระบบ ปริมาณออกซิเจน ค่าความเป็นกรดเป็นด่าง อุณหภูมิ และความเค็ม อุณหภูมิและความเข้มข้นของแอมโมเนียมีอิทธิพลต่อกระบวนการ

ไนโตรฟิเคชันมากที่สุด จึงเป็นเงื่อนไขสำคัญของการเลือกชนิดของ biofilter และลักษณะของการหมุนเวียนน้ำ (Zhu and Chen, 1999)

ระบบเลี้ยงตะกอน เป็นระบบที่ประกอบด้วยถังเติมอากาศและถังตกตะกอน มีการหมุนเวียนตะกอนจากถังตกตะกอนไปเลี้ยงในถังเติมอากาศโดยจะต้องมีการกวนเพื่อให้จุลินทรีย์ได้สัมผัสกับสารอินทรีย์และออกซิเจนได้อย่างทั่วถึง เพื่อให้เกิดการย่อยสลายได้อย่างสมบูรณ์ ระบบนี้เป็นระบบที่มีประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสียสูง สามารถลดค่า BOD ได้มากกว่า 90 เปอร์เซ็นต์

ระบบ oxidation pond อาจเรียกว่า stabilization pond หรือ lagoon เป็นระบบที่ทำให้น้ำเสียได้พักตัวอยู่ในสระ ซึ่งในสระนี้จะมีปฏิกิริยาการย่อยสลายของสารอินทรีย์เกิดขึ้น เป็นการอาศัยซึ่งกันและกันระหว่างแบคทีเรียและสาหร่ายในภาวะที่มีออกซิเจนเพียงพอ แบคทีเรียจะย่อยสลายสารอินทรีย์ทำให้ได้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ แอมโมเนีย และแร่ธาตุอื่น ๆ เมื่อมีแสงแดดสาหร่ายก็จะทำให้เกิดขบวนการสังเคราะห์แสงทำให้ได้ออกซิเจนออกมาช่วยในการเกิดปฏิกิริยาการย่อยสลายสารอินทรีย์ต่อไปอีก ระบบนี้สามารถใช้บำบัดน้ำเสียที่ผ่านการบำบัดหรือไม่ผ่านการบำบัดในขั้นที่หนึ่งก็ได้ และสามารถลดค่า BOD ของน้ำเสียได้มากกว่า 90 เปอร์เซ็นต์ เช่นเดียวกับระบบเลี้ยงตะกอน (นิรนาม, 2553)

กระบวนการดูดซับของพืชน้ำ (biosorption) เป็นการบำบัดชีวภาพอีกแบบหนึ่งที่ได้รับ ความนิยมนทั้งการบำบัดน้ำเสียจากอุตสาหกรรม ชุมชน และจากการเกษตร เป็นวิธีการบำบัดน้ำเสียที่มีต้นทุนต่ำ พืชน้ำหลายชนิดที่มีประสิทธิภาพสูงในการดูดซับแร่ธาตุ พืชน้ำที่ใช้กันแพร่หลายและมีรายงานวิจัยรับรองก็คือ สาหร่ายสไปโรไจรา (Spirogyra) สาหร่ายดังกล่าวมีประสิทธิภาพการดูดซับสารอะโรเมติก (Shenai, 1995) โลหะหนัก (Shenai, 1995; Aksu *et al.*, 1997; Aksu and Acikel, 2000) และจากรายงานของ Lei and Ma (2009) สไปโรไจราระดับความหนาแน่น 3.05 กรัม/ลิตร มีประสิทธิภาพดูดซับฟอสฟอรัสทั้งหมด (total phosphorus) แอมโมเนียทั้งหมด (total ammonia) ไนโตรเจนทั้งหมด (total nitrogen) และเปอร์เมกานเนต ร้อยละ 96.84 88.60 85.49 และ 24.56 ตามลำดับ ผลการบำบัดน้ำเสียของสไปโรไจราทำให้ค่าความเป็นกรดเป็นด่างเพิ่มขึ้น ขณะที่ความเข้มข้นของแคลเซียม แมกนีเซียม และค่าการนำไฟฟ้าลดลง

การฟักไข่ระบบที่ใช้น้ำหมุนเวียนมีข้อได้เปรียบ คือ สามารถลดการใช้พื้นที่ มีการนำเทคโนโลยีมาใช้ในการควบคุมคุณภาพน้ำทำให้การเพาะพันธุ์ปลาไม่ถูกจำกัดด้วยปริมาณน้ำ ขณะเดียวกันก็ลดการติดเชื้อในไข่และลูกปลาวัยอ่อน การฟักไข่ปลาในระบบน้ำหมุนเวียนต้องใช้อุปกรณ์ในการขับเคลื่อนให้เกิดการหมุนเวียนของน้ำ อาจเป็นลมดัน บัมพ์น้ำ หรือใช้แรงโน้มถ่วงไล่ระดับน้ำ มีระบบบำบัดน้ำทางชีวภาพที่ใช้ไบโอฟิลเตอร์ การจัดการระบบที่ดีสามารถทำให้ปัญหาเกี่ยวกับคุณภาพน้ำลดลง ไบโอฟิลเตอร์เป็นสิ่งที่สำคัญในระบบน้ำหมุนเวียนเพราะใช้ในการกำจัดของเสียจากการฟักไข่และอนุบาลลูกปลาวัยอ่อน ด้วยกระบวนการไนตริฟิเคชัน (Groeneweg *et al.*, 1994) ไบโอฟิลเตอร์จะเสื่อมสภาพเมื่อแบคทีเรียที่ผิวตายลงเนื่องจากสาเหตุต่าง ๆ เช่น สารเคมีที่ใช้รักษาโรคปลา สภาวะออกซิเจนในน้ำที่น้อยเกินไป (Huang, 1996) ความเป็นกรดสูงหรือด่างเกินไป (Kaiser and Wheaton, 1983; Tseng *et al.*, 1994) คาร์บอนไดออกไซด์ในน้ำสูงเกินไป (Timmons *et al.*, 2001) เมื่อประชากรแบคทีเรียตายลงจะต้องใช้เวลาในการฟื้นฟูหลายสัปดาห์จึงจะกลับคืนสู่สภาพปกติ

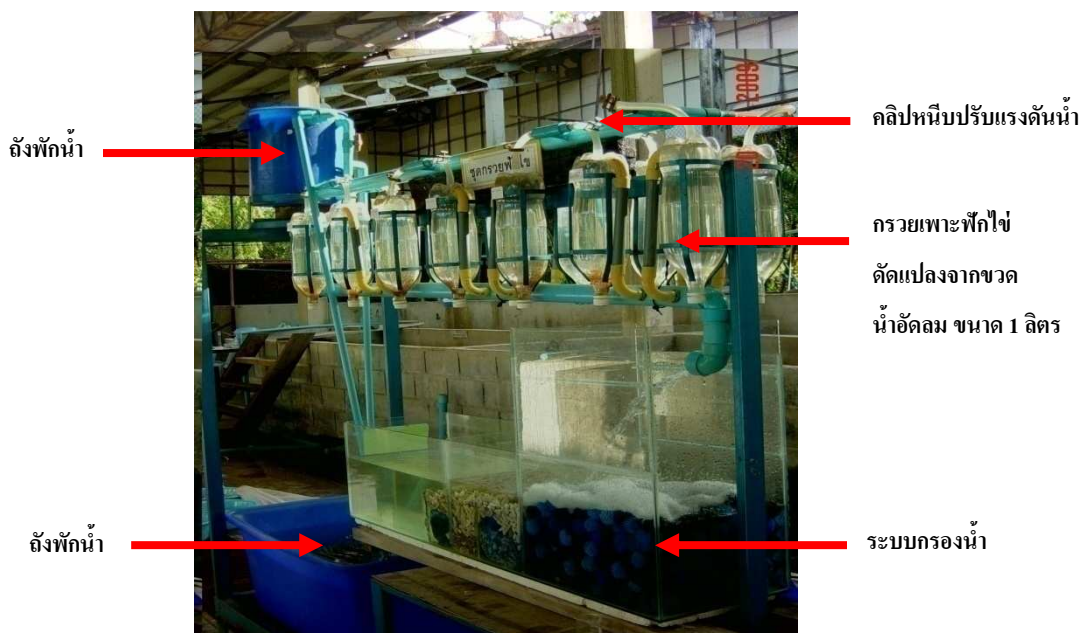
อุปกรณ์และวิธีการ

กรวยเพาะฟักไข่ปลาแบบแมคโคแนลระบบน้ำหมุนเวียนต้นแบบ

อุปกรณ์เพาะฟักไข่ปลาแบบกรวยแมคโคแนลต้นแบบที่นำมาใช้ในการศึกษาวิจัยครั้งนี้ วิจัยและพัฒนาขึ้นโดย มานพ (2552) ประกอบด้วยกรวยฟักไข่ 14 ใบ กรวยฟักไข่ดัดแปลงจากขวด น้ำอัดลม ที่เปิดก้นขวด ปิดปากขวด และหงายก้นขวดขึ้น ตัดก้นขวดเป็นปากกรวยฟักไข่ และกลับ ปากขวดปิดจุกสนิทให้เป็นก้นกรวยฟักไข่ กรวยฟักไข่นี้มีเส้นผ่าศูนย์กลาง 8 เซนติเมตร ความสูงจากก้นกรวยถึงท่อระบายน้ำออกของกรวย 27 เซนติเมตร ขนาดความจุ 1 ลิตร ระบายน้ำ เข้าทางก้นกรวยด้วยท่อขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 0.5 นิ้ว อัตราการไหล 0.5-0.75 ลิตร/นาที่ โดยปล่อย น้ำไหลเข้าทางก้นกรวยและล้นออกทางท่อที่ปากกรวยทำให้ผลัดดันให้ไข่ปลาเคลื่อนที่ขึ้น ๆ ลง ๆ ภายในกรวยฟักไข่ตลอดเวลา

ระบบบำบัดน้ำของระบบกรวยฟักไข่ ประกอบด้วยตู้กระจกขนาด 30x123x62 เซนติเมตร ภายในตู้กระจกเป็น 3 ห้องเท่ากัน ห้องที่ 2 แบ่งครึ่งเป็น 2 ช่อง ห้องที่ 1 รับน้ำเสียจากการฟักไข่ ไหลจากบนลงล่าง แล้วไหลลงเข้าสู่ห้องที่ 2 ทางช่องที่ 1 น้ำในช่องนี้ไหลจากล่างขึ้นบนไหลล้นเข้า ช่องที่ 2 ซึ่งบังคับน้ำให้ไหลจากบนลงล่าง น้ำออกจากช่องที่ 2 ของห้องที่ 2 ไหลลงเข้าสู่ห้องที่ 3 ซึ่งเป็นห้องเติมอากาศ และล้นน้ำลงในถังพักน้ำขนาด 120 ลิตร ตามลำดับ

ภายในห้องที่ 1 บรรจุไบโอบอลจำนวน 300 ลูก และปิดทับด้วยใยแก้วเพื่อกรอง สารแขวนลอย ไบโอบอลทำหน้าที่เป็นพื้นเกาะของแบคทีเรียไนโตรฟายอิงเปลี่ยนแอมโมเนียให้เป็น ไนเตรท ห้องที่ 2 ในช่องที่ 1 วางวัสดุกรอง 2 ชั้น ชั้นบนเป็นชั้นหินปะการังและชั้นล่างเป็นชั้นหิน ภูเขาไฟ แต่ละชั้นหนา 15 เซนติเมตร เป็นตัวดูดซับแอมโมเนียที่เหลือจากปฏิกิริยาชีวเคมีในห้องที่ 1 ปะการังทำหน้าที่เป็นพื้นเกาะแบคทีเรียกลุ่มดีไนโตรฟิเคชันเปลี่ยนไนเตรทเป็นก๊าซไนโตรเจน ช่องที่ 2 มีวัสดุกรอง 2 ชั้น ชั้นบนเป็นชั้นปะการังและชั้นล่างเป็นชั้นกรวดละเอียด ชั้นกรวด ทำหน้าที่กรองเก็บของแข็งที่แขวนลอยมากับน้ำ น้ำที่ปรับคุณภาพซึ่งเก็บอยู่ในถังพักน้ำถูกสูบด้วย ปั๊มได้น้ำขนาด 6.25 ลิตรต่อนาที ระบายลงถังพักน้ำที่ติดตั้งในระดับความสูงเหนือกรวยฟักไข่ 0.5 เมตร เพื่อปรับแรงดันก่อนปล่อยน้ำให้ไหลเข้าสู่ระบบกรวยฟักไข่ด้วยแรงโน้มถ่วง กรวยฟักไข่ระบบ ปิดต้นแบบ ออกแบบให้มีโครงสร้างดังแสดงในภาพที่ 1



ภาพที่ 1 อุปกรณ์เพาะฟักไข่ปลาแบบกรวยเมคโดเนลระบบน้ำหมุนเวียนต้นแบบ

การออกแบบอุปกรณ์เพาะฟักไข่ปลาแบบตะแกรงฟักไข่ระบบน้ำหมุนเวียน

ระบบฟักไข่ประกอบด้วยรางพลาสติกสีขาวปากทรงขนาด 14x70 เซนติเมตร ก้นรางขนาด 10x60 เซนติเมตร จำนวน 6 ใบ สูง 15 เซนติเมตร สำหรับวางตะแกรงเพาะฟักไข่ปลาถูกออกแบบตะแกรงฟักไข่มีขนาด 12x65 เซนติเมตร ทำจากวอลไนลอนสีฟ้าขนาดเบอร์ 20 เย็บติดกับแผงสแตนเลสสี่เหลี่ยมผืนผ้า ขนาด 780 ตารางเซนติเมตร รางฟักไข่มีท่อระบายน้ำเข้าทางหัวราง และท้ายรางมีท่อระบายน้ำออก ท่อระบายน้ำทำด้วยท่อพีวีซีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง $\frac{1}{2}$ นิ้ว มีวาล์วควบคุมการไหลของน้ำ ท่อน้ำเข้าเชื่อมกับห้องพักน้ำที่ผ่านการบำบัดจนมีคุณภาพดี ท่อน้ำออกระบายน้ำลงสู่ระบบบำบัด ระบบบำบัดน้ำ ประกอบด้วยรางพลาสติก ขนาด 18x74x15 เซนติเมตร จำนวน 6 ราง แบ่งเป็น 2 ชุด ๆ ละ 3 ราง ภายในกระบะพลาสติกแต่ละใบใส่วัสดุกรอง ได้แก่ หินเกล็ด หินปะการัง และหินภูเขาไฟ น้ำที่กรองผ่านรางไหลลงสู่ระบบกรองน้ำชั้นล่าง ซึ่งประกอบด้วยตู้กระจกขนาด 46x79x36 เซนติเมตร จำนวน 2 ตู้ แต่ละตู้รับน้ำที่กรองผ่านรางกรองน้ำแต่ละชุด ภายในตู้กระจกทั้งเป็น 3 ห้องเท่ากัน ห้องที่ 2 มี 2 ช่องขนาดเท่ากัน ห้องที่ 1 รับน้ำจากระบบกรองน้ำ บรรจุไบโอบอล 200 ลูก และปิดทับด้วยใยแก้ว น้ำภายในห้องไหลจากบนลงล่าง ห้องที่ 2 ช่องที่ 1 มี 2 ชั้น ชั้นบนเป็นชั้นกรวดหยาบ ชั้นล่างเป็นชั้นกรวดละเอียด ความหนาชั้นละ 15 เซนติเมตร ช่องนี้ทำหน้าที่กรองสารแขวนลอยลดค่าบีโอดี ช่องที่ 2 มีวัสดุกรอง 3 ชั้น หนาชั้น

ละ 10 เซนติเมตร ชั้นบนเป็นชั้นปะการัง ชั้นที่ 2 เป็นชั้นถ่าน ทำหน้าที่ดูดสีและกลิ่น ชั้นที่ 3 เป็นชั้นล่างเป็นชั้นหินภูเขาไฟ น้ำภายในช่องที่ 1 ไหลจากล่างขึ้นบน และล้นเข้าช่องที่ 2 ซึ่งบังคับน้ำไหลจากบนลงล่าง ห้องที่ 3 รับน้ำจากห้องที่ 2 บังคับน้ำในห้องให้ไหลจากล่างขึ้นบน ภายในห้องบรรจุปะการังหนา 20 เซนติเมตร น้ำภายในห้องไหลจากล่างขึ้นบน น้ำที่กรองผ่านตู้กรองทั้ง 2 ตู้ ไหลลงถึงขนาดความจุ 120 ลิตร ทำหน้าที่พักน้ำและเติมอากาศ น้ำจากถังพักน้ำและเติมอากาศถูกสูบด้วยปั๊มได้น้ำขนาด 6.25 ลิตรต่อนาที ระบายเข้ารางพักไข่ ระบบพักไข่แบบโรยตะแกรงระบบน้ำหมุนเวียน แสดงในภาพที่ 2



ภาพที่ 2 อุปกรณ์เพาะพักไข่ปลาแบบตะแกรงพักไข่ระบบน้ำหมุนเวียน

การเตรียมน้ำที่ใช้ในระบบกรวยเพาะพักไข่ปลาอุกอุย

น้ำที่ใช้ในการเพาะพักไข่ปลาต้องมีคุณภาพดี น้ำจากแหล่งธรรมชาติหลายแหล่งมีสภาพไม่เหมาะสม เช่น สภาพด่างและความกระด้างต่ำหรือสูงเกินไป น้ำที่ใช้ในการทดลองครั้งนี้มีแหล่งที่มาจากน้ำในอ่างเก็บน้ำบางพระ ซึ่งมีสภาพน้ำอ่อน สภาพด่างอยู่ในช่วง 40-50 มก./ล. และความกระด้างอยู่ในระดับเดียวกัน เนื่องจากปลาอุกเป็นปลาน้ำจืด อาศัยในแหล่งน้ำที่ค่อนข้างกระด้าง ความเป็นกรดเป็นด่างอยู่ในช่วงเป็นกลางถึงด่างอ่อน น้ำดิบจากอ่างเก็บน้ำที่ใช้พักไข่จึงต้องผ่านการปรับความเป็นกรดเป็นด่าง สภาพด่าง และความกระด้าง ก่อนนำมาใช้ในระบบพักไข่ปลา การเตรียมน้ำสำหรับการทดลองดำเนินการดังนี้

1. สูบน้ำพักในบ่อคอนกรีต บ่อที่พักน้ำมีขนาดพื้นที่ 6 ตารางเมตร ระดับเก็บกัก 80 เซนติเมตร มีปริมาตรน้ำเท่ากับ 4.8 ลูกบาศก์เมตร ตรวจสอบคุณภาพน้ำก่อนการปรับปรุง
2. เติมนุ่นขาวผสมยิบซัมมีสัดส่วน 1:1 จำนวน 2 กิโลกรัม เพื่อให้มีสภาพต่างและความกระด้างสูงขึ้นโดยไม่ทำให้ค่าความเป็นกรดเป็นด่างของน้ำเพิ่มขึ้นมากเกินไป
3. เติมอากาศแรง ๆ เป็นเวลา 2-3 วัน จากนั้นหยุดการเติมอากาศ ทิ้งให้สารแขวนลอยตกตะกอน เมื่อน้ำใสดีแล้วก็สูบลบบ่อเติมคลอรีน ใช้คลอรีนผงจำนวน 30 กรัมต่อน้ำ 1 ลูกบาศก์เมตร จากนั้นเติมอากาศแรง ๆ กระทั่งน้ำหมดคลอรีน ตรวจสอบคุณภาพน้ำอีกครั้งเพื่อการตัดสินใจใช้น้ำ พารามิเตอร์คุณสมบัติของน้ำที่ตรวจสอบ ได้แก่ อุณหภูมิ ค่าความเป็นกรดเป็นด่าง (pH) ค่าปริมาณออกซิเจนละลาย สภาพต่าง ความกระด้าง แอมโมเนียรวม และค่าความต้องการเปอร์แมงกาเนตของน้ำ

การเตรียมไข่ปลาทดลอง

ไข่ปลาคูยกที่ใช้ในการทดลองแต่ละครั้งได้มาจากพ่อแม่ปลาที่เลี้ยงสภาพธรรมชาติในนาพลาสติก ไข่ปลาคูยกที่ใช้ทดลองมีวิธีการดังต่อไปนี้

1. คัดเลือกแม่พันธุ์ปลาที่มีไข่สมบูรณ์เต็มที่ ขนาดน้ำหนัก 250-300 กรัม จำนวน 10 กิโลกรัม และพ่อพันธุ์ปลาคูยกขนาดน้ำหนัก 200-250 กรัม จำนวน 5 กิโลกรัม นำมาพักเพื่อปรับตัวให้เข้ากับสภาพน้ำที่ใช้ทดลอง 1 วัน
2. ตรวจสอบสภาพปลาหลังการปรับตัว หากปลามีสภาพที่สมบูรณ์ ไม่ปรากฏอาการเครียดและการติดเชื้อก็นำมาเพาะพันธุ์ด้วยวิธีการฉีดฮอร์โมนและผสมเทียม โดยให้ฮอร์โมนสังเคราะห์ Buserelin acetate (BUS) ในปริมาณ 25 ไมโครกรัมต่อกิโลกรัม ร่วมกับ Domperidone (DOM) ในปริมาณ 5 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม จำนวน 1 ครั้ง ฉีดเข้ากล้ามเนื้อเหนือเส้นข้างตัวกระตุ้นการตกไข่ของแม่ปลา และพ่อพันธุ์ปลาคูยกให้ฮอร์โมนสังเคราะห์ Buserelin acetate (BUS) ในปริมาณ 20 ไมโครกรัมต่อกิโลกรัม ร่วมกับ Domperidone ปริมาณ 5 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม 1 ครั้ง

3. แยกพักพ่อแม่ปลาหลังได้รับฮอร์โมนไว้ในบ่อคอนกรีต ขนาด 2 ลูกบาศก์เมตร ระดับน้ำในบ่อพักปลาสูงพอท่วมหลังปลา กระตุ้นการพัฒนาการของไข่และน้ำเชื้อโดยวิธีการพ่นน้ำเป็นฝอย อัตราการให้น้ำ 10 ลิตร/นาที่

4. พ่อแม่พันธุ์ปลาใช้ระยะเวลาในการพัฒนาไข่และน้ำเชื้อ 12 ชั่วโมง เมื่อถึงระยะตกไข่ สังเกตพบไข่ปลาที่หลุดจากตัวปลาสีน้ำตาลแก่ที่พื้นบ่อ แสดงให้เห็นถึงความพร้อมในการวางไข่

5. ผสมเทียมด้วยวิธีแบบแห้งคัดแปลง (modified dry method) (อุทัยรัตน์, 2538) ด้วยการรีดไข่จากแม่พันธุ์ปลาทั้งหมดใส่ภาชนะที่สะอาดและแห้งสนิท เทน้ำเชื้อที่เก็บรักษาในสารละลายเกลือแกงเข้มข้น 0.65% ผสมกับไข่ คนคลุกเคล้าให้เข้ากัน แล้วเติมน้ำเกลือพอท่วมไข่เพื่อให้สเปิร์มเข้าผสมกับไข่ ทิ้งไว้ 5 นาที แล้วล้างไข่ด้วยน้ำสะอาดหลายครั้ง พร้อมกำจัดสิ่งปนเปื้อน เช่น เศษไขมัน เลือด และสิ่งสกปรกออกให้หมด พักไข่ในน้ำเกลือ 0.65% ประมาณ 5 นาที เมื่อไข่พองน้ำเต็มก็นำไปแช่ในสารละลายด่างทับทิมเพื่อเพาะพักในกรวย หรือเพาะพักบนตะแกรงพักไข่โดยไม่แช่สารละลายด่างทับทิม

การตรวจวิเคราะห์คุณสมบัติของน้ำ

พารามิเตอร์คุณภาพน้ำในระบบเพาะพักไข่ปลาที่อยู่ในห้องตรวจวิเคราะห์ประกอบด้วย อุณหภูมิ น้ำ ความเป็นกรดเป็นด่าง ความเข้มข้นของออกซิเจน สภาพด่าง ความกระด้าง แอมโมเนียรวม และความต้องการเปอร์แมงกาเนตของน้ำ มีวิธีการดังต่อไปนี้

1. อุณหภูมิ น้ำ วัดด้วยเครื่องวัดความเป็นกรดด่าง/อุณหภูมิ ของ Mettler รุ่น TELED0 MP

120

2. ความเป็นกรดเป็นด่าง (pH) วัดด้วยเครื่องวัดความเป็นกรดด่าง/อุณหภูมิ ของ Mettler รุ่น TELED0 MP 120

3. ออกซิเจนละลาย ใช้วิธีไฮโดรเจนแบบปรับปรุง ตามวิธีของมันสัน (2543)

4. สภาพด่าง ใช้วิธีอินดิเคเตอร์ ไตเตรชัน ตามวิธีของมันสัน (2543)

5. ความกระด้าง ใช้วิธี EDTA titrimetric method ตามวิธีของมันสัน (2543)

6. แอมโมเนียทั้งหมด ใช้วิธี Phenol-hypochlorite method ตามวิธีของ APHA *et al.* (1995)

