วารสารวิทยาศาสตร์บูรพา ปีที่ 27 (ฉบับที่ 2) พฤษภาคม – สิงหาคม พ.ศ. 2565
BURAPHA SCIENCE JOURNAL Volume 27 (No.2) May – August 2022 บทความวิจัย

ผลของการใช้น้ำบาดาลต่อคุณภาพน้ำ คุณภาพดินตะกอน และผลผลิตของบ่อเลี้ยงปลาดุกบิ๊กอุยในฤดูแล้ง

Effect of Groundwater Use on Water Quality, Sediment Quality and Production of Hybrid Catfish Ponds in Dry Season

ณัทธิยา ชำนาญค้า*, พัชราวลัย ศรียะศักดิ์ และ สุพันธ์ณี สุวรรณภักดี

Nattiya Chumnanka*, Patcharawalai Sriyasak and Supannee Suwanpakdee

สาขาวิชาประมง คณะทรัพยากรธรรมชาติ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วิทยาเขตสกลนคร

Department of Fisheries, Faculty of Natural Resources, Rajamangala University of Technology Isan, Sakon Nakhon Campus

Received : 16 June 2021

Revised : 14 August 2021

Accepted : 6 September 2021

บทคัดย่อ

การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลของน้ำบาดาลต่อคุณภาพน้ำ คุณภาพดินตะกอน และผลผลิตในบ่อเลี้ยงปลาดุกบิ๊กอุย (*Clarias macrocephalus x C. gariepinus*) ในฤดูแล้ง และเปรียบเทียบกับบ่อที่ใช้แหล่งน้ำผิวดิน โดยการเก็บตัวอย่างน้ำและดินตะกอนทุกเดือนระหว่างเดือนมีนาคมถึงเดือนมิถุนายน พ.ศ. 2562 จากฟาร์มที่มีการใช้น้ำจากแหล่งน้ำที่ต่างกัน 2 ฟาร์ม (ฟาร์มละ 3 บ่อ) ในตำบลช้างมิ่ง อำเภอพรรณานิคม จังหวัดสกลนคร ได้แก่ SWF (น้ำผิวดินจากคลองชลประทานเขื่อนน้ำอูน) (ชุดควบคุม) และ SBF (น้ำบาดาล) ผลการศึกษาพบว่าค่าเฉลี่ยของคุณภาพน้ำทางเคมีและกายภาพตลอดระยะเวลาในการเลี้ยงส่วนใหญ่ ได้แก่ อุณหภูมิของน้ำ ค่าความเป็นกรด-ด่างของน้ำ ค่าปฏิกิริยาออกซิเดชัน-รีดักชัน ค่าความโปร่งใส ปริมาณออกซิเจนละลาย และปริมาณแอมโมเนียรวม ไม่มีความแตกต่างทางสถิติระหว่างฟาร์ม (p>0.05) ส่วนค่าการนำไฟฟ้า ปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์อิสระ และปริมาณความเป็นด่างรวม มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติระหว่างฟาร์ม (p<0.05) ค่าเฉลี่ยคุณภาพดินตะกอน ได้แก่ ความหนาแน่นรวมของดินตะกอนโดยน้ำหนักแห้ง และปริมาณสารอินทรีย์ไม่มีความแตกต่างทางสถิติระหว่างฟาร์ม (p>0.05) ส่วนค่าความเป็นกรด-ด่างของดินตะกอน และค่าปฏิกิริยาออกซิเดชัน-รีดักชัน มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติระหว่างฟาร์ม (p<0.05) ผลผลิตปลาดุกบิ๊กอุยของทั้งสองฟาร์มไม่มีความแตกต่างทางสถิติ (p>0.05) ดังนั้นการเลี้ยงปลาดุกบิ๊กอุยในบ่อดินสามารถใช้น้ำบาดาลทดแทนน้ำผิวดินได้เมื่อเกิดปัญหาการขาดแคลนน้ำในฤดูแล้ง

คำสำคัญ : การใช้น้ำบาดาล ; คุณภาพน้ำ ; คุณภาพดินตะกอน ; บ่อเลี้ยงปลา ; ปลาดุกบิ๊กอุย

Abstract

The objectives of the present study were to investigate the effect of groundwater use on water quality, sediment quality and production in hybrid catfish (*Clarias macrocephalus x C. gariepinus*) ponds in dry season and prepare to surface water use pond. The water samples were monthly collected during March to June 2019 from different water sources between two farms (three ponds in each farm), SWF (surface water from irrigation canal of Nam Oun Dam) (control) and SBF (groundwater). Both farms were located at Chang Ming Subdistrict, Pannanikhom District, Sakon Nakhon Province. The results found that most of all culture period averages of chemical and physical water quality such as water temperature, water pH, oxidation-reduction potential, transparency, dissolved oxygen and total ammonia were not statistical difference between farms ($p>0.05$). Conductivity, free-carbon dioxide and total alkalinity were statistically significant difference between farms ($p<0.05$). Sediment quality such as bulk density and organic matter were not statistical difference between farms ($p>0.05$), but sediment pH and oxidation-reduction potential were statistically significant difference between farms ($p<0.05$). The production of hybrid catfish was not statistical difference between two farms ($p>0.05$). Conclusion, hybrid catfish culture in the earthen ponds could use groundwater instead of surface water when water shortages occur during the dry season.

Keywords : groundwater use ; water quality ; sediment quality ; fish pond ; hybrid catfish

***Corresponding author. E-mail :** nattiya.ch@rmuti.ac.th

บทนำ

ประเทศไทยมีปริมาณผลผลิตที่ได้จากการเพาะเลี้ยงปลาดุก (walking catfish) มากเป็นอันดับสองของการเพาะเลี้ยงปลาน้ำจืดรองจากปลานิล จากรายงานสถิติการประมงแห่งประเทศไทยปี พ.ศ. 2560 พบว่าสัตว์น้ำจืดที่ได้จากการเพาะเลี้ยงในประเทศไทยมีปริมาณทั้งหมด 413,263 ตัน คิดเป็นมูลค่า 22,573.9 ล้านบาท โดยร้อยละ 25.4 เป็นผลผลิตของปลาดุกจำนวน 105,144 ตัน และผลผลิตส่วนใหญ่จำนวน 103,445 ตัน ได้มาจากการเลี้ยงในบ่อ (Fisheries Development Policy and Strategy Division, 2019) สายพันธุ์ของปลาดุกที่นิยมเลี้ยงมากที่สุดในประเทศไทย คือ ปลาดุกบิ๊กอุย (*Clarias macrocephalus x C. gariepinus*) ซึ่งมีการเจริญเติบโตที่ดีกว่าสายพันธุ์พื้นบ้านของไทย (Lawonyawut, 2007)

ปลาดุกบิ๊กอุยสามารถทำการเลี้ยงได้ทุกฤดูกาล แต่ในช่วงฤดูแล้งเกษตรกรมักจะประสบกับปัญหาการขาดแคลนน้ำที่ใช้ในการเลี้ยงในหลายพื้นที่ ดังเช่น เกษตรกรกลุ่มหนึ่งในเขตพื้นที่ตำบลช้างมิ่ง อำเภอพรรณานิคม จังหวัดสกลนคร ที่มีการเลี้ยงปลาดุกบิ๊กอุยในเชิงพาณิชย์ เริ่มตั้งแต่ปี พ.ศ. 2556 เรื่อยมาจนถึงปัจจุบัน การเลี้ยงปลาดุกบิ๊กอุยของเกษตรกรกลุ่มนี้จะอยู่ภายใต้การทำสัญญาซื้อลูกพันธุ์ อาหาร และการจัดการการเลี้ยง รวมทั้งการขายผลผลิตกับบริษัทเอกชนแห่งหนึ่ง บ่อที่นิยมใช้ในการเลี้ยงปลาดุกบิ๊กอุยเป็นบ่อดินและขุดให้เป็นรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้ามีขนาดความกว้างประมาณ 20 เมตร และความยาวประมาณ 50 เมตร (พื้นที่บ่อประมาณ 1,000 ตารางเมตร) ทำการเลี้ยง 2 รอบการเลี้ยง (crops) ต่อปี มีระยะเวลาในการเลี้ยงประมาณ 90-120 วันต่อรอบการเลี้ยง แหล่งน้ำที่นำมาใช้ในการเลี้ยงปลาส่วนใหญ่เป็นน้ำผิวดิน (surface water) จากคลองชลประทานเขื่อนน้ำอูน และบางส่วนเป็นน้ำฝนที่กักเก็บไว้ในบ่อพักน้ำ ในฤดูแล้งเกษตรกรมักจะประสบกับปัญหาการขาดแคลนน้ำเพื่อใช้ในการเลี้ยง เนื่องจากปริมาณน้ำฝนที่กักเก็บไว้ใช้หมดไป และผลกระทบที่ได้รับจากการซ่อมแซมคลองชลประทานบางส่วนเมื่อต้นปี พ.ศ. 2562 ทำให้เกษตรกรที่อาศัยน้ำผิวดินจากคลองชลประทานไว้เลี้ยงปลาดุกบิ๊กอุยได้รับผลกระทบ ทำให้มีปริมาณน้ำที่ใช้ทำการเลี้ยงไม่เพียงพอ เกษตรกรผู้ที่ได้รับผลกระทบดังกล่าวจึงเปลี่ยนมาใช้น้ำบาดาล (groundwater) ทดแทน แต่เกษตรกรยังไม่เคยศึกษาถึงผลกระทบของการใช้น้ำบาดาลต่อการเปลี่ยนแปลงของคุณภาพน้ำ คุณภาพดิน และผลผลิตภายในบ่อเลี้ยงมาก่อน จึงเป็นที่มาของการวิจัยในครั้งนี้ ดังนั้นการวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาคุณภาพน้ำ คุณภาพดินตะกอน และผลผลิตในบ่อดินเลี้ยงปลาดุกบิ๊กอุยที่มีการใช้น้ำบาดาลในช่วงฤดูแล้ง และเพื่อเปรียบเทียบกับบ่อที่ใช้น้ำผิวดินจากคลองชลประทานในการเลี้ยงเช่นเดิมในช่วงเวลาเดียวกัน

วิธีดำเนินการวิจัย

1. *<u>พื้นที่ศึกษา</u>*

บ่อเลี้ยงปลาดุกบิ๊กอุยขนาดพื้นที่ประมาณ 1,000 ตารางเมตร (บ่อมีความกว้างประมาณ 20 เมตร ความยาว 50 เมตร และความลึก 1.5 เมตร) ในฟาร์มที่มีแหล่งน้ำที่ใช้ในการเลี้ยงปลาดุกบิ๊กอุยที่แตกต่างกัน จำนวน 2 ฟาร์ม ๆ ละ 3 บ่อ ได้แก่ ฟาร์มศิวัฒน์ (Siwat Farm, SWF) และฟาร์มสมบูรณ์ (Sombun Farm, SBF) ทั้งสองฟาร์มมีสถานที่ตั้งอยู่ในตำบลช้างมิ่ง อำเภอพรรณานิคม จังหวัดสกลนคร มีระยะห่างระหว่างฟาร์ม 2.74 กิโลเมตร (ภาพที่ 1a) ฟาร์มศิวัฒน์ (SWF1-SWF3) ใช้น้ำผิวดินจากคลองชลประทานในการเลี้ยง (ชุดควบคุม) พิกัดทางภูมิศาสตร์ 17°19´24.86´´N 103°46´00.93´´E (ภาพที่ 1b) ฟาร์มสมบูรณ์ (SBF1-SWF3) ใช้น้ำบาดาลในการเลี้ยง พิกัดทางภูมิศาสตร์ 17°20´27.56´´N 103°47´05.96´´E

(ภาพที่ 1c) การจัดการการเลี้ยงของทั้งสองฟาร์มมีการใช้ลูกพันธุ์ อาหาร และมีการจัดการภายใต้การทำสัญญากับบริษัทเดียวกัน โดยมีการปล่อยลูกพันธุ์ลงเลี้ยงในอัตรา 50 ตัวต่อตารางเมตร ให้อาหาร 2 มื้อ (เช้า-เย็น) ทำการเลี้ยงเป็นระยะเวลาประมาณ 110 วัน

2. *การเก็บตัวอย่างน้ำและดินตะกอน*

เก็บตัวอย่างน้ำและดินตะกอนระหว่างการเลี้ยงทุกเดือน เริ่มตั้งแต่เดือนมีนาคมถึงเดือนมิถุนายน พ.ศ. 2562 รวมทั้งหมด 4 ครั้ง (ครั้งแรกในเดือนมีนาคมเป็นตัวอย่างน้ำที่ยังไม่มีการปล่อยลูกพันธุ์ลงเลี้ยง) เก็บตัวอย่างน้ำที่ผิวหน้าน้ำ (ระดับความลึก 30 เซนติเมตร) บ่อละ 3 สถานี (ทางน้ำเข้า กลางบ่อ และทางน้ำออก) สถานีละ 3 ซ้ำ ส่วนการเก็บตัวอย่างดินตะกอนจะเก็บตัวอย่างที่ผิวหน้าดินตะกอน (ระดับความลึกไม่เกิน 15 เซนติเมตรจากผิวหน้าดิน) โดยใช้ท่อเก็บตัวอย่างแบบมือกด (hand corer) บ่อละ 15 สถานี (รูปแบบ S-shaped) และผสมตัวอย่างที่ได้แต่ละสถานีในถังผสมและสุ่มเป็นตัวแทนบ่อละ 1 ตัวอย่าง (Boyd and Tucker, 1992)

3. *การวิเคราะห์คุณภาพน้ำและคุณภาพดินตะกอน*

การวิเคราะห์ในภาคสนาม ได้แก่ อุณหภูมิของน้ำ ค่าความเป็นกรด-ด่างของน้ำ ค่าการนำไฟฟ้า และปริมาณออกซิเจนละลาย โดยเครื่อง Multiparameter meter ยี่ห้อ YSI รุ่น 556 MPS ค่าปฏิกิริยาออกซิเดชัน-รีดักชันของน้ำและดินตะกอน โดยเครื่อง pH/ORP meter ยี่ห้อ Lutron รุ่น PH-230SD และค่าความโปร่งใสของน้ำโดยวิธี Secchi Disk Visibility (Boyd, 1998)

การวิเคราะห์ในห้องปฏิบัติการ คุณภาพน้ำ ได้แก่ ปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์อิสระ วิธี Titration Method ความเป็นด่างรวม วิธี Titrimetric Method (APHA *et al.*, 2005) และปริมาณแอมโมเนียรวม วิธี Modification of the phenol-hypochlorite Method (Strickland & Parsons, 1972) คุณภาพดินตะกอน ได้แก่ ค่าความเป็นกรด-ด่างของดินตะกอน วิธี 1:1 Soil: Water Method (Soil Survey Staff, 2014) ความหนาแน่นรวมของดินตะกอนโดยน้ำหนักแห้ง วิธี Core Method และปริมาณสารอินทรีย์ วิธี Walkley-Black Method (Boyd, 1995)

4. *การวิเคราะห์ทางสถิติ*

เปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยคุณภาพน้ำ คุณภาพดินตะกอน และผลผลิตระหว่างฟาร์มที่ใช้น้ำผิวดินจากคลองชลประทานและฟาร์มที่ใช้น้ำบาดาลในการเลี้ยงปลาดุกบิ๊กอุยโดยวิธี Independent Samples T-test ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ด้วยโปรแกรมสำเร็จรูป SPSS Version 22

ภาพที่ 1 พื้นที่ศึกษา (a) บ่อเลี้ยงปลาดุกบิ๊กอุยในฟาร์มที่ใช้น้ำผิวดินจากคลองชลประทาน (b) บ่อเลี้ยงปลาดุกบิ๊กอุยในฟาร์มที่ใช้น้ำบาดาล (c)

ผลการวิจัย

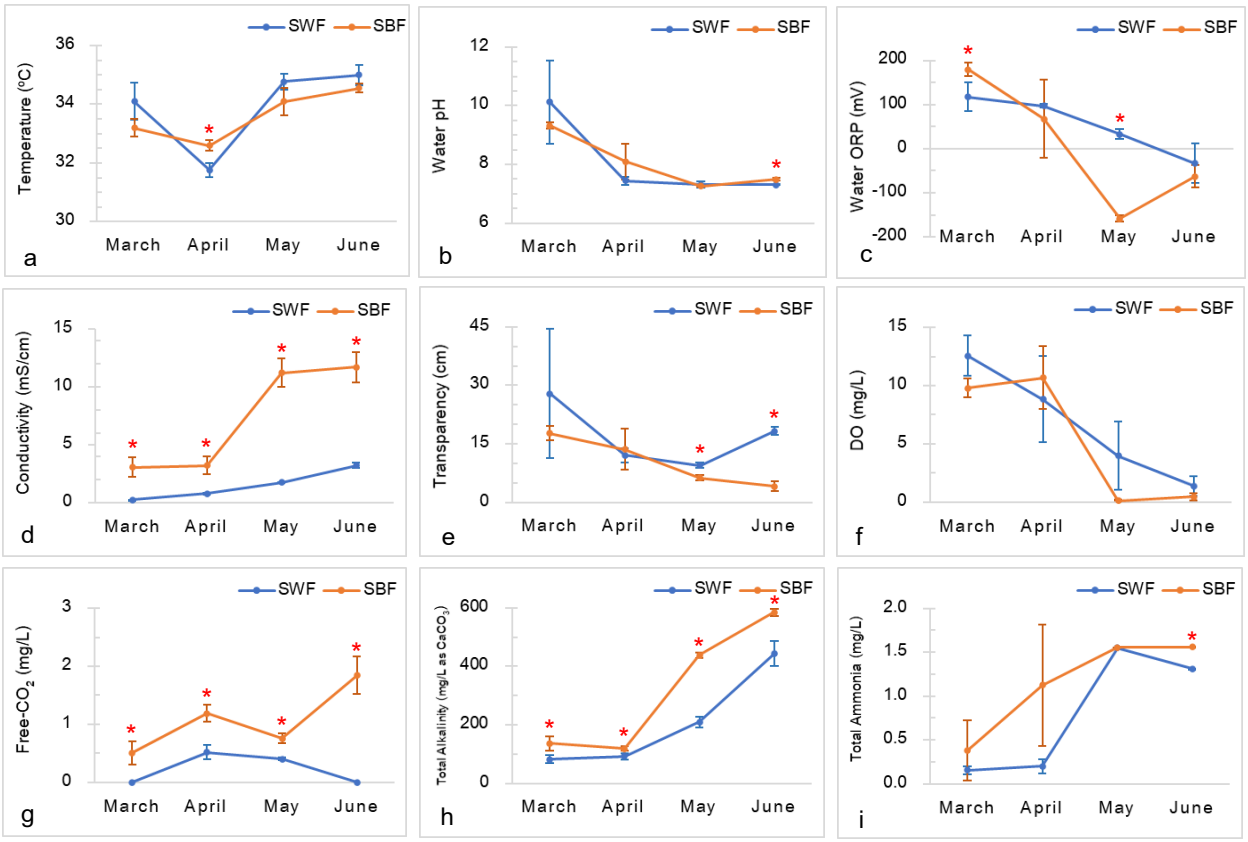
คุณภาพน้ำในบ่อเลี้ยงปลาดุกบิ๊กอุยระหว่างระยะเวลาที่ทำการศึกษาของทั้งฟาร์มที่ใช้น้ำผิวดินจากคลองชลประทาน (SWF) และฟาร์มที่ใช้น้ำบาดาล (SBF) (ภาพที่ 2) และค่าเฉลี่ยตลอดระยะเวลาการเลี้ยง (ตารางที่ 1) พบว่าอุณหภูมิของน้ำ (water temperature) อยู่ในช่วง 31.77–35.00 องศาเซลเซียส (°C) ค่าเฉลี่ย 33.91±0.15 °C (SWF) และ 32.59–34.55 °C ค่าเฉลี่ย 33.61±0.19 °C (SBF) (ภาพที่ 2a) ความเป็นกรด-ด่างของน้ำ (water pH) 7.31–10.13 ค่าเฉลี่ย 8.05±0.34 (SWF) และ 7.26–9.33 ค่าเฉลี่ย 8.05±0.18 (SBF) (ภาพที่ 2b) ค่าปฏิกิริยาออกซิเดชัน-รีดักชันของน้ำ (water oxidation-reduction potential, water ORP) -33.44–117.56 มิลลิโวลต์ (mV) ค่าเฉลี่ย 53.50±2.38 mV (SWF) และ -158.44–179.44 mV ค่าเฉลี่ย 6.47±31.23 mV (SBF) (ภาพที่ 2c) ค่าการนำไฟฟ้า (conductivity) 0.23–3.20 มิลลิซีเมนต์ต่อเซนติเมตร (mS/cm) ค่าเฉลี่ย 1.48±0.08 mS/cm (SWF) และ 3.05–11.71 mS/cm ค่าเฉลี่ย 7.29±0.99 mS/cm (SBF) (ภาพที่ 2d) ความโปร่งใสของน้ำ (transparency) 9.45–27.89 เซนติเมตร (cm) ค่าเฉลี่ย 16.92±4.86 cm (SWF) และ 4.11–17.67 cm ค่าเฉลี่ย 10.39±1.97 (SBF) (ภาพที่ 2e) ปริมาณออกซิเจนละลาย (dissolved oxygen, DO) 1.37–12.57 มิลลิกรัมต่อลิตร (mg/L) ค่าเฉลี่ย 6.68±1.21 mg/L (SWF) และ 0.12–10.69 mg/L ค่าเฉลี่ย 5.26±0.57 mg/L (SBF) (ภาพที่ 2f) ปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์อิสระ (free carbon dioxide, free-CO_2) 0–0.52 mg/L ค่าเฉลี่ย 0.23±0.04 mg/L (SWF) และ 0.50–1.84 mg/L ค่าเฉลี่ย 1.07±0.10 mg/L (SBF) (ภาพที่ 2g) ปริมาณความเป็นด่างรวม (total alkalinity) 81.94–444.00 mg/L as $CaCO_3$ ค่าเฉลี่ย 206.79±18.61 mg/L as $CaCO_3$ (SWF) และ 118.44–585.30 mg/L as $CaCO_3$ ค่าเฉลี่ย 319.66±12.71 mg/L as $CaCO_3$ (SBF) (ภาพที่ 2h) ปริมาณแอมโมเนียรวม (total ammonia) 0.15–1.55 mg/L ค่าเฉลี่ย 0.81±0.03 mg/L (SWF) และ 0.38–1.56 mg/L ค่าเฉลี่ย 1.15±0.24 mg/L SBF) (ภาพที่ 2i)

คุณภาพดินตะกอนบางประการของบ่อเลี้ยงปลาดุกบิ๊กอุยระหว่างระยะเวลาที่ทำการศึกษาของทั้งสองฟาร์ม (ภาพที่ 3) และค่าเฉลี่ยตลอดระยะเวลาการเลี้ยง (ตารางที่ 1) พบว่าค่าความเป็นกรด-ด่างของดินตะกอน (sediment pH) อยู่ในช่วง 6.34–7.12 ค่าเฉลี่ย 6.78±0.25 (SWF) และ 5.09–7.06 ค่าเฉลี่ย 5.97±0.22 (SBF) (ภาพที่ 3a) ค่าปฏิกิริยาออกซิเดชัน-รีดักชันของดินตะกอน (sediment oxidation-reduction potential, sediment ORP) -198.00 ถึง -121.67 mV ค่าเฉลี่ย -143.77±1.29 mV (SWF) และ -177.11 ถึง -153.53 mV ค่าเฉลี่ย -163.27±11.47 mv (SBF) (ภาพที่ 3b) ความหนาแน่นของดินโดยน้ำหนักแห้ง (bulk density) 0.83–0.84 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร (g/cm^3) ค่าเฉลี่ย 0.83±0.01 g/cm^3 (SWF) และ 0.79–0.92 g/cm^3 ค่าเฉลี่ย 0.85±0.03 g/cm^3 (SBF) (ภาพที่ 3c) ปริมาณสารอินทรีย์ (organic matter) ร้อยละ (%) 0.84–2.11 ค่าเฉลี่ย 1.39±0.05 % (SWF) และ 0.64–1.50 % ค่าเฉลี่ย 1.11±0.20 % (SBF) (ภาพที่ 3d)

ค่าเฉลี่ยของคุณภาพน้ำและคุณภาพดินตะกอนตลอดระยะเวลาการเลี้ยงของทั้งสองฟาร์มส่วนใหญ่ (ตารางที่ 1) ได้แก่ อุณหภูมิของน้ำ ค่าความเป็นกรด-ด่างของน้ำ ค่าปฏิกิริยาออกซิเดชัน-รีดักชันในน้ำ ค่าความโปร่งใส ปริมาณออกซิเจนละลาย ปริมาณแอมโมเนียรวม ความหนาแน่นรวมของดินตะกอนโดยน้ำหนักแห้ง และปริมาณสารอินทรีย์ในดินตะกอน ไม่มีความแตกต่างทางสถิติระหว่างฟาร์มที่ใช้แหล่งน้ำที่ต่างกันในการเลี้ยง (p>0.05)

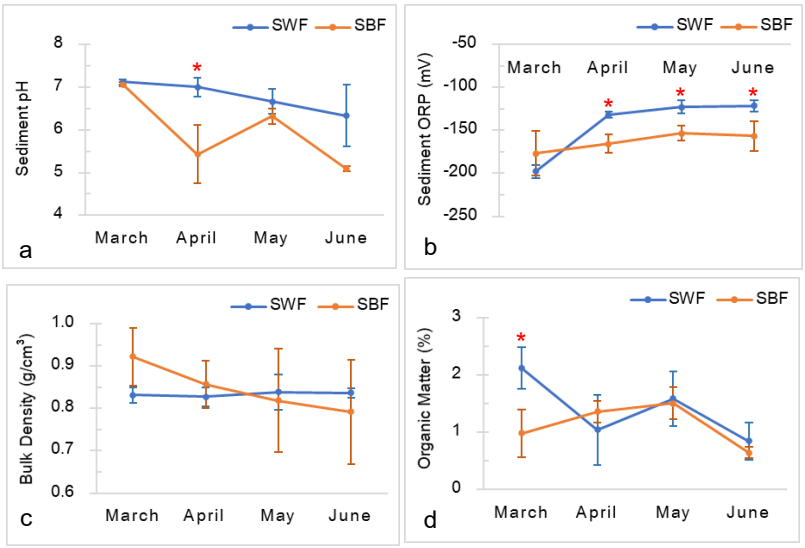
ค่าเฉลี่ยของคุณภาพน้ำและคุณภาพดินตะกอนอื่น ๆ ได้แก่ ค่าการนำไฟฟ้า ปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์อิสระ ปริมาณความเป็นด่างรวม ค่าความเป็นกรด-ด่างของดินตะกอน และค่าปฏิกิริยาออกซิเดชัน-รีดักชันของดินตะกอน มีความ

แตกต่างกันระหว่างฟาร์มที่มีการใช้น้ำผิวดินจากคลองชลประทานเขื่อนน้ำอูน (SWF) ที่เป็นชุดควบคุมและฟาร์มที่มีการใช้น้ำบาดาล (SBF) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p<0.05)



ภาพที่ 2 คุณภาพน้ำในฟาร์มเลี้ยงปลาดุกบิ๊กอุยที่ใช้น้ำผิวดินจากคลองชลประทาน (SWF) และน้ำบาดาล (SBF)

หมายเหตุ : * หมายถึง ค่าเฉลี่ยมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติระหว่างฟาร์ม (p<0.05)



ภาพที่ 3 คุณภาพดินตะกอนในฟาร์มเลี้ยงปลาดุกบิ๊กอุยที่ใช้น้ำผิวดินจากคลองชลประทาน (SWF) และน้ำบาดาล (SBF)
หมายเหตุ : * หมายถึง ค่าเฉลี่ยมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติระหว่างฟาร์ม (p<0.05)

