วารสารวิทยาศาสตร์บูรพา ปีที่ 25 (ฉบับที่ 3) กันยายน – ธันวาคม พ.ศ. 2563
BURAPHA SCIENCE JOURNAL Volume 25 (No.3) September – December 2020 บทความวิจัย

การเจริญเติบโตของปลาหมอไทย (*Anabas testudineus*) ที่เลี้ยงในระบบไบโอฟลอค โดยการเติมสารอินทรีย์คาร์บอนแตกต่างกัน

Growth Performance of Climbing Perch (*Anabas testudineus*) in Biofloc Culture System Using Different Sources of Organic Carbon

อานุภาพ วรรณคนาพล*, สุดาพร ตงศิริ และ ประจวบ ฉายบุ
Arnuparp Wankanapol*, Sudaporn Tongsiri and Prachuab Chaibu
คณะเทคโนโลยีการประมงและทรัพยากรทางน้ำ มหาวิทยาลัยแม่โจ้
Faculty of Fisheries Technology and Aquatic Resources, Maejo University

Received : 5 December 2019
Revised : 12 February 2020
Accepted : 6 March 2020

บทคัดย่อ

การเลี้ยงสัตว์น้ำด้วยระบบเทคโนโลยีไบโอฟลอคเป็นการเลี้ยงแบบพัฒนาในระบบปิด มีจุดเด่นคือการสร้างอาหารเสริมธรรมชาติแก่สัตว์น้ำที่เกิดจากการรวมตัวของจุลินทรีย์และอินทรีย์วัตถุอื่น ๆ ในบ่อเลี้ยงเกิดเป็นตะกอนแขวนลอย เรียกว่าไบโอฟลอค ระบบนี้สามารถรักษาคุณภาพน้ำให้เหมาะสมตลอดการเลี้ยง เพิ่มผลผลิตสัตว์น้ำต่อหน่วยพื้นที่และประหยัดการใช้น้ำ ในปัจจุบันยังไม่มีรายงานการศึกษาในปลาหมอไทย การทดลองนี้จึงมีวัตถุประสงค์คือ ศึกษาประสิทธิภาพการเจริญเติบโตของปลาหมอไทย *(Anabas testudineus)* ที่เลี้ยงในระบบไบโอฟลอคโดยการเติมสารอินทรีย์คาร์บอนที่แตกต่างกัน รวมทั้งความสัมพันธ์ระหว่างการเจริญเติบโตของปลาหมอไทยกับปริมาณไบโอฟลอคที่เกิดขึ้น เตรียมสารอินทรีย์คาร์บอนในท้องถิ่น 3 ชนิดประกอบด้วย กากน้ำตาล แป้งข้าวเจ้าและรำละเอียด โดยสองชนิดหลังใช้ผสมกับกากน้ำตาลอัตรา 50 : 50 ทำการทดลองในบ่อพลาสติกทรงกระบอกเส้นผ่านศูนย์กลาง 2.5 ม. สูง 1.0 ม. เติมน้ำที่ระดับ 0.80 ม. เพื่อรักษาปริมาตรน้ำให้อยู่ระหว่าง 2.5 - 3 ม.^{3} ตลอดเวลา เติมออกซิเจนละลายน้ำไม่ให้ต่ำกว่า 4 มก./ล. ปล่อยปลาหมอไทยอัตรา 50 ตัว/ม.^{3} ให้อาหารตามโปรแกรมปลากินเนื้อ ใช้ระยะเวลาเลี้ยง 120 วัน ทำการเติมสารอินทรีย์คาร์บอนเมื่อแอมโมเนียไนโตรเจนสูงกว่า 0.05 มก./ล. โดยการควบคุมสัดส่วน C : N เท่ากับ 15 : 1 ผลการศึกษาพบว่า ปลาหมอไทยมีการเจริญเติบโตจนได้ขนาดไม่ต่ำกว่า 4 ตัว/กก. ซึ่งจัดเป็นปลาขนาดใหญ่ตามความต้องการของตลาดจากการเติมสารอินทรีย์คาร์บอนทั้ง 3 ชนิด และน้ำหนักที่เพิ่มขึ้น การเจริญเติบโตเฉลี่ยต่อวัน อัตราการแลกเนื้อ อัตราการเจริญเติบโตจำเพาะและอัตราการรอดตายของปลาหมอไทยไม่มีความแตกต่างกัน ($P>0.05$) นอกจากนี้ยังพบว่าน้ำหนักที่เพิ่มขึ้นของปลาหมอไทยมีความสัมพันธ์เชิงบวกกับปริมาณไบโอฟลอคจากการเติมสารอินทรีย์คาร์บอนที่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) ดังนั้นปลาหมอไทยมีความเหมาะสมในการนำมาเลี้ยงในระบบไบโอฟลอคที่เติมกากน้ำตาล แป้งข้าวเจ้าและรำละเอียดที่หาได้ง่ายในท้องถิ่นได้

คำสำคัญ : ประสิทธิภาพการเจริญเติบโต ; ปลาหมอไทย ; ไบโอฟลอค ; สารอินทรีย์คาร์บอน

*Corresponding author. E-mail : doii36@yahoo.com

Abstract

The aquaculture using biofloc technology is an intensive fish culture closed system. The distinctive point is the production of natural feed for fish derived from the combination of microorganisms and organic materials in ponds which is referred to as biofloc. This system is able to maintain a suitable water quality throughout the culture period, increase production capacity, and save the water usage. At present, there is no study the climbing perch culture in biofloc system. Then, the experiment objectives were to investigate growth performance of climbing perch (*Anabas testudineus*) cultured in biofloc system by adding different sources of organic carbon including the relationship between their growth performance and the concentration of biofloc in each carbon source. There were three local sources consisting of molasses, rice flour and rice bran especially the last two carbon sources were designed to combine with molasses at rate 50 : 50 ratios before adding in the culturing pond. The experiment was conducted in outdoor cylindrical plastic tanks with a diameter 2.5 m. and 1 m. height with 0.8 m. water depth. The water volume was kept between 2.5 - 3 tons at all time together with the dissolved oxygen was maintained above 4 mg/L throughout the culture period. The fish stocking density was stocked at rate 50 fishes/m^3. The fish was fed according to catfish feeding program within 120 days before harvesting. The three carbon sources were added in the system when ammonia reached over 0.05 mg./L together with controlling 15 : 1 for C : N ratio. The results showed that the growth of climbing perch was reached the biggest marketable size at 4 fishes/kg. when adding all carbon sources. Moreover, weight gain, average daily weight gain, feed conversion ratio, specific growth rate and survival rate were no significances ($P>0.05$). However, it had a significant relationship between growth of climbing perch and concentration of biofloc in each treatment ($P<0.05$). Hence, the climbing perch is one of the most suitable species for culturing in biofloc system by adding rice flour or rice bran as good carbon source alternatives.

