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

การใช้กากตะกอนน้ำมันปาล์มทดแทนรำละเอียดในอาหารปลานิลแปลงเพศวัยรุ่น

Using of Palm Oil Sludge to Replace Rice Bran in Juvenile Nile Tilapia Feed

พิเชต พลายเพชร* และ วีระวรรณ จาดพันธุ์อินทร์

Pichet Plaipetch* and Weerawan Jadphan-In

ศูนย์วิจัยและพัฒนาเทคโนโลยีอาหารสัตว์น้ำชลบุรี กรมประมง

Chonburi Aquatic Animal Feed Technology Research and Development Center, Department of Fisheries

Received : 6 February 2020

Revised : 22 April 2020

Accepted 23 April 2020

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ศึกษาการทดแทนรำละเอียดด้วยกากตะกอนน้ำมันปาล์มในอาหารปลานิลแปลงเพศวัยรุ่น อัตรา 0, 25, 50, 75 และ 100% ตามลำดับ อาหารทดสอบมีโปรตีน 28% และไขมัน 5% โดยสูตรควบคุมใช้รำละเอียด 30% เลี้ยงปลาที่มีน้ำหนักเริ่มต้นประมาณ 65 กรัม ด้วยอาหารแต่ละสูตรๆ ละ 3 ซ้ำ วันละ 3 ครั้ง แบบให้กินจนอิ่ม เป็นระยะเวลา 60 วัน พบว่าปลาที่เลี้ยงด้วยอาหารทุกสูตรมีอัตราการเจริญเติบโต อัตรารอดตาย อัตราการกินอาหาร อัตราแลกเนื้อและอัตราการสะสมโปรตีน ไขมันและแร่ธาตุในเนื้อไม่แตกต่างกัน ($p>0.05$) ปลาที่เลี้ยงด้วยอาหารที่ทดแทนรำละเอียดด้วยกากตะกอนน้ำมันปาล์มอัตรา 75 และ 100% มีประสิทธิภาพการใช้โปรตีนจากอาหารสูงกว่าและมีต้นทุนค่าอาหารต่ำกว่าปลาที่เลี้ยงด้วยอาหารสูตรอื่นๆ ($p<0.05$) ปลาที่เลี้ยงด้วยอาหารที่ทดแทนรำละเอียดด้วยกากตะกอนน้ำมันปาล์มอัตรา 100% มีโปรตีนในเนื้อสูงกว่าและไขมันในเนื้อน้อยกว่าปลาที่เลี้ยงด้วยอาหารสูตรอื่นๆ ($p<0.01$) แต่ปริมาณแร่ธาตุในเนื้อไม่แตกต่างกัน ($p>0.05$) ปลาที่เลี้ยงด้วยอาหารทุกสูตรมีค่า Condition factor สัดส่วนร้อยละของเนื้อ ดัชนีตับและดัชนีอวัยวะภายใน และสัดส่วนอวัยวะอื่นๆ ไม่แตกต่างกัน ($p>0.05$) การทดแทนรำละเอียดด้วยกากตะกอนน้ำมันปาล์มในอาหารไม่มีผลกระทบต่อการสะสมกรดอะมิโนจำเป็นในเนื้อปลานิล และทำให้อัตราส่วนของกรดไขมันเพิ่มขึ้น เช่น n-3/n-6, ARA/Total n-6, EPA+DHA/Total n-3 และ DHA/EPA ดังนั้นสรุปได้ว่าสามารถใช้กากตะกอนน้ำมันปาล์มทดแทนรำละเอียดได้ 100% สำหรับสูตรอาหารปลานิลแปลงเพศวัยรุ่นที่ใช้รำละเอียด 30% โดยไม่กระทบการเจริญเติบโต การใช้ประโยชน์อาหาร อัตรารอดตายและลักษณะทางกายภาพของปลา อีกทั้งช่วยปรับปรุงคุณค่าทางโภชนาการของเนื้อปลาให้ดียิ่งขึ้น

คำสำคัญ : กากตะกอนน้ำมันปาล์ม ; ปลานิล ; อาหาร ; รำละเอียด

*Corresponding author. E-mail: picet28@yahoo.com

Abstract

This research was aimed to determine the dietary replacement of rice bran (RB) with palm oil sludge (POS) for juvenile sex-reversal Nile tilapia at ratios of 0, 25, 50, 75 and 100%, respectively. Dietary protein and lipid were approximately 28% and 5%, in which a control diet contained 30% rice bran. Three fish groups with initial weight of 65 grams were fed each diet by three times a day to apparent satiation lasted 60 days. Non-significant differences on rates of growth, survival, feed intake, feed conversion and retention of protein, lipid and mineral in flesh, were observed among fish fed all test diets ($p>0.05$). Fish fed diet replacing RB with POS by 75 and 100% showed significantly higher protein efficiency ratios and lower feed cost than those of fish fed other diets ($p<0.05$). Fish fed diet replacing RB with POS by 100% showed highly significant higher protein and lower lipid in flesh than those of fish fed other diets ($p<0.01$), but total minerals were not significant different ($p>0.05$). While, non-significant differences of condition factor, flesh yield percentage, indices of hepato-somatic and viscera-somtatic and other organs ratio, were observed among fish fed all test diets ($p>0.05$). Retentions of essential amino acids in flesh of fish were not impacted by dietary replacement of RB with POS, also increased fatty acids ratios in flesh i.e. n-3/n-6, ARA/Total n-6, EPA+DHA/Total n-3 and DHA/EPA. Conclusively, POS could be used to replace RB by 100% for juvenile sex reversal Nile tilapia feed contained 30% rice bran without negative impacts on growth, feed utilization, survival rate and physical qualities of fish, also improved nutritional values of flesh.

Keywords : palm oil sludge ; Nile Tilapia ; feed ; rice bran

บทนำ

ปลานิลเป็นสัตว์น้ำจืดที่นิยมเลี้ยงอย่างแพร่หลายทั่วโลกเนื่องจากเลี้ยงง่ายและสามารถปรับตัวต่อการเปลี่ยนแปลงของสภาพแวดล้อมได้ดี (Agbo, 2008; Food and Agriculture Organization, 2014) ทั้งนี้ปลานิลเป็นสัตว์น้ำที่มีผลผลิตจากการเพาะเลี้ยงเป็นอันดับสองของโลกรองจากปลากลุ่มปลาคาร์พและมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นทุกปี (Tveteras *et al*., 2019) ในประเทศไทยปลานิลเป็นสัตว์น้ำเศรษฐกิจที่สำคัญเนื่องจากมีผลผลิตและมูลค่ามากที่สุดเมื่อเทียบกับสัตว์น้ำจืดชนิดอื่น (Department of Fisheries, 2019) อย่างไรก็ตามผลผลิตปลานิลส่วนใหญ่ใช้บริโภคภายในประเทศทำให้ราคาจำหน่ายหน้าฟาร์มต่ำซึ่งส่งผลให้เกษตรกรได้รับผลตอบแทนต่ำไปด้วย (Nhoorit, 2019) ทั้งนี้จากการวิเคราะห์ต้นทุนการเลี้ยงปลานิลในประเทศไทยพบว่าต้นทุนที่สำคัญคืออาหารโดยมีค่ามากกว่า 50% ของต้นทุนการผลิตหากเป็นการเลี้ยงแบบพัฒนา (Department of Fisheries, 2010) ดังนั้นการลดต้นทุนค่าอาหารเป็นอีกแนวทางหนึ่งที่ช่วยให้เกษตรกรได้รับผลตอบแทนการเลี้ยงสูงขึ้น ต้นทุนค่าอาหารเป็นค่าที่คำนวณจากผลคูณของราคาอาหารกับอัตราแลกเนื้อ ดังนั้นการลดต้นทุนค่าอาหารที่เกษตรกรสามารถทำได้ง่ายคือการควบคุมอัตราแลกเนื้อโดยการให้อาหารที่มีสารอาหารเพียงพอต่อความต้องการและมีจัดการการให้อาหารที่เหมาะสมกับช่วงอายุของปลาและรูปแบบการเลี้ยง ขณะที่การลดต้นทุนค่าอาหารโดยการลดราคาอาหาร เช่น การลดต้นทุนวัตถุดิบอาหาร เป็นอีกวิธีการหนึ่งที่เกษตรกรที่ผลิตอาหารใช้เองในฟาร์มและโรงงานผลิตอาหารสัตว์น้ำสามารถปฏิบัติได้ โดยการทดแทนปลาป่นซึ่งเป็นแหล่งโปรตีนราคาแพงด้วยแหล่ง

โปรตีนชนิดอื่นๆ ที่ราคาถูกกว่าเป็นวิธีการที่ปฏิบัติโดยทั่วไปและมีการศึกษาอย่างต่อเนื่อง ขณะที่การทดแทนวัตถุดิบอาหารชนิดอื่นๆ ยังมีการศึกษาน้อยโดยเฉพาะแหล่งคาร์โบไฮเดรต ซึ่งในสูตรอาหารปลานิลที่เป็นปลากินทั้งพืชและสัตว์มีการใช้คาร์โบไฮเดรตในอัตราสูง ดังนั้นการทดแทนแหล่งคาร์โบไฮเดรตราคาแพงด้วยแหล่งคาร์โบไฮเดรตราคาถูกจึงเป็นหัวข้องานวิจัยที่น่าสนใจและอาจเป็นแนวทางหนึ่งในการลดต้นทุนวัตถุดิบอาหารปลานิลได้

กากตะกอนน้ำมันปาล์ม (palm oil sludge, POS) เป็นแหล่งคาร์โบไฮเดรตที่ศักยภาพในการผลิตอาหารสัตว์น้ำ เนื่องจากมีคาร์โบไฮเดรตประมาณ 37% และมีโปรตีนและไขมันประมาณ 14 และ 9% ตามลำดับ (Samanta *et al*., 2019) มีผลผลิตในประเทศปีละไม่ต่ำกว่า 300,000 ตัน (Seephueak *et al*., 2011) และมีราคาประมาณ 0.3 บาทต่อกิโลกรัม (Savang-Arrom *et al*., 2016) เทียบกับรำละเอียด รำข้าวสาลี ปลายข้าวและกากมันสำปะหลัง ที่มีราคาประมาณ 9, 8, 11 และ 7 บาทต่อกิโลกรัม ตามลำดับ (Thai Feed Mill Association, 2020) ปัจจุบันมีการใช้ประโยชน์กากตะกอนน้ำมันปาล์มเพียงแค่เป็นแหล่งปุ๋ยอินทรีย์ วัสดุคลุมหน้าดินและการผลิตก๊าซชีวมวลเท่านั้น (Seephueak *et al*., 2011) ส่วนการใช้กากตะกอนน้ำมันปาล์มในอาหารสัตว์ยังอยู่ในขั้นการทดลอง ซึ่งงานวิจัยที่ผ่านพบว่าใช้ได้ผลดีในอาหารสุกร แพะและโค ((Seephueak *et al*., 2011; Gafar *et al*., 2013; Samanta *et al*., 2019) ส่วนการศึกษาการใช้กากตะกอนน้ำมันปาล์มในอาหารสัตว์น้ำเป็นการใช้กากตะกอนน้ำมันปาล์มผสมกับอาหารสำเร็จรูปปลาดุกเชิงพาณิชย์ในอัตรา 50% (1:1) และ 67% (1:2) ก่อนนำไปเลี้ยงปลานิล ปลาดุกอุยเทศและปลาหมอ ซึ่งพบว่าอาหารที่ผสมกากตะกอนน้ำมันปาล์มอัตรา 50% ได้ผลดีสำหรับการเลี้ยงปลาดุกอุยเทศและปลาหมอวัยรุ่น แต่มีผลให้ปลานิลวัยรุ่นเจริญเติบโตและการใช้ประโยชน์อาหารด้อยกว่าอาหารสำเร็จรูป (Savang-Arrom *et al*., 2010, 2012, 2016) อย่างไรก็ตามงานวิจัยที่ผ่านมาแสดงให้เห็นถึงความเป็นไปได้ในการใช้กากตะกอนน้ำมันปาล์มในอาหารปลานิลแต่ควรใช้ในอัตราที่น้อยกว่า 50% ดังนั้นงานวิจัยนี้ได้ศึกษาการใช้กากตะกอนน้ำมันปาล์มในสูตรอาหารปลานิลวัยรุ่นอัตรา 30% โดยใช้ทดแทนรำละเอียดเพื่อลดต้นทุนวัตถุดิบอาหาร ซึ่งผลการศึกษานี้อาจมีประโยชน์สำหรับเกษตรกรที่ต้องการผลิตอาหารปลานิลต้นทุนต่ำ และสำหรับโรงานผลิตอาหารสัตว์น้ำที่ต้องการลดต้นทุนค่าวัตถุดิบอาหารเพื่อที่จะสามารถจำหน่ายอาหารปลานิลในราคาที่ต่ำลงได้

วิธีดำเนินการวิจัย

การวางแผนการทดลอง การเตรียมระบบทดลองและปลาทดลอง

วางแผนการทดลองแบบสุ่มตลอด (Completely Randomized Design, CRD) และทำการทดลอง 3 ซ้ำ เพื่อศึกษาการทดแทนรำละเอียดด้วยกากตะกอนน้ำมันปาล์มในอาหารปลานิลวัยรุ่นอัตรา 0, 25, 50, 75 และ 100% ตามลำดับ ทดลองในระบบน้ำหมุนเวียน (Recirculating Aquaculture System, RAS) ซึ่งประกอบด้วยถังพลาสติกขนาดความจุ 120 ลิตร จำนวน 15 ถัง ที่ต่อเข้ากับระบบหมุนเวียนน้ำที่ประกอบด้วยถังตกตะกอน 1 ถัง ถังไบโอฟิลเตอร์ 2 ถัง และถังพักน้ำ 1 ถัง เติมน้ำในแต่ละถังให้มีปริมาตร 100 ลิตร ให้อากาศโดยใช้หัวทรายในถังๆ ละ 2 หัว ทำการเปิดระบบน้ำหมุนเวียนเป็นระยะเวลา 1 เดือน (ภาพที่ 1) ก่อนเริ่มการทดลอง พร้อมทั้งใส่กากผงชูรสสัปดาห์ละ 100 ซีซี ในระบบเพื่อเป็นแหล่งสารอาหารของแบคทีเรีย ส่วนปลาทดลองเป็นปลานิลแปลงเพศสายพันธุ์จิตรลดา 3 ขนาด 2-3 เซนติเมตร จำนวน 1,000 ตัว ซึ่งซื้อจากศูนย์วิจัยและพัฒนาการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำจืดเขต 7 (ชลบุรี) เลี้ยงปลาทดลองในบ่อคอนกรีตปริมาตร 6 ลูกบาศก์เมตร และให้อาหารสำเร็จรูปปลานิลที่มีโปรตีนไม่ต่ำกว่า 30% วันละ 3 ครั้ง (09.00, 13.00 และ 17.00 น.) แบบกินจนอิ่ม เป็นระยะเวลา 2 เดือน ก่อนเริ่มการทดลอง จากนั้นทำการคัดขนาดปลาที่มีขนาดใกล้เคียงกันจำนวน 225 ตัว จากปลาที่เหลือจากการอนุบาลจำนวน 920 ตัว และปล่อยเลี้ยงในถังทดลองอัตรา 15 ตัวต่อถัง

ภาพที่ 1 ระบบทดลองแบบระบบน้ำหมุนเวียน

สูตรอาหารและการผลิตอาหารทดลอง

ผลิตอาหารทดลองตามสูตรที่แสดงในตารางที่ 1 อาหารแต่ละสูตรมีเส้นผ่านศูนย์กลาง 3 และ 4.5 มิลลิเมตร ขนาดละ 10 กิโลกรัม ตามลำดับ ขั้นตอนการผลิต มีดังนี้ ชั่งวัตถุดิบแต่ละชนิดสำหรับผลิตอาหารแต่ละสูตรๆ ละ 20 กิโลกรัม ผสมวิตามินซี วิตามิน แร่ธาตุรวม สารกันหืนและสารกันราให้เข้ากันนาน 10 นาที จากนั้นเติมวัตถุดิบอื่นๆ และผสมต่ออีก 10 นาที เติมน้ำอัตรา 30 % ของน้ำหนักวัตถุดิบ และผสมต่ออีก 15 นาที จากนั้นแบ่งอาหารแต่ละสูตรออกเป็น 2 ส่วนๆ ละ 13 กิโลกรัม ทำการอัดเม็ดอาหารด้วยเครื่องบดเนื้อ โดยอาหารส่วนแรกและส่วนที่สอง อัดผ่านหน้าแว่นอาหาร 3 และ 4.5 มิลลิเมตร ตามลำดับ จากนั้นนึ่งอาหารด้วยตู้นึ่งไอน้ำ (95-100 °C) นาน 5 นาที ก่อนอบอาหารด้วยตู้อบ (60 °C) นาน 18 ชั่วโมง จากนั้นร่อนอาหารด้วยตะแกรงเพื่อกำจัดเศษอาหารและฝุ่น เก็บรักษาอาหารทดลองในตู้เย็นก่อนทดลอง เก็บตัวอย่างอาหารแต่ละสูตรๆ ละ 300 กรัม โดยแบ่งเป็นอาหารขนาด 3 และ 4.5 มิลลิเมตร ขนาดละ 150 กรัม บดอาหารและผสมกันก่อนบรรจุในถุงและเก็บรักษาในตู้แช่แข็ง (-20 °C) เพื่อวิเคราะห์หาคุณค่าทางอาหารต่อไป ส่วนต้นทุนวัตถุดิบอาหารคำนวณจากราคาปลาป่น กากถั่วเหลือง รำละเอียดและปลายข้าว ที่อ้างอิงในเว็บไซต์ของ Thai Feed Mill Association (2020) และราคาวิตามินซี บีเอชที แคลเซียมโปรปิโอเนตและโมโนแคลเซียมฟอสเฟต ที่สืบค้นจากเว็บไซต์อาลีบาบา (Alibaba Company, 2020) และราคาวิตามินรวมและแร่ธาตุรวมประมาณการจากการเตรียมวัตถุดิบเอง ส่วนต้นทุนการผลิตอาหารรวมคำนวณจากอัตราส่วน (%) ของต้นทุนวัตถุดิบในการผลิตอาหารสัตว์สำเร็จรูปเชิงพาณิชย์จากการสำรวจของ Chayapoomsakul (2000)

วิธีการการทดลอง

เลี้ยงปลาด้วยอาหารทดลองแต่ละสูตรๆ ละ 3 ซ้ำ วันละ 3 ครั้ง แบบให้กินจนอิ่ม โดยสังเกตจากปลาเริ่มไม่กินจึงหยุดให้อาหาร ระหว่างการทดลองทำการเปลี่ยนถ่ายน้ำในตู้และระบบน้ำหมุนเวียนอัตรา 50% ทุกๆ 4 วัน พร้อมทั้งล้างระบบกรอง ตรวจวัดคุณภาพน้ำสัปดาห์ละครั้งก่อนการเปลี่ยนถ่ายน้ำ ดังนี้ วัดปริมาณออกซิเจนที่ละลายน้ำด้วยเครื่อง DO meter วัดความเป็นกรดด่างและอุณหภูมิด้วยเครื่อง pH meter วิเคราะห์ความเป็นด่างตามวิธีที่อ้างโดย Duangsawasdi & Somsiri (1985) วัดแอมโมเนียรวม หน่วยเป็น มิลลิกรัมต่อลิตร (mg/l) ด้วยวิธี Direct Nesslerization โดยใช้ Spectrophotometer และวัดไนไตรท์ หน่วยเป็น มิลลิกรัมต่อลิตร (mg/l) ด้วยวิธี Colorimetric Method โดยใช้ Spectrophotometer ระหว่างการทดลองทำการชั่งน้ำหนักรวมทุกๆ 15 วัน พร้อมทั้งตรวจสอบอัตรารอดตาย ทดลองเป็นระยะเวลา 60 วัน เมื่อสิ้นสุดการทดลองเก็บตัวอย่างปลาถังละ 3 ตัว เพื่อศึกษาลักษณะทางกายภาพและเก็บตัวอย่างเนื้อ จากนั้นทำให้เนื้อปลาแห้งด้วยวิธี Freeze drying ก่อนนำไปวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี กรดอะมิโนและกรดไขมัน

ตารางที่ 1 องค์ประกอบของอาหารปลานิลที่ทดแทนรำละเอียดด้วยกากตะกอนน้ำมันปาล์ม (%)

	อัตราการทดแทน				
	สูตรควบคุม (0%)	25%	50%	75%	100%
ปลาป่นเศษทูน่า 60% P (31.45 บาท/กก.)	15.00	15.00	15.00	15.00	15.00
กากถั่วเหลือง (12.71 บาท/กก.)	28.00	28.00	28.00	28.00	28.00
รำละเอียด (9.23 บาท/กก.)	30.00	22.50	15.00	7.50	-
กากตะกอนน้ำมันปาล์ม (0.30 บาท/กก)	-	7.50	15.00	22.50	30.00
ปลายข้าว (10.82 บาท/กก)	23.63	23.63	23.63	23.63	23.63
วิตามินรวม* (150 บาท/กก)	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
แร่ธาตุรวม** (75 บาท/กก)	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
วิตามินซี 35% (Stay C) (150 บาท/กก.)	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05
บีเอชที (100 บาท/กก)	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02
แคลเซียมโปรปิโอเนต 80% (60 บาท/กก)	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30
โมโนแคลเซียมฟอสเฟต 21%P (12.3 บาท/กก)	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
รวม	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
ต้นทุนวัตถุดิบ (บาท/กก.)	16.25	15.58	14.91	14.24	13.57
ต้นทุนการผลิต (บาท/กก)	18.68	17.91	17.14	16.37	15.60

* ประกอบด้วย (กรัมต่อกิโลกรัมวิตามิน): A/D_3 6; E 50% 33.33; K 50 % 8; B_1 60; ; B2 40; B_3 120; B_5 40; B_6 20; B_{12} 0.04; Inositol 98 % 133.3; Biotin 0.04; Folic acid 8; Choline chloride 50 % 500

**ประกอบด้วย (กรัม/กิโลกรัมแร่ธาตุ): $CaHPO_4.2H_2O$ 500; $CaCO_3$ 215; KCl 90; $MgSO_4.7H_2O$ 62; NaCl 40; $FeSO_4.7H_2O$ 20; $ZnSO_4.7H_2O$ 4; $CuSO_4.5H_2O$ 3; $MnSO_4.H_2O$ 3; NaF 1; $NaSeO_3$ 0.5; $CoSO_4$ 0.02; KI 0.004

การวิเคราะห์คุณค่าทางโภชนาการ

วิเคราะห์คุณค่าของอาหารทดลองและเนื้อปลาทดลอง ดังนี้ วิเคราะห์เถ้า ความชื้นและใยอาหาร ตามวิธีของ Association of Official Analytical Chemists (2016) วิเคราะห์โปรตีนด้วยเครื่อง Truspec CN (LECO) วิเคราะห์ไขมันด้วยเครื่อง TFE 2000 (LECO) วิเคราะห์กรดอะมิโนด้วยเครื่อง Biochrom 30+ (Biochrom) และวิเคราะห์กรดไขมันด้วยเครื่อง GC รุ่น 6890N (Algilent)

ตารางที่ 2 คุณค่าทางโภชนาการของอาหารปลานิลที่ทดแทนรำละเอียดด้วยกากตะกอนน้ำมันปาล์ม (% นน.แห้ง)

	อัตราการทดแทน (%)				
	สูตรควบคุม (0%)	25	50	75	100
โปรตีน (Crude protein, CP)	28.32	28.79	28.49	28.53	28.66
ไขมัน (Crude lipid, CL)	5.58	5.29	4.89	4.71	4.61
เถ้า (Crude ash, CA)	7.00	6.73	6.53	6.40	6.27
กากอาหาร (Crude fiber, CF)	3.53	4.41	4.39	4.92	4.74
คาร์โบไฮเดรต (Nitrogen free extract, NFE)	55.57	54.78	55.70	55.44	55.56
ทรีโอนีน (Threonine, Thr)	0.95	1.03	0.96	0.93	0.89
วาลีน (Valine, Val)	1.14	1.23	1.16	1.15	1.08
เมไทโอนีน (Methionine, Met)	0.40	0.45	0.40	0.42	0.38
ไอโซลิวซีน (Isoleucine, Ile)	1.00	1.07	1.02	1.01	0.95
ลิวซีน (Leucine, Leu)	1.79	1.93	1.81	1.82	1.71
ฟีนิลอะลานีน (Phenylalanine, Phe)	0.31	0.31	0.22	0.24	0.25
ฮีสติดีน (Histidine, His)	0.38	0.41	0.39	0.39	0.36
ไลซีน (Lysine, Lys)	1.35	1.65	1.51	1.50	1.41
อาร์จินีน (Arginine, Arg)	1.96	1.94	2.20	2.29	2.08
กรดไขมันรวม (Total fatty acids, TFA)	4.682	4.434	4.411	3.766	3.912
กรดไขมันอิ่มตัว (Saturated fatty acids, SFA)	1.422	1.586	1.788	1.756	1.886
กรดไขมันไม่อิ่มตัว (Unsaturated fatty acids, UFA)	3.260	2.848	2.623	2.010	2.026
กรดไลโนเลอิก (Linoleic acid, LOA, 18:2n-6)	1.165	1.105	0.944	0.730	0.732
กรดไลโนเลนิก (Linolenic acid, LNA, 18:3n-3)	0.071	0.080	0.075	0.064	0.064
อัตราส่วน LNA/LOA	0.061	0.072	0.079	0.087	0.087
กรดไขมันกลุ่มโอเมก้า 3 (Total n-3)	0.097	0.103	0.095	0.080	0.080
กรดไขมันกลุ่มโอเมก้า 6 (Total n-6)	1.186	1.128	0.966	0.751	0.752
อัตราส่วน n-3/n-6	0.081	0.091	0.098	0.106	0.106

หมายเหตุ ไม่สามารถวัดทริปโตเฟน (Tryptophan, Trp) ได้เนื่องจากถูกทำลายขณะเตรียมตัวอย่าง

การรวบรวมและวิเคราะห์ข้อมูล

น้ำหนักเฉลี่ย (กรัม) = น้ำหนักรวมของปลา/จำนวนปลา

ความยาวเฉลี่ย (เซนติเมตร) = ความยาวรวมของปลา/จำนวนปลา

น้ำหนักที่เพิ่มขึ้นต่อวัน (กรัม/วัน) = (น้ำหนักสุดท้าย – น้ำหนักเริ่มต้น)/ระยะเวลาทดลอง

เปอร์เซ็นต์น้ำหนักที่เพิ่มขึ้น (%) = 100 x [(น้ำหนักสุดท้าย – น้ำหนักเริ่มต้น)/น้ำหนักเริ่มต้น]

อัตรารอดตาย (%) = 100 x (จำนวนปลาที่เหลือ/จำนวนปลาเริ่มต้น)

อัตราการกิน (% น.น.ตัว/วัน) = 100 x [น้ำหนักอาหารที่ปลากินต่อวัน/(ค่าเฉลี่ยของน้ำหนักเริ่มต้น + สุดท้าย)]

อัตราแลกเนื้อ = ปริมาณอาหารที่ปลากิน/น้ำหนักของปลาที่เพิ่มขึ้น

ประสิทธิภาพโปรตีน = น้ำหนักปลาที่เพิ่มขึ้น/ปริมาณโปรตีนที่ปลากิน

การสะสมสารอาหาร (%) = 100 x [(สารอาหารในเนื้อสุดท้าย - สารอาหารในเนื้อเริ่มต้น)/สารอาหารที่ปลากิน]

Condition factor = 100 x (น้ำหนักของปลา (กรัม)/ความยาว (เซนติเมตร)^3) (Nash *et al*., 2006)

สัดส่วนร้อยละของเนื้อ (%) = 100 x (น้ำหนักเนื้อ/น้ำหนักปลา)

ดัชนีตับ (%) = 100 x (น้ำหนักตับ/น้ำหนักปลา)

ดัชนีอวัยวะภายใน (%) = 100 x (น้ำหนักอวัยวะภายใน/น้ำหนักปลา)

สัดส่วนอวัยวะอื่นๆ (%) = 100 – ผลรวมของสัดส่วนเนื้อ ตับและอวัยวะภายใน

ต้นทุนค่าอาหาร (บาท/กิโลกรัม) = ต้นทุนการผลิตอาหาร (บาท/กก.) x อัตราแลกเนื้อ

วิเคราะห์ข้อมูลตามแผนการทดลองแบบ CRD และเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยด้วยวิธี Duncan 's new Multiple Range Test (DMRT) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% โดยแปลงค่าอัตรารอดตายด้วยวิธี Arcsine transformation ก่อนวิเคราะห์ความแปรปรวนเนื่องจากมีการแจกแจงแบบไม่ปกติ

ผลการวิจัย

ผลการทดลองพบว่าปลานิลที่เลี้ยงด้วยอาหารทุกสูตรมีน้ำหนักสุดท้ายเฉลี่ย ความยาวสุดท้ายเฉลี่ย น้ำหนักที่เพิ่มขึ้นต่อวัน เปอร์เซ็นต์น้ำหนักที่เพิ่มขึ้น อัตรารอดตาย อัตราการกิน อัตราแลกเนื้อ อัตราการสะสมโปรตีน ไขมันและแร่ธาตุในเนื้อไม่แตกต่างกัน ($p>0.05$) ขณะที่ปลานิลที่เลี้ยงด้วยอาหารที่ทดแทนรำละเอียดด้วยกากตะกอนน้ำมันปาล์มอัตรา 75 และ 100% มีประสิทธิภาพการใช้โปรตีนจากอาหารไม่แตกต่างกัน ($p>0.05$) แต่สูงกว่าปลาที่เลี้ยงด้วยอาหารสูตรอื่นๆ ($p<0.05$) และพบว่าปลาที่เลี้ยงด้วยอาหารที่ทดแทนรำละเอียดด้วยกากตะกอนน้ำมันปาล์มอัตรา 75 และ 100% มีต้นทุนค่าอาหารไม่แตกต่างกัน ($p>0.05$) แต่มีค่าต่ำกว่าปลาที่เลี้ยงด้วยอาหารสูตรอื่นๆ ($p<0.05$) (ตารางที่ 3-4) ปลานิลที่เลี้ยงด้วยอาหารทุกสูตรมีค่า Condition factor สัดส่วนร้อยละของเนื้อ ดัชนีตับ ดัชนีอวัยวะภายในและสัดส่วนอวัยวะอื่นๆ ไม่แตกต่างกัน ($p>0.05$) ขณะที่ปลานิลที่เลี้ยงด้วยอาหารที่ทดแทนรำละเอียดด้วยกากตะกอนน้ำมันปาล์มอัตรา 100% มีปริมาณโปรตีนในเนื้อสูงกว่าและไขมันในเนื้อน้อยกว่าปลาที่เลี้ยงด้วยอาหารสูตรอื่นๆ ($p<0.01$) ขณะที่ปริมาณแร่ธาตุ ในเนื้อปลาที่เลี้ยงด้วยอาหารทุกสูตรไม่แตกต่างกัน ($p>0.05$) (ตารางที่ 5)

ส่วนปริมาณกรดอะมิโนจำเป็นที่สะสมในเนื้อปลาที่เลี้ยงด้วยอาหารทดลองมีแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงไม่ชัดเจน แต่อัตราส่วนของกรดอะมิโนจำเป็นแต่ละชนิดต่อไลซีนส่วนใหญ่มีค่าใกล้เคียงกันยกเว้นฟีนิลอะลานีน (ตารางที่ 6) ปริมาณกรดไขมันรวม กรดไขมันอิ่มตัว กรดไขมันไม่อิ่มตัวและกรดไขมันจำเป็นในเนื้อปลาที่เลี้ยงด้วยอาหารที่ทดแทนรำละเอียดด้วยกากตะกอนน้ำมันปาล์มมีค่าลดลงตามอัตราการทดแทน แต่มีอัตราส่วนของกรดไขมัน เช่น n-3/n-6,