7. การตรวจสอบค่าความต้องการเปอร์แมงกาเนตของน้ำ (potassium permanganate demand (PPD)) ที่ใช้ในการเพาะฟักไข่ปลา มีวิธีการดังนี้

7.1 เตรียมสารละลายต่างหัตถิมเข้มข้น (stock solution) 1,000 มก./ล. โดยการละลายต่างหัตถิมเกรดวิเคราะห์ 1.00 กรัม ในน้ำกลั่น 100 มิลลิลิตร เติมน้ำกลั่นและปรับให้ปริมาตรสุดท้ายเป็น 1,000 มิลลิลิตร

7.2 คูณสารละลายต่างหัตถิมเข้มข้น 1 3 5 7 และ 10 มิลลิลิตร (จากข้อ 7.1) ใส่ในขวดรูปชมพู่ (elenmeyer flask) ขนาด 250 มิลลิลิตร 5 ใบ ตวงน้ำที่จะใช้เพาะฟักไข่ปลา 99 97 95 93 และ 90 มิลลิลิตร เติมน้ำกลั่นในขวดรูปชมพู่แต่ละใบ เขย่าให้สารละลายต่างหัตถิมและน้ำตัวอย่างผสมเข้าด้วยกัน ซึ่งจะทำความเข้มข้นสุดท้ายของสารละลายต่างหัตถิมในแต่ละขวด เท่ากับ 1 3 5 7 และ 10 มก./ล. ตามลำดับ

7.3 เมื่อครบ 15 นาที เลือกใช้ความเข้มข้นต่ำสุดของสารละลายต่างหัตถิมในขวดที่ยังคงให้สีม่วงแดงอ่อน ๆ เป็นค่าความต้องการเปอร์แมงกาเนตที่เวลา 15 นาที ของน้ำ (15 minute PPD)

การทดลองที่ 1 การศึกษาระดับความเข้มข้นของต่างหัตถิมที่เหมาะสมสำหรับการลดสารเหนียวของเปลือกไข่ปลาที่อยู่ในตู้เพาะฟักไข่

1. การศึกษาระดับความเข้มข้นของต่างหัตถิมที่เหมาะสมสำหรับการลดสารเหนียวของเปลือกไข่ปลาที่อยู่ในตู้เพาะฟักไข่ โดยเปรียบเทียบอัตราการฟักเป็นตัวของไข่ปลาที่อยู่ในตู้เพาะฟักไข่ โดยเติมต่างหัตถิมความเข้มข้นต่างกัน 3 ระดับ และไข่ปลาที่ไม่เติมต่างหัตถิม ใช้แผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ มี 3 กลุ่มทดลอง และ 1 กลุ่มควบคุม กลุ่มทดลอง 3 กลุ่ม ได้แก่ ไข่ปลาที่ไม่เติมต่างหัตถิมระดับความเข้มข้น 3 5 และ 7 มก./ล. และไข่ปลาที่ไม่เติม

สารละลายต่างหัตถิมเป็นกลุ่มควบคุม ทุกกลุ่มทดลองและกลุ่มควบคุม มี 3 ซ้ำ แต่ละซ้ำมีจำนวนไข่ 2,500 ฟอง/กรวย เพาะฟักในอุปกรณ์เพาะฟักไข่แบบกรวยแมคโคแนระบบน้ำหมุนเวียนต้นแบบ หากผลการฟักไข่มีผลแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% แล้ว ก็จะเปรียบเทียบค่าเฉลี่ย อัตราการฟักของไข่ของทุกกลุ่มทดลองและกลุ่มควบคุมด้วยวิธี Duncan's New Multiple Range Test ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

2. เตรียมสารละลายต่างหัตถิมเข้มข้น 0 3 5 และ 7 มก./ล. จาก stock solution สำหรับไข่ทดลองความเข้มข้นละ 1,000 มิลลิลิตร

3. เตรียมไข่ปลากลุ่มทดลองละ 10,000 ฟอง ใส่ลงในบีกเกอร์ขนาด 1,000 มิลลิลิตร กลุ่มทดลองที่ 1 ใส่ในสารละลายต่างหัตถิมที่ระดับความเข้มข้น 3 มก./ล. กลุ่มทดลองที่ 2 ใส่ในสารละลายต่างหัตถิมที่ระดับความเข้มข้น 5 มก./ล. และกลุ่มทดลองที่ 3 ใส่ในสารละลายต่างหัตถิมที่ระดับความเข้มข้น 7 มก./ล. (ปริมาณความเข้มข้นละ 1,000 มิลลิลิตร) เป็นระยะเวลา 1 นาที จากนั้นล้างไข่ปลาด้วยน้ำสะอาดหลาย ๆ ครั้งเพื่อล้างสารละลายต่างหัตถิมออกให้หมด ส่วนกลุ่มควบคุมนำไข่ใส่ในบีกเกอร์ขนาด 1,000 มิลลิลิตร เติมน้ำที่เตรียมสำหรับฟักไข่ปลาลงในบีกเกอร์ที่มีไข่ปลาปริมาณ 1,000 มิลลิลิตร

4. ฟักไข่ในอุปกรณ์เพาะฟักไข่ปลาแบบกรวยแมคโคแนระบบน้ำหมุนเวียนต้นแบบ โดยใช้อัตราความหนาแน่น 2,500 ฟอง/ลิตร

5. วัดประสิทธิภาพของการฟักไข่จากเปอร์เซ็นต์ไข่ที่ฟักเป็นตัวเมื่อสิ้นสุดการทดลอง

6. การศึกษาคุณภาพน้ำในระบบการฟักไข่ปลาคูอุย โดยเก็บตัวอย่างน้ำในห้องฟักน้ำ ตั้งแต่เริ่มฟักไข่กระทั่งการฟักเป็นตัวทั้งหมดทุก ๆ 6 ชั่วโมง วิเคราะห์พารามิเตอร์คุณภาพน้ำ ประกอบด้วย อุณหภูมิ น้ำ ความเป็นกรดเป็นด่าง (pH) ความเข้มข้นของออกซิเจน สภาพต่าง ความกระด้าง และแอมโมเนียรวม แสดงค่าคุณภาพน้ำตลอดระยะเวลาการฟักไข่ด้วยค่าพิสัย (range)

การทดลองที่ 2 การเปรียบเทียบประสิทธิภาพการฟักไข่ปลาอุกด้วยอุปกรณ์เพาะฟักไข่แบบกรวยแมคโดแนลระบบน้ำหมุนเวียนต้นแบบและอุปกรณ์เพาะฟักไข่ปลาแบบโรยตะแกรงระบบน้ำหมุนเวียน

1. การเปรียบเทียบประสิทธิภาพการฟักไข่ปลาอุกด้วยอุปกรณ์เพาะฟักไข่แบบกรวยแมคโดแนลระบบน้ำหมุนเวียนต้นแบบกับอุปกรณ์เพาะฟักไข่ปลาแบบตะแกรงฟักไข่ระบบน้ำหมุนเวียน ใช้วิธีเปรียบเทียบค่าเฉลี่ย 2 กลุ่มตัวอย่างที่เป็นอิสระต่อกัน (group comparison of two independent sample means) โดยใช้ค่าสถิติ t เป็นตัวทดสอบความแตกต่างของค่าเฉลี่ย (t -test) กลุ่มทดลองที่ 1 การฟักไข่ในอุปกรณ์เพาะฟักไข่แบบกรวยแมคโดแนลระบบน้ำหมุนเวียนต้นแบบ กลุ่มทดลองที่ 2 การฟักไข่ในอุปกรณ์เพาะฟักไข่ปลาแบบตะแกรงฟักไข่ระบบน้ำหมุนเวียน ประสิทธิภาพการฟักไข่วัดจากอัตราการฟักเป็นตัวของไข่ปลาอุกอยู่ แต่ละกลุ่มทดลองมี 6 ซ้ำ ทำการทดลอง 2 ครั้ง ครั้งที่ 1 ฟักไข่จำนวน 2,500 ฟองต่อหน่วยทดลอง หรือ 2,500 ฟอง/ลิตร ในอุปกรณ์เพาะฟักไข่แบบกรวยแมคโดแนล และจำนวน 2,500 ฟอง/ตะแกรง (32,000 ฟอง/ตารางเมตร) ในอุปกรณ์เพาะฟักไข่ปลาแบบตะแกรงฟักไข่ระบบน้ำหมุนเวียน และครั้งที่ 2 ฟักไข่จำนวน 5,000 ฟองต่อหน่วยทดลอง หรือ 5,000 ฟอง/ลิตร ในอุปกรณ์เพาะฟักไข่แบบกรวยแมคโดแนล และจำนวน 5,000 ฟอง/ตะแกรง (64,000 ฟอง/ตารางเมตร) ในอุปกรณ์เพาะฟักไข่ปลาแบบตะแกรงฟักไข่ระบบน้ำหมุนเวียน

2. ไข่ปลาอุกที่ใช้ทดลองเตรียมจากไข่ปลาที่ปฏิสนธิแล้วผ่านการล้างน้ำจนสะอาดและทิ้งให้พองน้ำเต็มที่ยกเป็น 2 ชุด ชุดที่ 1 นำไปแช่ด้วยด่างทับทิมที่ระดับความเข้มข้น 5 มก./ล. ระยะเวลา 1 นาที แล้วล้างด้วยน้ำสะอาดหลาย ๆ ครั้ง สำหรับใช้ในชุดทดลองที่ 1 ไข่ชุดที่ 2 ไม่แช่ด่างทับทิมสำหรับใช้ในชุดทดลองที่ 2 การนำไข่เข้าหน่วยทดลองใช้วิธีการสุ่ม

3. กลุ่มทดลองที่ 1 ดำเนินการในอุปกรณ์เพาะฟักไข่แบบกรวยแมคโดแนลระบบน้ำหมุนเวียนต้นแบบ โดยสุ่มกรวยที่ใช้ฟักไข่จำนวน 6 กรวยจาก 14 กรวย ดวงไข่ปลาลงในกรวยทดลองตามจำนวนที่กำหนด (การทดลองครั้งที่ 1 จำนวน 2,500 ฟอง/ลิตร และการทดลองครั้งที่ 2 จำนวน 5,000 ฟอง/ลิตร) เปิดน้ำเข้ากรวยฟักไข่อัตราไหลของน้ำให้คงที่ 0.5 ลิตร/นาที กลุ่มทดลองที่ 2 ดำเนินการในอุปกรณ์เพาะฟักไข่แบบตะแกรงฟักไข่ระบบน้ำหมุนเวียน ดวงไข่โรยบนตะแกรงให้หนาแน่นสม่ำเสมอ ปล่อยให้ไข่ติดแน่นบนตะแกรง 30 นาที จากนั้นระบายน้ำไหลผ่านตะแกรง ใช้อัตราการไหลแต่ละตะแกรง 1 ลิตร/นาที

4. วัดประสิทธิภาพการฟักไข่จากเปอร์เซ็นต์ไข่ที่ฟักเป็นตัวเมื่อสิ้นสุดการทดลอง

5. การศึกษาการเปลี่ยนแปลงคุณภาพน้ำในระบบเพาะฟักไข่ปลาอุกอุย ใช้วิธีเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของพารามิเตอร์คุณภาพน้ำที่เวลา 0 6 12 18 และ 24 ชั่วโมง ได้แก่ อุณหภูมิ น้ำ ความเป็นกรดเป็นด่าง (pH) ความเข้มข้นของออกซิเจน สภาพด่าง ความกระด้าง และแอมโมเนียรวมของน้ำในระบบฟักไข่โดยเก็บตัวอย่างน้ำจากห้องฟักน้ำ

การทดลองที่ 3 ศึกษาผลของความหนาแน่นของไข่และความกระด้างของน้ำต่ออัตราฟักเป็นตัวของไข่ปลาอุกอุย

1. การศึกษาอัตราการฟักเป็นตัวของไข่ปลาอุกอุยในอุปกรณ์เพาะฟักไข่แบบกรวยแมคโดแนลที่มีความหนาแน่นของไข่และที่มีความกระด้างของน้ำต่างกัน ใช้แผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ภายในบล็อกแบบทำซ้ำ ความกระด้างของน้ำเป็นตัวแปรบล็อก มี 3 ระดับ คือ ความกระด้างของน้ำเฉลี่ย 80 120 และ 160 มก./ล. CaCO_3 แต่ละระดับความกระด้าง มี 4 ทริตเมนต์ ได้แก่ ความหนาแน่นของไข่ปลาอุกอุย 2,500 5,000 7,500 และ 10,000 ฟอง/ลิตร ทุกระดับความหนาแน่นในแต่ละบล็อก มี 3 ซ้ำ เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยทุกทริตเมนต์ ด้วยวิธี Duncan's New Multiple Range Test

2. การทดลองดำเนินการในอุปกรณ์เพาะฟักไข่แบบกรวยแมคโดแนลระบบน้ำหมุนเวียนต้นแบบ โดยปรับระบบบำบัดน้ำเสียของการฟักไข่เป็นแบบเดียวกับระบบบำบัดน้ำในอุปกรณ์เพาะฟักไข่ปลาแบบโรยตะแกรงระบบน้ำหมุนเวียนซึ่งมีประสิทธิภาพการบำบัดน้ำดีกว่า อุปกรณ์เพาะฟักไข่จะมีประสิทธิภาพการฟักไข่เท่าเทียมอุปกรณ์เพาะฟักไข่แบบกรวยแมคโดแนลระบบน้ำหมุนเวียนต้นแบบ แต่ประสิทธิภาพการบำบัดน้ำสูงกว่า ทำการทดลอง 3 ครั้ง ครั้งที่ 1 ใช้ความกระด้าง 80 มก./ล. ครั้งที่ 2 ใช้ความกระด้าง 120 มก./ล. ครั้งที่ 3 ใช้ความกระด้าง 160 มก./ล.

3. การเตรียมไข่ปลาเพื่อการเพาะฟักใช้วิธีการฉีดฮอร์โมนและผสมเทียม ไข่ที่ปฏิสนธิและฟองตัวสมบูรณ์นำมาแช่สารละลายด่างทับทิมความเข้มข้น 5 มก./ล. เพื่อให้ไข่แยกออกจากกันและไข่อยู่ในสภาพปลอดเชื้อ สุ่มไข่ปลาที่ปฏิสนธิและทำความสะอาดแล้วลงในแต่ละหน่วยทดลองด้วยวิธีสุ่มจับฉลาก นับจำนวนไข่ลงในหน่วยทดลองด้วยวิธีวัดปริมาตร

4. วัดอัตราปฏิสนธิของไข่ปลาทุกทรีตเมนต์หลังจากนำไปฟักเป็นระยะเวลา 6 ชั่วโมง

5. วัดประสิทธิภาพการฟักไข่จากเปอร์เซ็นต์ไข่ที่ฟักเป็นตัวเมื่อสิ้นสุดการทดลอง

6. การศึกษาการเปลี่ยนแปลงคุณภาพน้ำในระบบการฟักไข่ปลาอุกที่ใช้ไข่ที่มีความกระด้างแตกต่างกัน ใช้วิธีเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของพารามิเตอร์คุณภาพน้ำที่เวลา 0 6 12 18 และ 24 ชั่วโมง ได้แก่ อุณหภูมิ น้ำ ความเป็นกรดเป็นด่าง (pH) ความเข้มข้นของออกซิเจน สภาพต่าง ความกระด้าง และแอมโมเนียรวมของน้ำในระบบฟักไข่โดยเก็บตัวอย่างน้ำจากห้องฟักน้ำ

การทดลองที่ 4 การศึกษาประสิทธิภาพการเพาะฟักของอุปกรณ์เพาะฟักไข่แบบกรวยแมคโดแนลระบบน้ำหมุนเวียนต้นแบบ

1. การศึกษาประสิทธิภาพการเพาะฟักของอุปกรณ์เพาะฟักไข่แบบกรวยแมคโดแนลระบบน้ำหมุนเวียนต้นแบบ โดยปรับระบบบำบัดน้ำเสียของการฟักไข่เป็นแบบเดียวกับระบบบำบัดน้ำในอุปกรณ์เพาะฟักไข่ปลาแบบโรยตะแกรงระบบน้ำหมุนเวียนซึ่งมีประสิทธิภาพการบำบัดน้ำดีกว่า การศึกษาอัตราการฟักไข่ปลาอุกอยู่ ใช้ความหนาแน่นของการฟักไข่แตกต่างกัน 3 ระดับ ได้แก่ ความหนาแน่น 5,000 7,500 และ 10,000 ฟอง/กรวย ใช้แผนการทดลองแบบสุ่มตลอด (completely randomize design, CRD) แบ่งการทดลองออกเป็น 3 กลุ่มทดลอง (treatment) ตามระดับความหนาแน่นของไข่ปลาอุกอยู่ แต่ละกลุ่มทดลองมี 4 ซ้ำ เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยทุกทรีตเมนต์ ด้วยวิธี Duncan's New Multiple Range Test

2. น้ำที่ใช้ฟักไข่มีความกระด้าง 120 มก./ล. โดยปรับความกระด้างตามหัวข้อวิธีการเตรียมน้ำที่ใช้ฟักไข่ปลา

3. การทดลองดำเนินการในอุปกรณ์เพาะฟักไข่แบบกรวยแมคโดแนลระบบน้ำหมุนเวียนต้นแบบ

4. การเตรียมไข่ปลาเพื่อการฟักใช้วิธีการฉีดฮอร์โมนและผสมเทียม ไข่ที่ปฏิสนธิและฟองตัวสมบูรณ์นำมาแช่สารละลายต่างที่บ่มความเข้มข้น 5 มก./ล. เพื่อให้ไข่แยกออกจากกัน และไข่อยู่ในสภาพปลอดเชื้อ สุ่มไข่ปลาที่ปฏิสนธิและทำความสะอาดแล้วลงในแต่ละหน่วยทดลองด้วยวิธีสุ่มจับฉลาก นับจำนวนไข่ลงในหน่วยทดลองด้วยวิธีวัดปริมาตร

5. วัดประสิทธิภาพการฟักไข่จากเปอร์เซ็นต์ไข่ที่ฟักเป็นตัวเมื่อสิ้นสุดการทดลอง

6. การศึกษาการเปลี่ยนแปลงคุณภาพน้ำในอุปกรณ์เพาะฟักไข่แบบกรวยแมคโดแนลระบบน้ำหมุนเวียนต้นแบบ ใช้วิธีเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของพารามิเตอร์คุณภาพน้ำที่เวลา 0 6 12 18 และ 24 ชั่วโมง ได้แก่ อุณหภูมิ น้ำ ความเป็นกรดเป็นด่าง (pH) ความเข้มข้นของออกซิเจน สภาพต่าง ความกระด้าง และแอมโมเนียรวมของน้ำในระบบฟักไข่โดยเก็บตัวอย่างน้ำจากห้องฟักน้ำ

การทดลองที่ 5 การพัฒนาเพิ่มประสิทธิภาพในการฟักไข่ปลาอุกของอุปกรณ์เพาะฟักไข่แบบกรวยแมคโดแนลระบบน้ำหมุนเวียน

1. การพัฒนาอุปกรณ์เพาะฟักไข่แบบกรวยแมคโดแนลระบบน้ำหมุนเวียนแบบพัฒนาให้มีประสิทธิภาพสูงขึ้นจากอุปกรณ์เพาะฟักไข่แบบกรวยแมคโดแนลระบบน้ำหมุนเวียนต้นแบบ ดำเนินการเป็น 2 ส่วน คือ 1.) การเพิ่มขนาดอุปกรณ์เพาะฟักไข่แบบกรวยแมคโดแนลใหญ่ขึ้นจากขนาดความจุ 1 ลิตร เป็นขนาดความจุ 2 ลิตร เพื่อเพิ่มจำนวนไข่ที่ฟักและการกระจายไข่ให้ดียิ่งขึ้น 2.) เพิ่มขนาดของระบบบำบัดและปรับปรุงคุณภาพน้ำเพื่อให้มีประสิทธิภาพสูงขึ้น จากปริมาตร 70,000 ลบ.ซม. เป็น 160,000 ลบ.ซม. ปริมาณน้ำหมุนเวียนในระบบ 320 ลิตร ระบบฟักไข่ปลาอุกออกแบบใช้น้ำหมุนเวียนที่พัฒนาแล้วแสดงในภาพที่ 3

อุปกรณ์เพาะฟักไข่แบบกรวยแมคโดแนลระบบน้ำหมุนเวียนแบบพัฒนา ติดตั้งบนชั้นเหล็ก 3 ชั้น ขนาด 45x125x120 เซนติเมตร ชั้นบนแขวนอุปกรณ์เพาะฟักไข่แบบกรวยแมคโดแนลติด 2 ข้าง ๆ ละ 6 ใบ พื้นของชั้นวางรางกระจกขนาด 30x120x20 เซนติเมตร รับน้ำที่ไหลออกจากอุปกรณ์เพาะฟักไข่ เนื่องจากพื้นชั้นบนขึ้นไป 60 เซนติเมตร แวนระบบระบายน้ำประกอบด้วยท่อระบายน้ำหลักเป็นท่อพีวีซีเส้นผ่าศูนย์กลาง 2 นิ้ว แวนในแนวถึงกลาง ท่อระบายน้ำหลักรับน้ำจากห้องฟักน้ำที่อยู่ชั้นล่างสุดซึ่งส่งน้ำด้วยปั๊มได้น้ำขนาด 300 วัตต์ ให้อัตราการไหล 30 ลิตร/นาที่ สองข้างของท่อระบายน้ำหลักมีท่อพีวีซีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 0.5 นิ้ว ส่งน้ำไปยัง

อุปกรณ์เพาะปลูกพืช พื้นชั้นบนวางตู้กระจกขนาด 30x120x20 เซนติเมตร สำหรับรับน้ำที่ล้นออกจากกรวยปลูกพืช

พื้นที่ชั้นที่ 2 วางตู้บำบัดน้ำเสียระบบกรองกลศาสตร์ (mechanical filter) ตู้กรองมีขนาด 40x120x40 เซนติเมตร แบ่งเป็น 4 ห้องเท่ากัน ระดับกักเก็บน้ำแต่ละห้อง 30 เซนติเมตร มีท่อรับน้ำจากรางรับน้ำที่อยู่ชั้นบน ระบายเข้าสู่ตู้กรองทางห้องกรองที่ 1 จำนวน 2 ท่อ ขนาดท่อมีเส้นผ่าศูนย์กลาง 0.5 นิ้ว มีปากท่อเป็นกรวยขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 1.5 นิ้ว น้ำจากห้องกรองที่ 1 ไหลเข้าห้องกรองที่ 2 3 และ 4 น้ำจากห้องกรองที่ 4 ระบายลงตู้บำบัดระบบกรองชีวภาพซึ่งอยู่ชั้นล่าง ระบบกรองกลศาสตร์ออกแบบ ดังนี้

ห้องกรองที่ 1 วัสดุกรองชั้นบนเป็นแผ่นใยแก้ว 3 ชั้น วัสดุกรองชั้นล่างใช้ใยมะพร้าววางเป็นชั้นหนา 15 เซนติเมตร ลักษณะการกรองน้ำเสียห้องนี้ใช้การกรองจากบนลงล่าง

ห้องกรองที่ 2 ใช้กรวดเม็ดใหญ่เป็นวัสดุกรอง ชั้นกรวดมีความหนา 24 เซนติเมตร ลักษณะการกรองน้ำเสียห้องนี้ใช้การกรองจากล่างขึ้นบน

ห้องกรองที่ 3 มีชั้นกรอง 2 ชั้น ชั้นบนเป็นชั้นกรวดเม็ดเล็กหนา 18 เซนติเมตร ชั้นล่างเป็นชั้นกรวดเม็ดขนาดกลางหนา 9 เซนติเมตร ใช้การกรองจากบนลงล่าง

ห้องกรองที่ 4 มีชั้นกรอง 4 ชั้น ชั้นบนสุดเป็นชั้นหินปะการังหนา 9 เซนติเมตร ชั้นที่ 2 เป็นชั้นหินภูเขาไฟหนา 3 เซนติเมตร ชั้นที่ 3 เป็นชั้นถ่านหนา 9 เซนติเมตร และชั้นล่างสุดเป็นชั้นหินปะการังหนา 12 เซนติเมตร กรองน้ำจากล่างขึ้นบน น้ำที่ผ่านการกรองจากห้องกรองที่ 4 ล้นผ่านท่อระบายน้ำขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 0.5 นิ้วจำนวน 2 ท่อ ลงสู่ระบบกรองชีวภาพชั้นล่าง

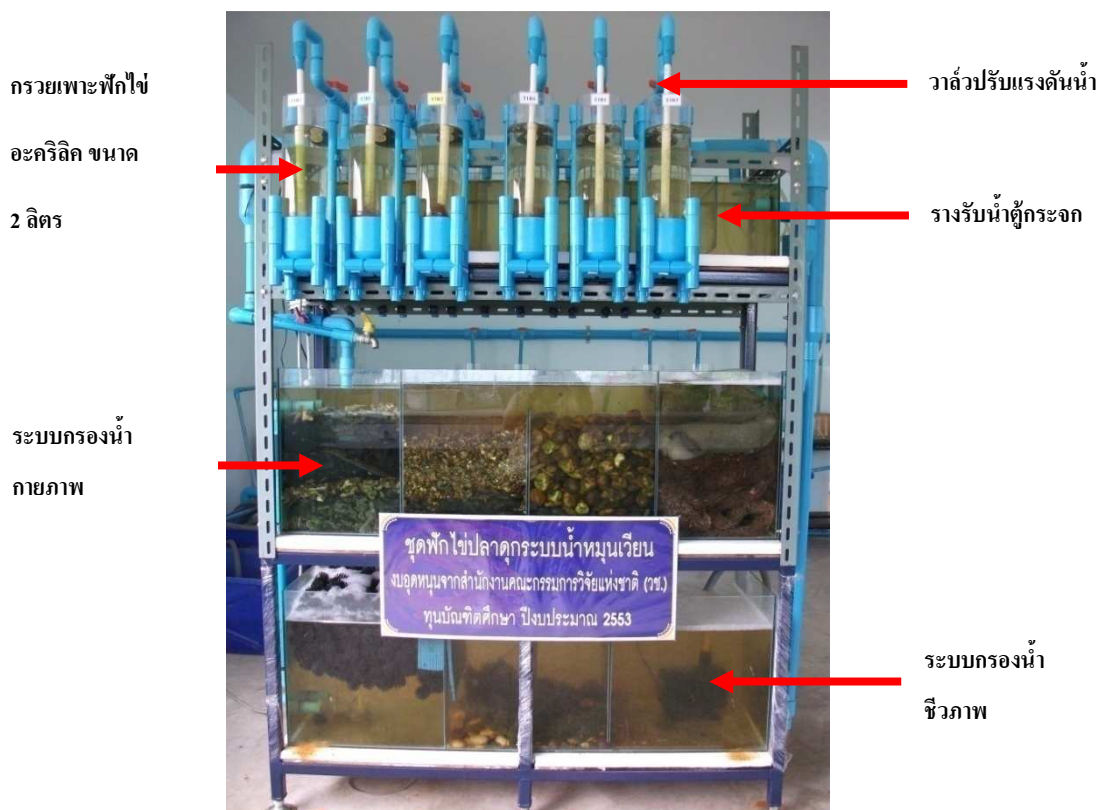
ชั้นล่างสุดเป็นตู้บำบัดน้ำเสียระบบกรองชีวภาพ ตู้กรองมีขนาด 40x120x30 เซนติเมตร แบ่งเป็น 3 ห้องเท่ากัน แต่ละห้องมีระดับกักเก็บน้ำสูงสุด 27 เซนติเมตร รับน้ำจากระบบกรองกลศาสตร์เข้าสู่ระบบทางห้องกรองที่ 1 ท่อรับน้ำมีเส้นผ่าศูนย์กลาง 0.5 นิ้ว ปากท่อเป็นกรวยขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 1.5 นิ้ว จำนวน 2 ท่อ ระบบกรองชีวภาพออกแบบดังนี้

ห้องกรองที่ 1 บรรจุไบโอบอลผ่านการเพาะเลี้ยงแบคทีเรียและมีไบโอฟิล์ม (biofilm) เกาะรอบผิว มีหัวทรายให้อากาศเพื่อเพิ่มออกซิเจนให้เพียงพอต่อปฏิกิริยาไนตริฟิเคชัน ใช้การกรองจากล่างขึ้นบน

ห้องกรองที่ 2 ใช้ทรายหยาบเป็นพืชทำหน้าที่กรองสารไนโตรเจนที่เหลือในน้ำ ระบบกรองน้ำห้องนี้ใช้การกรองจากบนลงล่าง

ห้องที่ 3 เป็นห้องพักน้ำมีการเติมอากาศ ติดตั้งปั๊มได้นำสำหรับสูบน้ำนำไปพักไว้

อุปกรณ์เพาะพักไข่ประกอบด้วยกรวยพักไข่ 12 ใบ แต่ละใบมีขนาดความจุ 2 ลิตร ตัวกรวยทำด้วยท่ออะคริลิก ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 4 นิ้ว ก้นกรวยรูปโค้งตัดแปลงจากฝาครอบท่อพีวีซี ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 4 นิ้ว ความสูงจากก้นกรวยถึงท่อระบายน้ำออกของกรวย 30 เซนติเมตร ระบายน้ำเข้าทางก้นกรวยด้วยท่อขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 0.375 นิ้ว อัตราการไหล 2 ลิตร/นาที โดยปล่อยน้ำไหลเข้าทางก้นกรวยและล้นออกทางท่อที่ปากกรวย ทำให้ผลักดันให้ไข่ปลาเคลื่อนที่ขึ้น ๆ ลง ๆ ภายในกรวยพักไข่ตลอดเวลา น้ำที่ไหลออกจากกรวยพักไข่ไหลลงตู้กระจกขนาด 30x120x20 เซนติเมตร แล้วระบายส่งสู่ระบบกรองอีกทอดหนึ่ง



ภาพที่ 3 อุปกรณ์เพาะฟักไข่แบบกรวยเมคโดเนลระบบน้ำหมุนเวียนแบบพัฒนา (ด้านหน้า)

2. การศึกษาประสิทธิภาพการฟักไข่สูงสุดของอุปกรณ์เพาะฟักไข่แบบกรวยเมคโดเนลระบบน้ำหมุนเวียนแบบพัฒนา ทดลองฟักไข่ปลาอุกอยู่ 2 ครั้ง การทดลองครั้งที่ 1 การฟักไข่ใช้อัตราความหนาแน่น 3 ระดับ ได้แก่ 10,000 20,000 และ 30,000 ฟอง/ลิตร (20,000 40,000 และ 60,000 ฟอง/กรวย) การทดลองครั้งที่ 2 การฟักไข่ใช้อัตราความหนาแน่น 3 ระดับ ได้แก่ 10,000 15,000 และ 20,000 ฟอง/ลิตร (20,000 30,000 และ 40,000 ฟอง/กรวย) ใช้วางแผนการทดลองแบบสุ่มตลอด (completely randomized design, CRD) มี 3 กลุ่มทดลอง (treatment) แต่ละกลุ่มทดลองมี 4 ซ้ำ เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยทุกทรีตเมนต์ ด้วยวิธี Duncan's New Multiple Range Test

3. น้ำที่ใช้ฟักไข่ปรับให้มีความกระด้างไม่น้อยกว่า 120 มก./ล. โดยปรับความกระด้างในบ่อคอนกรีตด้วยยิบซัมและปูนขาว ก่อนการฆ่าเชื้อโรคในน้ำ

4. การเตรียมไขปลาเพื่อการฟักใช้วิธีการฉีดฮอร์โมนและผสมเทียม ไข่ที่ปฏิสนธิและฟองตัวสมบูรณ์นำมาแช่สารละลายต่างที่เพิ่มความเข้มข้น 5 มก./ล. เพื่อให้ไข่แยกออกจากกัน และไข่อยู่ในสภาพปลอดเชื้อ สุ่มไขปลาที่ปฏิสนธิและทำความสะอาดแล้วลงในแต่ละหน่วยทดลองด้วยวิธีสุ่มจับฉลาก นับจำนวนไข่ลงในหน่วยทดลองด้วยวิธีวัดปริมาตร

5. วัดประสิทธิภาพการฟักไข่จากเปอร์เซ็นต์ไข่ที่ฟักเป็นตัวเมื่อสิ้นสุดการทดลอง

6. วิเคราะห์คุณภาพน้ำในระบบฟักไข่ ได้แก่ อุณหภูมิ น้ำ ความเป็นกรดเป็นด่าง (pH) ความเข้มข้นของออกซิเจน สภาพต่าง ความกระด้าง และแอมโมเนียรวม ตัวอย่างน้ำเก็บจากห้องฟักน้ำ

สถานที่และระยะเวลาทำการวิจัย

สถานที่ โรงเพาะฟักสัตว์น้ำ สาขาวิชาประมง คณะเกษตรศาสตร์และทรัพยากรธรรมชาติ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก ตำบลบางพระ อำเภอศรีราชา จังหวัดชลบุรี

ระยะเวลาในการทดลอง ทำการทดลองระหว่างเดือนมิถุนายน พ.ศ. 2552 ถึงเดือนมิถุนายน พ.ศ. 2554

ผลการทดลอง

การทดลองที่ 1 การศึกษาระดับความเข้มข้นของด่างทับทิมที่เหมาะสมสำหรับการลดสารหนึียวของเปลือกไข่ปลาอุกอยู่เพื่อการเพาะฟักไข่

จากการศึกษาระดับความเข้มข้นของด่างทับทิมที่ใช้ในการเคลือบไข่ของปลาอุกอยู่ความเข้มข้นต่างกัน 4 ระดับ คือ 0 3 5 และ 7 มก./ล. ตามลำดับ เมื่อสิ้นสุดการทดลอง พบว่า อัตราการฟักเป็นตัวเฉลี่ยของไข่ปลาอุกอยู่แต่ละความเข้มข้นมีค่าเท่ากับ 49.85 70.08 84.09 และ 80.07 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ (ตารางที่ 1 และภาพที่ 4)

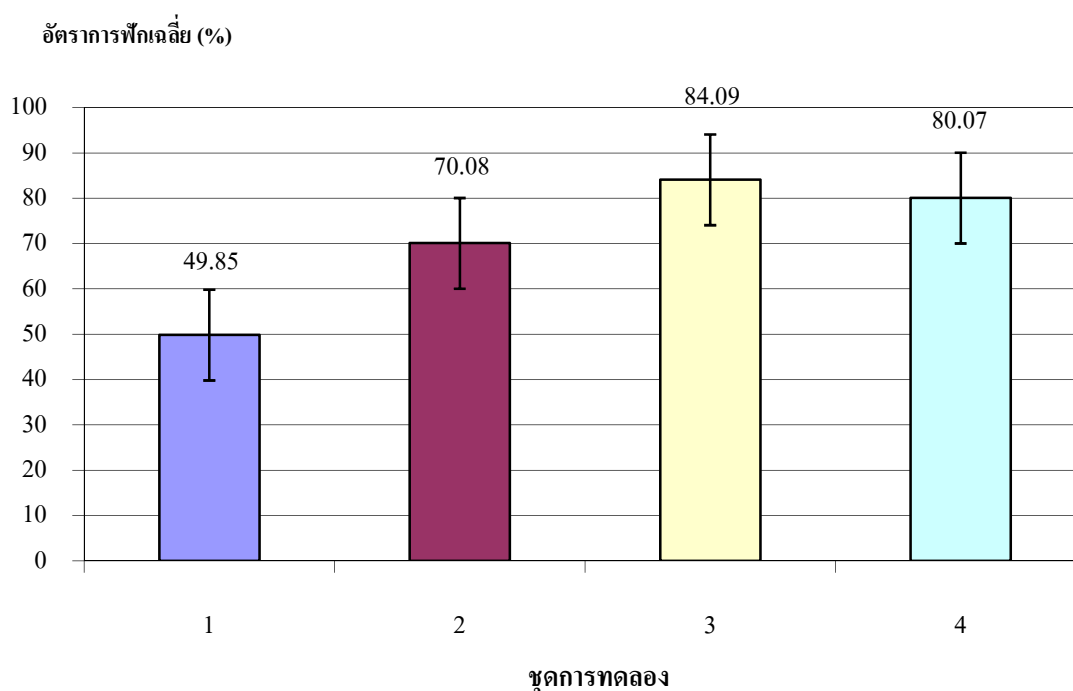
ตารางที่ 1 อัตราการฟักเป็นตัวเฉลี่ย (%) ของไข่ปลาอุกอยู่ที่แช่ไข่ด้วยสารละลายด่างทับทิมระดับความเข้มข้น 0 3 5 และ 7 มก./ล.

ความเข้มข้นของ ด่างทับทิม (มก./ล.)	หน่วยทดลอง			อัตราการฟัก เฉลี่ย (%)
	1	2	3	
0	49.89	55.63	44.02	49.85±5.80^a
3	60.47	74.06	75.72	70.08±8.37^b
5	91.32	72.14	88.81	84.09±10.42^b
7	78.72	80.82	80.66	80.07±1.17^b

หมายเหตุ: ตัวอักษรภาษาอังกฤษตามแนวตั้งที่ต่างกันแสดงค่าความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ ($p < 0.01$)

อัตราการฟักเป็นตัวของไข่ปลาอุกอยู่ที่แช่สารละลายด่างทับทิมระดับความเข้มข้น 3 5 และ 7 มก./ล. ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p < 0.01$) โดยอัตราการฟักเป็นตัวของไข่ปลาอุกอยู่ที่แช่ไข่ด้วยสารละลายด่างทับทิมที่ระดับความเข้มข้น 3 5 และ 7 มก./ล. มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 70.08 84.09 และ 80.07 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ แต่ไข่ปลาอุกอยู่ที่แช่ด้วยสารละลายด่างทับทิมทั้ง 3 ระดับความเข้มข้นให้อัตราการฟักแตกต่างกับไข่ปลาอุกอยู่ที่ไม่แช่สารละลายด่างทับทิมอย่างมีนัยสำคัญทาง

สถิติ ($p < 0.01$) โดยไข่ปลาอุกอยู่ที่ไม่แช่ด้วยสารละลายต่างทึบมีอัตราการฟักเป็นตัว 49.85 เปอร์เซ็นต์



ภาพที่ 4 อัตราการฟักเป็นตัวเฉลี่ย (%) ของไข่ปลาอุกอยู่ที่ไม่แช่ด้วยสารละลายต่างทึบ
ระดับความเข้มข้น 0 3 5 และ 7 มก./ล.

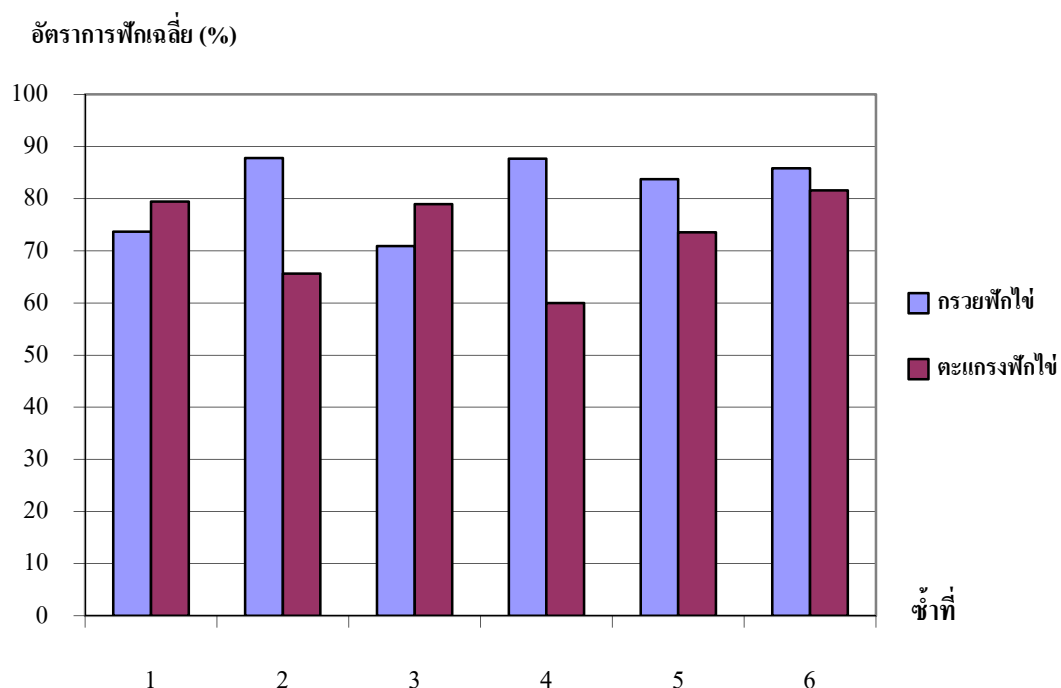
การทดลองที่ 2 การเปรียบเทียบประสิทธิภาพการฟักไข่ปลาอุกด้วยอุปกรณ์เพาะฟักไข่แบบกรวยแมคโดแนลระบบน้ำหมุนเวียนต้นแบบและอุปกรณ์เพาะฟักไข่ปลาแบบโรยตะแกรงระบบน้ำหมุนเวียน

1.1 อัตราการฟักไข่ปลาอุกของอุปกรณ์เพาะฟักไข่แบบกรวยแมคโดแนลระบบน้ำหมุนเวียนต้นแบบและอุปกรณ์เพาะฟักไข่แบบโรยตะแกรงระบบน้ำหมุนเวียน ระดับความหนาแน่น 2,500 ฟอง/หน่วยทดลอง มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p < 0.05$) โดยอุปกรณ์เพาะฟักไข่แบบกรวยแมคโดแนลระบบน้ำหมุนเวียนต้นแบบ ให้อัตราการฟักเป็นตัวเฉลี่ย 81.59 เปอร์เซ็นต์ และอุปกรณ์เพาะฟักไข่แบบโรยตะแกรงระบบน้ำหมุนเวียน ให้อัตราการฟักเป็นตัวเฉลี่ย 73.17 เปอร์เซ็นต์ (ตารางที่ 2 และภาพที่ 5)

ตารางที่ 2 อัตราการฟักเฉลี่ย (%) ของลูกปลาที่ฟักด้วยอุปกรณ์เพาะฟักไข่แบบกรวยแมคโดเนลระบบน้ำหมุนเวียนต้นแบบ และอุปกรณ์เพาะฟักไข่แบบโรตารีแรงระบบน้ำหมุนเวียน ระดับความหนาแน่น 2,500 ฟอง/หน่วยทดลอง

ซ้ำที่	อัตราการฟักเฉลี่ย (%)	
	กรวยฟักต้นแบบ	ตะแกรงฟักไข่
1	73.64	79.44
2	87.76	65.60
3	70.88	78.96
4	87.64	59.96
5	83.76	73.52
6	85.84	81.56
เฉลี่ย	81.59±7.42^a	73.17±8.66^b

หมายเหตุ: ตัวอักษรภาษาอังกฤษที่ต่างกันตามแนวนอนแสดงค่าความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)



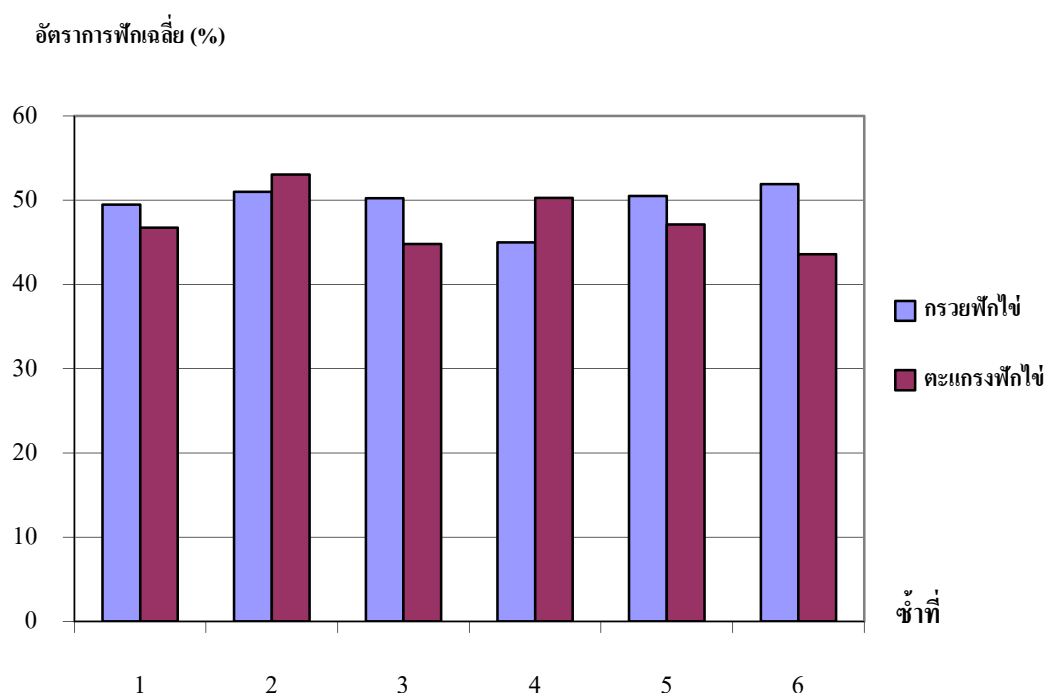
ภาพที่ 5 อัตราการฟักเฉลี่ย (%) ของลูกปลาอุกอุยที่ฟักด้วยอุปกรณ์เพาะฟักไข่แบบกรวยแมคโคเนลระบบน้ำหมุนเวียนต้นแบบ และอุปกรณ์เพาะฟักไข่แบบโรยตะแกรงระบบน้ำหมุนเวียน ระดับความหนาแน่น 2,500 ฟอง/หน่วยทดลอง

1.2 อัตราการฟักไข่ปลาอุกอุยด้วยอุปกรณ์เพาะฟักไข่แบบกรวยแมคโคเนลระบบน้ำหมุนเวียนต้นแบบและอุปกรณ์เพาะฟักไข่แบบโรยตะแกรงระบบน้ำหมุนเวียน ที่ระดับความหนาแน่น 5,000 ฟอง/หน่วยทดลอง อัตราการฟักไข่ปลาอุกอุยด้วยอุปกรณ์เพาะฟักไข่แบบกรวยแมคโคเนลระบบน้ำหมุนเวียนต้นแบบ มีอัตราการฟักเป็นตัวเฉลี่ย 49.68 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งไม่แตกต่างทางสถิติจากอัตราฟักด้วยอุปกรณ์เพาะฟักไข่แบบโรยตะแกรงระบบน้ำหมุนเวียนซึ่งมีอัตราการฟักเป็นตัวเฉลี่ย 47.59 เปอร์เซ็นต์ (ตารางที่ 3 และภาพที่ 6)

ตารางที่ 3 อัตราการฟักเฉลี่ย (%) ของลูกปลาอุกอายุที่ฟักด้วยอุปกรณ์เพาะฟักไข่แบบกรวยแมคโดแนลระบบน้ำหมุนเวียนต้นแบบ และอุปกรณ์เพาะฟักไข่แบบโรยตะแกรงระบบน้ำหมุนเวียน ระดับความหนาแน่น 5,000 ฟอง/หน่วยทดลอง

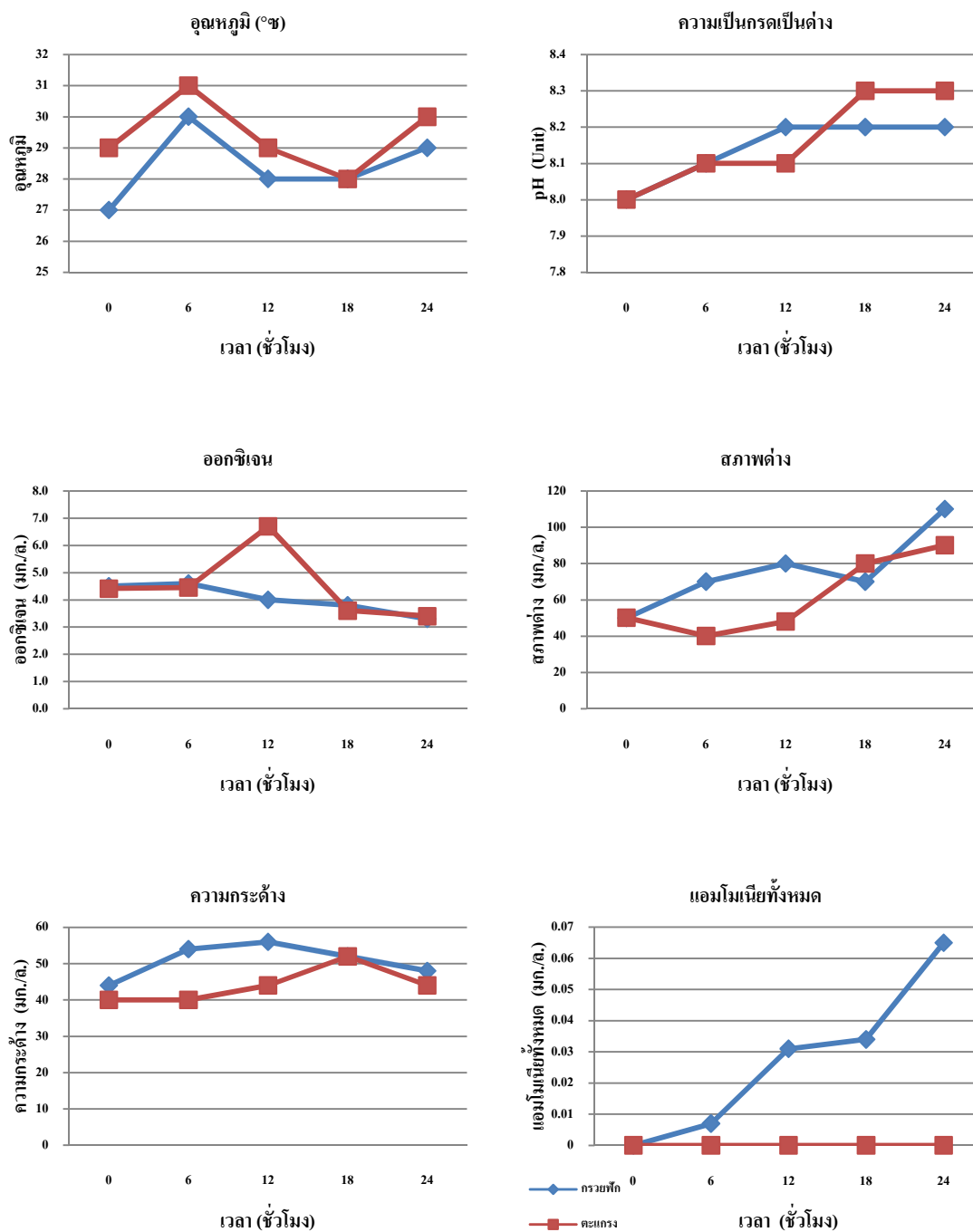
ซ้ำที่	อัตราการฟักเฉลี่ย (%)	
	กรวยฟักต้นแบบ	ตะแกรงฟักไข่
1	49.48	46.74
2	51.00	53.06
3	50.22	44.80
4	45.00	50.28
5	50.50	47.10
6	51.90	43.58
เฉลี่ย	49.68±2.43 ^a	47.59±3.52 ^a

