การประยุกต์ใช้โมโนแคลเซียมฟอสเฟตและไดแคลเซียมฟอสเฟต เป็นแหล่งฟอสฟอรัสในอาหารปลาดุกลำพันระยะวัยรุ่น

Application of mono-calcium phosphate and di-calcium phosphate as sources of dietary phosphorus in juvenile Nieuhofii's catfish (*Clarias nieuhofii*)

สุภฎา คีรีรัฐนิคม[1*] พีรพงศ์ อติทรัพย์ไพศาล[1] พัสราภรณ์ ละใบสอาด[1] และ อานุช คีรีรัฐนิคม[1]

Suphada Kiriratnikom[1*], Peerapong Atisappisan[1], Pasaraporn Labaisaad[1] and Anut Kiriratnikom[1]

บทคัดย่อ

ศึกษาการใช้โมโนแคลเซียมฟอสเฟต (MCP) และไดแคลเซียมฟอสเฟต (DCP) ในปริมาณที่มีฟอสฟอรัสที่ใช้ประโยชน์ได้ 1.3 เปอร์เซ็นต์ เสริมในอาหารสำหรับปลาดุกลำพัน (*Clarias nieuhofii*) เปรียบเทียบกับอาหารชุดควบคุมไม่เสริมฟอสฟอรัส เลี้ยงปลาดุกลำพันน้ำหนักเฉลี่ย 0.55-0.56 กรัม ต่อตัวในตู้กระจกปริมาตรน้ำ 70 ลิตร ตู้ละ 15 ตัว 4 ซ้ำต่อชุดการทดลอง ให้อาหารทดลองวันละ 2 ครั้ง ทดลองเป็นเวลา 10 สัปดาห์ พบว่าปลาที่ได้รับอาหารเสริมไดแคลเซียมฟอสเฟต มีน้ำหนักเฉลี่ยต่อตัว เปอร์เซ็นต์น้ำหนักที่เพิ่ม และการเจริญเติบโตจำเพาะสูงที่สุดเมื่อเทียบกับชุดทดลองอื่น ๆ ($p < 0.05$) การแลกเนื้อ การรอดตาย ปริมาณความชื้น ไขมัน และเถ้าในตัวปลาทุกชุดการทดลองมีค่าไม่แตกต่างกัน ($p > 0.05$) แต่ปริมาณโปรตีนในตัวปลาดุกลำพันที่ได้รับอาหารเสริมโมโนแคลเซียมฟอสเฟตและไดแคลเซียมฟอสเฟต มีค่าสูง และแตกต่างกับปลาที่ได้รับอาหารชุดควบคุม ($p < 0.05$) ปลาที่ได้รับอาหารเสริมไดแคลเซียมฟอสเฟตมีการสะสมโปรตีนและไขมันสูงสุด ในขณะที่ปลาในชุดควบคุมมีการสะสมโปรตีนต่ำที่สุด อย่างไรก็ตามปลาที่ได้รับอาหารควบคุมมีการสะสมฟอสฟอรัสสูงที่สุด ($p < 0.05$) ปริมาณแคลเซียม ฟอสฟอรัสในตัวปลา และกระดูกของปลาที่ได้รับอาหารทดลองทุกสูตรมีค่าไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p > 0.05$) ผลการทดลองสรุปได้ว่าไดแคลเซียมฟอสเฟตเป็นแหล่งของฟอสฟอรัสอนินทรีย์ที่มีศักยภาพสำหรับใช้ในอาหารปลาดุกลำพัน

คำสำคัญ: ปลาดุกลำพัน ฟอสฟอรัส โมโนแคลเซียมฟอสเฟต ไดแคลเซียมฟอสเฟต

[1] สาขาวิทยาศาสตร์ชีวภาพและสิ่งแวดล้อม คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยทักษิณ

[*] Corresponding author e-mail: suphada.k@tsu.ac.th

Received: 24 February 2019, Revised: 14 June 2019, Accepted: 15 June 2019

Abstract

The dietary supplementation effects of mono-calcium phosphate (MCP) and di-calcium phosphate (DCP) at 1.3% available phosphorus were investigated in juvenile Nieuhofii's catfish (*Clarias nieuhofii*), in comparison to control diet without inorganic phosphate. Fifteen juvenile Nieuhofii's catfish with average body weight of 0.55-0.56 g/fish were reared in each 70 l glass aquarium, composing 4 replications per treatment. The fish were fed twice a day for 10 weeks. The highest average body, weight gain and specific growth rate were observed in catfish fed with DCP diet ($p < 0.05$). However, feed conversion, survival, and carcass composition, in terms of moisture, lipid and ash, were not significantly different among treatments ($p > 0.05$). The carcass protein content was higher in the fish fed both MCP and DCP diets compared to the control fish. Fish fed with DCP diet had highest protein and lipid retention, whereas the lowest those values but highest phosphorus retention were found in fish fed with control diet ($p < 0.05$). However, calcium and phosphorus, in bone and carcass, were not significantly different among treatments ($p > 0.05$). This study concluded that DCP is a high potential source of inorganic phosphorus for Nieuhofii's catfish.