ARA/Total n-6, EPA+DHA/Total n-3 และ DHA/EPA สูงกว่าเนื้อปลาที่เลี้ยงด้วยอาหารสูตรควบคุม (ตารางที่ 7) คุณภาพน้ำในถังพักน้ำของระบบและในถังเลี้ยงระหว่างการทดลอง พบว่ามีอุณหภูมิ ปริมาณออกซิเจนที่ละลายน้ำ ความเป็นกรดด่าง ความเป็นด่าง แอมโมเนียรวมและไนไตรท์ อยู่ในช่วง 29.0-32 °C, 4.6-5.3 มิลลิกรัมต่อลิตร, 6.8-7.1, 60-65 มิลลิกรัมต่อลิตร, 2.57-3.25 มิลลิกรัมต่อลิตร และ 0.58-0.82 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ

ตารางที่ 3 การเจริญเติบโตและอัตราการอดตายของปลานิลวัยรุ่นที่เลี้ยงด้วยอาหารที่ทดแทนรำละเอียดด้วยกากตะกอนน้ำมันปาล์มเป็นระยะเวลา 60 วัน

	อัตราการทดแทน (%)				
	สูตรควบคุม (0)	25	50	75	100
น้ำหนักเริ่มต้น (กรัม)	65.74±1.23[a]	64.96±1.22[a]	64.33±1.57[a]	65.07±1.24[a]	65.06±1.46[a]
น้ำหนักสุดท้าย (กรัม)	219.57±15.89[a]	217.31±5.62[a]	212.86±7.58[a]	229.57±8.03[a]	223.89±18.38[a]
ความยาวเริ่มต้น (เซนติเมตร)	15.60±0.10[a]	15.62±0.29[a]	15.67±0.42[a]	15.57±0.11[a]	15.45±0.38[a]
ความยาวสุดท้าย (เซนติเมตร)	21.95±0.40[a]	21.76±0.27[a]	21.48±0.61[a]	22.28±0.36[a]	22.31±0.42[a]
น้ำหนักที่เพิ่มขึ้นต่อวัน (กรัม/วัน)	2.56±0.27[a]	2.53±0.10[a]	2.47±0.10[a]	2.73±0.15[a]	2.64±0.29[a]
เปอร์เซ็นต์น้ำหนักที่เพิ่มขึ้น (%)	234.09±25.08[a]	234.63±12.77[a]	231.83±5.72[a]	252.50±19.04[a]	243.92±22.04[a]
อัตรารอดตาย (%)	100.00±0.00[a]	97.78±3.85[a]	97.78±3.85[a]	100.00±0.00[a]	97.78±3.85[a]

หมายเหตุ อักษรภาษาอังกฤษในแนวนอนที่เหมือนกันหมายถึงไม่แตกต่างกัน ($p>0.05$)

ตารางที่ 4 การใช้ประโยชน์จากอาหารและต้นทุนค่าอาหารของปลานิลวัยรุ่นที่เลี้ยงด้วยอาหารที่ทดแทนรำละเอียดด้วยกากตะกอนน้ำมันปาล์มเป็นระยะเวลา 60 วัน

	อัตราการทดแทน (%)				
	สูตรควบคุม (0)	25	50	75	100
อัตราการกินอาหาร (%น.น./วัน)	2.58±0.19[a]	2.65±0.02[a]	2.63±0.07[a]	2.60±0.10[a]	2.61±0.08[a]
อัตราแลกเนื้อ	1.44±0.08[a]	1.49±0.04[a]	1.49±0.06[a]	1.41±0.09[a]	1.44±0.02[a]
ประสิทธิภาพโปรตีน	2.81±0.03[b]	2.70±0.04[bc]	2.66±0.05[c]	2.88±0.05[a]	2.87±0.09[a]
การสะสมโปรตีนในเนื้อ (%)	14.25±0.76[a]	14.04±1.22[a]	14.89±1.00[a]	15.40±0.84[a]	15.46±1.17[a]
การสะสมไขมันในเนื้อ (%)	7.21±0.20[a]	6.55±0.30[a]	6.62±0.76[a]	7.61±0.36[a]	6.63±0.38[a]
การสะสมแร่ธาตุรวมในเนื้อ (%)	3.78±0.29[a]	3.79±0.31[a]	3.93±0.27[a]	4.24±0.27[a]	4.27±0.22[a]
ต้นทุนค่าอาหาร (บาท/กก.)	26.90±1.41[a]	26.62±0.69[a]	25.57±1.13[a]	22.98±1.50[b]	22.53±0.21[b]

หมายเหตุ อักษรภาษาอังกฤษในแนวนอนที่ต่างกันกันหมายถึงแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p<0.05$)

ตารางที่ 5 ลักษณะทางเคมีของเนื้อและลักษณะทางกายภาพของปลานิลวัยรุ่นที่เลี้ยงด้วยอาหารที่ทดแทนรำละเอียดด้วยกากตะกอนน้ำมันปาล์มเป็นระยะเวลา 60 วัน

	อัตราการทดแทน (%)					
	สูตรควบคุม (0)	25	50	75	100	เริ่มต้น
โปรตีนในเนื้อ (%DM)	85.26±0.13^{d}	86.14±0.20^{c}	87.56±0.36^{b}	87.77±0.25^{b}	88.28±0.18^{a}	85.33±19^{d}
ไขมันในเนื้อ (%DM)	7.22±0.11^{a}	6.53±0.31^{b}	6.14±0.07^{c}	6.48±0.12^{bc}	5.89±0.09^{d}	4.92±0.09^{e}
แร่ธาตุรวมในเนื้อ (%DM)	5.53±0.06^{a}	5.45±0.03^{a}	5.40±0.06^{a}	5.48±0.06^{a}	5.43±0.04^{a}	5.43±0.08^{a}
Condition factor เริ่มต้น	1.73±0.07^{a}	1.69±0.06^{a}	1.67±0.09^{a}	1.73±0.05^{a}	1.76±0.09^{a}	
Condition factor สุดท้าย	2.07±0.05^{a}	2.11±0.08^{a}	2.15±0.18^{a}	2.07±0.06^{a}	2.01±0.07^{a}	
สัดส่วนร้อยละของเนื้อ (%)	32.48±0.52^{a}	32.43±0.33^{a}	32.74±0.39^{a}	32.16±0.54^{a}	32.46±0.48^{a}	
ดัชนีตับ (%)	1.69±0.03^{a}	1.67±0.04^{a}	1.66±0.03^{a}	1.60±0.03^{a}	1.62±0.03^{a}	
ดัชนีอวัยวะภายใน (%)	7.77±0.25^{a}	7.92±0.11^{a}	7.44±0.30^{a}	7.30±0.13^{a}	7.61±0.23^{a}	
สัดส่วนอวัยวะอื่นๆ (%)	58.04±0.72^{a}	57.97±0.19^{a}	58.15±0.66^{a}	58.93±0.44^{a}	58.30±0.21^{a}	

หมายเหตุ อักษรภาษาอังกฤษในแนวนอนที่ต่างกันกันหมายถึงแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง ($p<0.01$)

ตารางที่ 7 กรดไขมันในเนื้อปลานิลวัยรุ่นที่เลี้ยงด้วยอาหารทดแทนรำละเอียดด้วยกากตะกอนน้ำมันปาล์ม (% น.น. แห้ง)

	อัตราการทดแทน (%)					
	สูตรควบคุม (0)	25	50	75	100	เริ่มต้น
กรดไขมันรวม (Total fatty acids, TFA)	5.797	5.251	4.858	5.098	4.619	3.765
กรดไขมันอิ่มตัว (Saturated fatty acids, SFA)	2.195	2.155	1.977	2.298	2.057	1.478
กรดไขมันไม่อิ่มตัว (Unsaturated fatty acids, UFA)	3.602	3.096	2.881	2.800	2.562	2.287
กรดไลโนเลอิก (Linoleic acid, LOA, 18:2n-6)	0.997	0.762	0.597	0.595	0.455	0.581
กรดไลโนเลนิก (Linolenic acid, LNA, 18:3n-3)	0.047	0.038	0.038	0.038	0.032	0.046
เออาร์เอ (Arachidonic acid, ARA, 20:5n-3)	0.147	0.147	0.119	0.119	0.121	0.107
อีพีเอ (Eicosapentaenoic acid, EPA, 20:5n-3)	0.007	0.011	0.012	0.005	0.005	0.009
ดีเอชเอ (Docosahexaenoic acid, DHA, 22:6n-3)	0.006	0.013	0.012	0.005	0.005	0.015
กรดไขมันกลุ่มโอเมก้า 3 (Total n-3)	0.063	0.066	0.067	0.052	0.045	0.079
กรดไขมันกลุ่มโอเมก้า 6 (Total n-6)	1.348	1.089	0.848	0.853	0.705	0.797
อัตราส่วน n-3/n-6	0.047	0.060	0.079	0.061	0.064	0.099
อัตราส่วน ARA/Total n-6	0.109	0.135	0.140	0.140	0.172	0.134
อัตราส่วน EPA+DHA/Total n-3	0.102	0.208	0.191	0.101	0.116	0.199
อัตราส่วน DHA/EPA	0.857	1.182	1.000	1.000	1.000	1.667

ตารางที่ 6 กรดอะมิโนจำเป็นในเนื้อปลานิลวัยรุ่นที่เลี้ยงด้วยอาหารทดแทนรำละเอียดด้วยกากตะกอนน้ำมันปาล์ม (% น.น. แห้ง)

	อัตราการทดแทน (%)					
	สูตรควบคุม (0)	25	50	75	100	เริ่มต้น
ทรีโอนีน (Threonine, Thr)	4.48	4.06	4.57	4.13	4.00	3.91
วาลีน (Valine, Val)	4.81	4.27	4.99	4.28	4.17	4.29
เมไทโอนีน (Methionine, Met)	0.06	0.07	0.08	0.08	0.09	0.19
ไอโซลิวซีน (Isoleucine, Ile)	4.48	3.93	4.68	4.00	3.89	4.01
ลิวซีน (Leucine, Leu)	8.08	7.27	8.28	7.24	7.08	7.08
ฟีนิลอะลานีน (Phenylalanine, Phe)	1.36	1.74	0.78	0.81	0.74	1.51
ฮีสติดีน (Histidine, His)	1.34	1.26	1.43	1.38	1.44	1.34
ไลซีน (Lysine, Lys)	9.68	8.32	9.74	9.07	8.40	8.24
อาร์จินีน (Arginine, Arg)	7.54	7.24	7.96	7.13	7.22	7.03
สัดส่วนต่อไลซีน (%)						
Thr/Lys	46.28	48.80	46.92	45.53	47.62	47.45
Val/Lys	49.69	51.32	51.23	47.19	49.64	52.06
Met/Lys	0.62	0.84	0.82	0.88	1.07	2.31
Ise/Lys	46.28	47.24	48.05	44.10	46.31	48.67
Leu/Lys	83.47	87.38	85.01	79.82	84.29	85.92
Phe/Lys	14.05	20.91	8.01	8.93	8.81	18.33
His/Lys	13.84	15.14	14.68	15.21	17.14	16.26
Lys/Lys	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
Arg/Lys	77.89	87.02	81.72	78.61	85.95	85.32

หมายเหตุ ไม่สามารถวัดทริปโตเฟน (Tryptophan, Trp) ได้เนื่องจากถูกทำลายขณะเตรียมตัวอย่าง

วิจารณ์ผลการวิจัย

การศึกษานี้พบว่าสามารถใช้กากตะกอนน้ำมันปาล์มได้ 30% และทดแทนรำละเอียดได้ 100% สำหรับสูตรอาหารปลานิลวัยรุ่นที่มีโปรตีน 28% ไขมัน 5% โดยไม่กระทบการเจริญเติบโต การใช้ประโยชน์อาหาร อัตรารอดตายและลักษณะทางกายภาพ ทั้งนี้เนื่องจากอาหารทดลองทุกสูตรมีโปรตีนที่ใกล้เคียงกัน และแม้ว่ากรดอะมิโนจำเป็นมีแนวโน้มลดลงตามอัตราการทดแทนแต่สารอาหารทั้งสองชนิดนี้ยังคงเพียงพอต่อความต้องการของปลานิลวัยรุ่น (Jauncey, 1998;

Fagbenro, 2000) การใช้กากตะกอนน้ำมันปาล์มในสูตรอาหารในอัตราที่มากขึ้นทำให้ปริมาณไขมัน กรดไขมันรวม กรดไขมันไม่อิ่มตัวรวม กรดไลโนเลอิกและกรดไลโนเลนิกในอาหารลดลง แสดงให้เห็นว่ากากตะกอนน้ำมันปาล์มมีปริมาณไขมันต่ำกว่ารำละเอียด แต่การเปลี่ยนแปลงเหล่านี้ไม่ส่งผลกระทบต่อการเจริญเติบโตของปลานิล แสดงให้เห็นว่าระดับไขมัน กรดไลโนเลอิกและกรดไลโนเลนิกในอาหารยังคงเพียงพอต่อความต้องการของปลานิล (Ng, 2005; Lim, 2009; Chen *et al*., 2013) กรดไลโนเลอิกและกรดไลโนเลนิกเป็นกรดไขมันจำเป็นสำหรับปลานิลเนื่องจากไม่สามารถสังเคราะห์ได้และต้องได้รับจากอาหารเท่านั้น (Tocher *et al*., 2006) โดยปลาน้ำจืดรวมทั้งปลานิลสามารถเปลี่ยนกรดไลโนเลอิกและกรด ไลโนเลนิกไปเป็นกรดไขมันจำเป็นที่มีโมเลกุลใหญ่และมีพันธะคู่มากขึ้น เช่น เปลี่ยนกรดไลโนเลอิกไปเป็นเออาร์เอ (ARA) ซึ่งเป็นสารตั้งต้นสำหรับการสร้างสารอีโคซานอยด์ที่เกี่ยวข้องกับเมตาบอลิซึมของร่างกาย และสามารถเปลี่ยนกรดไลโน เลนิกไปเป็นอีพีเอและดีเอชเอที่เป็นองค์ประกอบสำคัญของฟอสโฟไลปิดในเยื่อหุ้มเซลล์โดยเฉพาะเซลล์สมอง (Glencross, 2009) แม้ว่างานวิจัยที่ผ่านมารายงานว่าปลานิลวัยรุ่นมีความต้องการกรดไลโนเลนิกใกล้เคียงกับกรดไลโนเลอิกแต่เป็นข้อมูลจากการทดลองในปลาเล็กคือขนาด 2 กรัม (Chen *et al*., 2013) ขณะที่การศึกษานี้เป็นการทดลองในปลาขนาดใหญ่กว่าคือขนาด 65 กรัม และพบว่าปลาเจริญเติบโตและใช้ประโยชน์อาหารเป็นปกติทั้งที่กรดไลโนเลนิกน้อยกว่ากรด ไลโนเลอิกหลายเท่าแสดงให้เห็นว่าความต้องการกรดไลโนเลนิกน่าจะลดลง สอดคล้องกับการทดลองของ Stoneham *et al*. (2018) ที่พบว่าปลานิลขนาด 160 กรัม ที่เลี้ยงด้วยอาหารที่มีกรดไลโนเลนิกต่ำเจริญเติบโตและมีอัตราแลกเนื้อไม่ต่างจากปลาที่เลี้ยงด้วยอาหารที่มีกรดไลโนเลนิกสูง

เมื่อเทียบอัตราส่วนของกรดไลโนเลนิกต่อกรดไลโนเลอิกในอาหารของการศึกษานี้พบว่ามีค่าในช่วง 0.06-0.09:1 เปรียบเทียบกับอาหารในการทดลองของ Stoneham *et al*. (2018) ที่มีค่าอยู่ในช่วง 0.03-0.09:1 พบว่ามีค่าสอดคล้องกัน ในทางตรงข้าม การทดลองในปลานิลขนาด 11 กรัม ของ Ayisi *et al*. (2017) พบว่าอัตราส่วนของกรดไลโนเลนิกต่อกรดไลโนเลอิกมีค่าเท่ากับ 0.08:1 ทำให้ปลาเจริญเติบโตและใช้ประโยชน์ดีกว่าอาหารที่มีอัตราส่วนของกรดไลโนเลนิกต่อกรดไลโนเลอิกที่สูงหรือต่ำกว่านี้ และเมื่อเปรียบเทียบอัตราส่วนกรดไขมันกลุ่มโอเมก้า 3 ต่อกรดไขมันกลุ่มโอเมก้า 6 ของอาหารในการศึกษานี้พบว่ามีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเช่นเดียวกับอัตราส่วนกรดไลโนเลนิกต่อกรดไลโนเลอิก แต่อัตราส่วนที่เพิ่มขึ้นไม่ได้ทำให้ปลานิลเจริญเติบโตเร็วขึ้นเช่นเดียวกันกับการทดลองของ Stoneham *et al*. (2018) ดังนั้นจึงเป็นการยืนยันได้ว่าความต้องการกรดไลโนเลนิกของปลานิลมีแนวโน้มลดลงตามอายุและขนาด ทั้งนี้อาจเกิดจากปลานิลขนาดเล็กมีประสิทธิภาพในการสังเคราะห์อีพีเอและดีเอชเอจากกรดไลโนเลนิกได้ต่ำ ดังนั้นจึงต้องการกรดไลโนเลนิกในปริมาณสูงเพื่อสังเคราะห์อีพีเอและดีเอชเอให้เพียงพอต่อความต้องการ (Ng, 2005; Lim, 2009; Chen *et al*., 2013) แต่เมื่อปลามีขนาดใหญ่ขึ้นทำให้มีประสิทธิภาพการสังเคราะห์ดีขึ้นจึงต้องการกรดไลโนเลนิกน้อยลง ทั้งนี้ในอาหารปลาขนาดใหญ่ที่มีกรดไลโนเลนิกเพียงพอแล้วระดับอีพีเอและดีเอชเอสูงในอาหารที่สูงไม่ได้ช่วยส่งเสริมการเจริญเติบโตและการใช้ประโยชน์อาหาร (Stoneham *et al*., 2018)

นอกจากสารอาหารที่กล่าวมาข้างต้นแล้ว กากอาหารเป็นสารอาหารชนิดหนึ่งที่สำคัญเนื่องจากมีผลต่อประสิทธิภาพการย่อยสารอาหาร แม้ว่าในการศึกษานี้พบว่าการทดแทนรำละเอียดด้วยกากตะกอนน้ำมันปาล์มในอัตราส่วนที่มากขึ้นทำให้กากอาหารเพิ่มขึ้น แต่ปริมาณกากอาหารในอาหารทุกสูตรยังคงเหมาะสมต่อการเจริญเติบโต (Anderson *et al*., 1984) ทั้งนี้การใช้กากตะกอนน้ำมันปาล์มในอัตราสูงทำให้กากอาหารเพิ่มมากขึ้นและส่งผลต่อการเจริญเติบโตและการใช้ประโยชน์อาหารของปลานิลได้ เช่น การใช้กากตะกอนน้ำมันปาล์มผสมกับอาหารสำเร็จรูปปลาดุกเชิงพาณิชย์อัตรา 50 และ 67% ทำให้อาหารผสมมีกากอาหารมีค่าประมาณ 9 และ 11% ตามลำดับ เทียบกับอาหาร

สำเร็จรูปที่มีกากอาหารประมาณ 5% ส่งผลให้ปลาที่เลี้ยงด้วยอาหารทั้งสองชนิดนี้เจริญเติบโตและใช้ประโยชน์อาหารด้อยกว่าที่เลี้ยงด้วยอาหารสำเร็จรูปปลาดุก (Savang-Arrom *et al*., 2016) ขณะที่การทดลองของ Simawan *et al*. (2016) พบว่าปลานิลวัยรุ่นมีอัตราการเจริญเติบโตและการใช้ประโยชน์อาหารโดยเฉพาะประสิทธิภาพการย่อยโปรตีนลดลง เมื่อระดับกากอาหารที่เพิ่มขึ้น แนวโน้มนี้ยังพบในลูกปลานิลแดงขนาดเล็กที่ประสิทธิภาพการย่อยสารอาหารและการย่อยโปรตีนจากอาหารลดลงตามอัตราการใช้กากเนื้อในเมล็ดปาล์มหมักที่เพิ่มขึ้น โดยกากเนื้อในเมล็ดปาล์มมีกากอาหารสูงเช่นเดียวกันกับกากตะกอนน้ำมันปาล์ม (Iluyemi *et al*., 2010)

การศึกษานี้พบว่าการทดแทนรำละเอียดด้วยกากตะกอนน้ำมันปาล์มในสูตรอาหารปลานิลวัยรุ่นทำให้ต้นทุนวัตถุดิบ ต้นทุนการผลิตอาหารและต้นทุนค่าอาหารของการเลี้ยงลดลง แต่การทดแทนในอัตรา 75 และ 100% ทำให้ค่าอาหารต้นทุนค่าอาหารของการเลี้ยงลดลงอย่างชัดเจนเนื่องจากกากตะกอนน้ำมันปาล์มมีราคาถูกกว่ารำละเอียด นอกจากนี้ การทดแทนรำละเอียดด้วยตะกอนน้ำมันปาล์มช่วยปรับปรุงให้เนื้อปลามีคุณภาพดีขึ้น เช่น โปรตีนเพิ่มขึ้นและไขมันลดลง ซึ่งอาจเกิดจากการเพิ่มปริมาณกากตะกอนน้ำมันปาล์มในสูตรอาหารทำให้ไขมันในอาหารลดลง ส่งผลให้มีการสะสมไขมันในเนื้อลดลงตามไปด้วยและส่งผลทางอ้อมให้มีการสะสมโปรตีนในเนื้อเพิ่มขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับรายงานของ Ayisi *et al*. (2017) ในส่วนของการสะสมกรดอะมิโนจำเป็นในเนื้อปลาพบว่ามีแนวโน้มไม่ชัดเจน แต่อัตราส่วนของกรดอะมิโนจำเป็นแต่ละชนิดต่อไลซีนในเนื้อปลาที่เลี้ยงด้วยอาหารทุกสูตรส่วนใหญ่ไม่แตกต่างกันยกเว้นฟีนิลอะลานีน ซึ่งฟีนิลอะลานีนในเนื้อปลาที่เลี้ยงด้วยอาหารที่ทดแทนรำละเอียดด้วยกากตะกอนน้ำมันปาล์มในอัตราที่สูงขึ้นมีแนวโน้มลดลงตามอัตราการทดแทนและสอดคล้องกับปริมาณฟีนิลอะลานีนในอาหาร ขณะเดียวกันการทดแทนรำละเอียดด้วยกากตะกอนน้ำมันปาล์มในสูตรอาหารทำให้ปริมาณกรดไขมันรวม กรดไขมันอิ่มตัว กรดไขมันไม่อิ่มตัวและกรดไขมันจำเป็นในเนื้อปลามีแนวโน้มลดลงตามตามระดับไขมันในอาหารที่ลดลง แต่เมื่อพิจาณาถึงอัตราส่วนของกรดไขมันพบว่าการทดแทนรำละเอียดด้วยกากตะกอนน้ำมันปาล์มทำให้เนื้อปลามีอัตราส่วนของ n-3/n-6, ARA/Total n-6, EPA+DHA/Total n-3 และ DHA/EPA สูงขึ้น เมื่อเทียบกับเนื้อปลาที่เลี้ยงด้วยอาหารสูตรควบคุม

สรุปผลการวิจัย

1. สามารถใช้กากตะกอนน้ำมันปาล์มได้ 30% และทดแทนรำละเอียดได้ 100% สำหรับสูตรอาหารปลานิลวัยรุ่นที่มีโปรตีน 28% ไขมัน 5% โดยไม่กระทบการเจริญเติบโต การใช้ประโยชน์อาหาร อัตรารอดตายและลักษณะทางกายภาพของปลาและช่วยลดต้นทุนค่าอาหาร

2. การทดแทนรำละเอียดด้วยกากตะกอนน้ำมันปาล์มในอาหารทำให้เนื้อปลานิลมีคุณภาพดียิ่งขึ้น เช่น โปรตีนเพิ่มขึ้น ไขมันลดลงและอัตราส่วนของกรดไขมันเพิ่มขึ้น

เอกสารอ้างอิง

Agbo, N.W. (2008). *Oilseed Meals as Dietary Protein Sources for Juvenile Nile Tilapia (Oreochromis niloticus L.)*. Sterling, Scotland: Institute of Aquaculture, University of Sterling.