ผลผลิตของปลาดุกบิ๊กอุยเฉลี่ยต่อบ่อของฟาร์มที่ใช้น้ำผิวดินจากคลองชลประทานและฟาร์มที่ใช้น้ำบาดาลไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ (p>0.05) (ตารางที่ 1)

ตารางที่ 1 ค่าเฉลี่ยคุณภาพน้ำ คุณภาพดิน และผลผลิตในฟาร์มเลี้ยงปลาดุกบิ๊กอุยที่ใช้น้ำผิวดิน และน้ำบาดาล

		Parameters	SWF (Surface water)	SBF (Groundwater)
1. Water quality	1.1	Water temperature (°C)	33.91±0.15	33.61±0.19
	1.2	Water pH	8.05±0.34	8.05±0.18
	1.3	Water ORP (mV)	53.50±2.38	6.47±31.23
	1.4	Conductivity (mS/cm)	1.48±0.08^{a}	7.29±0.99^{b}
	1.5	Transparency (cm)	16.92±4.86	10.39±1.97
	1.6	DO (mg/L)	6.68±1.21	5.26±0.57
	1.7	Free-CO_2 (mg/L)	0.23±0.04^{a}	1.07±0.10^{b}
	1.8	Total alkalinity (mg/L as $CaCO_3$)	206.79±18.61^{a}	319.66±12.71^{b}
	1.9	Total ammonia (mg/L)	0.81±0.03	1.15±0.24
2. Sediment quality	2.1	Sediment pH	6.78±0.25^{a}	5.97±0.22^{b}
	2.2	Sediment ORP (mV)	-143.77±1.29^{a}	-163.27±11.47^{b}
	2.3	Bulk density (g/cm^3)	0.83±0.01	0.85±0.03
	2.4	Organic matter (%)	1.39±0.05	1.11±0.20
3. Production	3.1	Production of hybrid catfish (t/rai)	12.64±0.16	11.84±0.89

หมายเหตุ : ตัวอักษร ^{a,b} ที่ต่างกันในแนวนอน หมายถึง ค่าเฉลี่ยมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p<0.05)

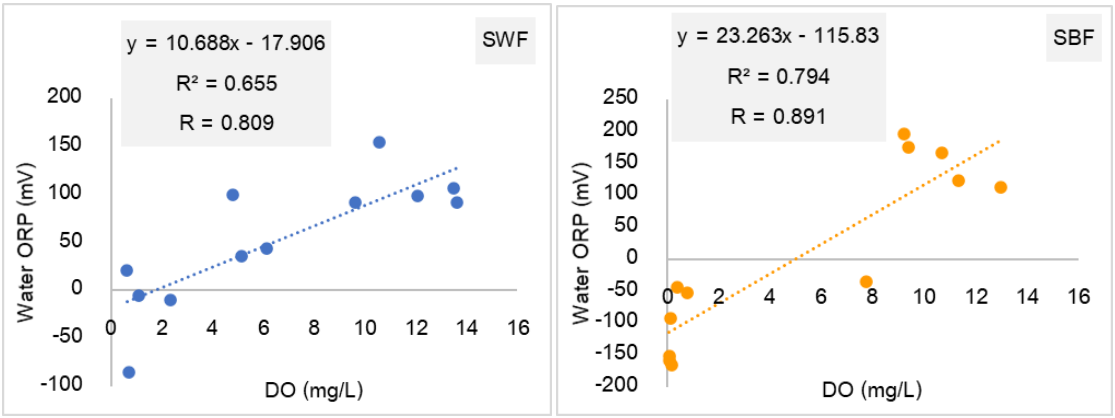
วิจารณ์ผลการวิจัย

อุณหภูมิน้ำของทั้งสองฟาร์ม (ตารางที่ 1) มีค่าเฉลี่ยตลอดระยะเวลาที่ศึกษาสูงกว่าเกณฑ์ที่เหมาะสมสำหรับการเลี้ยงสัตว์น้ำจืด (ตารางที่ 2) เนื่องจากในช่วงที่ทำการศึกษามีสภาพอากาศร้อนจัดและส่งผลให้อุณหภูมิของน้ำมีค่าเฉลี่ยสูงเกินค่ามาตรฐานทุกช่วงเวลาที่ทำการศึกษา ยกเว้นค่าเฉลี่ยในฟาร์มที่ใช้น้ำผิวดิน (ชุดควบคุม) (ภาพที่ 2a) ในเดือนเมษายนที่มีค่าไม่สูงเกินเกณฑ์ที่เหมาะสม

ค่าความเป็นกรด-ด่างของน้ำของทั้งสองฟาร์มมีค่าเฉลี่ยตลอดการเลี้ยง (ตารางที่ 1) อยู่ในช่วงที่เหมาะสมกับการเลี้ยงสัตว์น้ำจืด (ตารางที่ 2) แต่ในช่วงแรกของการศึกษาพบว่าค่าเฉลี่ยความเป็นกรด-ด่างของน้ำในเดือนมีนาคม (ภาพที่ 2b) มีค่าสูงกว่าเกณฑ์ที่เหมาะสม และจากการสังเกตค่าปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์อิสระในเดือนเดียวกันที่มีค่าต่ำสุดตลอดระยะเวลาการเลี้ยงของทั้งสองฟาร์ม (ภาพที่ 2g) ทำให้คาดการณ์ได้ว่าในเดือนมีนาคมแพลงก์ตอนพืชมีอัตราการสังเคราะห์แสงที่สูง สอดคล้องกับการศึกษาของ Chainark & Boyd (2010) ที่รายงานว่าค่าความเป็นกรด-ด่างของน้ำที่สูงจะมีความสัมพันธ์กับการใช้คาร์บอนไดออกไซด์ของแพลงก์ตอนพืชในกระบวนการสังเคราะห์แสง แต่อย่างไรก็ตาม Silapajarn

et al. (2004) รายงานว่าช่วงบ่ายที่ค่าความเป็นกรด-ด่างของน้ำที่ผิวน้ำอาจมีค่าที่สูงถึง 9.5-10.0 นั้น จะไม่เป็นอันตรายต่อปลา เพราะปลาสามารถลงไปอยู่ในน้ำที่ลึกลงไปที่มีค่าความเป็นกรด-ด่างของน้ำต่ำกว่านี้ได้

ค่าปฏิกิริยาออกซิเดชัน-รีดักชันในน้ำจะมีความสัมพันธ์โดยตรงกับปริมาณออกซิเจนละลายน้ำ และการลดลงของค่าปฏิกิริยาออกซิเดชัน-รีดักชัน เป็นผลมาจากการใช้ออกซิเจนของแบคทีเรีย (Boyd, 2015) ซึ่งส่งผลต่อปริมาณออกซิเจนละลายน้ำที่ลดลงด้วย จากการศึกษานี้พบว่าปริมาณออกซิเจนละลายน้ำและค่าปฏิกิริยาออกซิเดชัน-รีดักชันในน้ำมีความสัมพันธ์ไปในทิศทางเดียวกันอย่างมีนัยสำคัญ (p<0.05) (ภาพที่ 4) และคุณภาพน้ำทั้งสองพารามิเตอร์นี้จะมีแนวโน้มลดลงเมื่อระยะเวลาการเลี้ยงเพิ่มขึ้น (ภาพที่ 2c และ 2f) ปริมาณออกซิเจนละลายน้ำมีค่าเฉลี่ยต่ำกว่าเกณฑ์ที่เหมาะสมในการเลี้ยงสัตว์น้ำจืด (ตารางที่ 2) ในฟาร์มที่ใช้น้ำผิวดินในเดือนมิถุนายนซึ่งเป็นช่วงสุดท้ายของการเลี้ยง ส่วนฟาร์มที่ใช้น้ำบาดาลมีค่าเฉลี่ยต่ำกว่าเกณฑ์ที่เหมาะสมตั้งแต่เดือนพฤษภาคมและมิถุนายน (ภาพที่ 2f)



ภาพที่ 4 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าปฏิกิริยาออกซิเดชัน-รีดักชันในน้ำและปริมาณออกซิเจนละลายน้ำในฟาร์มเลี้ยงปลาดุกบิ๊กอุยที่ใช้น้ำผิวดินจากคลองชลประทาน (SWF) และน้ำบาดาล (SBF)

ค่าการนำไฟฟ้าของทั้งสองฟาร์มมีค่าเฉลี่ยเพิ่มขึ้นทุกเดือน (ภาพที่ 2d) สอดคล้องกับการศึกษาการเลี้ยงปลาดุกบิ๊กอุยในระบบน้ำหมุนเวียนของ Thepnarong (2018) ที่พบว่าเมื่อเลี้ยงปลาดุกบิ๊กอุยผ่านไปเรื่อย ๆ ค่าการนำไฟฟ้าจะยิ่งเพิ่มขึ้น เนื่องจากน้ำที่ใช้เลี้ยงจะมีการสะสมของแร่ธาตุต่าง ๆ เพิ่มมากขึ้นตามระยะเวลาในการเลี้ยง ซึ่งในการศึกษาครั้งนี้เกษตรกรจะให้อาหารเพิ่มขึ้นตามน้ำหนักตัวของปลาที่มีการเจริญเติบโตเพิ่มขึ้น และปลาเมื่อกินอาหารเพิ่มขึ้นปริมาณของเสียที่ขับถ่ายออกมาก็มีสูงขึ้น รวมทั้งเศษอาหารเหลือกิน เหตุผลเหล่านี้จึงเป็นการเพิ่มขึ้นของแร่ธาตุในน้ำ และเหตุผลดังกล่าวนี้ยังสอดคล้องกับปริมาณแอมโมเนียรวมที่มีค่าเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาในการเลี้ยงที่เพิ่มขึ้นอีกด้วย (ภาพที่ 2i) ซึ่งค่าเฉลี่ยปริมาณแอมโมเนียรวมของทั้งสองฟาร์มในเดือนมีนาคม (ก่อนปล่อยลูกพันธุ์ลงเลี้ยง) มีค่าเหมาะสมกับการเลี้ยงสัตว์น้ำ แต่เมื่อระยะเวลาการเลี้ยงผ่านไปพบว่าในเดือนเมษายน พฤษาคม และมิถุนายน ทั้งสองฟาร์มมีค่าเฉลี่ยเพิ่มขึ้นและมีค่าสูงเกินกว่า

เกณฑ์ที่เหมาะสม (ตารางที่ 2) การย่อยสลายของอาหารกินเหลือในบ่อเลี้ยงปลาดุกบิ๊กอุยเป็นสาเหตุหลักของการเพิ่มขึ้นของปริมาณแอมโมเนียในน้ำ (Musig and Aue-umneoy, 2008)

ตารางที่ 2 เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยคุณภาพน้ำและคุณภาพดินตะกอนของบ่อเลี้ยงปลาดุกบิ๊กอุยตลอดระยะเวลาการเลี้ยงกับเกณฑ์ที่เหมาะสมในการเลี้ยงสัตว์น้ำจืด

Parameters	SWF	SBF	Optimal	Unit	References
Water temperature	✗	✗	25-32	°C	National Bureau of Agricultural Commodity and Food Standards (2016)
Water pH	✓	✓	6.5-8.5	-	
Transparency	✗	✗	30-60	cm	
DO	✓	✓	≥ 4	mg/L	
Total alkalinity	✗	✗	50-200	mg/L as $CaCO_3$	
Total ammonia	✗	✗	≤0.5	mg/L	
Free-CO_2	✓	✓	<5	mg/L	Boyd (2015)
Bulk density	✓	✓	>0.5	g/cm^3	Silapajarn *et al*. (2004)
Sediment pH	✗	✗	7-8	-	Boyd *et al*. (2002)
Organic matter	✗	✗	1.72-5.17	%	

หมายเหตุ : เครื่องหมาย ✓ และ ✗ หมายถึง คุณภาพน้ำอยู่ในเกณฑ์ที่เหมาะสมและไม่เหมาะสมต่อการเลี้ยงสัตว์น้ำจืดตามลำดับ

ความโปร่งใสของน้ำของทั้งสองฟาร์มมีค่าเฉลี่ยตลอดระยะเวลาการเลี้ยง (ตารางที่ 1) ต่ำกว่าเกณฑ์ที่เหมาะสมของการเลี้ยงสัตว์น้ำจืด (ตารางที่ 2) ในเดือนพฤษภาคมทั้งสองฟาร์มมีการเติมน้ำเข้าสู่บ่อชดเชยปริมาณน้ำที่หายไปจากการระเหย แต่ค่าความโปร่งใสที่วัดได้ในเดือนมิถุนายนหลังจากเติมน้ำเข้าบ่อเพิ่มขึ้นเฉพาะในฟาร์มที่ใช้น้ำผิวดินเท่านั้น (ภาพที่ 2e) ในการเลี้ยงปลาดุกบิ๊กอุยในประเทศไทยบางฟาร์มจะเติมน้ำเข้าบ่อชดเชยการระเหยเท่านั้น จะไม่มีการเปลี่ยนถ่ายน้ำเก่าออกและไม่มีการใช้เครื่องเติมอากาศในบ่อเลี้ยง (Musig & Anu-umneoy, 2008; Swangdacharuk & Musig, 2016) ค่าความโปร่งใสที่วัดได้จาก Secchi disk ที่มีค่าต่ำจะสัมพันธ์กันกับปริมาณแพลงก์ตอนพืชและค่าความขุ่นของน้ำซึ่งจะมีค่าสูง (Chainark & Boyd, 2010)

ปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์อิสระและปริมาณความเป็นด่างรวมของฟาร์มที่ใช้น้ำบาดาลมีค่าเฉลี่ยทุกระยะเวลาการศึกษา (ภาพที่ 2g และ 2h) และตลอดระยะเวลาการเลี้ยงสูงกว่าฟาร์มที่ใช้น้ำผิวดินจากคลองชลประทาน (ตารางที่ 1) น้ำผิวดินจะมีค่าปริมาณความเป็นด่างรวมต่ำกว่าน้ำบาดาลเนื่องจากน้ำผิวดินส่วนใหญ่จะมีปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์อยู่ในระดับที่ต่ำกว่าน้ำบาดาล ซึ่งน้ำบาดาลจะมีความเข้มข้นของปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ค่อนข้างสูง ดังนั้นปริมาณความเป็นด่างของน้ำที่มาจากน้ำละลายในชั้นหินปูน (limestone) ของน้ำบาดาลนั้นจึงค่อนข้างสูง (Boyd & Tucker, 1998) ปริมาณ

คาร์บอนไดออกไซด์อิสระของทั้งสองฟาร์มมีค่าเฉลี่ยอยู่ในช่วงที่เหมาะสมกับการเลี้ยงสัตว์น้ำจืด (ตารางที่ 2) ปลาจะสามารถทนต่อการเปลี่ยนแปลงปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์อิสระได้เพียงเล็กน้อย ปลาส่วนใหญ่จะสามารถอาศัยอยู่ได้ในแหล่งน้ำที่มีปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์อิสระน้อยกว่า 5 mg/L แต่สามารถทนได้เมื่อมีปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์อิสระได้ถึง 10 mg/L เมื่อในน้ำมีปริมาณออกซิเจนละลายอยู่สูง (Boyd, 2015) ส่วนปริมาณความเป็นด่างรวมของทั้งสองฟาร์มสูงกว่าเกณฑ์ที่เหมาะสม (ตารางที่ 2) ยกเว้นช่วงแรกของการเลี้ยงในเดือนมีนาคมและเดือนเมษายนมีค่าอยู่ในเกณฑ์ที่เหมาะสม (ภาพที่ 2h) ในบ่อเลี้ยงปลาค่าความเป็นด่างของน้ำจะเพิ่มขึ้นตามปริมาณแร่ธาตุต่างๆ ในน้ำที่สูงตามระยะเวลาการเลี้ยง ซึ่งจะมีผลต่อแนวโน้มการเพิ่มขึ้นของกำลังผลิตของแพลงก์ตอนพืช (phytoplankton productivity) และความเป็นพิษของโลหะหนัก (Boyd & Tucker, 1998)

บ่อเลี้ยงปลาดุกบิ๊กอุยของทั้งสองฟาร์มเป็นบ่อเก่าที่ผ่านการเลี้ยงมาแล้ว ทั้งสองฟาร์มไม่มีการนำดินตะกอนเลนออกจากบ่อและไม่มีการไถพลิกกลบหน้าดินหลังการเก็บผลผลิตในรอบการเลี้ยงก่อนหน้านี้ รวมทั้งเมื่อระยะเวลาการเลี้ยงผ่านไปในรอบการเลี้ยงที่ทำการศึกษาทำให้ค่าความเป็นกรด-ด่างของดินตะกอนมีค่าต่ำ (ตารางที่ 2) ค่าความเป็นกรด-ด่างของดินที่มีค่าต่ำจะไปขัดขวางการย่อยสลายสารอินทรีย์และทำให้สารอินทรีย์มีการสะสมเพิ่มขึ้นส่งผลต่อความต้องการใช้ออกซิเจนละลายน้ำสูงบริเวณผิวหน้าดิน (surface layer) (Boyd, 1995) ดินตะกอนในฟาร์มที่ใช้น้ำบาดาลมีสภาพความเป็นกรดสูงกว่าดินตะกอนจากฟาร์มที่ใช้น้ำผิวดินอย่างมีนัยสำคัญ (ภาพที่ 3a และตารางที่ 1) ซึ่งจะส่งผลต่อความต้องการใช้ออกซิเจนละลายน้ำในฟาร์มที่ใช้น้ำบาดาลในการย่อยสลายสารอินทรีย์มีแนวโน้มสูงกว่าฟาร์มที่ใช้น้ำผิวดิน

ค่าปฏิกิริยาออกซิเดชัน-รีดักชัน ในดินตะกอนของทั้งสองฟาร์มทุกช่วงการศึกษามีค่าเป็นลบ (ภาพที่ 3b) บ่งบอกถึงสภาพไร้ออกซิเจนในดินตะกอน (reduced condition) (Meksumpun, 2005) ซึ่งในฟาร์มที่ใช้น้ำบาดาลมีสภาวะรีดิวซ์ในดินตะกอนสูงกว่าฟาร์มที่ใช้น้ำผิวดินอย่างมีนัยสำคัญ (ตารางที่ 1) การลดลงของค่าปฏิกิริยาออกซิเดชัน-รีดักชัน เป็นผลมาจากการใช้ออกซิเจนของแบคทีเรีย (Boyd, 2015) ซึ่งฟาร์มที่ใช้น้ำบาดาลมีแนวโน้มความต้องการใช้ออกซิเจนในการย่อยสลายสารอินทรีย์ที่สูงกว่าฟาร์มที่ใช้น้ำผิวดินดังที่กล่าวไว้แล้วข้างต้น

ความหนาแน่นรวมของดินตะกอนของทั้งสองฟาร์มมีค่าเฉลี่ยอยู่ในช่วงที่เหมาะสมต่อการเลี้ยงสัตว์น้ำ (ภาพที่ 3c และตารางที่ 2) Silapajarn *et.al.* (2004) รายงานว่าดินที่มีค่าความหนาแน่นรวมของดินตะกอนน้อยกว่า 0.5 หรือ 0.6 g/cm^3 บ่งบอกถึงสภาพดินที่ไม่เหมาะสมต่อการเลี้ยงสัตว์น้ำ เนื่องจากมีแนวโน้มสูงที่จะเกิดสภาพไร้ออกซิเจน

ปริมาณสารอินทรีย์ในดินตะกอนก่อนเริ่มปล่อยลูกพันธุ์ลงเลี้ยงในเดือนมีนาคมของฟาร์มที่ใช้น้ำผิวดินจะมีค่าเฉลี่ยปริมาณสารอินทรีย์สูงกว่าฟาร์มที่ใช้น้ำบาดาลอย่างมีนัยสำคัญ (ภาพที่ 3d) เนื่องจากในขั้นตอนเติมน้ำเข้าสู่บ่อน้ำผิวดินจะมีปริมาณแพลงก์ตอนเข้ามาสู่บ่อสูงกว่าน้ำบาดาลซึ่งไม่มีแพลงก์ตอนเมื่อระยะเวลาผ่านไปแพลงก์ตอนเหล่านี้จะตายและจมลงพื้นบ่อ ค่าเฉลี่ยปริมาณสารอินทรีย์ของดินตะกอนในบ่อเลี้ยงปลาดุกบิ๊กอุยตลอดการทดลองของทั้งสองฟาร์มมีค่าเฉลี่ยต่ำกว่าเกณฑ์ที่เหมาะสม (ตารางที่ 2) ปริมาณสารอินทรีย์ในดินตะกอนของบ่อเลี้ยงสัตว์น้ำมาจากอาหารกินเหลือ ของเสียจากการขับถ่ายของปลา และซากแพลงก์ตอนที่ตายและจมลงพื้นบ่อ (Munsiri *et al*., 1995) แต่อย่างไรก็ตามปริมาณสารอินทรีย์ที่มาจากการขับถ่ายของเสียของปลาและแพลงก์ตอนที่ตายจะเปลี่ยนรูปไปเป็นสารอนินทรีย์ได้อย่างรวดเร็วในน้ำและบริเวณผิวหน้าดินตะกอน ซึ่งจะมีผลต่อการวัดปริมาณสารอินทรีย์ในดินตะกอนให้แม่นยำ (Steeby *et al*., 2004)

ผลผลิตของปลาดุกบิ๊กอุยไม่มีความแตกต่างทางสถิติ (p>0.05) ระหว่างฟาร์มที่ใช้น้ำบาดาลกับน้ำผิวดิน ซึ่งผลการศึกษาคุณภาพน้ำและคุณภาพดินตะกอนส่วนใหญ่ของทั้งสองฟาร์มไม่มีความแตกต่างทางสถิติ (p>0.05) (ตารางที่ 1) และทั้งสองฟาร์มมีค่าเฉลี่ยคุณภาพน้ำและคุณภาพดินส่วนใหญ่อยู่ในเกณฑ์ที่ไม่เหมาะสมต่อการเลี้ยงสัตว์น้ำจืด (ตารางที่ 2) แต่อย่างไรก็ตามจากรายงานของ Swangdacharuk & Musig (2016) พบว่าปลาดุกบิ๊กอุยเป็นปลาที่มีความทนทานสูงและสามารถให้ผลผลิตสูงในคุณภาพน้ำที่ต่ำในการเลี้ยงที่ไม่มีทั้งการเปลี่ยนถ่ายน้ำและการให้อากาศ

สรุปผลการวิจัย

ค่าพารามิเตอร์ส่วนใหญ่ของคุณภาพน้ำและคุณภาพดินตะกอนในบ่อเลี้ยงปลาดุกบิ๊กอุยจากฟาร์มที่ใช้น้ำบาดาลไม่แตกต่างกัน (p>0.05) กับฟาร์มที่ใช้น้ำผิวดินจากคลองชลประทาน และถึงแม้ว่าค่าพารามิเตอร์ของคุณภาพน้ำและคุณภาพดินตะกอนส่วนใหญ่ของทั้งสองฟาร์มมีค่าที่ไม่เหมาะสมตามเกณฑ์การเลี้ยงสัตว์น้ำจืด แต่ทั้งสองฟาร์มที่มีการใช้แหล่งน้ำที่ต่างกันในการเลี้ยงไม่มีผลต่อผลผลิต ซึ่งทั้งสองฟาร์มมีผลผลิตไม่แตกต่างกัน (p>0.05) ดังนั้นการใช้น้ำบาดาลเพื่อชดเชยการใช้น้ำผิวดินจากคลองชลประทานในการเลี้ยงปลาดุกบิ๊กอุยในฤดูแล้งสามารถทำได้และให้ผลผลิตที่ดีได้เช่นเดียวกัน

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับทุนการวิจัยจากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2562 โดยได้รับการสนับสนุนจากสำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ (วช.)

เอกสารอ้างอิง

APHA, AWWA and WEF. (2005). *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*. (21st Edition). Washington D.C.: American Public Health Association.

Boyd, C.E. (1995). *Bottom soil, Sediment and Pond Aquaculture*. New York: Chapman & Hall Book.

Boyd, C.E. (1998). *Water Quality for Pond Aquaculture*. Research and Development Series No. 43. Alabama: Alabama Agriculture Experiment Station, Auburn University.

Boyd, C.E., Wood, C.W. & Thunjai, T. (2002). *Aquaculture Pond Bottom Soil Quality Management*. Oregon: Pond Dynamics/Aquaculture Collaborative Research Support Program, Oregon State University.

Boyd, C.E. (2015). *Water Quality an Introduction*. (2nd Edition). New York: Springer.

Boyd, C.E. & Tucker, C.S. (1992). *Water Quality and Pond Soil Analyses for Aquaculture*. Alabama: Alabama Agriculture Experiment Station, Auburn University.

Boyd, C.E. & Tucker, C.S. (1998). *Pond Aquaculture Water Quality Management*. New York: Alabama Springer Science+Business Media.

Chainark, S. & Boyd, C.E. (2010). Water Sediment Quality, Phytoplankton Communities, and Channel Catfish Production in Sodium Nitrate-Treated Ponds. *Journal of Applied Aquaculture, 22*, 171-185.

Fisheries Development Policy and Strategy Division. (2019). *Fisheries Statistics of Thailand 2017*. Bangkok: Department of Fisheries, Ministry of Agriculture and Cooperatives. (in Thai)

Lawonyawut, K. (2007). Freshwater fish seed resources in Thailand. In M.G. Bondad-Reantaso (Ed.*), Assessment of freshwater fish seed resources for sustainable aquaculture*. (pp. 441-459). Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations.

Meksumpun, C. (2005). *Sediments*. Bangkok: Department of Fishery Biology, Faculty of Fisheries, Kasetsart University. (in Thai)

Munsiri, P., Boyd, C.E. & Hajek, B.F. (1995). Physical and Chemical Characteristics of Bottom Soil Profiles in Ponds at Auburn, Alabama, USA and a Proposed System for Describing Pond Soil Horizons. *Journal of the World Aquaculture Society*, *26*(4), 346-376.

Musig, Y. & Aue-umneoy, D. (2008) Quality and Characteristics of Effluents from Hybrid Catfish Ponds. *Kasetsart University Fisheries Research Bulletin, 32*(3), 1-8.

National Bureau of Agricultural Commodity and Food Standards. (2016). *Good Aquaculture Practices For Freshwater Animal Farm*. Guidance on the Application of Thai Agricultural Standard TAS 7417(G)–2016. Bangkok: Ministry of Agriculture and Cooperatives. (in Thai)

Silapajarn, K, Boyd, C.E. & Silapajarn, O. (2004). *Physical and Chemical Characteristics of Pond Water and Bottom Soil in Channel Catfish Ponds in West-Central Alabama*. Alabama: Alabama Agriculture Experiment Station, Auburn University.

Soil Survey Staff. (2014). *Soil Survey Field and Laboratory Methods Manual*. Soil Survey Investigations Report No.51, Version 2.0. Nebraska: U.S. Department of Agriculture, Natural Resources Conservation Service.

Strickland, J.D.H & Parsons, T.R. (1972). *A Practical Handbook of Seawater Analysis*. (2nd Edition). Ottawa: Fisheries Research Board of Canada.

Steeby, J.A., Hargreaves, J.A., Tucker, C.S. & Kingsbury, S. (2004). Accumulation, organic carbon and dry matter concentration of sediment in commercial channel catfish ponds. *Aquaculture Engineering, 30*, 115-126.

Swangdacharuk, G. & Musig, Y. (2016). Growth, Production, Feed Conversion Ratio, Water Quality and Nutrient Budget of Hybrid Catfish (*Clarias macrocephalus* x *C. gariepinus*) Cultuvation in Earthen Ponds Without Water Exchange. *Kasetsart University Fisheries Research Bulletin, 40*(3), 78-92.

Thepnarong, K. (2018). Efficiency of Water Recirculating System Incorporated with Water Hyacinth in Hybrid Catfish (*Clarias macrocephalus* x *C. gariepinus*). *Thai Science and Technology Journal*, *14*(7) (supplement), 1150-1161. (in Thai)