หมายเหตุ: ตัวอักษรภาษาอังกฤษตามแนวนอนที่เหมือนกันแสดงค่าไม่แตกต่างกันทางสถิติ (p > 0.05)



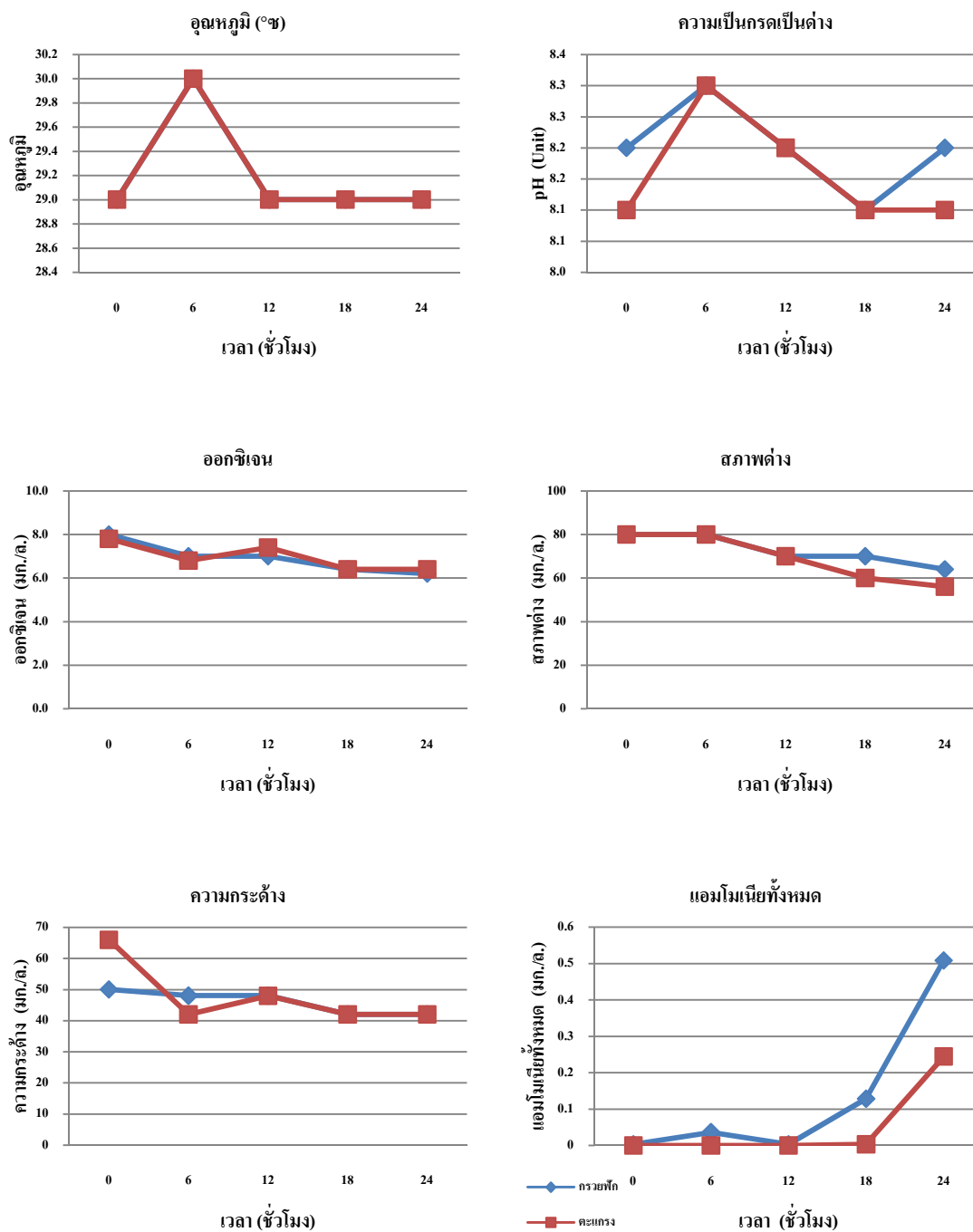
ภาพที่ 6 อัตราการฟักเฉลี่ย (%) ของลูกปลาดุกอายุที่ฟักด้วยอุปกรณ์เพาะฟักไข่แบบกรวยแมคโคเนลระบบน้ำหมุนเวียนต้นแบบ และอุปกรณ์เพาะฟักไข่แบบโรยตะแกรงระบบน้ำหมุนเวียน ระดับความหนาแน่น 5,000 ฟอง/หน่วยทดลอง

1.3 การเปรียบเทียบคุณภาพน้ำในอุปกรณ์เพาะฟักไข่แบบกรวยแมคโคเนลระบบน้ำหมุนเวียนต้นแบบ และอุปกรณ์เพาะฟักไข่แบบโรยตะแกรงระบบน้ำหมุนเวียน ที่ระดับความหนาแน่น 2,500 ฟอง/หน่วยทดลอง ตลอดระยะเวลาฟักไข่ 24 ชั่วโมง แสดงในภาพที่ 7 คุณสมบัติของน้ำฟักไข่ปลาในอุปกรณ์เพาะฟักไข่แบบกรวยแมคโคเนลระบบน้ำหมุนเวียนต้นแบบ มีค่าเฉลี่ย 28.4 องศาเซลเซียส ความเป็นกรดเป็นด่าง มีค่าเฉลี่ย 8.14 หน่วย ออกซิเจน สภาพค่าความกระด้าง และแอมโมเนีย มีค่าเฉลี่ย 4.04 76 50.8 และ 0.27 มก./ล. ตามลำดับ ขณะที่อุณหภูมิของน้ำฟักไข่ปลาในอุปกรณ์เพาะฟักไข่แบบโรยตะแกรงระบบน้ำหมุนเวียน มีค่าเฉลี่ย 29.4 องศาเซลเซียส ความเป็นกรดเป็นด่าง มีค่าเฉลี่ย 8.16 หน่วย ออกซิเจน สภาพค่าความกระด้าง และแอมโมเนีย มีค่าเฉลี่ย 4.52 61.6 44 และ 0 มก./ล. ตามลำดับ



ภาพที่ 7 คุณภาพน้ำในอุปกรณ์เพาะปลูกไข่แบบกรวยแมคโดแนระบบน้ำหมุนเวียนต้นแบบและอุปกรณ์เพาะปลูกไข่แบบโรยตะแกรงระบบน้ำหมุนเวียน ที่ระดับความหนาแน่น 2,500 ฟอง/หน่วยทดลอง

1.4 การเปรียบเทียบคุณภาพน้ำในอุปกรณ์เพาะฟักไข่แบบกรวยแมคโคแนลระบบน้ำหมุนเวียนต้นแบบและอุปกรณ์เพาะฟักไข่แบบโรยตะแกรงระบบน้ำหมุนเวียน ที่ระดับความหนาแน่น 5,000 ฟอง/หน่วยทดลอง ตลอดระยะเวลาฟักไข่ 24 ชั่วโมง แสดงในภาพที่ 8 อุณหภูมิของน้ำฟักไข่ปลาในอุปกรณ์เพาะฟักไข่แบบกรวยแมคโคแนลระบบน้ำหมุนเวียนต้นแบบ มีค่าเฉลี่ย 29.2 องศาเซลเซียส ความเป็นกรดเป็นด่าง มีค่าเฉลี่ย 8.18 หน่วย ออกซิเจน สภาพต่าง ความกระด้าง และแอมโมเนีย มีค่าเฉลี่ย 6.92 72.8 46 และ 0.136 มก./ล. ตามลำดับ ขณะที่อุณหภูมิของน้ำฟักไข่ปลาในอุปกรณ์เพาะฟักไข่แบบโรยตะแกรงระบบน้ำหมุนเวียน มีค่าเฉลี่ย 29.2 องศาเซลเซียส ความเป็นกรดเป็นด่าง มีค่าเฉลี่ย 8.16 หน่วย ออกซิเจน สภาพต่าง ความกระด้าง และแอมโมเนีย มีค่าเฉลี่ย 6.96 69.2 48 และ 0.55 มก./ล. ตามลำดับ



ภาพที่ 8 คุณภาพน้ำในอุปกรณ์เพาะปลูกแบบกรวยแมคโดเนลระบบน้ำหมุนเวียนคั่นแบบและ
อุปกรณ์เพาะปลูกแบบโรตารีระบบน้ำหมุนเวียน ที่ระดับความหนาแน่น 5,000
ฟอง/หน่วยทดลอง

การทดลองที่ 3 ศึกษาผลของความหนาแน่นของไข่และความกระด้างของน้ำต่ออัตราการฟักเป็นตัวของไข่ปลาตุ๊กตา

1. การศึกษาอัตราการปฏิสนธิของไข่ปลาตุ๊กตาที่นำไปฟักระดับความหนาแน่น 2,500 5,000 7,500 และ 10,000 ฟอง/ลิตร ในน้ำฟักไข่ที่มีความกระด้าง 80 120 และ 160 มก./ล. พบว่าไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ (ตารางที่ 4)

2. การเปรียบเทียบอัตราการฟักเป็นตัวของไข่ปลาตุ๊กตา ที่ระดับความหนาแน่น 2,500 5,000 7,500 และ 10,000 ฟอง/ลิตร ในน้ำฟักไข่ที่มีความกระด้าง 80 120 และ 160 มก./ล. (ตารางที่ 5) พบว่า

1. ความกระด้างมีผลต่ออัตราการฟักเป็นตัวของไข่ปลาตุ๊กตา ($p < 0.01$) โดยอัตราการฟักเป็นตัวเท่ากับ 84.12 58.22 และ 45.43 เปอร์เซ็นต์ ในน้ำที่มีความกระด้าง 120 160 และ 80 มก./ล. ตามลำดับ

2. อิทธิพลร่วมของความหนาแน่นของไข่ในกรวยฟักมีผลต่ออัตราการฟักเป็นตัวของไข่ปลาตุ๊กตา ($p < 0.01$) อัตราการฟักเป็นตัวของไข่ปลาตุ๊กตาที่ความหนาแน่น 2,500 5,000 7,500 และ 10,000 ฟอง/ลิตร มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 76.99 61.74 53.16 และ 57.13 เปอร์เซ็นต์ โดยที่ระดับความกระด้าง 80 มก./ล. อัตราการฟักเป็นตัวของไข่ปลาตุ๊กตาทุกระดับความหนาแน่นไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p > 0.01$) แต่ที่ระดับความกระด้าง 120 มก./ล. ความหนาแน่น 2,500 ฟอง/ลิตร ให้อัตราการฟักเป็นตัวสูงสุด คือ 94.96 เปอร์เซ็นต์ ความหนาแน่น 5,000 7,500 และ 10,000 ฟอง/ลิตร ให้อัตราการฟักเป็นตัวเฉลี่ย 92.57 77.33 และ 71.63 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ และที่ระดับความกระด้าง 160 มก./ล. ความหนาแน่น 2,500 ฟอง/ลิตร ให้อัตราการฟักเป็นตัวสูงสุด คือ 81.66 เปอร์เซ็นต์ ความหนาแน่น 5,000 10,000 และ 7,500 ฟอง/ลิตร ให้อัตราการฟักเป็นตัว 54.00 50.55 และ 46.66 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ

ตารางที่ 4 เปรียบเทียบอัตราการฟักไข่ปลาตุ๋นอยู่ในอุปกรณ์เพาะฟักไข่แบบกรวยเมคโคเนล ระบบน้ำหมุนเวียนดันแบบที่มีความหนาแน่นของไข่และความกระด้างของน้ำแตกต่างกัน

ความกระด้าง (มก./ล.)	ความ หนาแน่น เฉลี่ย (ฟอง/ลิตร)	อัตราการ ปฏิสนธิ (%)	อัตราฟักจาก ไข่ทั้งหมด (%)	อัตราฟักของ ไข่ที่ปฏิสนธิ (%)
80	2,500	94.37±1.20 ^a	51.01±11.41	54.35±11.21
	5,000	94.50±1.75 ^a	36.39±9.87	38.66±10.97
	7,500	94.27±1.33 ^a	36.94±2.24	39.48±3.34
	10,000	94.57±3.35 ^a	46.55±5.00	49.23±6.22
120	2500	96.17±1.69 ^a	91.29±0.68	94.96±2.31
	5000	95.83±2.41 ^a	89.65±6.71	92.57±6.03
	7500	95.00±2.62 ^a	74.35±2.52	77.33±4.09
	10000	96.17±1.81 ^a	68.87±2.73	71.63±3.20
160	2500	96.80±1.45 ^a	79.04±1.57	81.66±1.85
	5000	96.30±1.75 ^a	52.03±3.04	54.00±2.32
	7500	96.40±2.21 ^a	44.67±3.07	46.66±2.80
	10000	95.77±1.96 ^a	48.39±1.26	51.89±3.39

หมายเหตุ: ตัวอักษรภาษาอังกฤษเหนือตัวเลขที่เหมือนกันแสดงค่าไม่แตกต่างกันทางสถิติ

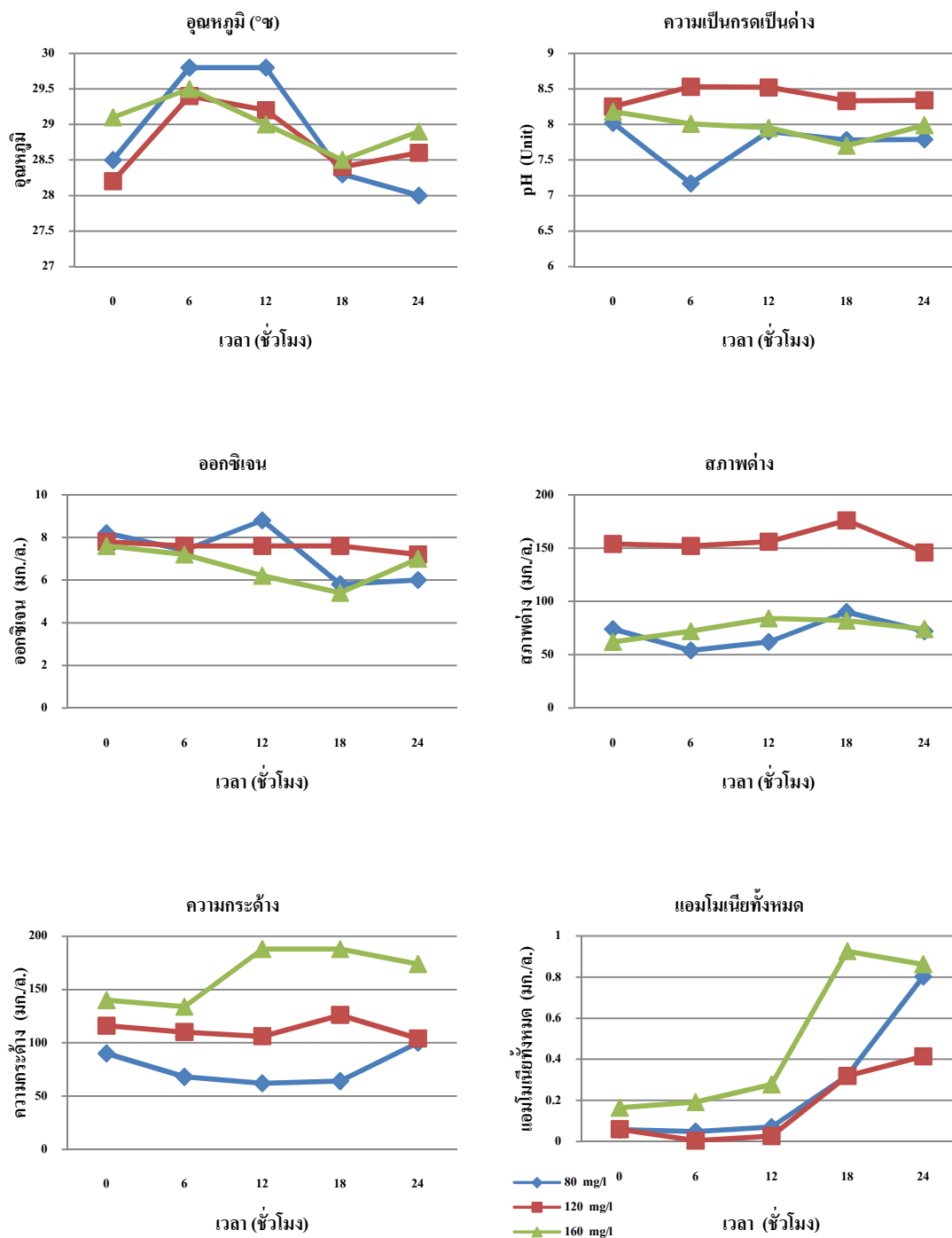
(p > 0.01)

ตารางที่ 5 อัตราการฟักเป็นตัวของปลาคูอุยในอุปกรณ์เพาะฟักไข่แบบกรวยแมคโดแนลระบบน้ำหมุนเวียนต้นแบบที่มีความหนาแน่นของไข่และความกระด้างของน้ำแตกต่างกัน

ความ กระด้าง (มก./ล.)	ความหนาแน่น (ฟอง/ลิตร)	หน่วยทดลอง			เฉลี่ย
		1	2	3	
80	2,500	56.35	42.27	64.43	54.35 ^a
	5,000	45.93	26.04	44.00	38.65 ^a
	7,500	39.10	36.35	43.00	39.48 ^a
	10,000	51.14	54.27	42.27	49.22 ^a
	เฉลี่ย	48.13	39.73	48.42	45.43
120	2,500	93.36	97.60	93.91	94.96 ^a
	5,000	87.37	91.15	99.18	92.57 ^a
	7,500	81.72	73.64	76.62	73.33 ^b
	10,000	74.03	72.86	68.00	71.63 ^b
	เฉลี่ย	84.12	83.81	84.43	84.12
160	2,500	81.55	83.56	79.87	81.66 ^a
	5,000	51.34	55.10	55.56	54.00 ^b
	7,500	43.45	47.89	48.63	46.66 ^b
	10,000	52.82	50.71	48.13	50.55 ^b
	เฉลี่ย	57.29	59.31	58.05	58.22

หมายเหตุ: ตัวอักษรภาษาอังกฤษเหนือตัวเลขที่เหมือนกันแสดงค่าไม่แตกต่างกัน อักษรที่ต่างกันแสดงค่ามีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p < 0.01$)

3. การเปรียบเทียบคุณภาพน้ำในอุปกรณ์เพาะปลูกไข่แบบกรวยแมคโคแนระบบน้ำหมุนเวียนต้นแบบ จากการปลูกไข่ปลาที่ความกระด้าง 80 120 และ 160 มก./ล. ความหนาแน่นของไข่ 2,500 5,000 7,500 และ 10,000 ฟอง/ลิตร จำนวน 3 ซ้ำ แสดงในภาพที่ 9 พบว่า คุณภาพน้ำตลอดช่วงการปลูกไข่จากการใช้น้ำปลูกไข่ที่มีความกระด้าง 80 มก./ล. มีค่าเฉลี่ยของอุณหภูมิเท่ากับ 28.88 องศาเซลเซียส ค่าเฉลี่ยของความเป็นกรดเป็นด่างเท่ากับ 7.73 หน่วย ค่าเฉลี่ยของออกซิเจนละลาย ความกระด้าง และแอมโมเนีย เท่ากับ 7.24 70.4 76.8 และ 0.26 มก./ล. ตามลำดับ น้ำปลูกไข่ที่มีความกระด้าง 120 มก./ล. มีค่าเฉลี่ยของอุณหภูมิเท่ากับ 28.76 องศาเซลเซียส ค่าเฉลี่ยของความเป็นกรดเป็นด่างเท่ากับ 8.34 หน่วย ค่าเฉลี่ยของออกซิเจนละลาย ความกระด้าง และแอมโมเนีย เท่ากับ 7.56 156.8 112.4 และ 0.1634 มก./ล. ตามลำดับ น้ำปลูกไข่ที่มีความกระด้าง 160 มก./ล. มีค่าเฉลี่ยของอุณหภูมิเท่ากับ 29.0 องศาเซลเซียส ค่าเฉลี่ยของความเป็นกรดเป็นด่างเท่ากับ 7.99 หน่วย ค่าเฉลี่ยของออกซิเจนละลาย ความกระด้าง และแอมโมเนีย เท่ากับ 6.68 74.8 164.8 และ 0.4842 มก./ล. ตามลำดับ



ภาพที่ 9 การเปลี่ยนแปลงพารามิเตอร์คุณภาพน้ำในอุปกรณ์เพาะปลูกไข่แบบกรวยเมคโดเนล ระบบน้ำหมุนเวียนต้นแบบที่ใช้น้ำพักไข่มีความกระด้างแตกต่างกัน 3 ระดับ

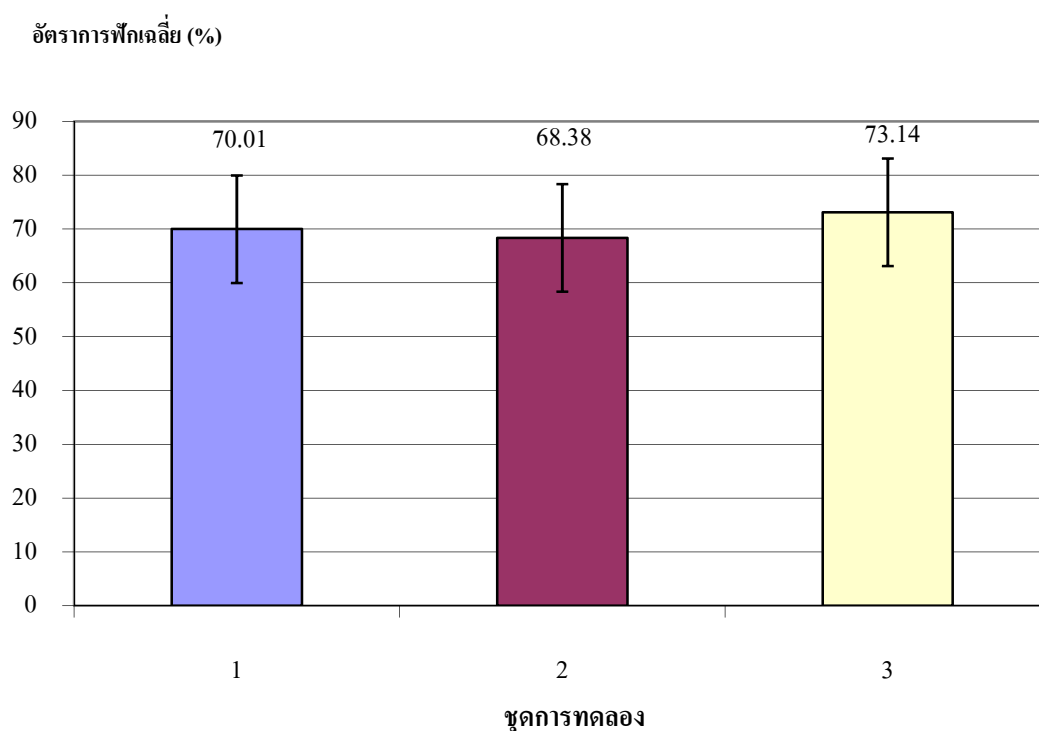
การทดลองที่ 4 การศึกษาประสิทธิภาพการเพาะฟักของอุปกรณ์เพาะฟักไข่แบบกรวยแมคโดแนลระบบน้ำหมุนเวียนต้นแบบ

ประสิทธิภาพการฟักไข่ของอุปกรณ์เพาะฟักไข่แบบกรวยแมคโดแนลระบบน้ำหมุนเวียนต้นแบบ ที่ความหนาแน่น 5,000 7,500 และ 10,000 ฟอง/ลิตร (ตารางที่ 6 และภาพที่ 10) มีอัตราการฟักเป็นตัวเฉลี่ยของลูกปลาตกอยู่ เท่ากับ 70.01 68.38 และ 73.14 เปอร์เซ็นต์ ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p > 0.05$)

ตารางที่ 6 อัตราการฟักเฉลี่ย (%) ของลูกปลาตกอยู่ที่ฟักด้วยอุปกรณ์เพาะฟักไข่แบบกรวยแมคโดแนลระบบน้ำหมุนเวียนต้นแบบ ระดับความหนาแน่น 5,000 7,500 และ 10,000 ฟอง/ลิตร

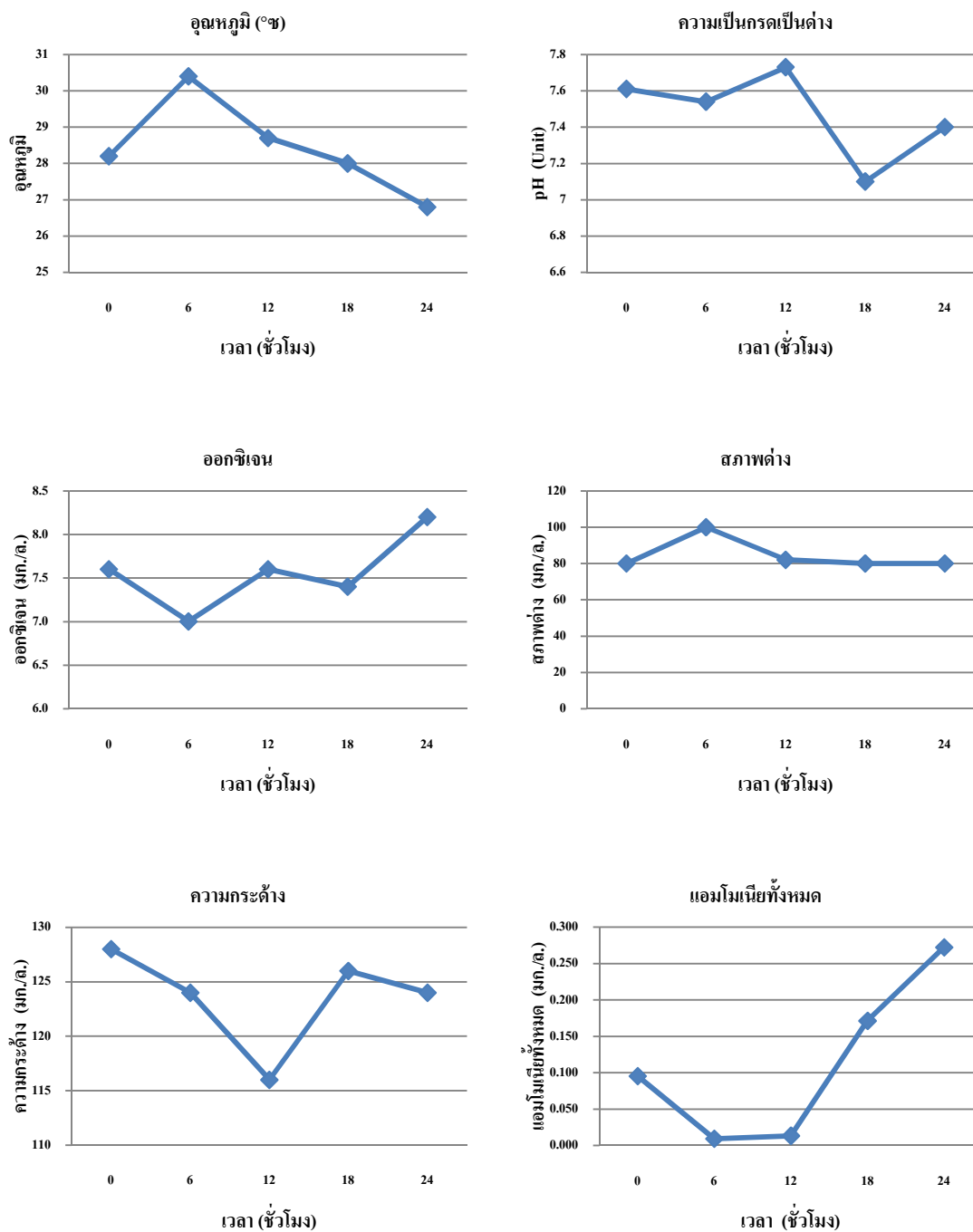
ความหนาแน่นของไข่ปลาตกอยู่ (ฟองต่อลิตร)	อัตราการฟักเฉลี่ย (%)
5,000	70.01±1.71 ^a
7,500	68.38±3.71 ^a
10,000	73.14±6.96 ^a

หมายเหตุ: ตัวอักษรภาษาอังกฤษเหนือตัวเลขที่เหมือนกันแสดงค่าไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p > 0.05$)



ภาพที่ 10 อัตราการฟักเฉลี่ย (%) ของลูกปลาอุกอยู่ที่ฟักด้วยอุปกรณ์เพาะฟักไข่แบบกรวยแมคโดเนลระบบน้ำหมุนเวียนต้นแบบ ระดับความหนาแน่น 5,000 7,500 และ 10,000 ฟอง/ลิตร

การศึกษาการเปลี่ยนแปลงของคุณภาพน้ำจากการฟักไข่ในอุปกรณ์เพาะฟักไข่แบบกรวยแมคโดเนลระบบน้ำหมุนเวียนต้นแบบ ทุก 6 ชั่วโมงตลอดการฟัก แสดงในภาพที่ 11 พบว่าอุณหภูมิของน้ำเฉลี่ย 28.42 องศาเซลเซียส ความเป็นกรดเป็นด่างเฉลี่ย 7.48 หน่วย ออกซิเจน สภาพด่าง ความกระด้าง และแอมโมเนีย มีค่าเฉลี่ย 7.56 84.4 123.6 และ 0.112 มก./ล. ตามลำดับ



ภาพที่ 11 การเปลี่ยนแปลงคุณภาพน้ำในอุปกรณ์เพาะปลูกไข่แบบกรวยแมคโคเนลระบบน้ำหมุนเวียนต้นแบบ จากการปลูกไข่ปลาอุกอยู่ที่ความหนาแน่น 5,000 7,500 และ 10,000 ฟอง/ลิตร จำนวน 3 ชั่วโมง

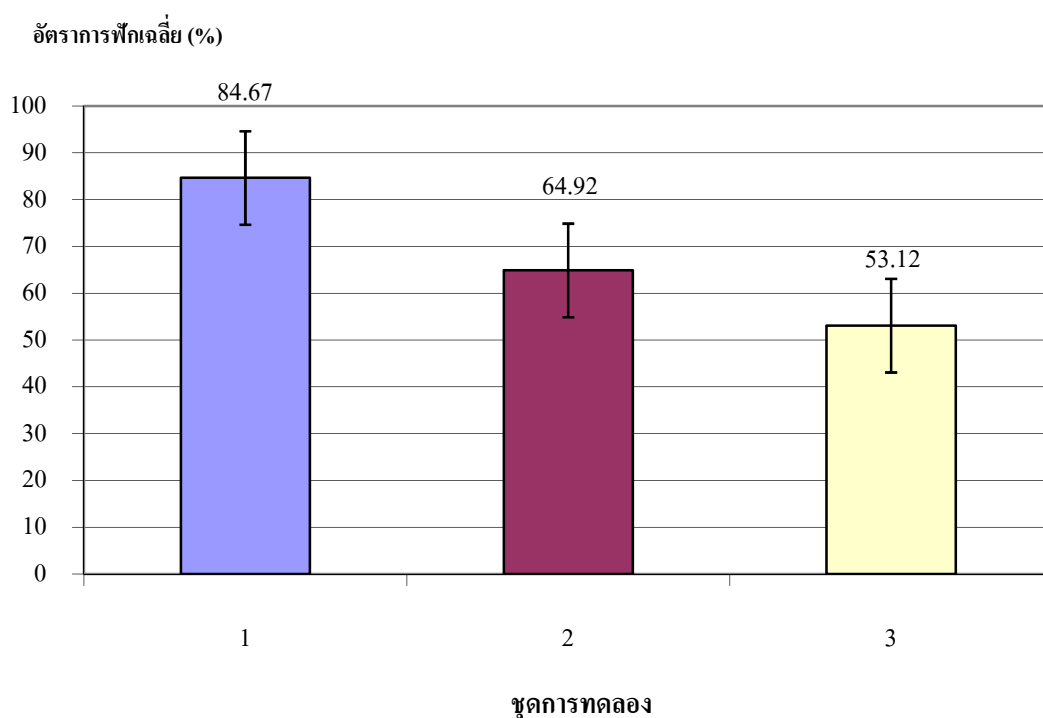
การทดลองที่ 5 การพัฒนาเพิ่มประสิทธิภาพในการฟักไข่ปลาอุกของอุปกรณ์เพาะฟักไข่แบบกรวยแมคโดแนลระบบน้ำหมุนเวียน

ประสิทธิภาพการฟักไข่ของอุปกรณ์เพาะฟักไข่ปลาอุกของแบบกรวยแมคโดแนลระบบน้ำหมุนเวียนแบบพัฒนา ที่ความหนาแน่น 10,000 15,000 และ 20,000 ฟอง/ลิตร แสดงในตารางที่ 7 และภาพที่ 12 อัตราการฟักเป็นตัวเฉลี่ยของไข่ปลาอุกอยู่เท่ากับ 84.67 64.92 และ 53.12 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ ซึ่งมีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p < 0.05$) ความหนาแน่น 10,000 ฟอง/ลิตร ให้อัตราการฟักเป็นตัวสูงสุด โดยมีอัตราการฟักเฉลี่ย 84.67 เปอร์เซ็นต์

ตารางที่ 7 อัตราการฟักเฉลี่ย (%) ของลูกปลาอุกที่ฟักด้วยอุปกรณ์เพาะฟักไข่แบบกรวยแมคโดแนลระบบน้ำหมุนเวียนแบบพัฒนา ระดับความหนาแน่น 10,000 15,000 และ 20,000 ฟอง/ลิตร

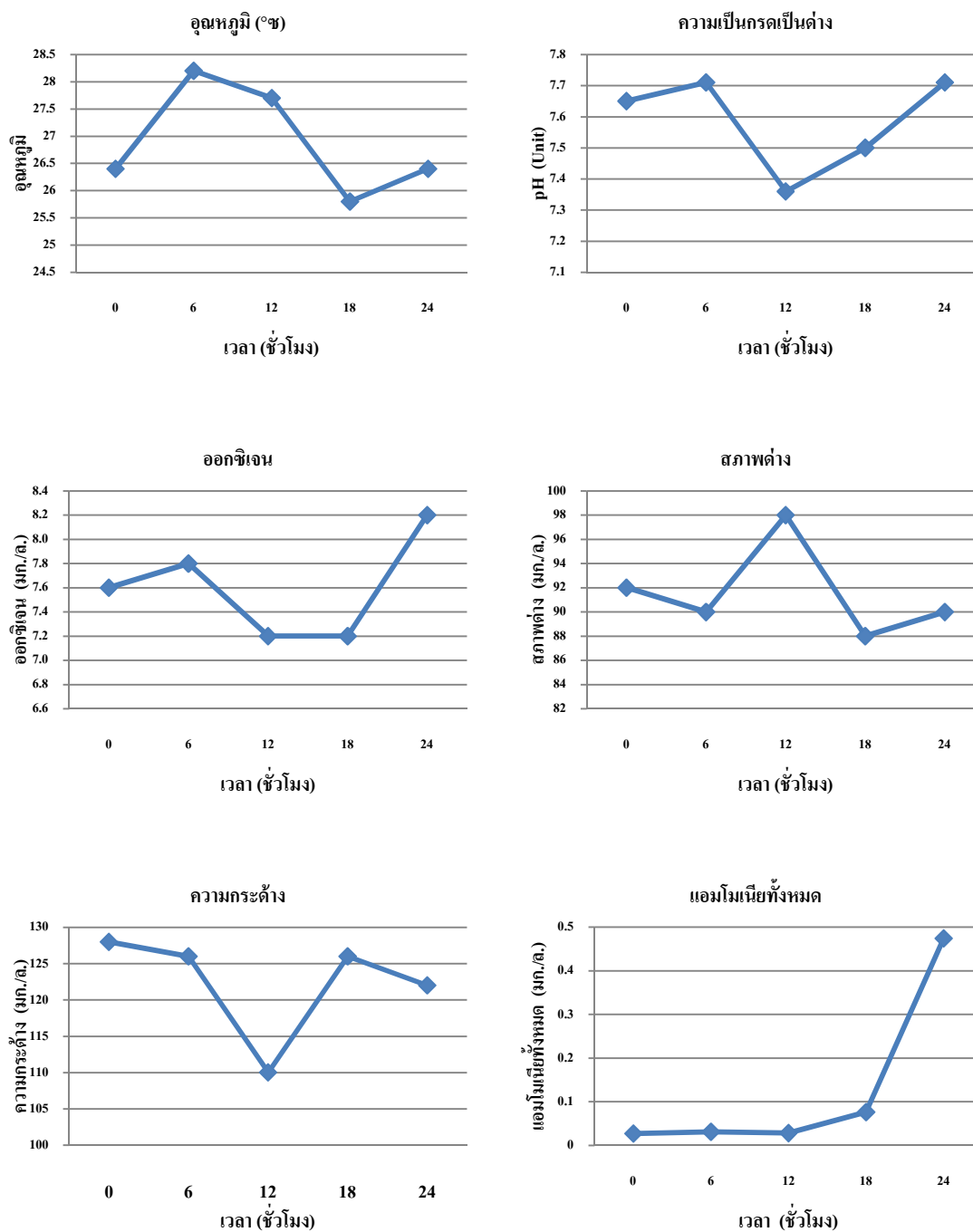
ความหนาแน่นของไข่ปลาอุก (ฟองต่อลิตร)	อัตราการฟักเฉลี่ย (%)
10,000	84.67±5.54 ^a
15,000	64.92±4.60 ^b
20,000	53.12±3.42 ^c

หมายเหตุ: ตัวอักษรภาษาอังกฤษที่ต่างกันแสดงค่าความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)



ภาพที่ 12 อัตราการฟักเฉลี่ย (%) ของลูกปลาอุกอุยที่ฟักด้วยอุปกรณ์เพาะฟักไข่แบบกรวยแมคโดเนลระบบน้ำหมุนเวียนแบบพัฒนา ระดับความหนาแน่น 10,000 15,000 และ 20,000 ฟอง/ลิตร

การเปลี่ยนแปลงของคุณภาพน้ำในอุปกรณ์เพาะฟักไข่ปลาอุกอุยแบบกรวยแมคโดเนลระบบน้ำหมุนเวียนแบบพัฒนา จากการฟักไข่ปลาที่ความหนาแน่น 10,000 15,000 และ 20,000 ฟอง/ลิตร จำนวน 3 ซ้ำ ทุก 6 ชั่วโมง ตลอดจนการฟักแสดงในภาพที่ 13 พบว่า อุณหภูมิมีค่าเฉลี่ย 26.9 องศาเซลเซียส ความเป็นกรดเป็นด่างมีค่าเฉลี่ย 7.59 หน่วย ออกซิเจน สภาพต่าง ความกระด้าง และค่าแอมโมเนีย มีค่าเฉลี่ย 7.6 91.6 122.4 และ 0.127 มก./ล. ตามลำดับ



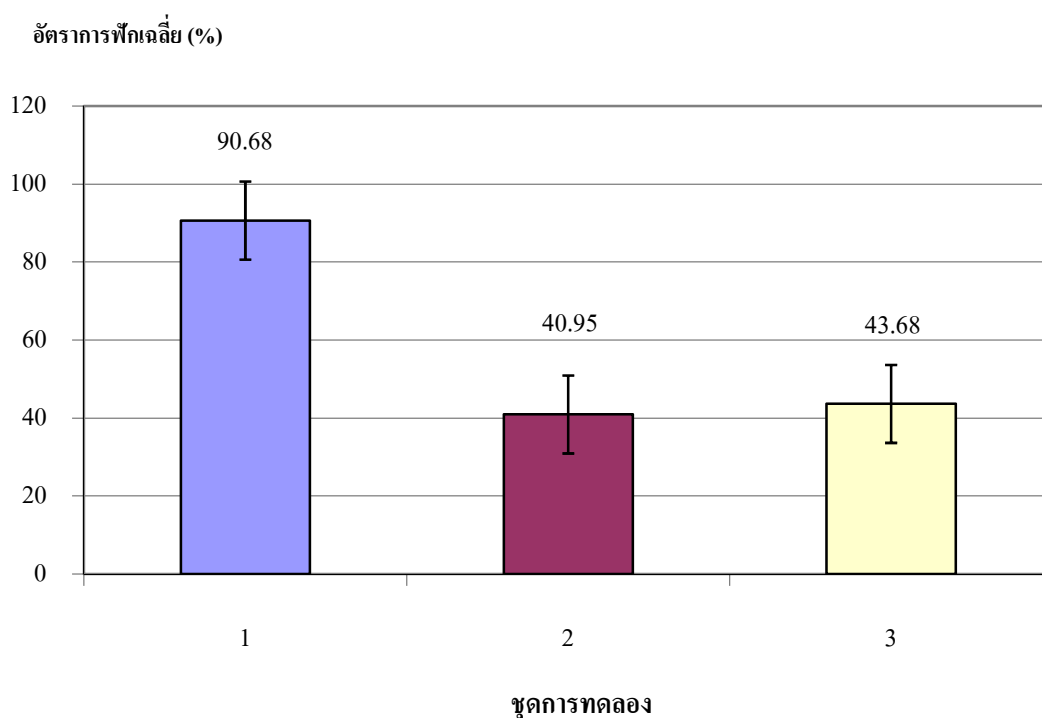
ภาพที่ 13 คุณภาพน้ำในอุปกรณ์เพาะปลูกไข่ปลาตุ๋นแบบกรวยแมคโดเนลระบบน้ำหมุนเวียนแบบพัฒนา จากการฟักไข่ที่ความหนาแน่น 10,000 15,000 และ 20,000 ฟอง/ลิตร จำนวน 3 ซ้ำ

ประสิทธิภาพการฟักไข่ปลาอุกด้วยอุปกรณ์เพาะฟักไข่แบบกรวยแมคโดแนลระบบน้ำหมุนเวียนแบบพัฒนา ที่ความหนาแน่น 10,000 20,000 และ 30,000 ฟอง/ลิตร แสดงในตารางที่ 8 และภาพที่ 14 พบว่า อัตราการฟักเป็นตัวเฉลี่ยของไข่ปลาอุกอยู่เท่ากับ 90.68 40.95 และ 43.68 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ซึ่งแตกต่างกันทางสถิติ ($p < 0.05$) ความหนาแน่น 10,000 ฟอง/ลิตร ให้อัตราการฟักเป็นตัวสูงสุด โดยมีอัตราการฟักเฉลี่ย 90.68 เปอร์เซ็นต์

ตารางที่ 8 อัตราการฟักเฉลี่ย (%) ของลูกปลาอุกที่ฟักด้วยอุปกรณ์เพาะฟักไข่แบบกรวยแมคโดแนลระบบน้ำหมุนเวียนแบบพัฒนา ระดับความหนาแน่น 10,000 20,000 และ 30,000 ฟอง/ลิตร

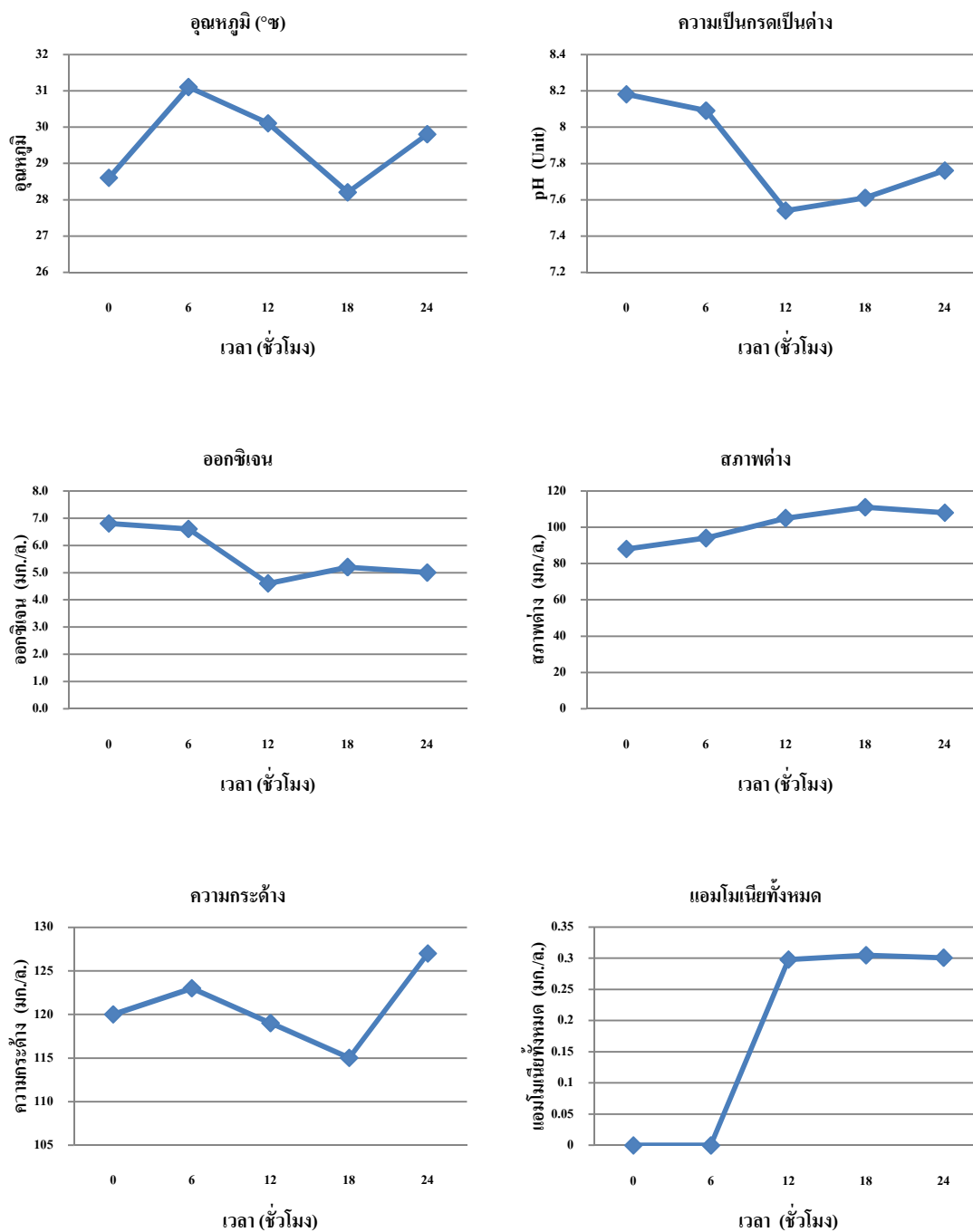
ความหนาแน่นของไข่ปลาอุก (ฟองต่อลิตร)	อัตราการฟักเฉลี่ย (%)
10,000	90.68±8.41 ^a
20,000	40.95±5.49 ^b
30,000	43.68±24.53 ^b

หมายเหตุ: ตัวอักษรภาษาอังกฤษที่ต่างกันแสดงค่าความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)



ภาพที่ 14 อัตราการฟักเฉลี่ย (%) ของลูกปลาอุกอุยที่ฟักด้วยอุปกรณ์เพาะฟักไข่แบบกรวยแมคโดเนลระบบน้ำหมุนเวียนแบบพัฒนา ระดับความหนาแน่น 10,000 20,000 และ 30,000 ฟอง/ลิตร

การเปลี่ยนแปลงของคุณภาพน้ำในอุปกรณ์เพาะฟักไข่ปลาอุกอุยแบบกรวยแมคโดเนลระบบน้ำหมุนเวียนแบบพัฒนา จากการฟักไข่ปลาที่ความหนาแน่น 10,000 20,000 และ 30,000 ฟอง/ลิตร จำนวน 3 ซ้ำ ทุก 6 ชั่วโมง ตลอดจนการฟักแสดงในภาพที่ 15 พบว่า อุณหภูมิมีค่าเฉลี่ย 29.6 องศาเซลเซียส ความเป็นกรดเป็นด่างมีค่าเฉลี่ย 7.84 หน่วย ออกซิเจน สภาพด่าง ความกระด้าง และค่าแอมโมเนีย มีค่าเฉลี่ย 5.64 101.2 120.8 และ 0.181 มก./ล. ตามลำดับ



ภาพที่ 15 คุณภาพน้ำในอุปกรณ์เพาะฟักไข่ปลาอุกอุยแบบกรวยแมคโดเนลระบบน้ำหมุนเวียนแบบพัฒนา จากการฟักไข่ที่ความหนาแน่น 10,000 20,000 และ 30,000 ฟอง/ลิตร จำนวน 3 ซ้ำ