Alibaba Company. (2020). *Products* (*Agriculture, Feed*). Retrieved Jan 15, 2020, from http://www.alibaba.com/catalog/feed

Anderson, J., Jackson, A.J., Matty, A.J. & Capper, B.S. (1984). Effects of dietary carbohydrate and fibre on the tilapia *Oreochromis niloticus* (Linn.), *Aquaculture*, *37*, 303-314.

Association of Official Analytical Chemists. (2016). *Official Methods of Analysis of the Association of Official Analytical Chemists*. 20th edition. Gaithersburg, USA: Association of Official Analytical Chemists.

Ayisi, C.L., Zhao, J. & Rupia, E.J. (2017). Growth performance, feed utilization, body and fatty acid composition of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) fed diets containing elevated levels of palm oil. *Aquaculture and Fisheries*, *2*(2), 67-77.

Chayapoomsakul, K. (2000). *An Analysis of Marketing System of Animal Feed Industry in Thailand*. Bangkok, Thailand: Kasetsart University. (in Thai)

Chen, C., Sun, B., Li, X., Li, P., Guan, W., Bi, Y. & Pan, Q. (2013). N-3 essential fatty acids in Nile tilapia, *Oreochromis niloticus*: quantification of optimum requirement of dietary linolenic acid in juvenile fish. *Aquaculture*, *416-417*, 99-104.

Department of Fisheries. (2010). *Strategy for Nile Tilapia Development*. Retrieved Jan 15, 2020, from http://www.fisheries.go.th/freshwater/web3/images/download/yutasat (in Thai)

Department of Fisheries. (2019). *Fisheries Statistics of Thailand 2017*. Bangkok, Thailand: Department of Fisheries Headquarter. (in Thai)

Duangsawasdi, M. & Somsiri, J. (1985). *Water Quality and Analysis Method for Fisheries Research*. Bangkok, Thailand: National Inland Fisheries Institute, Department of Fisheries. (in Thai)

Fagbenro, O.A. (2000). Validation of the essential amino acid requirements of Nile tilapia, *Oreochromis niloticus* (Linne 1758), assessed by the ideal protein concept *In Proceedings of the Fifth International Symposium on Tilapia in Aquaculture*. (pp. 154-156). Brazil: Rio de Janeiro.

Food and Agriculture Organization. (2014). *The State of World Fisheries and Aquaculture*. Rome, Italy: Food and Agriculture Organization Headquarter.

Gafar, A.A., Alimon, A.R., Sazili, A.Q., Man, Y.C. & Abubakr, A.R. (2013). Effect of varying levels of palm oil decanter cake on feed intake, growth performance and carcass characteristics of Kacang goats. *OSR Journal of Agriculture and Veterinary Science*, *3*(4), 24-29.

Glencross, B.D. (2009). Exploring the nutritional demand for essential fatty acids by aquaculture species. *Review in Aquaculture*, *1,* 71-124.

Iluyemi, F.B., Hanafi, M.M., Radziah, O. & Kamarudin, M.S. (2010). Nutritional evaluation of fermented palm kernel cake using red tilapia. *African Journal of Biotechnology*, *9*(4), 502-507.

Jauncey, K. (1998). *Tilapia Feeds and Feeding*. Sterling, Scotland: Pisces Press Ltd.

Lim, C. (2009). Lipid, fatty acid requirements of tilapia, dietary supplementation essential for health, reproduction. *Global Aquaculture Advocate, (*November/December), 61-62.

Nash, R.D.M., Valencia, A.H. & Geffen, A.J. (2006). The origin of Fulton ‘s condition factor setting the record straight. *Fisheries*, *31(5)*, 236-238.

Ng, W.K. (2005). Lipid nutrition of farmed tilapia. *Global Aquaculture Advocate*, *October,* 60-61.

Nhoorit, K. (2019). *Production and Trading of Nile Tilapia and Products Status in First Six Months of 2019*. Retrieved Jan 15, 2020, from http://www.fisheries.go.th/strategy/fisheconomic/Monthly%20report/tilapia (in Thai)

Samanta, A.K., Jamir, T., Singh, N.S., Zosangpuii, Z. & Lalliankimi, H. (2019). Effect of feeding palm oil (*Elaeis guineensis*) sludge as a partial replacement of maize on the performance of growing crossbred (Large White Yorkshire x Zovawk) pigs. *International Journal of Livestock Research*, *9*(1), 336-342.

Savang-Arrom, Y., Suphawinyoo, K. & Kaewchda, N. (2010). Clarias catfish (*Clarias macrocephalus x Clarias gariepinus*) culture in palm grooves with palm oil sludge as feedstuff. In *Conference on Grassroots Economic Development: Creative Economy Oriented*. (pp. 43-45). Khon Kaen: Kosa Hotel. (in Thai)

Savang-Arrom, Y., Suphawinyoo, K. & Kaewchda, N. (2012). *The Study of Utilization Trend of Climbing Perch (Anabas testudineus) Culture in Palm Groove with Oil Sludge Diets*. Chum Phon, Thailand: Maejo University, Chum Phon Campus. (in Thai)

Savang-Arrom, Y., Suphawinyoo, K. & Baotong, N. (2016). The utilization of ditch in the oil palm plantations for culture tilapia (*Oreochromis niloticus*) by using palm oil sludge as feedstuff. *Journal of Agriculture Research and Extension*, *33(*3), 9-14. (in Thai)

Seephueak, W., Ngampongsai, W. & Chanjula, P. (2011). Effects of palm oil sludge in concentrate on nutrient utilization and rumen ecology of Thai native cattle fed with hay. *Songklanakarin Journal of Science and Technology*, *33*(3), 271-280.

Simawan, J., Mongkolvai, P. & Sriphuthorn, K. (2016). The effect of utilization of tomato pomace in diets on growth performance and digestibility of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus). Khon Kaen Agriculture Journal*, *44*(Suppl.1), 687-693. (in Thai)

Stoneham, T.R., Kuhn, D.D., Taylor, D.P., Neilson, A.P., Smith, S.A., Gatlin, D.M., Chu, H.S.S. & O'Keefe, S.F. (2018). Production of omega-3 enriched tilapia through the dietary use of algae meal or fish oil: Improved nutrient value of fillet and offal. *PLoS ONE*, *13*(4), 1-14.

Thai Feed Mill Association. (2020). *Monthly Raw Material Pirce*. Retrieved Jan 15, 2020, from http://www.thaifeedmill.com/Price/tabid/78/Default.aspx (in Thai)

Tocher, D.R., Zheng, X. Schlechtriem, C. Hastings, N., Dick, J.R. & Teale, A.J. (2006). Highly unsaturated fatty acid synthesis in marine fish: Cloning, functional characterization, and nutritional regulation of fatty acyl Δ6 desaturase of Atlantic cod (*Gadus morhua* L.). *Lipids*, *41*, 1003-1016.

Tveteras, R., Nystoyl, R. & Jory, D.E. (2019). *Global Finfish Production Review and Forecast*. Retrieved Jan 15, 2020, from http://www.aquaculturealliance.org/advocat/goal-2019-global-finfish-production-review-and-forecast