Keywords: Nieuhofii's catfish, Phosphorus, Mono-calcium phosphate, Di-calcium phosphate

บทนำ

ปลาดุกลำพัน (*Clarias nieuhofii*) เป็นปลาน้ำจืดหายากในพื้นที่ภาคใต้และภาคตะวันออกของประเทศไทย ปัจจุบันปลาชนิดนี้จัดอยู่ในกลุ่มปลาใกล้สูญพันธุ์ในลุ่มน้ำทะเลสาบสงขลา ทั้งในเขตจังหวัดนครศรีธรรมราช พัทลุง และยังถูกจัดสถานะอนุรักษ์เป็นชนิดพันธุ์สัตว์ที่อยู่ในหมวดถูกคุกคาม มีความเสี่ยงสูงต่อการสูญพันธุ์ในธรรมชาติ จึงจำเป็นต้องดำเนินการอนุรักษ์พันธุ์สัตว์น้ำชนิดนี้อย่างเร่งด่วนและต่อเนื่อง การเพาะขยายพันธุ์ปลาดุกลำพัน โดยการผลิตลูกปลาดุกลำพันจากพ่อ-แม่พันธุ์ที่เพาะพันธุ์และเลี้ยงขึ้นเองในโรงเพาะฟัก ตลอดจนการอนุบาลลูกปลาด้วยวิธีการที่เหมาะสม นับเป็นการฟื้นฟูทรัพยากรสัตว์น้ำที่หายาก และเสี่ยงต่อการสูญพันธุ์ชนิดนี้ได้ในลักษณะการอนุรักษ์พันธุ์นอกถิ่นกำเนิด อีกทั้งยังเป็นแนวทางที่เหมาะสมในการพัฒนาและส่งเสริมพันธุ์ปลาชนิดนี้ให้เป็นสายพันธุ์ปลาท้องถิ่นที่มีศักยภาพสูงในเชิงธุรกิจในอนาคต แม้ว่าปัจจุบันจะสามารถเพาะขยายพันธุ์ปลาดุกลำพันได้เป็นผลสำเร็จ และมีผลผลิตลูกพันธุ์ปลาดุกลำพันจากการเพาะเลี้ยงในโรงเพาะฟักอย่างต่อเนื่อง แต่ในการเลี้ยงปลาดุกลำพันทั้งในเชิงอนุรักษ์พันธุ์ปลาหายาก และเชิงเศรษฐกิจ แต่ก็ยังประสบปัญหาเกี่ยวกับความสมบูรณ์ และสุขภาพของปลาเนื่องจากยังไม่มีข้อมูลด้านความต้องการ และระดับของสารอาหารที่เหมาะสมสำหรับปลาชนิดนี้ เพื่อให้ปลาดุกลำพันมีการเจริญเติบโตรวดเร็ว และสุขภาพที่ดี ด้วยเหตุนี้จำเป็นที่จะต้องมีการศึกษาถึงระดับความต้องการ

สารอาหารพื้นฐานต่าง ๆ ที่จะมีผลต่อการเจริญเติบโต และมีผลดีต่อสุขภาพของปลาดุกลำพันในโรงเพาะฟัก ซึ่งจะเป็นข้อมูลสำคัญในการพัฒนาการเพาะเลี้ยงปลาดุกลำพัน ทั้งเพื่อการอนุรักษ์พันธุ์ และการเพาะเลี้ยงในเชิงเศรษฐกิจ โดยปัจจุบันได้มีการทดลองเกี่ยวกับประเภทของอาหารที่เหมาะสมในการอนุบาลลูกปลา ตลอดจนได้ศึกษาผลของระดับโปรตีนต่อการเจริญเติบโตของปลาดุกลำพัน (Kiriratnikom and Kiriratnikom, 2012) รวมทั้งการศึกษาชนิด และระดับความต้องการไขมันในอาหารของปลาชนิดนี้ (สุภฎา และอานุช, 2555) ส่วนการศึกษาด้านความต้องการวิตามินที่มีความสำคัญบางชนิดก็ได้ดำเนินการบางส่วนแล้ว (วันวิภา และสุภฎา, 2554) แต่ในปัจจุบันยังขาดข้อมูลในด้านความต้องการแร่ธาตุ โดยเฉพาะฟอสฟอรัสซึ่งเป็นแร่ธาตุที่มีผลต่อการเจริญเติบโตของปลา ตลอดจนส่งเสริมการใช้สารอาหารอื่น ๆ ให้มีประสิทธิภาพมากขึ้น อย่างไรก็ตามฟอสฟอรัสในรูปแบบฟอสฟอรัสอนินทรีย์ที่นิยมใช้ในอาหารสัตว์น้ำซึ่งได้แก่ไดแคลเซียมฟอสเฟต และโมโนแคลเซียมฟอสเฟตก็มีรายงานว่าไม่สามารถถูกดูดซึมและนำไปใช้ประโยชน์ได้หมด และจะถูกขับออกมาในน้ำ (Lall, 2002) ในกรณีที่มีการเสริมฟอสฟอรัสในอาหารปลามากเกินควรหรือใช้ฟอสฟอรัสในรูปแบบที่ปลาย่อยและนำไปใช้ประโยชน์ได้น้อย จะเกิดการขับถ่ายฟอสฟอรัสลงสู่บ่อเลี้ยงในปริมาณมาก จะก่อให้เกิดภาวะธาตุอาหารเกินในบ่อเลี้ยง เกิดการเจริญอย่างรวดเร็วของสาหร่าย และแพลงก์ตอนพืชในน้ำซึ่งจะนำไปสู่ปัญหาคุณภาพน้ำในภายหลัง ด้วยเหตุนี้การเสริมฟอสฟอรัสในรูปแบบที่เหมาะสมนอกจากจะช่วยให้ปลาเจริญเติบโต และมีสุขภาพดีแล้ว ยังมีผลดีในการช่วยลดมลสารที่จะปล่อยออกสู่สิ่งแวดล้อมให้น้อยลงด้วย

การวิจัยนี้จึงได้จัดทำขึ้นเพื่อทราบถึงผลของการใช้ไดแคลเซียมฟอสเฟต และโมโนแคลเซียมฟอสเฟต เป็นแหล่งของฟอสฟอรัสอนินทรีย์สำหรับการประยุกต์ใช้ในอาหารสำเร็จรูปสำหรับปลาดุกลำพัน ทั้งเพื่อการเลี้ยงเพื่อการอนุรักษ์พันธุ์ และการเพาะเลี้ยงปลาดุกลำพันในเชิงเศรษฐกิจต่อไป

วิธีดำเนินการวิจัย

1. การวางแผนการทดลอง

วางแผนการทดลองแบบสุ่มตลอด (complete randomized design, CRD) จัดเตรียมลูกปลาดุกลำพันขนาดประมาณ 2-3 เซนติเมตร ที่เพาะพันธุ์จากโรงเพาะฟัก อาคารปฏิบัติการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยทักษิณ วิทยาเขตพัทลุง จำนวน 500 ตัว นำมาพักในบ่อคอนกรีตปริมาตรน้ำ 1,500 ลิตร ที่มีระบบให้อากาศ เลี้ยงปรับสภาพเป็นเวลา 1 สัปดาห์ เลี้ยงปลาด้วยอาหารเม็ดจมที่มีโปรตีน 38-40 เปอร์เซ็นต์ (อาหารชุดควบคุม) วันละ 2 ครั้ง จนกระทั่งปลามีสุขภาพดี จึงเริ่มการทดลองโดยสุ่มปลาดุกลำพันขนาด 2.45±0.21 เซนติเมตร ลงเลี้ยงในตู้ทดลองขนาด 75×45×40 เซนติเมตร ปริมาตรน้ำ 70 ลิตร ตู้ละ 15 ตัว พักปลาให้ปรับตัวเข้ากับตู้ทดลองเป็นเวลา 5-7 วัน แล้วจึงชั่งน้ำหนักปลาทั้งตู้เมื่อเริ่มให้อาหารทดลอง โดยแบ่งเป็น 3 ชุดการทดลอง ชุดการทดลองละ 4 ซ้ำ ประกอบด้วยชุดควบคุม (control) ชุดการทดลองเสริม โมโนแคลเซียมฟอสเฟต (mono-calcium phosphate, $Ca(H_2PO_4)_2$, MCP) และชุดการทดลองเสริมไดแคลเซียมฟอสเฟต(di-calcium phosphate, CaH_2PO_4, DCP) ในปริมาณที่มีฟอสฟอรัสที่ใช้ประโยชน์ได้ 1.3 เปอร์เซ็นต์ เท่ากัน

2. อาหารทดลอง

เตรียมอาหารทดลองที่มีระดับโปรตีน และพลังงานใกล้เคียงกัน (isoproteic and isocaloric test diet) ในช่วง 300-330 กิโลแคลอรี่ต่อ 100 กรัม โดยมีระดับโปรตีนรวมของอาหาร 38-40 เปอร์เซ็นต์ และไขมัน 12-14 เปอร์เซ็นต์ อาหารทดลองแต่ละสูตรเสริมไดแคลเซียมฟอสเฟต และโมโนแคลเซียมฟอสเฟต ในระดับที่มีปริมาณฟอสฟอรัสที่ใช้ประโยชน์ได้ (available phosphorus) 1.3 เปอร์เซ็นต์ โดยคำนวณบนพื้นