วารสารวิทยาศาสตร์บูรพา ปีที่ 26 (ฉบับที่ 3) กันยายน – ธันวาคม พ.ศ. 2564
BURAPHA SCIENCE JOURNAL Volume 26 (No.3) September – December 2021

ประสิทธิภาพการว่ายน้ำและอัตราการบริโภคออกซิเจนของปลากะพงขาว (*Lates calcarifer*) ขนาดเล็กที่ระดับความเร็วน้ำที่ต่างกัน

Swimming Performance and Oxygen Consumption Rate of Juvenile Asian Seabass (*Lates calcarifer*) at Different Water Velocities

สุธาทิพย์ คงทน, รุ่งพฤทธิ์ จงเจริญสุข และ วราห์ เทพาหุดี*

Suthathip Khongthon, Roongparit Jongjaroensuk and Wara Taparhudee*

ภาควิชาเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ คณะประมง มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

Aquaculture Department, Faculty of Fisheries, Kasetsart University

Received : 21 December 2020

Revised : 4 February 2021

Accepted : 25 February 2021

บทคัดย่อ

การศึกษาในครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อหาความเร็วที่เหมาะสมต่อประสิทธิภาพการว่ายน้ำและการบริโภคออกซิเจนของปลากะพงขาวขนาดลงกระชัง (ขนาดความยาว 16.07 ± 0.67 เซนติเมตร, น้ำหนัก 56.4 ± 3.11 กรัม) ในความเร็วของน้ำที่แตกต่างกัน (0, 8, 16, 24 และ 32 เซนติเมตร/วินาที) โดยใช้ท่อวัดการหายใจ (Respiration tube) ที่ดัดแปลงจาก Brett's style (1964) ซึ่งการทดสอบประสิทธิภาพการว่ายน้ำจะทดสอบด้วยวิธีการวัดความเร็วว่ายน้ำวิกฤต (Critical swimming speed, U_{crit1} and U_{crit2}) และวิธีวัดประสิทธิภาพความอดทนในการว่ายน้ำ (Endurance performance) เริ่มต้นการทดลอง U_{crit1} โดยนำปลาใส่ลงในท่อโดยปราศจากการไหลของน้ำ (0 เซนติเมตร/วินาที) เป็นเวลาอย่างน้อย 30 นาที จากนั้นเพิ่มความเร็วของน้ำเป็น 8 เซนติเมตร/วินาที เป็นเวลา 20 นาที และเพิ่มความเร็วครั้งละ 8 เซนติเมตร/วินาที ทุก ๆ 10 นาที จนกว่าปลาไม่สามารถว่ายน้ำต่อไปได้และไหลไปติดตะแกรงด้านท้ายของท่อ จากนั้นนำปลามาทดสอบ U_{crit2} ที่ ความเร็วน้ำ 10 เซนติเมตร/วินาที เป็นเวลา 60 นาที และเพิ่มความเร็วเป็น 16 เซนติเมตร/วินาทีแล้วจึงเพิ่มความเร็วครั้งละ 8 เซนติเมตร/วินาที ทุก ๆ 10 นาที จนกว่าปลาจะไหลไปติดด้านท้ายของท่อ ดังเช่นวิธีการ U_{crit1} ที่กล่าวมาก่อนหน้า หลังจากนั้นทำการทดสอบประสิทธิภาพความอดทนในการว่ายน้ำโดยใช้ความเร็วตั้งต้นเฉลี่ยจาก U_{crit1} และ U_{crit2} เป็นเวลา 60 นาที ผลการศึกษาพบว่าปลากะพงขาวขนาดเล็ก มีประสิทธิภาพการว่ายน้ำ (U_{crit1}, U_{crit2} และ Endurance) เท่ากับ 56.43 เซนติเมตร/วินาที, 57.23 เซนติเมตร/วินาที และ 33.2 เซนติเมตร/วินาที ตามลำดับ สำหรับการศึกษาอัตราการบริโภคออกซิเจนพบว่าเมื่อน้ำปราศจากความเร็ว (ความเร็ว 0 เซนติเมตร/วินาที) ค่าอัตราการบริโภคออกซิเจนของปลากะพงขาวคือ 8.1 ± 3.4 มิลลิกรัมออกซิเจน/กิโลกรัม/ชั่วโมง ซึ่งมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับที่ระดับความเร็วน้ำ 8, 16, 24 และ 32 เซนติเมตร/วินาที ซึ่งมีค่าเท่ากับ 62.6 ± 1.6, 65.7 ± 4.3, 68.3 ± 13.2 และ 72.9 ± 1.3 มิลลิกรัมออกซิเจน/กิโลกรัม/ชั่วโมง ตามลำดับ

คำสำคัญ : ปลากะพงขาว; การบริโภคออกซิเจน; ประสิทธิภาพการว่ายน้ำ

Abstract

This study aims to determine an optimal water velocity on swimming performance of juvenile Asian seabass (16.07 ± 0.67 cm total length and 56.4 ± 3.11 g body weight) and oxygen consumption rate at different water velocities (0, 8, 16, 24 and 32 cm/s). The experiment was done in respirometer modified from Brett's style (1964). The swimming performance test was measured by critical swimming speed (U_{crit1} and U_{crit2}) method and endurance performance method. The U_{crit1} test, each fish was transferred into the respirometer without flow (0 cm/s) of 30 minutes, and then subjected to a flow of 8 cm/s for 20 minutes. Then the water velocity was increased by 8 cm/s every 10 minutes until the fish was not able to swim and it was pushed back to the end of the pipe. The U_{crit2} test was carried out on the fish in the respirometer with the water velocity of 10 cm/s in 60 minutes and then, increase the water velocity of 16 cm/s and increased at 8 cm/s every 10 minutes as U_{crit1} method mentioned earlier. After that the endurance performance test was performed using the water velocity starting from average of U_{crit1} and U_{crit2} results for 60 minutes. The results of swimming performance (U_{crit1}, U_{crit2} and endurance) in the juvenile Asian seabass were 56.43 cm/s, 57.23 cm/s and 33.2 cm/s, respectively. An average oxygen consumption rate of juvenile Asian seabass at 0 cm/s was 8.1±3.4 mgO_2/kg/hr that differed significantly ($P<0.05$) compared with of water velocity at 8, 16, 24 and 32 cm/s, which the oxygen consumption rates were 62.6±1.6, 65.7±4.3, 68.3±13.2 and 72.9±1.3 mgO_2/kg/hr, respectively.