วิจารณ์ผลการทดลอง

1. จากการศึกษาเปรียบเทียบอัตราการฟักเป็นตัวเฉลี่ยของไข่ปลาอุกอุยที่แช่ด้วยสารละลายต่างทับทิมความเข้มข้น 3 5 และ 7 มก./ล. ให้อัตราการฟักเป็นตัวไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p > 0.01$) และทุกกลุ่มทดลองให้อัตราการฟักเป็นตัวสูงกว่าไข่ที่ไม่ได้แช่สารละลายต่างทับทิมอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง ($p < 0.01$) ไข่ปลาที่แช่ต่างทับทิมความเข้มข้น 5 และ 7 มก./ล. ให้อัตราการฟักเป็นตัวเฉลี่ยใกล้เคียงกัน กล่าวคือ อัตราการฟักเป็นตัวของไข่ปลาที่แช่ต่างทับทิมความเข้มข้น 5 มก./ล. เท่ากับ 84.09 เปอร์เซ็นต์ และอัตราการฟักเป็นตัวของไข่ปลาที่แช่ต่างทับทิมความเข้มข้น 7 มก./ล. เท่ากับ 80.07 เปอร์เซ็นต์ แสดงว่าทั้ง 2 ระดับความเข้มข้นให้ประสิทธิภาพการลดสารเนืวยของไข่ปลาไม่แตกต่างกัน

หากจะพิจารณาระดับความเข้มข้นต่างทับทิม 5 และ 7 มก./ล. ให้ผลการฟักไข่ปลาอุกอุยแตกต่างกันหรือไม่ เมื่อได้วิเคราะห์อัตราการฟักเป็นตัวของไข่ปลาแต่ละหน่วยทดลองของความเข้มข้นต่างทับทิมทั้ง 2 ระดับ จะพบว่า อัตราการฟักเป็นตัวของไข่ปลาแต่ละหน่วยทดลองของกลุ่มทดลองที่ใช้ความเข้มข้นต่างทับทิม 5 มก./ล. เท่ากับ 91.32 72.14 และ 88.81 เปอร์เซ็นต์ และอัตราการฟักเป็นตัวของไข่ปลาแต่ละหน่วยทดลองของกลุ่มทดลองที่ใช้ความเข้มข้นต่างทับทิม 7 มก./ล. เท่ากับ 78.72 80.82 และ 80.66 เปอร์เซ็นต์ แสดงให้เห็นว่าอัตราการฟักของไข่ปลาอุกอุยในกลุ่มทดลองที่ใช้ความเข้มข้นต่างทับทิม 5 มก./ล. มีความแปรปรวนสูง แต่ของกลุ่มทดลองที่ใช้ความเข้มข้นต่างทับทิม 7 มก./ล. มีความแปรปรวนน้อยกว่า ซึ่งเป็นอิทธิพลจากปัจจัยอื่นที่มีผลกระทบต่ออัตราการฟักเป็นตัวของไข่ปลา เช่น อัตราการไหลของน้ำในแต่ละหน่วยทดลองซึ่งควบคุมได้ยากด้วยระบบบอวลแล้ว และความเอียงของท่อน้ำเข้าของกรวยทุกใบไม่สามารถปรับให้ทำมุมเท่ากับ 90 องศาเหมือนกันทุกกรวย ซึ่งมีผลทำให้ลักษณะการหมุนเวียนของน้ำในกรวยแต่ละหน่วยทดลองต่างกันไปบ้าง และความแตกต่างนี้ก็มีผลโดยตรงกับการหมุนเวียนของไข่ปลาในกรวยฟัก

แต่อย่างไรก็ตามหากจะพิจารณาอัตราการฟักเป็นตัวของไข่ปลาด้วยค่า mode ก็พบว่า 2 ใน 3 หน่วยทดลองของกลุ่มทดลองที่ใช้ความเข้มข้นต่างทับทิม 5 มก./ล. มีอัตราการฟักเป็นตัวใกล้เคียง 90 เปอร์เซ็นต์ และทุกหน่วยทดลองของกลุ่มทดลองที่ใช้ความเข้มข้นต่างทับทิม 7 มก./ล. อัตราการฟักเป็นตัวใกล้เคียง 80 เปอร์เซ็นต์ ก็ย่อมเป็นข้อมูลที่เพียงพอที่จะเชื่อได้ว่า กลุ่มทดลองที่ใช้ความเข้มข้นต่างทับทิม 5 มก./ล. ให้อัตราการฟักเป็นตัวสูงกว่ากลุ่มทดลองที่ใช้ความเข้มข้นต่างทับทิม 7 มก./ล. แม้จะไม่ถูกยืนยันด้วยผลทางสถิติก็ตาม

ระดับความเข้มข้นต่างหับทิม 5 และ 7 มก./ล. ต่างก็ให้ผลในการลดสารเหนียวของไขปลา ไม่แตกต่างกัน โดยทำให้ไขปลาทุกฟองไม่ติดกัน ส่วนสาเหตุที่ความเข้มข้นต่างหับทิม 5 มก./ล. ให้ อัตราการฟักเป็นตัวของไขปลาสูงกว่าความเข้มข้น 7 มก./ล. ก็มีได้สาเหตุเดียวก็คือ ความเข้มข้น 7 มก./ล. เป็นความเข้มข้นเกินระดับเหมาะสมที่ทำให้เกิดพิษภัยกับไขปลาเล็กน้อย ไขปลาบางฟอง อาจไม่ถูกออกซิไดซ์เฉพาะสารเหนียวที่ปกคลุมผิวไข่เท่านั้น การออกซิไดซ์อาจลึกลงไปถึงเยื่อหุ้ม เซลล์อันมีผลทำให้คุณสมบัติในการแลกเปลี่ยนน้ำและไอออนของเยื่อหุ้มเซลล์เสียไป

แต่อย่างไรก็ตามการทดลองนี้สอดคล้องกับผลการวิจัยของมานพ (2552) ซึ่งพบว่า สารละลายต่างหับทิมเข้มข้น 5 มก./ล. ให้อัตราฟักเฉลี่ยของไขปลาคูกอูยสูงกว่าความเข้มข้น 3 และ 7 มก./ล. โดยที่ความเข้มข้น 5 มก./ล. ให้อัตราการฟักเป็นตัว คือ 82.25 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งต่ำกว่าอัตราการฟักเป็นตัวที่ความเข้มข้น 5 มก./ล. ของการทดลองครั้งนี้เล็กน้อย เมื่อผลการทดลองสอดคล้อง เช่นนี้จึงยืนยันได้ว่า ความเข้มข้นของต่างหับทิมที่เหมาะสมสำหรับใช้ลดสารเหนียวของไขปลาคูกอูยเท่ากับ 5 มก./ล.

แต่เมื่อเปรียบเทียบกับผลกับอัตราฟักเป็นตัวของปลาคูกอูยที่แช่สารละลายต่างหับทิม ก่อนการเพาะฟักในตะแกรงของ Rasowo *et al.* (2007) พบว่า หลังแช่ไข่ 30 นาที ระดับความเข้มข้น ที่ให้อัตราฟักเป็นตัวสูงสุด คือ 2 มก./ล. อัตราฟักเฉลี่ย 96.7 เปอร์เซ็นต์ การศึกษาของ Rasowo *et al.* (2007) ทำให้ทราบว่าสารละลายต่างหับทิมไม่ให้เกิดผลในการลดสารเหนียวของไขปลาคูกอูย เพราะยังต้องใช้การเพาะฟักในตะแกรง แต่การทดลองของ Rasowo *et al.* (2007) ใช้ต่างหับทิมแช่ ไขปลาด้วยจุดประสงค์เพื่อการกำจัดเชื้อรา และเอกสารทางวิชาการที่รายงานผลการแช่ไขปลา ประเภทมดิดแล้วให้อัตราการฟักเป็นตัวของไขสูงขึ้น ล้วนเป็นผลจากการใช้ต่างหับทิมลดเชื้อรา และปรสิติที่ทำลายไขปลาทั้งสิ้น จึงไม่น่าแปลกใจที่ตรวจไม่พบว่าต่างหับทิมมีผลในการทำลายสาร เหนียวของไขปลาในเอกสารทางวิชาการ แต่อย่างไรก็ตามการทดลองนี้ทำให้ทราบว่าต่างหับทิมมี ผลทำลายสารเหนียวที่เปลือกไขปลาคูกอูยที่มีชั้นสารเหนียวบางกว่าไขมดิดของปลาชนิดอื่น โดยอาศัยปฏิกิริยาออกซิไดซ์ ซึ่งจะได้ออกแก๊สไดออกไซด์ (MnO_2) สีนํ้าตาลเข้มเคลือบบนผิวไข่ แต่ สำหรับไขปลาที่มีชั้นสารเหนียวหนากว่าแล้ว แก๊สไดออกไซด์ที่เคลือบบนผิวไข่ไม่มีอิทธิพล เพียงพอที่ทำให้สารเหนียวหมดไป จึงนิยมใช้สารเคมีชนิดอื่นที่ให้ประสิทธิภาพการทำลายสาร เหนียวที่ดีกว่าต่างหับทิม เช่น สารละลายคาร์บาไมด์ แตนนิน (Rottmann *et al.*, 1991; Billard, 1999) โซเดียมซัลไฟด์ (Rottmann *et al.*, 1991) เป็นต้น

2. การทดลองเปรียบเทียบประสิทธิภาพการฟักไข่ปลาอุกด้วยอุปกรณ์เพาะฟักไข่แบบกรวยแมคโดแนลระบบน้ำหมุนเวียนต้นแบบกับอุปกรณ์เพาะฟักไข่แบบโรยตะแกรงระบบน้ำหมุนเวียน ได้ตั้งสมมติฐานแต่แรกแล้วว่า การฟักไข่ปลาอุกอยู่ในกรวยแมคโดแนลมีประสิทธิภาพสูงกว่าการฟักไข่ปลาอุกอยู่บนตะแกรงในสภาพแวดล้อมอย่างเดียวกัน จากเหตุผลในทางทฤษฎี ไข่ปลาที่เคลื่อนที่ขยับมีประสิทธิภาพในการแลกเปลี่ยนก๊าซและแร่ธาตุมากกว่าไข่ปลาที่เกาะตรึงกับที่บนตะแกรง อีกทั้งไข่เสียในกรวยฟักไข่น้อยมากเพราะถูกระบายสู่ภายนอกพร้อมกับน้ำที่ล้นออกจากกรวย ซึ่งระบบตะแกรงฟักไข่ไม่มีศักยภาพเช่นนั้น อันมีผลทำให้ของเสียและเชื้อราที่จะทำอันตรายต่อไข่ในกรวยฟักมีปริมาณน้อยกว่าในระบบตะแกรงฟักอย่างมาก นอกจากนี้การทดลองนี้ได้ออกแบบระบบบำบัดน้ำของอุปกรณ์เพาะฟักไข่แบบโรยตะแกรงระบบน้ำหมุนเวียนให้มีประสิทธิภาพสูงกว่าระบบบำบัดน้ำของอุปกรณ์เพาะฟักไข่แบบกรวยแมคโดแนลระบบน้ำหมุนเวียนต้นแบบ ความจุน้ำในภาชนะฟักไข่มากกว่า และระบายน้ำผ่านอุปกรณ์เพาะฟักในอัตราที่สูงกว่า ดังนั้นไม่ว่าผลการฟักไข่ปลาด้วยอุปกรณ์เพาะฟักไข่แบบกรวยแมคโดแนลระบบน้ำหมุนเวียนต้นแบบจะให้อัตราการฟักไข่เท่ากับหรือสูงกว่าอัตราการฟักไข่ในอุปกรณ์เพาะฟักไข่แบบโรยตะแกรงระบบน้ำหมุนเวียนก็ตาม ก็ย่อมแสดงว่าการฟักไข่ปลาด้วยกรวยฟักมีประสิทธิภาพสูงกว่าการฟักไข่บนตะแกรง

ที่ความหนาแน่น 2,500 ฟอง/หน่วยทดลอง ไข่ปลาอุกอยู่ที่ฟักในอุปกรณ์เพาะฟักไข่แบบกรวยแมคโดแนลระบบน้ำหมุนเวียนต้นแบบให้อัตราการฟักเป็นตัวเฉลี่ย 81.59 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งสูงกว่าอัตราการฟักในอุปกรณ์เพาะฟักไข่แบบโรยตะแกรงระบบน้ำหมุนเวียนซึ่งมีอัตราการฟักเป็นตัวเฉลี่ย 73.17 เปอร์เซ็นต์ และเมื่อพิจารณาคุณภาพน้ำตลอดระยะเวลาการฟักไข่ 24 ชั่วโมง พบว่าคุณภาพน้ำทุกพารามิเตอร์ในอุปกรณ์ฟักไข่ทั้ง 2 แบบอยู่ในช่วงที่เหมาะสม โดยที่น้ำในอุปกรณ์เพาะฟักไข่แบบโรยตะแกรงระบบน้ำหมุนเวียนมีคุณภาพดีกว่าเล็กน้อย ซึ่งเป็นการยืนยันว่าอัตราการฟักเป็นตัวของไข่ปลาอุกขึ้นอยู่กับเครื่องมือฟักไข่ ดังนั้นกรวยฟักไข่น่าจะให้ประสิทธิภาพการฟักไข่ปลาอุกสูงกว่าตะแกรงฟักไข่

ที่ความหนาแน่น 5,000 ฟอง/หน่วยทดลอง ไข่ปลาอุกอยู่ที่ฟักด้วยอุปกรณ์เพาะฟักไข่แบบกรวยแมคโดแนลระบบน้ำหมุนเวียนต้นแบบให้อัตราการฟักเป็นตัวเฉลี่ย 49.68 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งไม่แตกต่างกับอัตราการฟักในอุปกรณ์เพาะฟักไข่แบบโรยตะแกรงระบบน้ำหมุนเวียนซึ่งมีอัตราการฟักเป็นตัวเฉลี่ย 47.59 เปอร์เซ็นต์ และเมื่อพิจารณาคุณภาพน้ำตลอดระยะเวลาการฟักไข่ 24 ชั่วโมง พบว่าคุณภาพน้ำบางพารามิเตอร์ในอุปกรณ์ฟักไข่ทั้ง 2 แบบอยู่ในสภาพเสื่อมโทรม โดยเฉพาะ

ความเข้มข้นของแอมโมเนียของน้ำในอุปกรณ์เพาะปลูกไข่แบบกรวยแมคโคเนลระบบน้ำหมุนเวียน ต้นแบบเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วหลังชั่วโมงที่ 12 และเพิ่มสูงสุดในชั่วโมงที่ 24 มีความเข้มข้น 0.508 มก./ล. ขณะที่น้ำในอุปกรณ์เพาะปลูกไข่แบบโรยตะแกรงระบบน้ำหมุนเวียนเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว หลังชั่วโมงที่ 18 มีความเข้มข้น 0.244 มก./ล. ความเข้มข้นของแอมโมเนียทั้ง 2 ระดับสูงเพียงพอที่จะรบกวนการพัฒนาของไข่ปลาที่อยู่ในสภาพแออัด และยิ่งไข่ปลาที่ตรงกับที่อย่างไข่ที่ฟักบนตะแกรงยิ่งได้รับผลมากขึ้น ดังนั้น อัตราการฟักไข่ในอุปกรณ์เพาะปลูกไข่แบบกรวยแมคโคเนลระบบน้ำหมุนเวียนต้นแบบและอัตราการฟักไข่ในอุปกรณ์เพาะปลูกไข่แบบโรยตะแกรงระบบน้ำหมุนเวียน ที่ความหนาแน่น 5,000 ฟอง/หน่วยทดลองซึ่งไม่แตกต่างกันย่อมขึ้นอยู่กับคุณภาพน้ำ ทั้งนี้เพราะความหนาแน่นระดับดังกล่าวเกินประสิทธิภาพความสามารถในการรองรับของระบบบำบัดในอุปกรณ์ฟักไข่ทั้ง 2 แบบ และจากการศึกษาของอุธร และคณะ (2554) พบว่า ความหนาแน่นที่เหมาะสมของการฟักไข่ในกรวยแมคโคเนลระบบน้ำหมุนเวียนเท่ากับ 3,500 ฟอง/ลิตร เว้นแต่การเพิ่มประสิทธิภาพของระบบกรองให้สูงขึ้น

3. จากการศึกษาผลของความหนาแน่นของไข่และความกระด้างของน้ำต่ออัตราการฟักเป็นตัวของไข่ปลาตุ๊กตุย การทดลองนี้ใช้แผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ในบล็อกเพื่อศึกษาอิทธิพลร่วมของความหนาแน่นของไข่และความกระด้างที่มีต่ออัตราฟักเป็นตัวของไข่ และได้ทดสอบอัตราปฏิสนธิไข่ปลาที่นำมาฟักก่อน โดยพบว่าไม่แตกต่างกัน เป็นการยืนยันว่าการทดลองนี้อัตราปฏิสนธิไม่เป็นตัวแปรอิทธิพลที่รบกวนอัตราการฟักไข่ในอุปกรณ์เพาะปลูกทั้ง 2 แบบ และผลการศึกษาพบว่า

3.1 ความกระด้างของน้ำ 120 มก./ล. ให้อัตราการฟักเป็นตัวของไข่ปลาสูงที่สุด โดยมีอัตราฟักเป็นตัวของไข่ทุกระดับความหนาแน่นเฉลี่ยเท่ากับ 84.12 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งสูงกว่าอัตราฟักเป็นตัวของไข่ในน้ำที่มีความกระด้าง 160 มก./ล. อัตราฟักเป็นตัวของไข่เฉลี่ยเท่ากับ 58.22 เปอร์เซ็นต์ และอัตราฟักเป็นตัวของไข่ในน้ำที่มีความกระด้าง 80 มก./ล. อัตราฟักเป็นตัวของไข่เฉลี่ยเท่ากับ 45.43 เปอร์เซ็นต์

3.2 ในน้ำมีความกระด้าง 80 มก./ล. อัตราการฟักเป็นตัวของไข่ที่ความหนาแน่นของไข่ 2,500 5,000 7,500 และ 10,000 ฟอง/ลิตร ไม่แตกต่างกัน ขณะที่น้ำมีความกระด้าง 120 มก./ล. อัตราการฟักเป็นตัวของไข่ที่ความหนาแน่นของไข่ 2,500 และ 5,000 ฟอง/ลิตร ไม่แตกต่างกัน และอัตราการฟักเป็นตัวของไข่ที่ความหนาแน่น 7,500 และ 10,000 ฟอง/ลิตร ก็ไม่แตกต่างกัน

แต่อัตราการฟักเป็นตัวของไข่ที่ความหนาแน่นของไข่ 2,500 และ 5,000 ฟอง/ลิตร สูงกว่าอัตราการฟักเป็นตัวของไข่ที่ความหนาแน่น 7,500 และ 10,000 ฟอง/ลิตร และน้ำมีความกระด้าง 160 มก./ล. อัตราการฟักเป็นตัวของไข่ที่ความหนาแน่นของไข่ 2,500 ฟอง/ลิตร สูงกว่า 5,000 7,500 และ 10,000 ฟอง/ลิตร โดยอัตราการฟักเป็นตัวของไข่ที่ความหนาแน่นของไข่ 5,000 7,500 และ 10,000 ฟอง/ลิตร ก็ไม่แตกต่างกัน

จากผลที่ปรากฏ 2 ประการ บ่งชี้ได้ว่า ความกระด้างของน้ำและความหนาแน่นของไข่มีอิทธิพลต่อการฟักเป็นตัวของไข่ และความกระด้างที่เหมาะสมทำให้สามารถฟักไข่ได้หนาแน่นมากขึ้นและให้อัตราการฟักเป็นตัวสูงขึ้นด้วย โดยผลการทดลองนี้มีทั้งสอดคล้องและขัดแย้งกับผลการศึกษาที่ผ่านมา

หากพิจารณา ผลการศึกษาของ Silva *et al.* (2003) ซึ่งพบว่า ไข่ปลา silver catfish (*Rhamdia quelen*) ที่ฟักในน้ำมีความกระด้าง 70 มก./ล. ให้อัตราการฟักเป็นตัวสูงกว่าฟักในน้ำมีความกระด้าง 150 มก./ล. และผลการทดลองของ Molokwu and Okpokwasili (2002) ซึ่งพบว่า ไข่ปลาคูเกอพรักันที่ฟักในน้ำมีความกระด้างของน้ำตั้งแต่ 30-90 มก./ล. ให้อัตราการฟักเป็นตัวสูงกว่าฟักในน้ำมีความกระด้าง 200 มก./ล. และการทดลองของ Gonzal *et al.* (1987) ซึ่งพบว่า ไข่ปลา Silver carp ที่ฟักในน้ำมีความกระด้าง 300-500 มก./ล. ให้ผลดีกว่าไข่ปลาที่ฟักในน้ำที่มีความกระด้างของน้ำช่วง 100-200 มก./ล. อย่างไรก็ตาม ไข่ปลาส่วนใหญ่มีอัตราการฟักเป็นตัวเพิ่มขึ้นเมื่อความกระด้างของน้ำเพิ่มสูงขึ้น แต่ความกระด้างที่เหมาะสมจะแตกต่างกันไปตามชนิดของไข่ปลา

แต่ข้อสังเกตบางประการที่สำคัญ คือ ความกระด้างจะมีผลต่ออัตราการฟักเป็นตัวของไข่ปลาอย่างสมบูรณ์เมื่อความกระด้างและสภาพความเป็นด่างของน้ำใกล้เคียงกันและความเป็นกรดเป็นด่างไม่สูงเกินไป (Boyd, 1998) การเพิ่มค่าความกระด้างของน้ำให้เป็นไปตามแผนการทดลองจากน้ำดิบซึ่งมีความกระด้างเฉลี่ย 44 มก./ล. สภาพด่าง 50 มก./ล. และความเป็นกรดเป็นด่าง 8.05 โดยใช้ปั๊มแทนการใช้แคลเซียมคาร์บอเนต ให้อัตราการฟักที่ต้องการพร้อมกับควบคุมไม่ให้ค่าความเป็นกรดเป็นด่างของน้ำสูงเกินไป ส่งผลให้ค่าความกระด้างและสภาพความเป็นด่างของน้ำในกลุ่มทดลองที่ใช้ความกระด้าง 80 และ 160 มก./ล. มีค่าความกระด้างและสภาพความเป็นด่างต่างกันมาก และสภาพด่างของทั้ง 3 กลุ่มทดลองแตกต่างกัน สภาพด่างของน้ำจึงเป็นปัจจัยแทรกซ้อนที่มีผลต่อการฟักเป็นตัวของไข่ปลาในทุกกลุ่มทดลอง

ผลการเปรียบเทียบคุณภาพน้ำในระบบเพาะปลูกที่ใช้น้ำฟักไข่ปลาที่มีความกระด้างแตกต่างกัน พบว่า พารามิเตอร์คุณภาพน้ำในน้ำมีความกระด้าง 80 และ 160 มก./ล. มีความแปรปรวนสูงกว่าระบบที่ใช้น้ำความกระด้าง 120 มก./ล. ความแปรปรวนของพารามิเตอร์คุณภาพน้ำต่าง ๆ นั้นมีผลจากการเน่าเสียของไข่ปลาและปฏิกิริยาทางเคมีต่าง ๆ ในน้ำ เมื่อพิจารณาจากปริมาณไข่ที่ฟักอยู่ในทุกกลุ่มทดลองมีจำนวนเท่ากัน คือ 75,000 ฟอง กลุ่มทดลองที่ใช้ความกระด้าง 80 มก./ล. พบปริมาณไข่เสียโดยเฉลี่ยตลอดช่วงการเพาะฟักเท่ากับ 57.28 เปอร์เซ็นต์ คิดเป็นจำนวนไข่ที่ตายและเน่าเสีย 42,960 ฟอง กลุ่มทดลองที่ใช้ความกระด้าง 120 มก./ล. ปริมาณไข่เสียเท่ากับ 18.96 เปอร์เซ็นต์ หรือ 14,220 ฟอง และกลุ่มทดลองที่ใช้ความกระด้าง 160 มก./ล. ปริมาณไข่เสียเท่ากับ 43.97 เปอร์เซ็นต์ หรือ 32,977 ฟอง และด้วยระบบเพาะฟักไข่ของทุกกลุ่มทดลองมีศักยภาพการบำบัดของเสียที่ไม่แตกต่างกัน ดังนั้น ปริมาณไข่ที่เน่าเสียที่แตกต่างกันจึงมีผลทำให้แร่ธาตุและของเสียที่เกิดจากการเพาะฟักหมุนเวียนอยู่ในน้ำฟักไข่ของแต่ละกลุ่มทดลองมีปริมาณแตกต่างกันออกไป

4. การศึกษาประสิทธิภาพการเพาะฟักไข่ปลาอุกของอุปกรณ์เพาะฟักไข่แบบกรวยแมคโดแนลระบบน้ำหมุนเวียนต้นแบบ พบว่า อัตราการฟักที่ความหนาแน่น 5,000 7,500 และ 10,000 ฟอง/ลิตร ไม่มีความแตกต่างกัน ($p > 0.05$) โดยที่ระดับความหนาแน่นสูงสุด 10,000 ฟอง/ลิตร ให้อัตราฟักเฉลี่ย เท่ากับ 73.14 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งสูงขึ้นจากการฟักด้วยระบบฟักเดียวกันจากการทดลองที่แล้ว หลังการเพิ่มความกระด้างของน้ำที่ใช้ฟักไข่ คุณภาพน้ำตลอดช่วงระยะฟักไข่ก็อยู่ในระดับที่ดี มีออกซิเจนสูง แอมโมเนียต่ำ ความเป็นกรดเป็นด่าง ความเป็นด่าง และความกระด้างไม่เปลี่ยนแปลงมาก อย่างไรก็ตาม อุปกรณ์เพาะฟักไข่นี้ดังกล่าวยังสามารถพัฒนาให้มีประสิทธิภาพสูงขึ้นหากมีการปรับปรุงระบบกรองและเพิ่มขนาดกรวยเพาะฟักไข่แบบแมคโดแนล

5. ผลการศึกษาประสิทธิภาพการเพาะฟักไข่ของอุปกรณ์เพาะฟักไข่แบบกรวยแมคโดแนลระบบน้ำหมุนเวียนแบบพัฒนา แบ่งออกเป็น 2 การทดลอง พบว่า ในการทดลองที่ 1 การศึกษาประสิทธิภาพการเพาะฟักไข่ที่ความหนาแน่น 10,000 15,000 และ 20,000 ฟอง/ลิตร ให้อัตราการฟักเฉลี่ยที่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ คือ 84.67 64.92 และ 53.12 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ($p < 0.05$) ส่วนในการทดลองที่ 2 การศึกษาประสิทธิภาพการเพาะฟักไข่ที่ความหนาแน่น 10,000 20,000 และ 30,000 ฟอง/ลิตร ให้อัตราการฟักเฉลี่ยที่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ คือ 90.68 40.95 และ 43.68 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ($p < 0.05$)

จากการศึกษาประสิทธิภาพการเพาะฟักไข่ของอุปกรณ์เพาะฟักไข่แบบกรวยแมคโคแนล ระบบน้ำหมุนเวียนแบบพัฒนาทั้ง 2 ครั้ง พบว่า อัตราความหนาแน่นที่เหมาะสมในการเพาะฟักไข่ ปลาอุกอยู่เท่ากับ 10,000 ฟอง/ลิตร ซึ่งให้อัตราฟักเฉลี่ยทั้ง 2 ครั้ง เท่ากับ 87.71 เปอร์เซ็นต์ โดยระบบเพาะฟักไข่ปลาที่พัฒนาแล้วนี้จะมีศักยภาพในการเพาะฟักไข่ปลาแต่ละครั้งได้สูงสุดถึง 240,000 ฟอง

สรุปผลการทดลอง

1. การใช้ค่ากักเก็บความเข้มข้น 0 3 5 และ 7 มก./ล. ล้างทำความสะอาดและแช่ไข่ปลาอุกอยู่หลังการผสมเทียมมีอัตราฟักเป็นตัวเฉลี่ยแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง ($p < 0.01$) คือ 49.85 70.08 84.09 และ 80.07 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ

2. การเปรียบเทียบประสิทธิภาพการเพาะฟักไข่ปลาอุกด้วยอุปกรณ์เพาะฟักไข่แบบกรวยแมคโดแนลระบบน้ำหมุนเวียนต้นแบบกับอุปกรณ์เพาะฟักไข่แบบโรยตะแกรงระบบน้ำหมุนเวียนได้ผลเป็น ดังนี้

2.1 อัตราฟักเฉลี่ยของไข่ปลาอุกอยู่ที่ความหนาแน่น 2,500 ฟอง/หน่วยทดลอง ในกรวยเพาะฟัก เท่ากับ 81.59 เปอร์เซ็นต์ มากกว่าอัตราฟักเฉลี่ยบนตะแกรงเพาะฟัก คือ 73.17 เปอร์เซ็นต์ อย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$)

2.2 อัตราฟักเฉลี่ยของไข่ปลาอุกอยู่ที่ความหนาแน่น 5,000 ฟอง/หน่วยทดลอง ในกรวยเพาะฟัก เท่ากับ 49.68 เปอร์เซ็นต์ ไม่แตกต่างจากอัตราฟักเฉลี่ยบนตะแกรงเพาะฟัก คือ 47.59 เปอร์เซ็นต์ ($p > 0.05$)

3. ผลของอัตราความหนาแน่นของไข่และความกระด้างของน้ำต่ออัตราฟักเป็นตัวของไข่ปลาอุกอยู่ เป็นดังนี้

3.1 ที่อัตราความหนาแน่น 2,500 5,000 7,500 และ 10,000 ฟอง/ลิตร มีอัตราการฟักเฉลี่ย เท่ากับ 76.99 61.74 53.16 และ 57.13 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ

3.2 อัตราฟักเฉลี่ยของไข่ในน้ำที่มีความกระด้าง 120 160 และ 80 มก./ล. เท่ากับ 84.12 58.22 และ 45.43 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ

3.3 ตลอดระยะเวลาการเพาะฟักไข่ พบว่า น้ำที่มีความกระด้าง 120 มก./ล. มีการเปลี่ยนแปลงของดัชนีคุณภาพน้ำอยู่ในช่วงแคบ ๆ แต่การเพาะฟักในน้ำที่มีความกระด้าง 80 มก./ล.

มีการเปลี่ยนแปลงอยู่ในช่วงกว้าง โดยความแปรปรวนของคุณภาพน้ำเป็นไปในทิศทางเดียวกับ อัตราการฟักเป็นตัวของไข่ปลา

4. ประสิทธิภาพการเพาะฟักของอุปกรณ์เพาะฟักไข่แบบกรวยแมคโคแนลระบบน้ำหมุนเวียนต้นแบบ ที่ความหนาแน่น 5,000 7,500 และ 10,000 ฟอง/ลิตร มีค่าเฉลี่ยไม่แตกต่างกัน คือ 70.01 68.38 และ 73.14 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ($p > 0.05$)

5. ประสิทธิภาพการเพาะฟักไข่ปลาอุกของอุปกรณ์เพาะฟักไข่แบบกรวยแมคโคแนลระบบน้ำหมุนเวียนแบบพัฒนา เป็นดังนี้

5.1 การเพาะฟักไข่ที่ระดับความหนาแน่น 10,000 15,000 และ 20,000 ฟอง/ลิตร มีอัตราการฟักเป็นตัวเฉลี่ยที่แตกต่างกัน คือ 84.67 64.92 และ 53.12 เปอร์เซ็นต์ ($p < 0.05$)

5.2 การเพาะฟักไข่ที่ระดับความหนาแน่น 10,000 20,000 และ 30,000 ฟอง/ลิตร มีอัตราการฟักเป็นตัวเฉลี่ยที่แตกต่างกัน คือ 90.68 40.95 และ 43.68 เปอร์เซ็นต์ ($p < 0.05$) โดยการฟักไข่ที่ความหนาแน่น 10,000 ฟอง/ลิตร ให้อัตราการฟักเฉลี่ยสูงสุด

เอกสารอ้างอิง

- กนกรัตน์ ธานีรัตน์. 2538. การศึกษาความเป็นพิษเฉียบพลันของต่างทับทิม เกลือแกงและ
โพวิโดลไอโอดีนที่มีต่อกบนา. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์,
กรุงเทพมหานคร.
- เจดั่น อมาตยกุล, สืบพงษ์ จัตรมลัย, สุรางค์ สุมโนจิตรภรณ์, ประดิษฐ์ ศรีภัทรประสิทธิ์,
ขรรยง ต้นตาปกุล, สันติชัย รังสิยาภิรมย์, สง่า ลีสง่า, อัญชลี ดันติกุล, สุภรณ์ กุ่มสงวน
และ วัชรินทร์ รัตนชู. 2538. ปลาอุก. กองประมงน้ำจืด, กรมประมง. 171 หน้า.
- โชคชัย เหลืองธูพรานิต. 2548. หลักการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ การเลือกสถานที่ การออกแบบ การ
สร้างฟาร์ม คุณภาพน้ำและการจัดการ การขยายพันธุ์. แผนกวิชาเทคโนโลยีการประมง,
คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี, มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์. 481 หน้า.
- นิรนาม. 2553. ลักษณะของน้ำเสีย. แหล่งที่มา: <http://www.swu.ac.th/royal/book1/blc2t8.html>.
11 ตุลาคม 2553.
- ประเสริฐ สีตะสิทธิ์. 2513. การเลี้ยงปลาอุกที่จังหวัดสมุทรปราการ. วารสารการประมง
23(1): 61-71.
- ประเสริฐ สีตะสิทธิ์. 2530. การเพาะเลี้ยงปลาอุกโดยวิธีผสมเทียม. เอกสารคำแนะนำ
กรมประมง. ฝ่ายประมงสารสนเทศ กองส่งเสริมประมง, กรมประมง. 32 หน้า.
- ประพันธ์ ธาราเวทย์. 2543. การเพาะพันธุ์และการเลี้ยงปลาอุก. อักษรสยามการพิมพ์.
เกษิเจริญ, กรุงเทพมหานคร. 104 หน้า.
- ประภาส โฉลกพันธุ์รัตน์. 2554. การเพาะและอนุบาลปลาสวยงาม. แหล่งที่มา:
<http://web.kku.ac.th./pracha/Breeding.htm>. 22 พฤศจิกายน 2554.
- ปรัชชัย วีรสิทธิ์, มานพ ตั้งตรงไพโรจน์, กำชัย ลาวัณยวุฒิ และ สุจินต์ หนูขวัญ. 2533.
การเพาะพันธุ์ปลาอุกผสมกับปลาอุกและลูกเทศ. การประชุมทางวิชาการของ
มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 28, 29-31 มกราคม 2533. หน้า 529-544.
- ภาณุ เทวรัตน์มณีกุล. 2522. การผสมเทียมปลาที่เลี้ยงในบ่อ. เอกสารวิชาการฉบับที่ 8/2522.
สถาบันประมงน้ำจืดแห่งชาติ. กองประมงน้ำจืด, กรมประมง. 27 หน้า.

- ภาณุ เทวรัตน์มณีกุล, สุจินต์ หนูขวัญ และ วีระ วัชรกรโยธิน. 2538. **การพัฒนาการเจริญพันธุ์และอนุบาลลูกปลาคูย. เอกสารวิชาการฉบับที่ 166. สถาบันวิจัยประมงน้ำจืด. กรมประมง, กระทรวงเกษตรและสหกรณ์. 73 หน้า.**
- เมฆ บุญพราหมณ์. 2525. **การเพาะขยายพันธุ์ปลาและการอนุบาลลูกปลา. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. 110 หน้า.**
- มันสิน ตันทุลเวศม์. 2543. **คู่มือวิเคราะห์คุณภาพน้ำ. พิมพ์ครั้งที่ 4. บริษัทแซน อี. 68 แลบ จำกัด, กรุงเทพฯ. 540 หน้า.**
- มานพ กาญจนบุรากร. 2552. **ชุดสถิติการเพาะฟักไข่ปลาคูยแบบประหยัดน้ำ. รายงานผลการวิจัย. คณะเกษตรศาสตร์และทรัพยากรธรรมชาติ, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก. 24 หน้า.**
- มานพ ตั้งตรงไพโรจน์. 2548. **มานพ ตั้งตรงไพโรจน์ ผู้ปลูกปั้นให้ปลาคูยเป็นธุรกิจพันล้าน. เทคโนโลยีชาวบ้าน ปีที่ 18 ฉบับที่ 369. แหล่งที่มา: <http://www.nicaonline.com/webboard/index.php?topic=3157.0>. 15 มกราคม 2555.**
- ขงยุทธ อุนากรสวัสดิ์, ปฐมาวดี ปิตดาทะโน และ เมธา คชาภิชาติ. 2544. **การเพาะพันธุ์ปลาบึกครั้งแรกของโลกจากพ่อแม่พันธุ์ที่เลี้ยงในบ่อดิน. เอกสารเผยแพร่ฉบับที่ 1/2544. สถานีประมงน้ำจืดจังหวัดพะเยา. กองประมงน้ำจืด, กรมประมง. 57 หน้า.**
- วรัญญู ขุนเจริญ, อนุวัฒน์ อุปนันไชย และ จิระภา โพธิ์ศรี. 2551. **ประสิทธิภาพการฟักไข่ปลาแดงโดยใช้วิธีฟักไข่ที่แตกต่างกัน. เอกสารวิชาการฉบับที่ 7/2551. สำนักวิจัยและพัฒนาประมงน้ำจืด, กรมประมง. 32 หน้า.**
- วิทย์ ธารชลาณกิจ, เวียง เชื้อโพธิ์หัก, ประวิทย์ สุรนิรนาถ และ อุทัยรัตน์ ณ นคร. 2530. **การเพาะเลี้ยงปลาคูย หลักการและแนวปฏิบัติ. ภาควิชาเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ, คณะประมง, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. 58 หน้า.**
- ศักดิ์ชัย ชูโชติ. 2536. **การเลี้ยงปลาน้ำจืด. ภาควิชาเทคโนโลยีการผลิตสัตว์, คณะเทคโนโลยีการเกษตร, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง. 201 หน้า.**

- สนิท ทองสง่า. 2503. การเพาะปลาดุกด้วยวิธีฉีดฮอร์โมน. รายงานประจำปี 2503 แผนกทดลองและเพาะเลี้ยง, กรมประมง.
- สนิท ทองสง่า. 2506. การผสมเทียมปลาดุกด้วยฮอร์โมน. รายงานประจำปี 2506. กองบำรุงพันธุ์สัตว์น้ำ, กรมประมง. 7 หน้า.
- สิริรัตน์ สุวณิชย์เจริญ และ ปราโมท เชื้อวชาญ. 2548. ระบบบำบัดน้ำเสียทางชีวภาพ. จุลสารวิทยาศาสตร์สุขภาพ ฉบับที่ 3 ประจำเดือนมิถุนายน 2548. แหล่งที่มา: <http://shethai.com/home/index>. 2 ธันวาคม 2553.
- สุจิต ญิณโยยิ่ง. 2517. การทดลองเพาะปลาดุกแบบเป็นการค้า. รายงานประจำปี 2517 แผนกทดลองและเพาะเลี้ยง. กองบำรุงพันธุ์สัตว์น้ำ, กรมประมง. หน้า 20-24.
- สุจิต ญิณโยยิ่ง และ สง่า อุดมวัฒนาภักย์. 2516. การทดลองเพาะปลาดุก. รายงานประจำปี 2516 แผนกทดลองและเพาะเลี้ยง. กองบำรุงพันธุ์สัตว์น้ำ, กรมประมง. หน้า 12-19.
- สุวรรณณี สกลทอง, ประดิษฐ์ ศรีภัทรประสิทธิ์ และ ราวี แสงทอง. 2548. การศึกษาผลของการเคลื่อนไข่และการถ่ายเทน้ำในการฟักไข่ปลาดุกด้านโดยใช้กรวยพลาสติก. เอกสารวิชาการ ฉบับที่ 1/2548. สำนักวิจัยและพัฒนาประมงน้ำจืด, กรมประมง. 12 หน้า.
- สุวรรณณี สกลทอง และ สมพร โกศล. 2548. ศึกษาผลของอัตราการถ่ายเทน้ำและอัตราความหนาแน่นในการฟักไข่ปลาดุกด้านโดยใช้แผงฟักไข่. รายงานประจำปี 2548-2549. ศูนย์วิจัยและพัฒนาประมงน้ำจืดสุรินทร์. สำนักวิจัยและพัฒนาประมงน้ำจืด, กรมประมง. หน้า 52-62.
- อุทัยรัตน์ ณ นคร. 2531. การเพาะขยายพันธุ์ปลา. ภาควิชาเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ, คณะประมง, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. 219 หน้า.
- อุทัยรัตน์ ณ นคร. 2538. การเพาะขยายพันธุ์ปลา. ภาควิชาเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ, คณะประมง, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. 231 หน้า.
- อุธร ฤทธิลิก. 2550. การเลี้ยงปลาเพื่อการค้า. โอเดียนสโตร์, กรุงเทพมหานคร. 248 หน้า.

อุธร ฤทธิลิก, โทมร มีเดช และ มานพ กาญจนบุรากร. 2532. การศึกษาเปรียบเทียบอัตราการฟักเป็นตัวของลูกปลาดุกอยู่โดยระบบน้ำไหลและระบบน้ำพ่น. คณะเกษตรศาสตร์ บางพระ, สถาบันเทคโนโลยีราชมงคล. 16 หน้า.

อุธร ฤทธิลิก, ศรีธนา รักเสรี และ ชนัดดา เกตุมา. 2554. การผสมผสานการกรองชีวภาพในระบบบำบัดน้ำเสียจากการฟักไข่ปลาดุก เพื่อลดของเสียไนโตรเจน และปรับปรุงคุณภาพน้ำ. วารสารวิจัยมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก. ปีที่ 4 ฉบับที่ 1 มกราคม-มิถุนายน 2554. หน้า 78-88.

Abernathy, M.A. 2004. **Effects of water hardness on the survival of Rainbow Sharkminnow (*Epalzeorhynchus frenatum*) eggs and larvae.** Master of Science Thesis. University of Florida.

Ahyaudin, B.A. 1993. Aspects of the fecundity of the feral catfish, *Clarias macrocephalus* (Gunther), population obtained from the rice fields used for rice-fish farming, in Malaysia. **Hydrobiologia, Karwer Academic Publishers, Belgium.** 254: 81-89.

Aksu, Z. and U. Acikel. 2000. Modelling of a single staged bioseparation process for simultaneous removal of iron (III) and chromium (VI) by using *Chlorella vulgaris*. **Biochemical Eng.** 4: 229-238.

Aksu, Z., U. Acikel and T. Kutsal. 1997. Application of multicomponent adsorption isotherm to simultaneous biosorption of iron (III) and chromium (VI) on *Chlorella vulgaris*. **J. Chem. Technol. Biotechnol.** 70: 368-378.

Alderdice, D.F. 1988. Osmotic and ionic regulation in teleost eggs and larvae. p. 163-252 : Hoar, W.S. and Randall, (Editors), **Fish Physiology**, Vol. XIA, Eggs and Larvae. Academic Press, New York.

Allison, R. 1957. Some new results in the treatment of ponds to control some external parasites of fish. **Prog. Fish-Cult.** 19: 58-63.

APHA, AWWA. and WEE. 1995. **Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater.** 20th edition, United Book Press, Maryland. 1,220 pp.

- Avnimelech, Y. 2006. Bio-filters: The need for a new comprehensive approach. **Aquacult. Eng.** 34: 172-178.
- Billard, R. 1999. **Carp : Biology and Culture**. Praxis Publishing, Cichester, UK. pp. 79-90.
- Boyd, C.E. 1998. **Water quality for pond aquaculture**. Research and Development series (Alabama) 43, Aug. 37 pp.
- Chappell, J.A. 2008. **Incubating and hatching catfish eggs in McDonald jars**. Extension fisheries specialist, Assistant professor, Auburn university. Available Source: [http://www.Extension.Org/.../incubation and hatching catfish egg...](http://www.Extension.Org/.../incubation%20and%20hatching%20catfish%20egg...) July 27, 2011.
- Crab, R., Y. Avnimelech, T. Defoirdt, P. Bossier and W. Verstraete. 2007. Nitrogen removal techniques in aquaculture for a sustainable production. **Aquaculture**. 270(1-4): 1-14.
- Eddy, F.B. 1974. Osmotic properties of perivitelline fluid and some properties of the chorion of Atlantic salmon eggs (*Salmo salar*). **Journal of Zoology, London**. 174: 237-243.
- Eding, E.H., A. Kamstra, J.A.J. Jerreth, E.A. Huisman and A. Klapwijk. 2006. Design and operation of nitrifying trickling filters in recirculating aquaculture: a review. **Aquacult. Eng.** 34: 234-260.
- FAO. 1980. **The artificial propagation of warm-water finfishes a manual for extention**. FAO Fisheries Technical Paper. 192 pp.
- Flik, G., P.M. Verboost and S.E. Wendelaar Bonga. 1995. **Calcium transport processes in fishes**. Cellular and Molecular Approaches to Fish Ionic Regulation. Academic Press, San Diego, USA, 317-341. Cap 12.
- Freda, J. and D.G. McDonald. 1988. Physiological correlates of interspecific variation in acid tolerance in fish. **Journal Experimental Biology**. 136: 243-258.
- Gardner, K.A. and J.M. Mayer. 1995. **Understanding C-N bond oxidation : H and H⁺ transfer in the oxidation of toluene by permanganate**. Science, 269. pp. 1849-1851.

- Gomez, M.A., J.M. Galvez, E. Hontoria and J.G. Lopez. 2003. Influence of ethanol concentration on biofilm bacteria composition from a denitrifying submerged filter used for contaminated groundwater. **J. Biosc. and Eng.** 95(3): 245-251.
- Gonzal, A.C., E.V. Aralar and J.M.F. Pavico. 1987. The effect of water hardness on the hatching and viability of silver carp (*Hypophthalmichthys molitrix*) eggs. **Aquaculture.** 64: 111-118.
- Groeneweg, J., B. Sellner, W. Tappe. 1994. Ammonia oxidation in Nitrosomonas at NH_3 concentrations near K effects of pH and temperature. **Water Res.** 28: 2561-2566.
- Hakim, A., E. El-Gamal and Z.A. El-Greisy. 2008. Effect of removal of egg adhesiveness on hatchability and effect of different levels of salinity on survival and larval development in common carp, *Cyprinus carpio*. **Journal of applied sciences research.** 4(12): 1935-1945.
- Hargreaves, J.A. 2006. Photosynthesis suspended-growth systems in aquaculture. **Aquacult. Eng.** 34: 344-363.
- Herwig, N. 1979. **Handbook of drugs and chemicals used in the treatment of fish diseases.** Charles C. Thomas, Illinois. 272 p.
- Huang, J., O.J. Hao. 1996. Alternating aerobic-anoxic process for nitrogen removal: process evaluation. **Water Environ. Res.** 68: 83-93.
- Jee, L.K. and J.A. Plumb. 1981. Effects of organic load on potassium permanganate as a treatment for *Flexibacter columnaris*. **Trans. Am. Fish. Soc.** 110: 86-89.
- Joel, P.V.E., L.C. Javier., B.M. Jean and I.D. Serge. 2008. Induced Spawning, Artificial Fertilization, and Egg Incubation Techniques for Green Sturgeon. **North American Journal of Aquaculture.** 70(4): 434-445.
- Kaiser, G.E., and F.W. Wheaton. 1983. Nitrification filters for aquatic culture systems: state of the art. **J. World Maricult. Soc.** 14: 302-324.

- Knud-Hansen, C.F. 1990. Hatchery techniques for egg and fry production of *Clarias batrachus* (Linnaeus). **Aquaculture**. 89(1): 9-19.
- Kowtal, G.V., W.H. Clark and G.N. Cherr. 1986. Elimination of adhesiveness in eggs from the white sturgeon, *Acipenser transmontanus* : Chemical treatment of fertilized eggs. **Aquaculture**. 55(2): 139-143.
- Kristanto, A.H., J. Subagja, J. Siembrouck and M. Legendre. **Effect of eggs incubation technique on hatching rate, hatching kinetic and survival of larvae in the asian catfish *Pangasius hypophthalmus* (Siluriformes, Pangasiidae)**. 1988. The biological diversity and aquaculture of clariid and pangasiid catfishes in south-east asia. Proceedings of the mid-term workshop of the “catfish asia project” Cantho, Vietnam, 11-15 May 1988. 107-111.
- Laitinen, M. and M., Karttunen. 1994. Effect of calcium and magnesium in acid water on the ion balance of eggs and alevins of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*).
In : Muller, R. and R. Lloyd. (Eds.) **Sublethal and Chronic Effects of Pollutants on Freshwater Fish**. FAO-Fishing News Book, Cambridge. 371 pp.
- Lawonyawut, K. 2007. Freshwater fish seed resources in Thailand. pp. 441-459.
In : M.G. Bondad-Reantaso (ed.). **Assessment of freshwater fish seed resources for sustainable aquaculture**. *FAO Fisheries Technical Paper*. No. 501. Rome, FAO. 2007. 628 pp.
- Lay, B.A. 1971. Application of potassium permanganate in fish culture. **Trans. Am. Fish. Soc.** 199(4): 813-815.
- Legendre, M., O. Linhart and R. Billard. 1996. Spawning and management of gametes, fertilized eggs and embryos in Siluroidei. In Legendre M. and J.P. Proteau. (eds), **The Biology and culture of catfishes**. *Aquat. Living Resour.*, 9, Hors serie, 59-80.
- Lei, G.Y. and J. Ma. 2009. Phosphorus removal and mechanisms for advanced treatment of sewage by *Spirogyra*. **Huan Jing Ke Xue**. 30(4): 1066-1072.

- Linhart, O., M. Rodina, D. Gela, M. Kocour and M. Rodriguez. 2003. Improvement of common carp artificial reproduction using enzyme for elimination of egg stickiness. **Aquat. Living Resour.** 16: 450-456.
- Litchfield, J.T. and F. Wilcoxon. 1949. A simplified method of evaluating dose effect experiments. **J. Pharmacol. Exp. Ther.** 96: 99-113.
- Marking, L.L. and T.D. Bills. 1975. Toxicity of potassium permanganate to fish and its effectiveness for detoxifying antimycin. **Trans. Am. Fish. Soc.** 104: 579-583.
- Marking, L.L., T.D. Bills, J.J. Rach and S.J. Grabowski. 1983. Chemical control of fish and fish eggs in the Garrison diversion unit, North Dakota. **North American Journal of Fisheries Management.** 3(4): 410-418.
- Miller, G.E. and G.S. Libey. 1985. Evaluation of three biological filters suitable for aquaculture applications. **J. Wor. Mari. Soc.** 16: 158-168.
- Molokwu, C.N. and G.C. Okpokwasili. 2002. Effect of water hardness on egg hatchability and larval viability of *Clarias gariepinus*. **Aquaculture International.** 10: 57-64.
- Monaco, G. and S.I. Doroshov. 1983. Mechanical de-adhesion and incubation of white sturgeon eggs (*Acipenser transmontanus* Richardson) in jar incubators. **Aquaculture.** 35: 117-123.
- Noga, E.J. 1996. **Fish disease diagnosis and treatment.** Mosby-Year Book, Inc. St. Louis. p. 367.
- Nootong, K. 2006. **Performance and kinetic evaluations of a novel bioreactor system in the low-oxygen/low-fluid shear reaction environment.** *Ph.D. Thesis*, University of Pennsylvania, Philadelphia, PA USA.
- Ovie, K.S. 2008. Acute toxicity of potassium permanganate to fingerlings of the African catfish, *Clarias gariepinus* (Burchell, 1822). **African Journal of Biotechnology.** 7(14): 2514-2520.

- Paul, E. and F. Clark. 1996. **Soil microbiology and biochemistry**. Academic Press, New York. 340 pp.
- Perrone, S.J. and T.L. Meade. 1977. Protective effects of chloride on nitrite toxicity to coho salmon (*Oncorhynchus kisutch*). **Journal of the Fisheries Research Board of Canada**. 34: 486-492.
- Phelps, R.P. 1975. **Toxicity and efficacy of five chemotherapeutics used in aquaculture when applied to waters of different quality**. Ph.D. Dissertation, Auburn Univ., Alabama. 103 p.
- Phelps, R.P., R. John, A. Plumb and C.W. Harris. 1977. Control of external bacterial infections of bluegills with potassium permanganate. **The Progressive Fish-Culturist**. 39(3): 142-143.
- Piluk, R. J. 1988. **Field Study of an Innovative On-Site Wastewater Disposal System for Nitrogen Reduction**. M. S. Thesis, Graduate School of the University of Maryland.
- Plum, F. and B. Hindfelt. 1976. **The neurological complications of liver disease**. In *Metabolic and Deficiency Disease of the Nervous System*, Part 1, 27 (eds. Vinken, P.J., G.W. Bruyn and H.L. Klawans), American Elsevier Publ. Co. Inc., New York. pp. 349-377.
- Rasowo, J., O.E. Okoth. and C.C. Ngugi. 2007. Effects of formaldehyde, sodium chloride, potassium permanganate and hydrogen peroxide on hatch rate of African catfish *Clarias gariepinus* eggs. **Aquaculture**. 269(1-4): 271-277.
- Robinette, H.R. 1976. Effect of selected sublethal levels of ammonia on the growth of Channel catfish (*Ictalurus punctatus*). **The Progressive Fish-Culturist**. 38(1): 26-29.
- Rose, A. and E. Rose. 1966. **Condense chemical dictionary**. Reinhold Publishing Corporation.

- Rottmann, R.W., J.V. Shireman and F.A. Chapman. 1991. Techniques for taking and fertilizing the spawn of fish. **Southern Regional Aquaculture Center Publication No.** 426: 1-8.
- Rudy, P.P.Jr. and W.T.W. Potts. 1969. Sodium balance in eggs of the Atlantic salmon (*Salmo salar*). **Journal of Experimental Biology.** 50: 239-246.
- Sandu, S.I., G.D. Boardman, B.J. Watten and B.L. Brazil. 2002. Factors influencing the nitrification efficiency of fluidized bed filter with plastic bead medium. **Aquacult. Eng.** 26: 41-59.
- Sastry, B.N., A.A. Jr., Delos Reyes, K.A., Rusch, and R.F. Malone. 1999. Nitrification performance of a bubblewashed bead filter for a combined solids removal and biological filtration in a recirculating aquaculture system. **Aquacult. Eng.** 19: 105-117.
- Shenai, V.A. 1995. Toxicity of dyes and intermediates. **Chemical Weekly.** 11: 35-149.
- Silva, L.V.F., J.I. Golombieski and B. Baldisserotto. 2003. Incubation of silver catfish, *Rhamdia quelen* (Pimelodidae), eggs at different calcium and magnesium concentrations. **Aquaculture.** 228: 279-287.
- Spade, S. and B. Bristow. 1999. Effect of increasing water hardness on egg diameter and hatch rates of striped bass eggs. **North American Journal of Aquaculture.** 61: 263-265.
- Summerfelt, S.T. and M.J. Sharrer. 2004. Design implication of carbon dioxide Production within Biofilters contained in recirculating salmonid culture system. **Aquacult. Eng.** 32: 171-182.
- Timmons, M.B., B.J. Vinci, M.T. Davenport, M.K. Crum. 2001. A mathematical model of low-head oxygenators. **Aquacultural Engineering.** 24: 257-277.

- Tseng, K.F., J.S. Huang and I.C. Liao. 1994. **Effect of salinity on the activity of nitrifying bacteria.** In : Chou, L.M., *et al.* (Eds). Proceedings of the Third Asian Fisheries Forum, Asian Fisheries Society, Manila. Pp 15-18.
- Tseng, K.F., J.H. Chiou, C.Z. Shyu, S.C. Chou and I.C. Liao. 1996. Effects of pH value and hydraulic retention time on ammonia removal efficiency of a submerged biofilter in a recirculating eel culture system. **J. Fish. Soc. Taiwan.** 23: 323-333.
- Tucker, S.C. 1987. Acute toxicity of potassium permanganate to channel fingerlings. **Aquaculture.** 60(2): 93-98.
- Watson, C.A. and F.A. Chapman. 1996. **Artificial incubation of fish egg.**
Available Source: <http://edis.ifas.ufl.edu>. November 6, 2011.
- Wedemeyer, G.A. and W.T. Yasutake. 1978. Prevention and treatment of nitrite toxicity in juvenile steelhead trout (*Salmo gairdneri*). **Journal of the Fisheries Research Board of Canada.** 35: 822-827.
- Woyanovich, E. and L. Horvath. 1980. **The artificial propagation of warm-water finfishes.**
A manual for extension. *FAO Fish. Techni. Pap.*, 201, 183 p.
- Wyse, L.C. 1973. Artificial spawning of murray cod. **Aquaculture.** 2: 429-432.
- Zhu, S. and S. Chen. 1999. An experimental study on nitrification biofilm performances using a series reactor system. **Aquacult. Eng.** 20: 245-259.
- Zweig, R. D., J. D. Morton and M. M. Stewart. 1999. **Source Water Quality for Aquaculture.** World Bank, Washington. 62 pp.

ภาคผนวก

วิธีวิเคราะห์คุณภาพน้ำ

1. วิธีวิเคราะห์สภาพด่าง (Alkalinity)

1. ตวงตัวอย่างน้ำ 100 มิลลิลิตร ใส่ขวดรูปกรวย ขนาด 250 มิลลิลิตร
2. หยดฟีนอล์ฟทาลีน อินดิเคเตอร์ 2 หยด ลงในตัวอย่างน้ำ เขย่าให้เข้ากัน ถ้าสารละลายเป็นสีชมพู ทำการไทเทรตด้วยสารละลายมาตรฐานกรดซัลฟูริกเข้มข้น 0.02 นอร์มัล จนกระทั่งสีชมพูของน้ำตัวอย่างเปลี่ยนเป็นสีใส ถ้าหยดฟีนอล์ฟทาลีน อินดิเคเตอร์ลงในตัวอย่างน้ำแล้วไม่เกิดสารละลายสีชมพู แสดงว่าไม่มีสภาพด่างฟีนอล์ฟทาลีน บันทึกปริมาตรกรดซัลฟูริกที่ใช้ในการไทเทรต โดยปกติถ้าค่าพีเอชของตัวอย่างน้ำน้อยกว่า 8.3 จะไม่มีสภาพด่างฟีนอล์ฟทาลีน
3. หยดอินดิเคเตอร์ผสมระหว่างบรอมครีซอลกรีนและเมทิลเรด 3 หยด ลงในตัวอย่างน้ำ ซึ่งได้ทำการหาสภาพด่างฟีนอล์ฟทาลีนแล้ว เขย่าให้เข้ากัน สารละลายตัวอย่างจะเปลี่ยนเป็นสีฟ้า
4. ไทเทรตสารละลายตัวอย่างน้ำด้วยสารละลายมาตรฐานกรดซัลฟูริกเข้มข้น 0.02 นอร์มัล จนกระทั่งสารละลายเปลี่ยนจากสีฟ้าเป็นสีชมพูอมส้มซึ่งเป็นจุดยุติ
5. ค่าสภาพด่าง (มิลลิกรัมต่อลิตร) เท่ากับปริมาตรสารละลายมาตรฐานกรดซัลฟูริกเข้มข้น 0.02 นอร์มัล (มิลลิลิตร) ที่ใช้ในการไทเทรตคูณด้วย 10

2. วิธีวิเคราะห์ความกระด้าง (Hardness)

1. ตวงตัวอย่างน้ำ 25 มิลลิลิตร ใส่ขวดรูปกรวย ขนาด 250 มิลลิลิตร เติมน้ำกลั่นให้มีปริมาตร 50 มิลลิลิตร เขย่าให้เข้ากัน
2. เติมสารละลายบัฟเฟอร์ 1-2 มิลลิลิตรในน้ำตัวอย่าง เขย่าให้เข้ากัน
3. เติมสารละลายอีรีโอโครม แบลค ที อินดิเคเตอร์ 1-2 หยด แล้วเขย่าให้เข้ากัน สารละลายตัวอย่างจะเป็นสีม่วงแดง

4. ไตรเตตรสารละลายตัวอย่างด้วยสารละลายมาตรฐานอีดีทีเอ 0.01 โมลาร์ โดยค่อย ๆ เติมอย่างช้า ๆ สีจะค่อย ๆ เปลี่ยนจากสีม่วงแดงเป็นสีม่วงและจะค่อย ๆ เข้มขึ้นซึ่งแสดงว่าใกล้ถึงจุดยุติ จึงค่อยเติมทีละหยดจนถึงจุดยุติ สีสารละลายตัวอย่างจะเปลี่ยนเป็นสีน้ำเงิน

5. ค่าความกระด้าง (มิลลิกรัมต่อลิตร) เท่ากับปริมาตรของสารละลายมาตรฐานอีดีทีเอ 0.01 โมลาร์ (มิลลิลิตร) ที่ใช้ในการไตเตรตคูณด้วย 20

3. วิธีวิเคราะห์ออกซิเจนละลาย (Dissolved oxygen)

1. เติมตัวอย่างน้ำที่จะวิเคราะห์ในขวดบีโอดี ขนาด 300 มิลลิลิตร ให้เต็มโดยใช้วิธีกลักน้ำช้า ๆ และปล่อยน้ำให้ล้นพ้นคอขวดออกมาสักพัก ระวังไม่ให้มีฟองอากาศ ถ้าเก็บตัวอย่างบริเวณผิวน้ำให้คว่ำขวดบีโอดีแล้วกดให้จมลงใต้น้ำค่อย ๆ เอียงขวดขึ้นให้น้ำไหลเข้าขวดแทนที่อากาศจนเต็มขวด ยกขึ้นเหนือผิวน้ำ

2. เติมสารละลายแมงกานีสซัลเฟต 1.5 มิลลิลิตร และสารละลายอัลคาไล-ไฮโดรไคด์-ไฮไซค์ 1.5 มิลลิลิตร โดยให้ปลายปิเปตอยู่ใต้ผิวของตัวอย่างน้ำในขวดบีโอดี

3. ปิดจุกขวด ระวังอย่าให้มีฟองอากาศ เขย่าอย่างแรงโดยการกลับขวดไปมาประมาณ 15 ครั้ง จะเกิดตะกอนสีน้ำตาลปล่อยให้ตกตะกอน (ถ้าเกิดตะกอนสีขาวแสดงว่าตัวอย่างน้ำไม่มีออกซิเจนละลาย)

4. เปิดจุกขวดออกแล้วเติมกรดซัลฟูริกเข้มข้น 2 มิลลิลิตร โดยปล่อยให้กรดค่อย ๆ ไหลลงไปตามข้างคอขวดโดยให้ปลายปิเปตอยู่เหนือผิวน้ำ แล้วปิดจุกเขย่าให้เข้ากันโดยการกลับขวดไปมาจนกระทั่งตะกอนละลายหมด ตั้งทิ้งไว้ 5 นาที ก่อนนำไปไตเตรต สารละลายนี้จะเก็บไว้ได้นาน 2 ชั่วโมง

5. ตวงสารละลายตัวอย่าง 200 มิลลิลิตร ใส่ขวดรูปกรวยขนาด 250 มิลลิลิตร เพื่อนำไปไตเตรต

6. ไตเตรตสารละลายตัวอย่างด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 0.025 นอร์มัล จนกระทั่งสารละลายเปลี่ยนสีจากสีเหลืองเข้มเป็นสีเหลืองจาง (สีฟางข้าว) เติมน้ำแปป 1 มิลลิลิตร เขย่าให้เข้ากันจะได้สารละลายสีน้ำเงินเข้ม ไตเตรตต่อไปจนสารละลายเปลี่ยนจากสีน้ำเงินเป็นใส ไม่มีสีซึ่งเป็นจุดยุติ

7. ปริมาณออกซิเจนละลาย (มิลลิกรัมต่อลิตร) เท่ากับปริมาตรสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (มิลลิลิตร) ที่ใช้ในการไตเตรต

4. วิธีวิเคราะห์แอมโมเนียรวม (Total ammonia)

1. ตวงตัวอย่างน้ำ 50 มิลลิลิตร และน้ำกลั่นอย่างเดียบบรรจุในขวด ขนาด 100 มิลลิลิตร
2. เติมสารละลายฟีนอลรีเอเจนท์ 2 มิลลิลิตร เขย่าให้เข้ากัน
3. เติมสารละลายโซเดียมไนโตรพลัสไซด์ 2 มิลลิลิตร เขย่าให้เข้ากัน
4. เติมสารละลายออกซิไดซ์ซิงรีเอเจนท์ 5 มิลลิลิตร เขย่าให้เข้ากัน
5. วางสารละลายตัวอย่างน้ำไว้ให้พัฒนาเกิดสีเต็มที่ ภายใน 1-24 ชั่วโมง สารละลายเป็นสีน้ำเงิน
6. วัดค่าการดูดกลืนแสงที่ 640 นาโนเมตร ด้วยเครื่อง Spectrophotometer โดยปรับค่าการดูดกลืนแสงของเครื่องด้วยน้ำกลั่นที่เติมสารเคมี (ตามข้อ 2.-4.) ให้เท่ากับศูนย์ก่อนการวัดตัวอย่างน้ำในแต่ละความเข้มข้น
7. เทียบค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายตัวอย่างน้ำกับกราฟมาตรฐาน ได้ค่าความเข้มข้นของแอมโมเนีย (มิลลิกรัมต่อลิตร)

ตารางผนวกที่ 1 คุณภาพน้ำในอุปกรณ์เพาะฟักไข่แบบกรวยแมคโดแนลระบบน้ำหมุนเวียน
 ดันแบบและอุปกรณ์เพาะฟักไข่แบบโรตารีแรงระบบน้ำหมุนเวียน ที่ระดับความ
 หนาแน่น 2,500 ฟอง/หน่วยทดลอง

คุณภาพน้ำ	ระบบฟักไข่	ชั่วโมง					เฉลี่ย
		0	6	12	18	24	
Temperature (°C)	กรวยแมค						
	โดแนล	27	30	28	28	29	28.4
	ตะแกรง ฟักไข่	29	31	29	28	30	29.4
pH (Unit)	กรวยแมค						
	โดแนล	8.0	8.1	8.2	8.2	8.2	8.14
	ตะแกรง ฟักไข่	8.0	8.1	8.1	8.3	8.3	8.16
DO (mg./l.)	กรวยแมค						
	โดแนล	4.5	4.6	4.0	3.8	3.3	4.04
	ตะแกรง ฟักไข่	4.4	4.5	6.7	3.6	3.4	4.52
Alkalinity (mg./l.)	กรวยแมค						
	โดแนล	50	70	80	70	110	76
	ตะแกรง ฟักไข่	50	40	48	80	90	61.6
Hardness (mg./l.)	กรวยแมค						
	โดแนล	44	54	56	52	48	50.8
	ตะแกรง ฟักไข่	40	40	44	52	44	44
Ammonia (mg./l.)	กรวยแมค						
	โดแนล	nd	.007	.031	.034	.065	.027
	ตะแกรง ฟักไข่	nd	nd	nd	nd	nd	nd

ตารางผนวกที่ 2 คุณภาพน้ำในอุปกรณ์เพาะปลูกไข่แบบกรวยแมคโดแนลระบบน้ำหมุนเวียน
 ดินแบบและอุปกรณ์เพาะปลูกไข่แบบโรยตะแกรงระบบน้ำหมุนเวียน ที่ระดับความ
 หนาแน่น 5,000 ฟอง/หน่วยทดลอง

คุณภาพน้ำ	ระบบปลูกไข่	ชั่วโมง					เฉลี่ย
		0	6	12	18	24	
Temperature (°C)	กรวยแมค						
	โดแนล	29	30	29	29	29	29.2
	ตะแกรง						
pH (Unit)	ปลูกไข่	29	30	29	29	29	29.2
	กรวยแมค						
	โดแนล	8.2	8.3	8.2	8.1	8.2	8.18
DO (mg./l.)	ตะแกรง						
	ปลูกไข่	8.1	8.3	8.2	8.1	8.1	8.16
	กรวยแมค						
Alkalinity (mg./l.)	โดแนล	8.0	7.0	7.0	6.4	6.2	6.92
	ตะแกรง						
	ปลูกไข่	7.8	6.8	7.4	6.4	6.4	6.96
Hardness (mg./l.)	กรวยแมค						
	โดแนล	80	80	70	70	64	72.8
	ตะแกรง						
Ammonia (mg./l.)	ปลูกไข่	80	80	70	60	56	69.2
	กรวยแมค						
	โดแนล	50	48	48	42	42	46
	ตะแกรง						
	ปลูกไข่	66	42	48	42	42	48
	กรวยแมค						
	โดแนล	.003	.036	.003	.128	.508	.136
	ตะแกรง						
	ปลูกไข่	nd	nd	nd	.033	.244	.055

ตารางผนวกที่ 3 ค่าเฉลี่ยพารามิเตอร์คุณภาพน้ำในอุปกรณ์เพาะปลูกไข่แบบกรวยแมคโดแนระบบ
น้ำหมุนเวียนต้นแบบที่ใช้น้ำฟักไข่มีความกระด้าง 80 120 และ 160 มก./ล.
ตามลำดับ

พารามิเตอร์	ความ กระด้าง (มก./ล.)	ชั่วโมง					เฉลี่ย	สัมประสิทธิ์ ความ แปรปรวน (%)
		0	6	12	18	24		
อุณหภูมิ (°ซ)	80	28.5	29.8	29.8	28.3	28.0	28.88±0.86	2.98
	120	28.2	29.4	29.2	28.4	28.6	28.76±0.52	1.81
	160	29.1	29.5	29.0	28.5	28.9	29.00±0.36	1.24
ความเป็น กรดเป็นด่าง (หน่วย)	80	8.02	7.17	7.90	7.78	7.79	7.73±0.33	4.27
	120	8.25	8.53	8.52	8.33	8.34	8.39±0.12	1.43
	160	8.18	8.01	7.95	7.70	7.99	7.97±0.17	2.13
ออกซิเจน (มก./ล.)	80	8.2	7.4	8.8	5.8	6.0	7.24±1.32	18.23
	120	7.8	7.6	7.6	7.6	7.2	7.56±0.22	2.91
	160	7.6	7.2	6.2	5.4	7.0	6.68±0.88	13.17
สภาพด่าง (มก./ล.)	80	74	54	62	90	72	70.40±13.59	19.30
	120	154	152	156	176	146	156.80±11.37	7.25
	160	62	72	84	82	74	74.80±8.79	11.75
ความ กระด้าง (มก./ล.)	80	90	68	62	64	100	76.80±17.12	22.29
	120	116	110	106	126	104	112.40±8.88	7.90
	160	140	134	188	188	174	164.80±26.10	15.83
แอมโมเนีย ทั้งหมด (มก./ล.)	80	.0576	.0486	.0704	.3210	.8029	0.2600±0.32	123.07
	120	.0601	.0041	.0267	.3197	.4148	0.1634±0.19	116.28
	160	.1642	.1912	.2773	.9262	.8620	0.4842±0.38	78.47

ตารางผนวกที่ 4 คุณภาพน้ำในอุปกรณ์เพาะฟักไข่แบบกรวยแมคโดแนลระบบน้ำหมุนเวียน
 ดันแบบ จากการฟักไข่ปลาอุกอยู่ที่ความหนาแน่น 5,000 7,500 และ 10,000
 ฟอง/ลิตร จำนวน 3 ชั่วโมง

คุณภาพน้ำ	ชั่วโมงที่					เฉลี่ย
	0	6	12	18	24	
Temperature (°C)	28.2	30.4	28.7	28.0	26.8	28.42
pH (Unit)	7.61	7.54	7.73	7.10	7.40	7.48
DO (mg./l.)	7.6	7.0	7.6	7.4	8.2	7.56
Alkalinity (mg./l.)	80	100	82	80	80	84.40
Hardness (mg./l.)	128	124	116	126	124	123.60
Ammonia (mg./l.)	0.095	0.009	0.013	0.171	0.272	0.112

ตารางผนวกที่ 5 คุณภาพน้ำในอุปกรณ์เพาะปลูกไข่แบบกรวยแมคโดแนลระบบน้ำหมุนเวียน
แบบพัฒนา จากการปลูกไข่ที่ความหนาแน่น 10,000 15,000 และ 20,000
ฟอง/ลิตร จำนวน 3 ซ้ำ

คุณภาพน้ำ	ชั่วโมงที่					เฉลี่ย
	0	6	12	18	24	
Temperature (°C)	26.4	28.2	27.7	25.8	26.4	26.9
pH (Unit)	7.65	7.71	7.36	7.50	7.71	7.59
DO (mg./l.)	7.6	7.8	7.2	7.2	8.2	7.6
Alkalinity (mg./l.)	92	90	98	88	90	91.6
Hardness (mg./l.)	128	126	110	126	122	122.4
Ammonia (mg./l.)	.027	.031	.028	.076	.474	0.127

ตารางผนวกที่ 6 คุณภาพน้ำในอุปกรณ์เพาะฟักไข่แบบกรวยแมคโดแนลระบบน้ำหมุนเวียน
แบบพัฒนา จากการฟักไข่ที่ความหนาแน่น 10,000 20,000 และ 30,000
ฟอง/ลิตร จำนวน 3 ชั่วโมง

คุณภาพน้ำ	ชั่วโมงที่					เฉลี่ย
	0	6	12	18	24	
Temperature (°C)	28.6	31.1	30.1	28.2	29.8	29.6
pH (Unit)	8.18	8.09	7.54	7.61	7.76	7.84
DO (mg./l.)	6.8	6.6	4.6	5.2	5.0	5.64
Alkalinity (mg./l.)	88	94	105	111	108	101.2
Hardness (mg./l.)	120	123	119	115	127	120.8
Ammonia (mg./l.)	nd	nd	.298	.305	.301	0.181

ประวัติการศึกษาและการทำงาน

ชื่อ-สกุล	นางจิรภรณ์ มีศรี
เกิดเมื่อ	12 มิถุนายน 2515
ประวัติการศึกษา	พ.ศ. 2533 มัธยมศึกษาตอนปลาย โรงเรียนเบญจมราชูทิศ จังหวัดนครศรีธรรมราช พ.ศ. 2538 ปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต (เพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ) คณะประมง มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
ประวัติการทำงาน	พ.ศ. 2540-2545 นักวิชาการประมง 3-5 ศูนย์พัฒนาประมงน้ำจืดสุราษฎร์ธานี ตำบลท่าข้าม อำเภอพุนพิน จังหวัดสุราษฎร์ธานี พ.ศ. 2545-2547 นักวิชาการประมง 5 ศูนย์วิจัยและพัฒนาประมงน้ำจืดพัทลุง ตำบลลำปำ อำเภอเมือง จังหวัดพัทลุง พ.ศ. 2547-2548 นักวิชาการประมง 5 ศูนย์วิจัยและพัฒนาประมงน้ำจืดระยอง ตำบลแม่ น้ำคู อำเภอปลวกแดง จังหวัดระยอง พ.ศ. 2548-2552 นักวิชาการประมง 6 ว. ศูนย์วิจัยและพัฒนาประมงน้ำจืดชลบุรี ตำบลบางพระ อำเภอสัตร์ราชา จังหวัดชลบุรี พ.ศ. 2552-2555 นักวิชาการประมงชำนาญการ สำนักงานประมงจังหวัดสมุทรปราการ ตำบลท้ายบ้าน อำเภอเมือง จังหวัดสมุทรปราการ