Keywords : growth performance ; climbing perch ; biofloc ; organic carbon source

บทนำ

ในปัจจุบันระบบการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำระบบปิด (close system) เข้ามามีบทบาทกับการผลิตสัตว์น้ำมากขึ้นอย่างต่อเนื่อง เนื่องจากทรัพยากรสัตว์น้ำเริ่มมีแนวโน้มขาดแคลนมากยิ่งขึ้น การเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำในระบบไบโอฟลอค (biofloc system) เป็นหนึ่งในเทคโนโลยีที่ลดการใช้น้ำหรือใช้น้ำอย่างมีประสิทธิภาพ โดยใช้หลักการเปลี่ยนของเสีย เช่น แอมโมเนียและไนไตรท์ที่เป็นพิษในบ่อเลี้ยง โดยการเพิ่มจุลินทรีย์กลุ่มที่สังเคราะห์อาหารเองไม่ได้ (heterotrophic bacteria) ในการย่อยสลาย แล้วจึงรวมกลุ่มกันกับอินทรียวัตถุอื่น ๆ แบบหลวม ๆ กลายเป็นตะกอนชีวภาพที่เรียกว่าฟลอคหรือไบโอฟลอค (biofloc) โดยอาศัยการเติมสารอินทรีย์คาร์บอนหรือคาร์โบไฮเดรต ซึ่งโดยทั่วไปนิยมใช้กากน้ำตาล (molasses) ที่จุลินทรีย์สามารถ

นำไปใช้ได้ง่าย ร่วมกับการคำนวณอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน (C: N ratio) เพื่อให้สารอาหารในบ่อมีความสมดุล (Crab *et al*.,2012) อย่างไรก็ตามในแต่ละท้องถิ่นยังมีสารอินทรีย์คาร์บอนอีกมากมายหลายชนิดและหาได้ง่ายเช่นเดียวกับกากน้ำตาล สามารถนำมาเป็นวัตถุดิบในการทดลองสร้างไบโอฟลอคได้ เช่น แป้งข้าวเจ้า (rice flour) และรำละเอียด (rice bran) เป็นต้น จากการที่วัตถุดิบ 3 ชนิดนี้ มีองค์ประกอบคาร์บอนใกล้เคียงกัน คือ 36.3% (Parnaudeau *et al*., 2008), 44.4% และ 35 – 41% (Pourzamani & Ghavi, 2016) ตามลำดับ แต่มีคุณลักษณะบางส่วนที่แตกต่างกันเช่น กากน้ำตาลมีสีน้ำตาลเข้มเป็นของเหลวเนื้อเดียวกันมีความหนืดแต่เมื่อละลายน้ำจะลดความเหนียวหนืดลง ส่วนแป้งข้าวเจ้าจะมีลักษณะเป็นผงสีขาวเมื่อละลายน้ำจะเหนียวหนืดยิ่งขึ้นและจะมีตะกอนสีขาวแขวนลอยอยู่ในน้ำ ส่วนรำละเอียดมีลักษณะเป็นผงสีน้ำตาลอ่อนที่มีขนาดใหญ่เมื่อละลายในน้ำจะแขวนลอยเช่นเดียวกันกับแป้งข้าวเจ้า จากคุณลักษณะข้างต้นหากใช้เติมลงในระบบไบโอฟลอคอาจส่งผลให้เกิดปริมาณความเข้มข้นของฟลอคแตกต่างกันได้

ปลาหมอไทย (*Anabas testudineus*) เป็นปลาน้ำจืดเศรษฐกิจที่สำคัญและนิยมบริโภค ผลผลิตต่อปีตั้งแต่ปี 2556 - 2560 ไม่ต่ำกว่า 8 พันตันต่อปี (Department of Fisheries, 2019) สามารถเลี้ยงแบบหนาแน่น (intensive) ได้เจริญเติบโตเร็วและใช้ระยะเวลาเลี้ยงสั้นภายใน 4 – 5 เดือน เป็นปลากินเนื้อที่ต้องการโปรตีนรวมทั้งปริมาณการให้อาหารที่สูงส่งผลให้มีการขับถ่ายสูงตามมา ทำให้คุณภาพน้ำในบ่อเลี้ยงลดคุณภาพลงส่งผลกระทบต่อสุขภาพของปลา ในอดีตการเปลี่ยนถ่ายน้ำเพื่อลดตะกอนแขวนลอยหรือก๊าซพิษในน้ำเป็นแนวทางในการลดปัญหานี้ แต่ในปัจจุบันเกิดปัญหาการขาดแคลนน้ำเพื่อการเกษตรและการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำเริ่มรุนแรงมากขึ้นอย่างต่อเนื่อง ทำให้ต้องคำนึงถึงการใช้น้ำอย่างประหยัดและคุ้มค่ากับการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำมากขึ้น โดยปกติปลาหมอไทยจะกินอาหารหลายระดับภายในบ่อ แต่ปัจจุบันถูกฝึกให้กินอาหารเม็ดลอยน้ำที่ผิวน้ำได้ ทำให้ลดปริมาณอาหารที่ไม่ได้กินได้ (uneaten feed) แต่การขับถ่ายยังมีปริมาณสารอินทรีย์ไนโตรเจนที่สูงและจะสะสมเป็นแอมโมเนีย และไนไตรท์ที่ก้นบ่อ ซึ่งของเสียทั้งสองชนิดนี้ต้องการการเติมสารอินทรีย์คาร์บอนเป็นแหล่งอาหารเพื่อเพิ่มจำนวนจุลินทรีย์กลุ่มที่สร้างอาหารเองไม่ได้ให้มากขึ้น เพื่อย่อยสลายสารพิษข้างต้น จากนั้นจุลินทรีย์นี้จะรวมตัวกับอินทรียวัตถุอื่น ๆ กลายเป็นตะกอนแขวนลอยหรือตะกอนไบโอฟลอค ที่ปลาสามารถกินโดยตรงหรือกรองกินทางอ้อม (Azim & Little, 2008) โดยทั่วไปจะพบการเลี้ยงปลาหมอไทยแพร่หลายในระบบเปิด แต่ในปัจจุบันยังไม่มีรายงานการเลี้ยงในระบบปิดหรือไบโอฟลอค ดังนั้นการศึกษาครั้งนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาประสิทธิภาพการเจริญเติบโตของปลาหมอไทยในบ่อเลี้ยงระบบไบโอฟลอคที่เติมสารอินทรีย์คาร์บอนแตกต่างกัน รวมทั้งความสัมพันธ์ของการเจริญเติบโตของปลากับปริมาณความเข้มข้นของไบโอฟลอคที่เกิดขึ้น เพื่อเป็นแนวทางศึกษาความเป็นไปได้ของการเลี้ยงปลาหมอไทยในระบบไบโอฟลอค รวมทั้งสามารถเลือกใช้สารอินทรีย์คาร์บอนให้เหมาะสมและหาได้ง่ายในท้องถิ่นกับปลาหมอไทยได้

วิธีดำเนินการวิจัย

การเตรียมบ่อทดลอง

เตรียมบ่อพลาสติกทรงกระบอก ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 2.5 ม. สูง 1 ม. ณ โรงเพาะฟักปลานิล คณะเทคโนโลยีการประมงและทรัพยากรทางน้ำ มหาวิทยาลัยแม่โจ้ โดยเติมน้ำจากบ่อพักน้ำสูง 0.80 ม. จนมีความจุ 2,500 – 3,000 ลิตร (2.5 –

3.0 ตัน) พรางแสงด้วยตาข่ายพลางแสง 70 % ติดตั้งเครื่องให้อากาศผ่านหัวทรายขนาดใหญ่ บ่อละ 8 จุด รวมทั้งกระจายหัวทรายให้พอเหมาะเพื่อให้ฟองอากาศพัดพาตะกอนก้นบ่อต่าง ๆ ให้ฟุ้งกระจายอยู่ตลอดเวลาไม่ตกตะกอนนอนก้นในบ่อ

การเตรียมพันธุ์ปลา

เลี้ยงปลาหมอไทยขนาดเริ่มต้นเฉลี่ย 2.01 ก. ที่ความหนาแน่น 50 ตัว/ม.^{3} ให้อาหารเม็ดลอยน้ำปลากินเนื้อโปรตีน 40 % ในเดือนที่ 1 ปริมาณ 5 % ของน้ำหนักตัว จำนวน 3 มื้อต่อวัน ส่วนตั้งแต่เดือนที่ 2 ถึงเดือนที่ 4 ให้อาหารโปรตีน 30 % ปริมาณ 3 % ของน้ำหนักตัว จำนวน 2 มื้อต่อวัน รวมระยะเวลาทั้งสิ้น 120 วัน โดยลูกปลาทั้งหมดได้มาจากฟาร์มเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ คณะเทคโนโลยีการประมงและทรัพยากรทางน้ำ มหาวิทยาลัยแม่โจ้

การเตรียมชนิดสารอินทรีย์คาร์บอน

ออกแบบการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (complete randomized design, CRD) โดยเตรียมสารอินทรีย์คาร์บอนที่แตกต่างกันจากร้านจำหน่ายวัตถุดิบอาหารสัตว์ในพื้นที่ประกอบไปด้วย กลุ่มควบคุม (control) คือกากน้ำตาล (molasses, MO) เพียงชนิดเดียวปริมาณ 0.5 ก. ผสมกับดินก้นบ่อและปูนขาวอย่างละ 0.5 ก. ต่อน้ำ 1 ลิตร ชุดการทดลองที่ 1 (T1) คือ กากน้ำตาลผสมแป้งข้าวเจ้า (molasses + rice flour, MO+RF) ปริมาณอย่างละ 0.25 ก. ผสมกับดินก้นบ่อและปูนขาวอย่างละ 0.5 ก. ต่อน้ำ 1 ลิตร และชุดการทดลองที่ 2 (T2) คือกากน้ำตาลผสมกับรำละเอียด (molasses + rice bran, MO+RB) ปริมาณอย่างละ 0.25 ก. ผสมกับดินก้นบ่อและปูนขาวอย่างละ 0.5 ก. ต่อน้ำ 1 ลิตร แต่ละชุดการทดลองประกอบด้วย 3 ซ้ำ โดยจะเตรียมวัสดุทุกอย่างเติมในการเตรียมบ่อครั้งแรก จากนั้นจึงจะเติมเฉพาะสารอินทรีย์คาร์บอนข้างต้นเท่านั้นเมื่อปริมาณแอมโมเนียไนโตรเจน (NH_3-N) ในแต่ละการทดลอง มีค่าสูงกว่า 0.05 ppm

ควบคุมสัดส่วนของคาร์บอนต่อไนโตรเจนที่ 15 (C : N ratio = 15 : 1) ตามวิธีของ Avnimelech (2015) ดังต่อไปนี้

C = 50% ของน้ำหนักอาหารทั้งหมดที่ให้ (กรัมต่ออาหารหนึ่งกิโลกรัม)

N = เปอร์เซ็นต์โปรตีน × 0.155 (กรัมไนโตรเจนต่ออาหารหนึ่งกิโลกรัม)

นำตะกอนไบโอฟลอคจากแต่ละชุดการทดลอง เมื่อสิ้นสุดการทดลองตากให้แห้งแล้ววิเคราะห์ปริมาณโปรตีนตาม AOAC (1990) โดยวิธี Micro-Kjeldahl.

การประเมินประสิทธิภาพการเจริญเติบโตของปลาหมอไทย

ทำการเก็บข้อมูลการเจริญเติบโตสองสัปดาห์ต่อครั้ง และประเมินประสิทธิภาพการเจริญเติบโต เช่น น้ำหนักที่เพิ่มขึ้น (weight gain) การเจริญเติบโตเฉลี่ยต่อวัน (average daily weight gain, ADG) อัตราการเจริญเติบโตจำเพาะ (specific growth rate, SGR) อัตราการแลกเนื้อ (feed conversion ratio, FCR) และอัตราการรอดตาย (survival rate) เมื่อสิ้นสุดการทดลอง

การตรวจสอบคุณภาพน้ำ

ทำการตรวจสอบคุณภาพน้ำสัปดาห์ละครั้ง ประกอบด้วย ค่าออกซิเจนละลายน้ำ (dissolved oxygen, DO) ค่าความเป็นด่าง (alkalinity) แอมโมเนียไนโตรเจน (NH_3-N) ไนไตรท์ไนโตรเจน (NO_2-N) ซึ่งทั้งหมดตรวจสอบโดยวิธีการไตเตรทตามมาตรฐาน APHA (1998) โดยควบคุมออกซิเจนละลายน้ำไม่ให้ต่ำกว่า 4 ppm ตลอดการเลี้ยง นอกจากนี้ตรวจสอบความเป็นกรดด่าง (pH) โดยใช้พีเอชมีเตอร์และอุณหภูมิ (temperature) โดยใช้เทอร์โมมิเตอร์สำหรับวัดค่าอุณหภูมิ ค่าความ

โปร่งแสง (transparency) โดยใช้เซชิดิส (secchi disc) ค่าตะกอนแขวนลอยทั้งหมดหรือปริมาณความเข้มข้นของไบโอฟลอค (total suspended solid, TSS) ประเมินโดยตักน้ำในบ่อเลี้ยงปริมาณ 1 ลิตร ใส่ในอิมฮอฟโคน (Imhoff cone) จากนั้นทิ้งไว้ 30 นาที ให้ตกตะกอนจึงบันทึกปริมาณตะกอนแขวนลอยทั้งหมดเป็น มก./ล.

การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

วิเคราะห์ความแปรปรวนโดยหาความแตกต่างของค่าเฉลี่ยการเจริญเติบโตของปลาหมอไทยที่เลี้ยงโดยการเติมสารอินทรีย์คาร์บอนแตกต่างกัน โดยใช้ตารางวิเคราะห์ความแปรปรวน (one way ANOVA) เปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยโดยวิธี Duncan's new multiple range test (DMRT) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % ส่วนความสัมพันธ์ของการเจริญเติบโตกับความเข้มข้นของไบโอฟลอคใช้สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของเพียร์สัน (Pearson's product moment correlation coefficient analysis) โดยใช้โปรแกรม SPSS version 18

ผลการวิจัย

ประสิทธิภาพการเจริญเติบโตของปลาหมอไทย

น้ำหนักที่เพิ่มขึ้นจากการเลี้ยงปลาหมอไทยระยะเวลา 120 วัน พบว่าปลาหมอไทยที่เลี้ยงในระบบไบโอฟลอคที่เติมกากน้ำตาลผสมกับรำละเอียด (MO+RB) มีแนวโน้มสูงที่สุด รองลงมาคือกากน้ำตาลผสมแป้งข้าวเจ้า (MO+RF) และกากน้ำตาลชนิดเดียว (MO) โดยมีค่าดังนี้ 269.36±1.00, 268.52±1.45 และ 267.11±1.31 ก./ตัว ตามลำดับ ด้านการเจริญเติบโตเฉลี่ยต่อวันพบว่า MO+RF และ MO+RB มีค่าสูงกว่า MO โดยมีค่า 2.24±0.04, 2.24±0.07 และ 2.22±0.09 ก./ตัว/วัน ตามลำดับ สำหรับอัตราการแลกเนื้อการเติม MO+RB มีค่าต่ำที่สุด รองลงคือ MO และ MO+RF มีค่าสูงที่สุดโดยมีค่า 1.55±1.32, 1.56±0.35 และ 1.57±1.02 ตามลำดับ อัตราการเจริญเติบโตจำเพาะพบว่ามีค่าใกล้เคียงกันทั้งสามชนิด สำหรับอัตราการรอดตายพบว่ามีค่าสูงกว่า 90% จากการเติมสารอินทรีย์คาร์บอนทั้ง 3 ชนิด แต่อย่างไรก็ตามทุกตัวแปรไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ (P>0.05) (ตารางที่ 1)

ตารางที่ 1 ประสิทธิภาพการเจริญเติบโตของปลาหมอไทยเลี้ยงในระบบไบโอฟลอคที่เติมสารอินทรีย์คาร์บอนแตกต่างกัน ระยะเวลา 120 วัน

การเจริญเติบโต	ชนิดสารอินทรีย์คาร์บอน			F	P
	MO (control)	MO+RF (T1)	MO+RB (T2)	Test	Value
น้ำหนักเริ่มต้น (ก./ตัว)	2.01±0.05^{ns}	2.02±0.02^{ns}	2.01±0.01^{ns}	3.53	0.12
น้ำหนักสุดท้าย (ก./ตัว)	269.54±1.12^{ns}	270.98±0.98^{ns}	271.77±0.76^{ns}	2.76	0.15
น้ำหนักที่เพิ่มขึ้น (ก./ตัว)	267.11±1.31^{ns}	268.52±1.45^{ns}	269.36±1.00^{ns}	2.36	0.17
การเจริญเติบโตเฉลี่ยต่อวัน (ADG, ก./ตัว/วัน)	2.22±0.09^{ns}	2.24±0.04^{ns}	2.24±0.07^{ns}	9.22	0.07
อัตราการแลกเนื้อ (FCR)	1.56±0.35^{ns}	1.57±1.02^{ns}	1.55±1.32^{ns}	27.16	0.18
อัตราการเจริญเติบโตจำเพาะ (SGR, %/วัน)	4.08±0.52^{ns}	4.08±01.17^{ns}	4.09±1.11^{ns}	35.04	0.42
อัตราการรอดตาย (%)	95.15±0.43^{ns}	96.58±0.12^{ns}	96.06±0.08^{ns}	10.93	0.54

หมายเหตุ ^{ns} = ไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ (P>0.05)

สำหรับปริมาณความเข้มข้นของไบโอฟลอคที่เกิดจากการเติมสารอินทรีย์คาร์บอนแตกต่างกันพบว่า ความเข้มข้นของไบโอฟลอคจากการเติม MO+RB มีความเข้มข้นมากที่สุด รองลงมาคือ MO+RF และ MO โดยมีค่า 190±0.10, 189±0.40 และ 170±0.81 มก./ล. ตามลำดับ โดย MO + RB มีความเข้มข้นสูงกว่า MO อย่างมีนัยสำคัญ (P<0.05) แต่ไม่แตกต่างกับ MO + RF (P>0.05) (ตารางที่ 2)

ตารางที่ 2 ปริมาณความเข้มข้นของตะกอนฟลอค (TSS) ในบ่อเลี้ยงปลาหมอไทยที่เติมสารอินทรีย์คาร์บอนแตกต่างกัน ระยะเวลา 120 วัน

ความเข้มข้นของตะกอนฟลอค	**ชนิดสารอินทรีย์คาร์บอน**			F	P
	MO (control)	MO+RF (T1)	MO+RB (T2)	Test	Value
TSS of biofloc (mg/L)	170±0.81^{b}	189±0.40^{a}	190±0.10^{a}	8.04	0.048*

หมายเหตุ * = มีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05, $^{a, b}$ = ตัวอักษรภาษาอังกฤษที่ต่างกันมีค่าเฉลี่ยแตกต่างกันทางสถิติ (P<0.05)

เปอร์เซ็นต์โปรตีนของตะกอนไบโอฟลอคจากการเติมสารอินทรีย์คาร์บอนแตกต่างกัน พบว่า MO, MO+RF และ MO+RB มีค่ากับ 30.04±0.59, 31.18±0.97 และ 31.65±0.31 ตามลำดับ โดยไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ (P>0.05) (ตารางที่ 3)

ตารางที่ 3 ปริมาณโปรตีนของไบโอฟลอคตากแห้งจากการเติมสารอินทรีย์คาร์บอนแตกต่างกัน ระยะเวลา 120 วัน

โปรตีน	**ชนิดสารอินทรีย์คาร์บอน**			F	P
	MO (control)	MO+RF (T1)	MO+RB (T2)	Test	Value
ปริมาณโปรตีน (%)	30.04±0.59^{ns}	31.18±0.97^{ns}	31.65±0.31^{ns}	37.31	0.158

หมายเหตุ ^{ns} = ไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ (P>0.05)

ความสัมพันธ์ระหว่างการเจริญเติบโตของปลาหมอไทยกับปริมาณความเข้มข้นของไบโอฟลอค (TSS) จากการเติมสารอินทรีย์คาร์บอนแตกต่างกัน พบว่า การเติม MO+RB, MO+RF และ MO มีความสัมพันธ์เชิงบวกกับ TSS โดยมีค่า *r* = 0.31, 0.30 และ 0.14 ตามลำดับ โดยมีความสัมพันธ์ในระดับต่ำและต่ำมากตามลำดับ และการเจริญเติบโตของปลาหมอไทยที่เติมสารอินทรีย์คาร์บอนแตกต่างกันมีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ (P<0.05) (ตารางที่ 4)

ตารางที่ 4 ความสัมพันธ์ระหว่างการเจริญเติบโตของปลาหมอไทยกับปริมาณตะกอนไบโอฟลอคจากการเติมสารอินทรีย์คาร์บอนแตกต่างกัน

ความสัมพันธ์	**ชนิดสารอินทรีย์คาร์บอน**					
	MO (control)		MO+RF (T1)		MO+RB (T2)	
	r	P-Value	*r*	P-Value	*r*	P-Value
weight gain x TSS	0.14	0.04*	0.30	0.03*	0.31	0.03*

หมายเหตุ * = มีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05

คุณภาพน้ำจากการเลี้ยงปลาหมอไทยในระบบไบโอฟลอคที่เติมสารอินทรีย์คาร์บอนแตกต่างกัน

คุณภาพน้ำตลอดการเลี้ยงพบว่าค่า อุณหภูมิ ออกซิเจนละลายน้ำ (DO) ความเป็นกรดด่าง (pH) และแอมโมเนียไนโตรเจน (NH_3-N) อยู่ในเกณฑ์มาตรฐานตลอดการเลี้ยง แต่ค่าความเป็นด่าง (alkalinity) และไนไตรท์ไนโตรเจน (NO_2-N) ค่อนข้างสูง แต่อย่างไรก็ตามทุกตัวแปรไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($P>0.05$) มีเฉพาะความขุ่น (turbidity) ที่วัดโดยความโปร่งแสง (transparency) ที่พบว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) โดยพบว่าการเติม MO+RB จะมีความขุ่นสูงที่สุดรองลงมาคือ MO+RF และ MO เพียงอย่างเดียวตามลำดับ (ตารางที่ 5)

ตารางที่ 5 คุณภาพน้ำในบ่อเลี้ยงปลาหมอไทยระบบไบโอฟลอคที่เติมสารอินทรีย์คาร์บอนแตกต่างกันระยะเวลา 120 วัน

คุณภาพน้ำ	**ชนิดสารอินทรีย์คาร์บอน**			F	P
	MO (control)	MO+RF (T1)	MO+RB (T2)	Value	Value
อุณหภูมิ (°C)	27.74 ±0.56^{ns}	27.21± 1.83^{ns}	26.80 ±1.24^{ns}	30.67	0.14
DO (มก./ล.)	4.80 ± 1.35^{ns}	4.96 ± 0.34^{ns}	5.01 ± 1.12^{ns}	52.80	0.68
pH	8.01 ± 0.11^{ns}	8.14 ± 1.07^{ns}	7.85 ± 0.35^{ns}	46.13	0.23
ความเป็นด่าง (มก./ล.)	119 ± 0.30^{ns}	118 ± 0.18^{ns}	121 ± 0.22^{ns}	8.56	0.11
NH_3-N (มก./ล.)	0.021±0.63^{ns}	0.019± 0.37^{ns}	0.02 ± 0.55^{ns}	12.49	0.44
NO_2-N (มก./ล.)	0.42±0.45^{ns}	0.30±0.12^{ns}	0.40±0.64^{ns}	20.09	0.72
ความโปร่งแสง (ซม.)	18.33±0.56^{b}	17.61± 0.25^{b}	11.24±0.17^{a}	7.31	0.03*

หมายเหตุ ^{ns} = ไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$), * = มีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05, $^{a, b}$ = ตัวอักษรภาษาอังกฤษที่ต่างกันในแถวเดียวกันมีค่าเฉลี่ยแตกต่างกันทางสถิติ ($P<0.05$)

วิจารณ์ผลการวิจัย

ปลาหมอไทยที่เลี้ยงในระบบไบโอฟลอคจากการเติมสารอินทรีย์คาร์บอนที่ประกอบด้วย กากน้ำตาล แป้งข้าวเจ้าและรำละเอียด เป็นระยะเวลา 120 วัน มีประสิทธิภาพการเจริญเติบโตเฉลี่ยต่อตัวไม่ต่างกัน ($P>0.05$) โดยทุกชุดการทดลองมีขนาดไม่ต่ำกว่า 269 ก./ตัว ซึ่งเป็นปลาขนาดที่ตลาดต้องการ โดยควรมีขนาดในช่วง 5 – 10 ตัว/กก. (Chesoh *et al.*, 2004) นอกจากนี้ยังส่งผลให้ น้ำหนักที่เพิ่มขึ้น การเจริญเติบโตเฉลี่ยต่อวัน อัตราการเจริญเติบโตจำเพาะ อัตราการแลกเนื้อและอัตราการรอดตายไม่แตกต่างกัน ($P>0.05$) สอดคล้องกับ Wankanapol *et al.* (2017) ที่พบว่าการเจริญเติบโตของปลานิลที่เลี้ยงในระบบไบโอฟลอคจากการเติมข้าวโพดป่น ขนมปังป่นและรำละเอียดไม่แตกต่างกัน และ Verma *et al.* (2016) ที่พบว่า การเจริญเติบโตของปลายี่สกเทศที่เลี้ยงในระบบไบโอฟลอคจากการเติมมันสำปะหลัง ข้าวสาลี ข้าวโพด และชานอ้อยเป็นแหล่งคาร์บอนอินทรีย์ไม่แตกต่างกันเช่นกัน โดยปลาหมอไทยมีน้ำหนักที่เพิ่มขึ้นเฉลี่ยทุกชุดการทดลอง 265 ก./ตัว ซึ่งจากผลการทดลองนี้สอดคล้องกับ Crab *et al.* (2012) ที่กล่าวว่ายังมีสารอินทรีย์คาร์บอนอีกหลายชนิดที่หาได้ง่ายในพื้นที่สามารถคัดเลือกนำมาใช้ โดยต้องพิจารณาให้เหมาะสมกับชนิดปลาและสภาพพื้นที่ ซึ่งจะสามารถลดต้นทุนการผลิตและเพิ่มผลผลิตได้ในเวลาเดียวกัน

นอกจากนี้ยังพบว่าในทุกการทดลองมีอัตราการแลกเนื้อต่ำ โดยอยู่ในช่วงระหว่าง 1.55 – 1.57 และอัตราการรอดตายมีค่าสูงกว่า 90% จากการเติมสารอินทรีย์คาร์บอนทั้งสามชนิด สอดคล้องกับ Sompong *et al*. (2018) ที่พบว่าการเลี้ยงปลานิลแดงวัยอ่อนในระบบไบโอฟลอคช่วยให้อัตราการแลกเนื้อต่ำ และอัตราการรอดที่สูงและ Azhar *et al*.(2016) ที่พบว่ากุ้งขาวที่เลี้ยงในระบบไบโอฟลอคจะมีสุขภาพดีเนื่องจากในบ่อเลี้ยงมีปริมาณแอมโมเนียที่ลดลง เนื่องจากจุลินทรีย์ทำการดูดซับแอมโมเนียแล้วเพิ่มจำนวนตัวเองให้มากขึ้น ส่งผลให้น้ำมีคุณภาพเหมาะสม กุ้งจึงมีความเครียดต่ำ สามารถกิน ย่อยและดูดซึมสารอาหารได้ดี ส่งผลให้มีการเจริญเติบโตดี ซึ่ง Avnimelech (2015) ได้อธิบายว่าในระบบไบโอฟลอคจะช่วยให้ปลามีสุขภาพดี เนื่องจากน้ำถูกบำบัดไม่ให้เกิดของเสียภายในบ่อ ส่งผลให้อัตราการแลกเนื้อต่ำ และอัตราการรอดตายสูง นอกจากนี้ปลาหมอไทยซึ่งเป็นปลากินเนื้อ สามารถเจริญเติบโตได้ดีในรูปแบบการเลี้ยงที่ความหนาแน่นสูง โดยในการทดลองนี้ใช้ความหนาแน่นที่ 50 ตัว/ม.^{3} ซึ่งเหมาะสมกับการเลี้ยงระบบไบโอฟลอคที่ใช้ความหนาแน่นสูงกว่าปกติ (Avnimelech, 2015) สอดคล้องกับ Doolgindachbaporn *et al*. (2003) ที่พบว่าการปล่อยปลาหมอไทยในบ่อพลาสติกกลมที่ความหนาแน่น 55 ตัว/ม.^{3} มีผลให้การเจริญเติบโตดีที่สุด และสอดคล้องกับ Crab *et al*. (2010) ที่กล่าวว่าพฤติกรรมการกินอาหาร ความหนาแน่นรวมทั้งความสามารถในการย่อยและดูดซึมอาหารเป็นหลักในการพิจารณาเลือกปลามาเลี้ยงให้เหมาะสมกับระบบเช่นกัน ประกอบกับในการทดลองนี้มีการควบคุมสัดส่วน C : N ให้เท่ากับ 15 : 1 ซึ่งสอดคล้องกับ Martinez-Cordova *et al*. (2014) ที่พบว่า การควบคุมสัดส่วนในช่วง 15 – 20 นี้จะช่วยลดแอมโมเนียและสารประกอบไนโตรเจนได้ดียิ่งขึ้น นอกจากนี้ Azhar *et al*. (2016) อธิบายเพิ่มเติมว่าหากเพิ่ม C : N ให้สูงขึ้นจาก 15 – 20 นี้จะสามารถลดแอมโมเนียในบ่อเลี้ยงกุ้งขาว (*Litopeneus vannamei*) ได้เพิ่มขึ้นถึง 86% นอกจากนี้สารอินทรีย์คาร์บอนทั้ง 3 ชนิดสามารถสร้างตะกอนไบโอฟลอคเพื่อเป็นอาหารเสริมของปลาหมอไทยได้อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) โดยเฉพาะการเติมกากน้ำตาลเพียงชนิดเดียว จุลินทรีย์สามารถนำน้ำตาลที่เป็นโมเลกุลเดี่ยวไปใช้ในการเจริญเติบโตและเพิ่มปริมาณได้ทันที ส่วนแป้งข้าวเจ้า และรำละเอียดที่ผสมกับกากน้ำตาล จุลินทรีย์จะใช้ประโยชน์โดยตรงจากกากน้ำตาลก่อนจากนั้นจึงจะใช้น้ำตาลจากการย่อยสลายคาร์โบไฮเดรตตามมา ซึ่งวัตถุดิบนี้ถูกเรียกว่า “แหล่งปลดปล่อยอินทรีย์คาร์บอนที่ใช้เวลายาวนาน (long last carbon source)” (Verma *et al*., 2016) ประโยชน์ของการเติมสารอินทรีย์คาร์บอนประเภทนี้คือช่วยลดความถี่ของการเกิดแอมโมเนียไนโตรเจน (NH_3-N) เมื่อเปรียบเทียบกับการเติมกากน้ำตาลเพียงชนิดเดียวทำให้สามารถลดต้นทุนได้อีกทางหนึ่ง สอดคล้องกับ Avnimelech (2015) ที่กล่าวว่าการเติมแหล่งคาร์บอนที่เหมาะสมจะช่วยลดปริมาณแอมโมเนียลงได้ภายในเวลาไม่เกิน 8 ชั่วโมง แม้ว่าสารอินทรีย์คาร์บอนทั้ง 3 ชนิดนี้จะไม่ส่งผลให้การเจริญเติบโตของปลาหมอไทยแตกต่างกัน แต่ส่งผลทางอ้อมต่อปริมาณความเข้มข้นของตะกอนไบโอฟลอคแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) สอดคล้องกับ Wankanapol *et al*. (2017) ที่พบว่าการเติมขนมปังป่น รำละเอียด และข้าวโพดป่นมีผลทำให้ความเข้มข้นและปริมาณไบโอฟลอคในบ่อเลี้ยงปลานิลแตกต่างกันและ Parnaudeau *et al*. (2008) และ Pourzamani & Ghani (2016) ที่กล่าวว่าปริมาณเปอร์เซ็นต์คาร์บอนของกากน้ำตาล แป้งข้าวเจ้า และรำละเอียดใกล้เคียงกันมากทำให้ปริมาณการเติมลงในบ่อแต่ละครั้งเพื่อลดแอมโมเนีย จึงไม่แตกต่างกันแต่จะแตกต่างกันตรงลักษณะทางกายภาพของวัตถุดิบอินทรีย์คาร์บอนที่เกี่ยวกับการละลายน้ำและไม่ละลายน้ำนั่นเอง โดยการเติมกากน้ำตาลผสมกับรำละเอียดและกากน้ำตาลผสมแป้งข้าวเจ้าจะส่งผลต่อปริมาณความเข้มข้นของไบโอฟลอคสูงกว่าการเติมกากน้ำตาลเพียงชนิดเดียว ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากรำละเอียดและแป้งข้าวเจ้าเป็นวัตถุดิบที่