Keywords : *Lates calcarifer* ; oxygen consumption ; swimming performance

***Corresponding author. E-mail** : ffiswrt@ku.ac.th

บทนำ

ปลากะพงขาวเป็นปลาน้ำกร่อยขนาดใหญ่ มีชื่อวิทยาศาสตร์ว่า *Lates calcarifer* และชื่อสามัญคือ Asian sea bass หรือ Barramundi เป็นสายพันธุ์พื้นเมืองของไทยพบแพร่กระจายในแถบอินโดแปซิฟิกจากทะเลแดงถึงจีน ไต้หวัน ปาปัวนิวกินี และ ออสเตรเลียทางตอนเหนือ (Food and Agriculture Organization, 2017; Joerakate *et al*., 2018) สำหรับประเทศไทยพบปลากะพงขาวอยู่บริเวณอ่าวไทยและฝั่งอันดามันจะอาศัยในแหล่งน้ำที่ไม่ห่างจากชายฝั่งมากนัก โดยอาศัยอยู่ตามปากแม่น้ำลำคลองและปากทะเลสาบ ในด้านผลผลิตปลากะพงขาวนั้นประเทศไทยเป็นลำดับต้น ๆ ของทั้งการผลิตปลานิ้ว (fingerlings) และปลาขนาดตลาด (marketable size) ทั้งในการจำหน่ายในประเทศและการส่งออก เช่น จีน มาเลเซีย สิงคโปร์ และ ไต้หวัน (Senanan *et al*., 2015) ซึ่งในช่วงทศวรรษที่ผ่านมาพบว่าผลผลิตปลากะพงขาวเพิ่มขึ้นจาก 17,400 ตัน ในปี 2010 (Department of Fisheries, 2016) เป็น 20,500 ตัน ในปี 2017 (Department of Fisheries, 2019) ซึ่งมีมูลค่าเพิ่มขึ้นจาก 2,025.5 ล้านบาท เป็น 2,638 ล้านบาท ตามลำดับ ปลากะพงขาวถือเป็นสายพันธุ์สัตว์น้ำที่มีศักยภาพมากเนื่องจากสามารถเลี้ยงได้ทั้งในทะเล น้ำกร่อยและพื้นที่น้ำจืดทั้งในบ่อดินและในกระชัง อย่างไรก็ตามการเลี้ยงปลากะพงในแหล่งน้ำธรรมชาติปัจจุบันประสบปัญหาหลายอย่างเช่น ปัญหาการปล่อยน้ำเสียจากแหล่งชุมชนและโรงงาน (Sae-chew & Pornpinatepong, 1998) จากปัญหาดังกล่าวทำให้เกษตรกรหันมาเลี้ยงปลากะพงในบ่อดินมากขึ้น แต่สำหรับบ่อดินในช่วงที่เป็นปลาวัยอ่อน ปลานิ้ว และปลาในระยะวัยรุ่นพบว่าปัญหาเกิดปัญหาปลากินกันเอง (Cannibalism) จากความต่างขนาดเนื่องจากการได้รับอาหารไม่ทั่วถึง (Madrones-Ladja & Catacutan, 2012) จึงมีการพัฒนาการเลี้ยงในกระชังในบ่อดินเกิดขึ้น ซึ่งในประเทศไทยเองก็ได้รับความนิยมอย่างแพร่หลายทั้งการอนุบาล (nursery) และการเลี้ยงเพื่อให้ได้ขนาดตลาด (grow out) ระบบการเลี้ยงปลากะพงขาวในกระชังในบ่อดินในทางปฏิบัติเกษตรกรจะมีการติดตั้งระบบการเติมอากาศซึ่งจะนิยมใช้หัวทรายสำหรับบ่อขนาดเล็ก และใช้ใบพัดตีน้ำ (paddle wheel) สำหรับบ่อขนาดใหญ่ เนื่องจากใบพัดตีน้ำสามารถพัดพาของเสียในกระชังได้ดีกว่าหัวทราย อย่างไรก็ตามความเร็วกระแสน้ำจะมีผลต่อความต้องการออกซิเจน (oxygen demand) ของปลากะพงซึ่งเป็นปัจจัยหลักในกระบวนการเมตาบอลิซึม (Withers,1992) โดยอัตราการบริโภคออกซิเจน (oxygen consumption) ของปลาแตกต่างกันออกไปตามชนิด ขนาด สภาวะการเคลื่อนที่ สภาวะโภชนาการของตัวปลาและความแตกต่างตามปัจจัยสิ่งแวดล้อมอื่น ๆ เช่น อุณหภูมิ pH เป็นต้น (Moss & Scott,1964) ยิ่งไปกว่านี้ อัตราการบริโภคออกซิเจนของปลาที่อยู่ในสภาวะเคลื่อนที่ (movement) จะสูงกว่าที่อยู่ในสภาวะพักตัว (resting) และถ้าปลามีการเคลื่อนที่ ที่เร็วขึ้นปลาจะมีการบริโภคออกซิเจนมากขึ้น เช่น ปลานิลที่ว่ายน้ำด้วยความเร็ว 30 เซนติเมตร/วินาที ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียสมีอัตราการบริโภคออกซิเจนประมาณ 220 มิลลิกรัมออกซิเจน/กิโลกรัม/ชั่วโมง และมีอัตราการบริโภคออกซิเจนเพิ่มเป็น 460 มิลลิกรัมออกซิเจน/กิโลกรัม/ชั่วโมง เมื่อปลาว่ายน้ำด้วยความเร็ว 60 เซนติเมตร/วินาที (Farmer & Beamish,1969) และ Is-haak (2018) รายงานว่าปลานิลแดงขนาดเล็ก (100-199 กรัม) การบริโภคออกซิเจนของปลาจะเพิ่มมากขึ้นเมื่อความเร็วเพิ่มขึ้น และประสิทธิภาพการบริโภคออกซิเจนดีที่สุดที่ความเร็วกระแสน้ำ 20 เซนติเมตร/วินาที นอกจากนี้จากรายงานของ Carbonara *et al.* (2006) กล่าวว่าความเร็วน้ำที่มีเหมาะสมมีผลต่อความเป็นอยู่ที่ดี (welfare) และการเจริญเติบโตของปลาในกลุ่ม sea bass การวัดประสิทธิภาพการว่ายน้ำของปลา เช่น การวัดความเร็วว่ายน้ำวิกฤต (critical swimming speed) การวัดประสิทธิภาพความอดทนในการว่ายน้ำ (endurance) สามารถนำมาเป็นบ่งสิ่งชี้สวัสดิภาพความเป็นอยู่ที่ดีของปลา

ในฟาร์มได้ (Cabonara *et al*., 2006)และกระบวนการเมตาบอลิซึมของปลาจะสูงหรือต่ำขึ้นกับสิ่งแวดล้อม และกิจกรรมต่าง ๆ ซึ่งสามารถวัดได้จากการวัดอัตราการบริโภคออกซิเจนซึ่งเป็นความต้องการขั้นต้นของปลา (Brett & Malene, 2006) อย่างไรก็ตาม ผลของความเร็วน้ำต่ออัตราการบริโภคออกซิเจนในปลากะพงขาวยังไม่เคยมีการศึกษา จึงเป็นที่มาในการศึกษาในครั้งนี้เพื่อที่จะหาความเร็วของกระแสน้ำที่เหมาะสมต่อประสิทธิภาพการว่ายน้ำและการบริโภคออกซิเจน ของปลากะพงขาว องค์ประกอบของบทความควรประกอบด้วยส่วนต่าง ๆ ตามลำดับต่อไปนี้

วิธีดำเนินการวิจัย

1. สถานที่และการปรับสภาพสัตว์ทดลอง

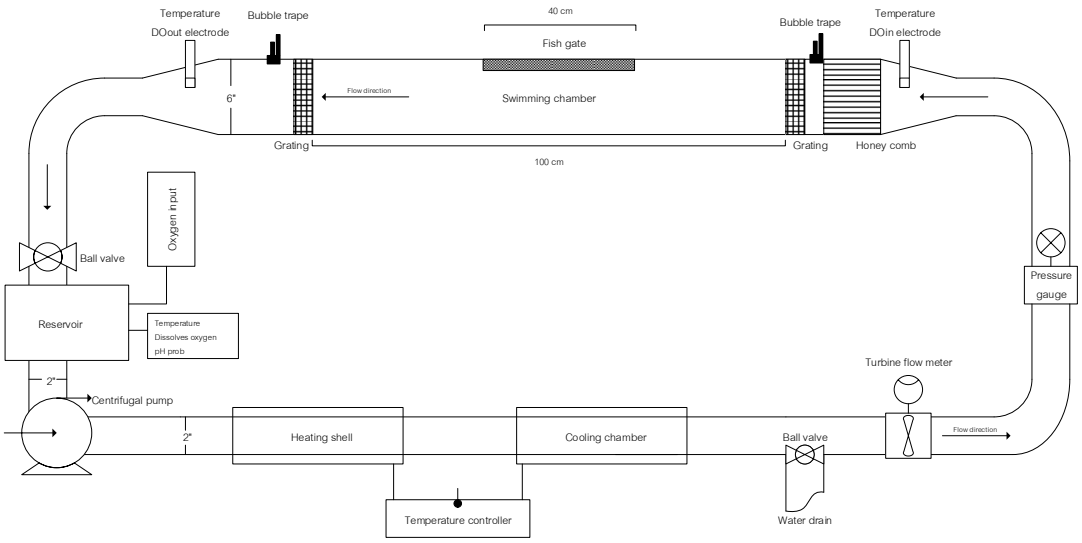
นำปลากะพงขาวขนาดลงกระชัง (ความยาวเฉลี่ย 15.2 เซนติเมตร น้ำหนักเฉลี่ย 56.4 กรัม) จากภูมิพัฒน์ฟาร์ม จังหวัดปทุมธานี จำนวน 100 ตัว มาปรับสภาพในถังไฟเบอร์กลาสขนาด 500 ลิตร เลี้ยงด้วยน้ำจืดในระบบน้ำไหลผ่านตลอดที่อัตราการไหลของน้ำ 0.1 ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที และมีการให้อากาศโดยใช้หัวทราย 3-4 หัว ระหว่างการเลี้ยงทำการให้อาหารชนิดเม็ดลอยน้ำโปรตีนไม่น้อยกว่า 42% จำนวน 2 มื้อต่อวัน คือเวลา 9.00 น. และ 16.00 น. โดยวิธีการให้จนกว่าจะอิ่ม (situation) รักษาคุณภาพน้ำให้เหมาะกับการเลี้ยงปลากะพงขาวคือ ปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำ (dissolved oxygen; DO), อุณหภูมิน้ำ (water temperature), pH, แอมโมเนียรวม (total ammonia; TAN), ไนไตร์ท-ไนโตรเจน (nitrite-nitrogen; NO_2^--N) ที่ระดับ >3 มิลลิกรัมต่อลิตร, 25-32 องศาเซลเซียส, 7.5-8.5, <1 มิลลิกรัมต่อลิตร, <0.1 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ โดยวัดคุณภาพน้ำสัปดาห์ละ 1 ครั้งเป็นเวลา 2 สัปดาห์ ในโรงเรือนเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำจืด ภาควิชาเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ คณะประมง มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตบางเขน

2. การออกแบบ respirometer เพื่อทดสอบประสิทธิภาพการว่ายน้ำ (swimming performance) และอัตราการบริโภคออกซิเจน (oxygen consumption rate) ที่ระดับความเร็วต่าง ๆ

อุปกรณ์สำหรับทดสอบประสิทธิภาพการว่ายน้ำและอัตราการบริโภคออกซิเจนได้รับการออกแบบโดยดัดแปลงจาก Brett's respirometer (1964) ประกอบด้วย 2 ส่วน ได้แก่ ท่อสำหรับปลาว่ายน้ำ (swimming chamber) และส่วนระบบหมุนเวียนน้ำ (water recirculating system) ดังนี้ (ภาพที่ 1)

ส่วนที่ 1 ท่อสำหรับปลาว่ายน้ำ (swimming chamber) สำหรับใส่ปลาและการสังเกตพฤติกรรมของปลาโดยมีขนาดความยาว 100 เซนติเมตร เส้นผ่านศูนย์กลาง 20.32 เซนติเมตร (8 นิ้ว) ภายในประกอบด้วย ตาข่ายด้านหน้าและด้านท้ายเพื่อป้องกันไม่ให้ปลาหลุดออก ช่องเปิดปิดด้านบน (fish gate) สำหรับใส่ปลาลงในท่อและ bubble trap สำหรับกำจัดฟองอากาศภายในท่อ

ส่วนที่ 2 ส่วนระบบหมุนเวียนน้ำ (water recirculating system) ประกอบด้วย ถังพักน้ำขนาด 3000 ลิตร, ปั๊มน้ำขนาด 3 แรงม้า, อุปกรณ์ควบคุมอุณหภูมิ (temperature controller), ท่อน้ำล้น (water drain), อุปกรณ์วัดการไหลของน้ำ (turbine flow meter) และ อุปกรณ์วัดความดันในท่อ (pressure gauge)



ภาพที่ 1 Respirometer เพื่อทดสอบประสิทธิภาพการว่ายน้ำและอัตราการบริโภคออกซิเจน
ดัดแปลงจาก Brett's respirometer (1964)

3. การทดสอบประสิทธิภาพการว่ายน้ำ (swimming performance)

การทดสอบประสิทธิภาพการว่ายน้ำโดยวิธีการวัดความเร็วว่ายน้ำวิกฤต (Critical swimming speed) และ วิธีวัดประสิทธิภาพความอดทนในการว่ายน้ำ (Endurance)

1. ทดสอบประสิทธิภาพในการว่ายน้ำวิกฤต (critical swimming speed; U_{crit}) ก่อนทำการทดลองจะงดอาหารสัตว์ทดลองเป็นเวลา 24 ชั่วโมง เพื่อให้แน่ใจว่าสารอาหารได้ถูกดูดซึมจากลำไส้เล็กไปแล้ว (McFarlane *et al*., 2004) จากนั้นทดสอบประสิทธิภาพการว่ายน้ำโดยวิธีการ U_{crit} (Brett, 1964) ทำการใส่ปลาลงในท่อทำการทดสอบครั้งละ 1 ตัว ทำการทดลองทั้งหมด 5 ซ้ำ เริ่มต้นนำสัตว์ทดลองใส่ลงในท่อที่ปราศจากความเร็วของน้ำ (0 เซนติเมตร/วินาที) เป็นเวลาอย่างน้อย 30 นาที เพื่อให้สัตว์ทดลองปรับสภาพให้คุ้นชินกับสภาพแวดล้อมในท่อ (acclimation tube time) จากนั้นเพิ่มความเร็วของน้ำเป็น 8 เซนติเมตร/วินาที (คำนวณจากความยาวลำตัวตามแบบของ Brett (1964)) เป็นเวลา 20 นาที เพื่อให้สัตว์ทดลองคุ้นชินกับสภาพที่มีความเร็วน้ำ (acclimation flow time) เพิ่มความเร็วครั้งละ 8 เซนติเมตร/วินาที ทุก ๆ 10 นาที และคอยสังเกตการว่ายน้ำของปลา หากปลาเกิดอาการเหนื่อยล้า (fatigue) โดยสังเกตจากการว่ายน้ำไปติดตะแกรงด้านท้ายของท่อมากกว่า 5 วินาที ทำการบันทึกค่าความเร็วแล้วนำค่าที่ได้มาคำนวณหาค่า U_{crit1} จากสมการ (1) (Brett, 1964)

ปลาที่ผ่านการทดสอบประสิทธิภาพการว่ายน้ำต้องพักเป็นเวลาอย่างน้อย 2 ชั่วโมง เพื่อลดความเครียด (Peake *et al*., 1997) ก่อนนำปลามาทดสอบ U_{crit2} (การทดสอบซ้ำ) ที่ความเร็วน้ำ 10 เซนติเมตร/วินาที เป็นเวลา 60 นาที แล้วจึงเพิ่มความเร็วให้ได้เป็น 16 เซนติเมตร/วินาที จากนั้นทำการทดสอบเหมือนดังการทดสอบ U_{crit1}

$$U_{crit}=U+[(t/\Delta t) \times u] \quad \text{(เซนติเมตร/วินาที)} \qquad (1)$$

เมื่อ U คือ ความเร็วสุดท้ายก่อนปลาเหนื่อยล้าและไหลติดตะแกรงส่วนท้ายของท่อ (เซนติเมตร/วินาที)

t คือ เวลาที่ผ่านไปในช่วงความเร็วสุดท้าย (5 วินาที)

Δt คือ ระยะเวลาแต่ละช่วงที่เปลี่ยนแปลงความเร็วน้ำ (600 วินาที)

u คือ ความเร็วของน้ำที่เพิ่มขึ้น (เซนติเมตร/วินาที)

2. ศึกษาประสิทธิภาพความอดทนในการว่ายน้ำ (Endurance performance) นำค่าความเร็วน้ำที่ได้จากการทดสอบในข้อที่ 1 มาเฉลี่ยเป็นค่าตั้งต้นในการทดสอบ ในกรณีที่ปลาไม่สามารถว่ายน้ำต่อไปได้ (สังเกตจากการที่ปลาไหลไปติดด้านท้ายของท่อเป็นเวลาเกิน 5 วินาที) ให้ลดความเร็วลงครั้งละ 8 เซนติเมตร/วินาที โดยแต่ละความเร็วใช้เวลา 60 นาที ซึ่งในการทดสอบแต่ละความเร็วจะไม่มีการใช้ปลาซ้ำเพื่อลดความผิดพลาดที่อาจเกิดจากความเหนื่อยล้า โดยใช้ปลาครั้งละ 1 ตัว ทั้งหมด 5 ซ้ำ และเนื่องจากขณะทำการทดลองในท่อนั้นเมื่อมีความเร็วน้ำเข้ามาพื้นที่หน้าตัดของตัวปลาจะเป็นสิ่งที่ทำให้ตัวปลาสร้างความเร็วน้ำได้มากขึ้น ตัวปลาเองจะสร้างให้ความเร็วน้ำเพิ่มขึ้นมากกว่าความเร็วที่วัดได้เกิดเป็นความดันที่แตกต่างกันบริเวณรอบ ๆ ตัวปลา (solid block effect; UF) ผลกระทบนี้จะได้รับการแก้ไขจากการคำนวณดังสมการ (2) และ (3) เมื่อพื้นที่หน้าตัดของตัวปลามากกว่า 10 % ของพื้นที่หน้าตัดของท่อที่นำมาทดสอบ (Bell & Terhune, 1970)

$$UF = UT\,(1+\varepsilon S) \qquad (2)$$

$$\varepsilon S = \tau\lambda\,(A_O/A_T)^{3/2} \qquad (3)$$

เมื่อ UT คือ ความเร็วสูงสุด (Maximum of Endurance)

τ คือ ความยาวเส้นผ่านศูนย์กลางของ respirometer

λ คือ ค่าปัจจัยวัตถุทดสอบ (0.5)

A_o คือ พื้นที่หน้าตัดของวัตถุทดสอบ

A_T พื้นที่หน้าตัดของ respirometer (324.128 ตารางเซนติเมตร)

4. การศึกษาอัตราการบริโภคออกซิเจน (oxygen consumption; VO_2)

หลังจากปรับสภาพปลาให้คุ้นชินกับสภาพแวดล้อมในท่อแล้วจึงเพิ่มความเร็วของน้ำครั้งละ 8 เซนติเมตร/วินาที ทุก ๆ 1 ชั่วโมง โดยความเร็วสุดท้ายจะเร็วไม่เกินความเร็วสูงสุดของการทดสอบ Endurance performance ทำการวัดค่าปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำ (Dissolved oxygen ; DO) โดยใช้ YSL Pro20i meter ที่บริเวณด้านหน้าเป็นค่าออกซิเจนละลายน้ำขาเข้า (DO_{in}) และด้านท้ายเป็นค่าออกซิเจนละลายน้ำขาออก (DO_{out}) ของท่อ หลังจาก 30 min ของการปรับความเร็วน้ำ เนื่องจากออกซิเจนที่ละลายในน้ำจะมีความคงที่ ทำการวัดต่อไปอีกทุก ๆ 10 นาทีจบครบ 60 นาที และนำค่าที่ได้ในแต่ละความเร็วมาคำนวณหาค่าอัตราการบริโภคออกซิเจนดังสมการ (4)

$VO_2 = DO_{in}(mg/l) – DO_{out}(mg/l)/fish\ weight(kg)- flow\ rate(l/h)$ (Grottum & Sigholt, 1998) (4)

เมื่อ DOin คือ ค่าการละลายของออกซิเจนก่อนถูกบริโภค (มิลลิกรัม/ลิตร)

DOout คือ ค่าการละลายของออกซิเจนหลังถูกบริโภค (มิลลิกรัม/ลิตร)

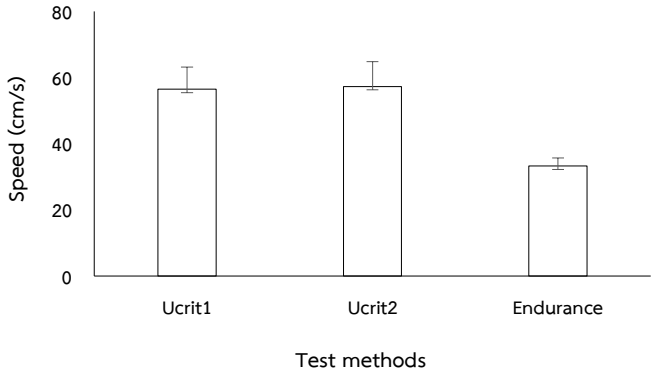
การวิเคราะห์ข้อมูล

นำค่าเฉลี่ยอัตราการบริโภคออกซิเจนที่ระดับความเร็วน้ำต่าง ๆ มาวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบทางเดียว (One-way ANOVA) และวิเคราะห์ความแตกต่างโดยใช้วิธี Duncan's new multiple range test (MRT) ที่ระดับนัยสำคัญ ($P<0.05$) โดยใช้โปรแกรม SPSS (SPSS for Windows v.13.5)

ผลการวิจัย

ประสิทธิภาพการว่ายน้ำ

ผลของความเร็วน้ำต่อประสิทธิภาพการว่ายน้ำของปลากะพงขาว พบประสิทธิภาพสูงสุดในการว่ายน้ำ U_{crit1} และการทดสอบ U_{crit2} มีค่าเฉลี่ยคือ 56.43 เซนติเมตร/วินาที และ 57.23 เซนติเมตร/วินาที ตามลำดับ ได้แสดงไว้ใน ภาพที่ 2 โดยพบว่าค่า U_{crit} จาก U_{crit1} และ U_{crit2} มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 56.8 เซนติเมตร/วินาที และเมื่อนำมาทดสอบความอดทนในการว่ายน้ำพบว่าความเร็วน้ำที่ปลาสามารถว่ายน้ำได้มากกว่า 60 นาที สูงสุดเฉลี่ยที่ 33.2 เซนติเมตร/วินาที แสดงใน ตารางที่ 1



ภาพที่ 2 แสดง U_{crit1}, U_{crit2} และความอดทนในการว่ายน้ำ

ตารางที่ 1 ประสิทธิภาพการว่ายน้ำจากวิธีการทดสอบที่ต่างกัน

Test methods	Speed (cm/s)
U_{crit1}	56.43 ± 6.74
U_{crit2}	57.23 ± 7.59
Endurance	33.23 ± 2.45

อัตราการบริโภคออกซิเจนที่ความเร็วน้ำต่าง ๆ

ในระหว่างการทดสอบอัตราการบริโภคออกซิเจนของปลากะพงในช่วงความเร็วน้ำต่าง ๆ มีการรักษาอุณหภูมิน้ำให้อยู่ในช่วง 28-29 องศาเซลเซียส และปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำเฉลี่ย 7.8 มิลลิกรัม/ลิตร ทำการทดสอบที่ความเร็วน้ำต่างกัน 5 ระดับได้แก่ 0, 8, 16, 24 และ 32 เซนติเมตร/วินาที พบว่าเมื่อความเร็วน้ำเพิ่มสูงขึ้นอัตราการบริโภคออกซิเจนของปลากะพงขาวเพิ่มขึ้นเฉลี่ย 8.1, 62.6, 65.7, 68.3 และ 72.9 มิลลิกรัมออกซิเจน/กิโลกรัม/ชั่วโมง ตามลำดับ โดยน้ำที่ปราศจากความเร็วมีอัตราการบริโภคออกซิเจนต่ำกว่าน้ำที่มีความเร็วต่าง ๆ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) (ตารางที่ 2 และ ภาพที่ 3) และความเร็วน้ำสูงสุดที่ปลาสามารถว่ายน้ำอยู่ได้นั้นพบว่าอัตราการบริโภคออกซิเจนเพิ่มขึ้น 9 เท่าจากอัตราการบริโภคออกซิเจนในน้ำที่ปราศจากความเร็ว

ตารางที่ 2 แสดงอัตราการบริโภคออกซิเจนที่ความเร็วน้ำต่างกัน

Water velocity (cm/s)	Oxygen consumption (mgO_2/kg/hr)
0	8.1 ± 3.4^a
8	62.6 ± 1.6^b
16	65.7 ± 4.3^b
24	68.3 ± 13.2^b
32	72.9 ± 1.3^b

หมายเหตุ : ^{a} และ ^{b} แสดงค่าเฉลี่ยที่มีความแตกต่างทางสถิติ ($P<0.05$)

วิจารณ์ผลการวิจัย

ผลการทดลองแสดงให้เป็นว่าประสิทธิภาพในการว่ายน้ำจากการทดสอบวัดความเร็วว่ายน้ำวิกฤต (U_{crit}) ของปลากะพงขาวขนาดเล็ก (ความยาวเฉลี่ย 15.2 เซนติเมตร) มีค่า U_{crit1} เท่ากับ 56.43 ± 6.74 เซนติเมตร/วินาที และ U_{crit2} เท่ากับ 57.23 ± 7.59 เซนติเมตร/วินาที ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกับความเร็วการว่ายน้ำวิกฤตของปลาไน (*Cyprinus carpio*) ที่มีความยาวลำตัวอยู่ในช่วง 10.0 – 19.8 เซนติเมตรคือประมาณ 50 เซนติเมตรต่อวินาที (Tudorache *et al*., 2007) หรือปลา Siberian sturgeon และ ปลา Chinese sturgeon โดยมีค่า 45.3 และ 46 เซนติเมตรต่อวินาที ซึ่งมีความยาวลำตัวใกล้เคียงกันกับปลากะพงขาวขนาดเล็กคือมีค่าอยู่ระหว่าง 13.9 ± 0.2 และ 9.5-11.4 เซนติเมตร ตามลำดับ (Cai *et al*., 2015, Fang *et al*., 2017) ซึ่งใกล้เคียงกับขนาดของปลากะพงขาวขนาดเล็กในการทดลองครั้งนี้

ในส่วนของการทดสอบความอดทนในการว่ายน้ำของปลากะพงขนาดเล็กพบว่ามีความเร็วสูงสุดเท่ากับ 33.23 ± 2.45 เซนติเมตรต่อวินาที และไม่มีผลกระทบจาก solid block effect เนื่องจากพื้นที่หน้าตัดของตัวปลามีค่าเท่ากับ 5.95 ± 1.00 หรือคิดเป็น 1.84 ± 0.31 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งน้อยกว่า 10 เปอร์เซ็นต์ ของพื้นที่หน้าตัดอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบประสิทธิภาพในการว่ายน้ำ (Bell & Terhune, 1970) ทั้งนี้ความเร็วจากการศึกษาครั้งนี้ใกล้เคียงกับปลาอพยพขนาดเล็ก (ความยาวลำตัว 8-12 เซนติเมตร) ในกลุ่มปลาจีนอย่างเช่น ปลาเฉา (Grass carp) ซึ่งส่วนใหญ่จะมีประสิทธิภาพในการว่ายน้ำเท่ากับ 30 เซนติเมตร

ต่อวินาที (Mu *et al*., 2019) ดังนั้นที่ระดับความเร็วดังกล่าวจึงเป็นระดับความเร็วทีเหมาะสมกับการเลี้ยงปลากะพงขาวขนาดเล็กดังเช่นรายงานของ Brett (1972) ที่ว่าความเร็วของน้ำที่เหมาะสมกับการเลี้ยงปลานั้นไม่ควรเกิน 30 เซนติเมตรต่อวินาที นอกจากนี้การทดลองของ Vandamm *et al*., (2012) ในปลากะพงยุโรป (*Dicentrarchus labrax*) ขนาดความยาว 10-29 เซนติเมตร พบว่าตัวปลามีความเสถียรในกระบวนการ metabolism และมีความเหมาะสมต่อการเจริญเติบโตที่ดีในช่วงความเร็วน้ำประมาณ 14-50 เซนติเมตร/วินาที และ Losordo & Westers (1994) กล่าวว่าความเร็วน้ำที่เหมาะสมต่อระบบกล้ามเนื้อระบบหายใจและสุขภาพของปลาควรมีค่าเท่ากับ 0.5-2.0 เท่าของตัวปลา/วินาที

ผลการศึกษาในครั้งนี้ยังแสดงให้เห็นถึงอัตราการบริโภคออกซิเจนของปลากะพงขาวขนาดเล็กที่ระดับความเร็วน้ำต่าง ๆ โดยเมื่อความเร็วน้ำเพิ่มขึ้นอัตราการบริโภคออกซิเจนก็เพิ่มขึ้นตามโดยเพิ่มขึ้นประมาณ 0.34 เท่าโดยเฉลี่ยของแต่ละระดับความเร็วที่ทำการทดสอบ ซึ่งการบริโภคออกซิเจนในน้ำที่ปราศจากความเร็วคือ 8.1 ± 3.4 มิลลิกรัมออกซิเจน/กิโลกรัม/ชั่วโมง มีค่าใกล้เคียงกับการบริโภคออกซิเจนจากการศึกษาของ Brett & Malene (2006) ที่มีค่าการบริโภคออกซิเจนอยู่ในช่วงประมาณ 7.9 – 14.06 มิลลิกรัมออกซิเจน/ชั่วโมง ส่วนความเร็วสูงสุดของการทดสอบการบริโภคออกซิเจนในการศึกษาครั้งนี้คือ 32 เซนติเมตร/วินาที อัตราการบริโภคออกซิเจนมีค่าเท่ากับ 72.9 ± 1.3 มิลลิกรัมออกซิเจน/กิโลกรัม/ชั่วโมง ซึ่งผลการศึกษานี้มีค่าใกล้เคียงกับการศึกษาการบริโภคออกซิเจนในปลาเทราต์สายรุ้งที่ความเร็วน้ำ 40 cm/s มีอัตราการบริโภคออกซิเจนอยู่ที่ประมาณ 75-83 มิลลิกรัมออกซิเจน/กิโลกรัม/ชั่วโมง (Choi & Weber, 2015) Claireaux *et al*., (2006) กล่าวว่าความเร็วของน้ำมีความเกี่ยวโยงกับอัตราการเผาผลาญ (Metabolic rate) โดยพบว่าเมื่อปลาต้องว่ายน้ำในระดับความเร็วที่สูงขึ้นอัตราเผาผลาญจะเพิ่มขึ้นดังนั้นความต้องการออกซิเจนจึงเพิ่มขึ้นตามไปด้วย ดังนั้นการวัดประสิทธิภาพการว่ายน้ำและการวัดอัตราการบริโภคออกซิเจนทำให้ทราบความเร็วที่เหมาะสมและอัตราการบริโภคออกซิเจนของตัวปลา สิ่งเหล่านี้สามารถนำมาใช้เลือกสถานที่วางกระชังในแม่น้ำโดยพิจารณาจากความเร็วน้ำเฉลี่ย กำหนดจำนวนใบพัดตีน้ำ เครื่องให้อากาศและความเร็วรอบของใบพัดตีน้ำเพื่อให้ได้ปริมาณออกซิเจนที่เพียงพอต่อความต้องการของปลากะพงขาวขนาดลงกระชังต่อไป

สรุปผลการวิจัย

ผลการทดลองในครั้งนี้แสดงให้เห็นว่าประสิทธิภาพในการว่ายน้ำวิกฤตของปลากะพงขาวขนาดลงกระชังจะมีค่าอยู่ในช่วง 56.43-57.23 เซนติเมตร/วินาที และความอดทนในการว่ายน้ำเท่ากับ 33.23 ± 2.45 เซนติเมตร/วินาที ซึ่งที่ระดับดังกล่าวมีอัตราการบริโภคออกซิเจนเท่ากับ 72.9 ± 1.3 มิลลิกรัมออกซิเจน/กิโลกรัม/ชั่วโมง นอกจากนี้การทดสอบความอดทนในการว่ายน้ำในครั้งนี้ยังเป็นค่าบ่งชี้ถึงความเร็วน้ำที่เหมาะสมในการเลี้ยงปลากะพงขาวขนาดลงกระชัง นำไปสู่การพิจารณาสถานที่วางกระชังและกำหนดความเร็วน้ำในการเลี้ยงอีกด้วย

กิตติกรรมประกาศ

ทางผู้วิจัยขอขอบคุณภูมิพัฒน์ฟาร์มที่เอื้อเฟื้อสัตว์ทดลองและภาควิชาเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ คณะประมง มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตบางเขนในการเอื้อเฟื้อสถานที่ในการทดลอง

เอกสารอ้างอิง

Bell, W.H., & Terhune, L.D.B. (1970). Water tunnel design for fisheries research. *Journal Fisheries Research Board of Canada, 195,* 1-69.

Brett, D.G., & Malene, F. (2006). Influence of fish size and water temperature on the metabolic demand for oxygen by barramundi, Lates calcarifer (Bloch), in freshwater. *Aquaculture Research*, *37*(11), 1055-1062.

Brett, J.R. (1964). Respiratory metabolism and swimming performance of young sockeye salmon. *Journal of the Fisheries Research Board of Canada, 21*(5), 1183-1226.

Carbonara, P., Scolamacchia, M., Spendicato, M.T., Lembo, G., Zupa, W., & Mckinley, R.S. (2006). Swimming performance as a well-being indicator of reared sea-baa *Dicentrachus labrax* (Linnaeus, 1758) preliminary results. *Biologia Marina Mediterrea*, *13*(1), 488-491.

Choi, K., & Weber, J.M. (2015). Coping with an exogenous glucose overload: glucose kinetics of rainbow trout during graded swimming. *American Journal of Physiology*, *310*(6), 493-501.

Claireaux, G., Couturier, C., & Groison, A. (2006). Effect of temperature on maximum swimming speed and cost of transport in juvenile European sea bass (*Dicentrarchus labrax*). *The Journal of Experimental Biology, 209*,3420-3428.

Department of Fisheries. (2016). Fisheries Statistics of Thailand. *Information and Communication Technology Center*, *11/2016,* 21

Department of Fisheries. (2019). Fisheries Statistics of Thailand. *Information and Communication Technology Center*, *9/2019,* 21

Farmer, G.J., and Beamish, F.W.H. (1969). Oxygen consumption of *Tilapia nilotica* in relation to swimming speed and salinity. *Journal of the Fisheries Research Board of Canada, 26*(11), 2807-2821.

Grottum, J.A. & Sigholt, T. (1998). A model for oxygen consumption of Atlantic salmon (*Salmon salar*) based on measurements of individual fish in a tunnel respirometer. *Aquaculture Engineering, 17*(4), 241-251.

Is-haak, J. (2018) Oxygen Consumption Rates, Nitrogen and Phosphorus Budgets, Mechanical Aeration Requirements and Wastewater Treatment of Hybrid Red Tilapia (*Oreochromis niloticus*) x (*Oreochromis mossambicus*) Culture in Cages Suspended in Earthen Pond. Ph.D. Thesis, Kasetsart University.

Joerakate, W., Yenmark, S., Senanan, W., Tunkijjanukij, S., Koonawootrittriron, S., & Poompuang, S. (2018). Growth performance and genetic diversity in four strains of Asian sea bass, *Lates calcarifer* (Bloch, 1790) cultivated in Thailand. *Agriculture and Natural Resources, 52*, 93-98.

Cited. Food and Agriculture Organization. (2017). *FAO Fisheries Department.* Retrieved February 24, 2017, from http://www.fao.org./ fi/statist/FISOFT/FISHPLUS.

Losordo, T.M., & Westers, H. (1994). System carrying capacity. *Aquaculture Water Reuse Systems: Engineering Design and Management, 27,* 9-60.

Madrones-Ladja, J.A., & Catacutan, M.R. (2012). Netcage Rearing of the Asian Seabass *Lates calcarifer* (Bloch) in Brackishwater Pond: The Technical and Economic Efficiency of Using High Protein Diets in Fingerling Production. *The Philippine Agricultural Scientist*, *95*(1), 79-86.

Mcfarlane, W.J., Cubitt, K.F., Williams, H., Rowsell, D., Moccia, R., Gosine, R., & Mckinley, R.S. (2004). Can feeding status and stress level can be assessed by analyzing pattern of muscle activity in free swimming rainbow trout (*Onchorhyncus mykiss* Walbaum). *Aquaculture, 239*, 467-484.

Moss, D.D., & Scott, D.C. (1964). Respiratory Metabolism of Fat and lean Channel Catfish. *The Progressive Fish-Culturist*, *26*(1), 16-20.

Mu, X., Zhen, W., Li, X., Cao, P., Gong, L., & Xu, F. (2019). A Study of the Impact of Different Flow Velocities and Light Colors at the Entrance of a Fish Collection System on the Upstream Swimming Behavior of Juvenile Grass Carp. *Water, 11*(2), 1-16.

Peake, S., Barth, C., & Mckinley, R.S. (1997). Effect of recovery parameters on critical swimming speed of juvenile rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). *Canadian Journal of Zoology, 75*(10), 1724-1727.

Sae-chew, W., & Pornpinatepong, S. (1998). Feasibility study of the polluted water dispersion in songkhla lake by simulation model., 1-3. (in Thai)

Senanan, W., Pechsiri, J., Sonkeaw, S., Na-nakorn, U., Sean-In, N., & Yashiro, R. (2015). Genetic relatedness and differentiation of hatchery populations of Asian seabass (Lates calcarifer) (Bloch, 1790) broodstock in Thailand inferred from microsatellite genetic markers. *Aquaculture Research, 46*(12), 2897-2912.

Tudorache, C., Viaenen, P., Brust, R., & Boeck, G.D. (2007). Longer flumes increase critical swimming speeds by increasing burst–glide swimming duration in carp *Cyprinus carpio*, L. *Journal of Fish Biology, 71*, 1630-1638.

Vandamm, J.P., Marras, S., Claireaux, G., Handelsman, C.A., & Nelson, J.A. (2012). Acceleration Performance of Individual European Sea Bass Dicentrarchus labrax Measured with a Sprint Performance Chamber: Comparison with High-Speed Cinematography and Correlates with Ecological Performance. *Physiological and Biochemical Zoology, 85*(6), 704-717.

Withers, P.C. (1992). *Comparative Animal Physiology.* Fort Worth: Saunders College Publishing.