มีปริมาณไฟเบอร์ (fiber) สูง โดยมีลักษณะเป็นผงขนาดเล็กไม่ละลายน้ำ สามารถแขวนลอยอยู่ในน้ำ เมื่อเติมเข้าสู่ระบบไบโอฟลอค จะถูกจุลินทรีย์จับและรวมตัวกับสารอาหารหรือตะกอนอินทรีย์วัตถุอื่น ๆ ที่แขวนลอยในบ่อ ทำให้สร้างตะกอนไบโอฟลอค ได้มากกว่าการเติมกากน้ำตาลซึ่งเป็นของเหลวละลายน้ำได้เพียงชนิดเดียว การมีปริมาณตะกอนที่สูงนี้ส่งผลต่อการกินอาหารของปลาหมอไทย เพราะปลาสามารถกินตะกอนไบโอฟลอคได้ทันทีเมื่อมีการย่อยอาหารไปแล้วมากกว่า 50% (Crab *et al*., 2012) โดยกินร่วมกับอาหารเม็ดสำเร็จรูป สามารถสังเกตได้จากพฤติกรรมการกินอาหารเม็ดสำเร็จรูปในแต่ละครั้งที่ลดลงเปรียบเทียบกับการเลี้ยงในระบบปกติที่กินมากกว่า นอกจากนี้ผลการวิเคราะห์เปอร์เซ็นต์โปรตีนของตะกอนไบโอฟลอคจากการเติมสารคาร์บอนอินทรีย์ทั้งสามชนิดยืนยันว่ามีปริมาณโปรตีนสูงไม่ต่ำกว่า 30% ทำให้ปลาหมอไทยมีอาหารโปรตีนสูงกินร่วมกับอาหารสำเร็จรูปที่มีโปรตีนไม่ต่ำกว่า 30% ตลอดเวลา สอดคล้องกับ Chareontedprasit *et al*. (1997) ที่พบว่าปลาหมอไทยจะเจริญเติบโตได้ดีหากได้รับอาหารที่มีโปรตีนไม่ต่ำกว่า 30% และ Sompong *et al*. (2018) ที่พบว่าตะกอนไบโอฟลอค มีโปรตีนไม่ต่ำกว่า 30% ซึ่งองค์ประกอบของตะกอนไบโอฟลอคส่วนใหญ่ Avnimelech (2015) กล่าวว่าจะเป็นกลุ่มจุลินทรีย์หลากหลายชนิด เช่น *Bacillus* sp. ที่รวมตัวกับอาหารที่ปลากินไม่หมด (uneaten food) ตะกอนอุจจาระของปลา (fish feces) แพลงก์ตอนพืชและสัตว์ (phytoplankton และ zooplankton) ที่ยังมีชีวิตและตายแล้ว โดยมีขนาดไม่เกินกว่า 0.2 มม. ซึ่งเมื่อรวมตัวกันจึงเป็นอาหารเสริมในการเลี้ยงปลาที่ดีเพราะปลาสามารถนำไปใช้ได้เหมาะสม Wei *et al*. (2020) พบว่า ในตะกอนไบโอฟลอคพบความแตกต่างของจุลินทรีย์มากถึง 15 phyla และมากกว่า 30 families โดยจะพบ Phyla Proteobacteria, Bacteroidetes และ Cyanobacteria เป็นต้น นอกจากนี้ Ekasari *et al*. (2014) อธิบายเพิ่มเติมว่า องค์ประกอบของไบโอฟลอคขึ้นอยู่กับขนาด โดยในขนาดเล็กกว่า 49 มคม. จะอุดมไปด้วยกรดอะมิโนที่จำเป็น (essential amino acid) และถ้าใหญ่กว่า 100 มคม. จะมีโปรตีน (protein) และไขมัน (lipid) สูงที่สุดเหมาะกับการเป็นอาหารกุ้งขาวปลานิลและหอยแมลงภู่ นอกจากนี้ Wei *et al*. (2016) พบว่าการใช้แหล่งคาร์บอนอินทรีย์แตกต่างกันก็มีผลทำให้องค์ประกอบของไบโอฟลอคแตกต่างกัน โดยแป้งข้าวเจ้าจะช่วยให้มีไขมันสูง ส่วนกรดอะมิโนที่จำเป็นและไม่จำเป็นจะพบได้มากในน้ำตาลกลูโคสและกลีเซอรอล ซึ่งเป็นโปรตีนที่มีคุณภาพดีเหมาะกับการเลี้ยงกุ้ง เป็นต้น จากข้อมูลเหล่านี้จึงอาจสนับสนุนให้ปลาหมอไทยมีการเจริญเติบโตที่เหมาะสมในระบบไบโอฟลอคนี้

นอกจากนี้ความสัมพันธ์ของความเข้มข้นของไบโอฟลอคกับน้ำหนักปลาหมอไทยที่เพิ่มขึ้นมีความสัมพันธ์กันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ 0.05 ($P<0.05$) สอดคล้องกับ Wankanapol *et al*. (2017) ที่พบว่าการเจริญเติบโตของปลานิลมีความสัมพันธ์กับปริมาณความเข้มข้นของไบโอฟลอค แต่แตกต่างกับ Gaona *et al*. (2016) ที่พบว่าปริมาณตะกอนไบโอฟลอคไม่มีความสัมพันธ์กับการเจริญเติบโตของกุ้งขาว (*Litopenaeus vannamei*) ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากพฤติกรรมการกินอาหารที่ต่างกัน โดยปลาหมอไทยและปลานิลสามารถกินตะกอนไบโอฟลอคผ่านการกินโดยตรงและกรองกินได้ในทุกระดับของความลึกของน้ำแต่กุ้งขาวจะกินอาหารที่ตกอยู่เฉพาะผิวหน้าดินก้นบ่อเท่านั้น เป็นต้น

สรุปผลการวิจัย

ปลาหมอไทยสามารถเลี้ยงได้ในระบบไบโอฟลอคเนื่องจากมีประสิทธิภาพการเจริญเติบโต เช่น น้ำหนักที่เพิ่มขึ้น การเจริญเติบโตเฉลี่ยต่อวัน อัตราการเจริญเติบโตจำเพาะ อัตราการแลกเนื้อ และอัตราการรอดที่เหมาะสม โดยระบบไบโอฟลอค

ที่เลี้ยงสามารถเลือกใช้กากน้ำตาล แป้งข้าวเจ้า และรำละเอียด ซึ่งเป็นสารอินทรีย์คาร์บอนที่หาได้ง่ายในท้องถิ่นในการเติมเข้าไปสร้างตะกอนฟลอคได้ เนื่องจากส่งผลให้การเจริญเติบโตไม่แตกต่างกัน โดยแต่ละชนิดจะสามารถสร้างปริมาณฟลอคได้แตกต่างกัน และมีความสัมพันธ์เชิงบวกกับการเจริญเติบโตของปลาหมอไทย

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนงบประมาณจากสำนักวิจัยและส่งเสริมวิชาการการเกษตรและสถานที่ในการทดลองของคณะเทคโนโลยีการประมงและทรัพยากรทางน้ำ มหาวิทยาลัยแม่โจ้

เอกสารอ้างอิง

AOAC. (1990). Official Methods of Analysis of the AOAC, 15th ed. Association of official analytical chemists. Arlington, VA, USA.

APHA. (1998). Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. 20th Edition, Washington D.C.: American Public Health Association, American Water Works Association, Water Environmental Federation.

Avnimelech, Y. (2015). Biofloc technology – A Practical Guide Book. 3rd ed. Louisiana, United States: The World Aquaculture Society book program, Baton Rouge.

Azhar, M.H., Supriyono, E., Nirmala, K., & Ekasari, J. (2016). Organic carbon source and C/N ratio affect inorganic nitrogen profile in the biofloc-based culture media of Pacific white shrimp (*Litopenaeus vannamei*). *ILMU KELAUTAN*, *1*(1), 23-28.

Azim, M.E., & Little, D.C. (2008). The bioflocs technology (BFT) in indoor tanks: water quality, bioflocs composition, and growth and welfare of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus). Aquaculture, 283,* 29–35.

Chareontedprasit, N., Jeawyam, W., Kongsai, S., & Teapsee, T. (1997). The appropriate protein level and stocking density of Climbing perch (*Anabas testudineus*) in cage culture. *Khon Kaen Agriculture Journal, 25*, 42-47. (in Thai)

Chesoh, S., Damjuthi, A., Juladoong, S., Gomenpririn, K., Tipbanpot, M., & Sitthikasemkit, N. (2004). Climbing perch: Biology, Culture and Technique for Commercial Culture. Department of Fisheries and Thailuxe Enterprise Company Limited. P. 32. (in Thai)

Crab, R., Chielens, B., Wille, M., Bossier, P., & Verstraete, W. (2010). The effect of different carbon sources on the nutritional value of biofloc, a feed for *Macrobrachium rosenbergii* postlarvae. *Aquaculture, 41,* 559–567.

Crab, R., Defoirdt, T., Bossier, P., & Verstraete, W. (2012). Biofloc technology in aquaculture: beneficial effects and future challenges. *Aquaculture*, *356*, 351-356.

Department of Fisheries. (2019). Fisheries statistics of Thailand 2017. Fisheries development policy and strategy Division. Ministry of Agriculture and Cooperatives. P. 92. (in Thai)

Doolgindachbaporn, S., Jaruratjamorn, P., & Khongsai, S. (2003). Culturing of climbing perch, *Anabas testudineus* (Bloch) at varying densities. Proceeding of 41st Kasetsart University annual conference subject Fisheries, 329 – 335. (in Thai)

Ekasari, J., Angela, D., Waluyo, S.H., Bachtiar, T., Surawidjaja, E.H., Bossier, P., & Schryver, P.D. (2014). The size of biofloc determines the nutritional composition and the nitrogen recovery by aquaculture animals. *Aquaculture*, 426-427, 105-111.

Gaona, C. A. P., Serra, F. da P., Furtado, P. S., Poersch, L. H., & Wasielesky, W.Jr. (2016). Effect of different total suspended solids concentrations on the growth performance of *Litopenaeus vannamei* in a BFT system. *Aquacultural Engineering*, *72–73*, 65–69.

Martinez-Cordova, L.R., Emerenciano, M., Miranda-Baeza, A., & Martinez-Porchas, M. (2014). Microbial-based systems for aquaculture of fish and shrimp: an updated review. *Reviews in Aquaculture*, *6*, 1–18.

Parnaudeau, V., Condom, N., Oliver, R., Cazevieille, P., & Recous, S. (2008). Vinasse organic matter quality and mineralization potential, as influenced by raw material, fermentation and concentration processes. *Bioresource Technology, 99*, 1553–1562.

Pourzamani, H., & Ghavi, M. (2016). Effect of rice bran on the quality of vermicompost produced from food waste. *International Journal of Environmental Health Engineering*, *5*(2), 1-8.

Sompong, U., Inkam, M., Promya, J., & Whangchai, N. (2018). Effect of biofloc technology (BFT) on red tilapia larvae aquaculture. *Khon Kaen Agriculture Journal*, *46* (5), 833-842. (in Thai)

Verma, I. A. H. A.K., Rani, A. M. B., Rathore, G., Saharan, N., & Gora, A.H. (2016). Growth, non-specific immunity and disease resistance of *Labeo rohita* against *Aeromonas hydrophila* in biofloc systems using different carbon sources. *Aquaculture*, *457*, 61–67.

Wei, Y.F., Liao, S.A., & Wang, A.L. (2016). The effect of different carbon sources on the nutritional composition, microbial community and structure of bioflocs. *Aquaculture*, *465*, 88-93.

Wei, Y.F., Wang, A.L., & Liao, S.A. (2020). Effect of different carbon sources on microbial community structure and composition of ex-situ biofloc formation. *Aquaculture*, *515*, 1-7.

Wankanapol, A., Chaibu, P., & Soonthornvipat, S. (2017). Evaluation of Different Carbon Sources for Biofloc Production in Tilapia (*Oreochromis niloticus,* L.) Culture. *Silpakorn University Science and Technology Journal*, *11*(3), 17-24.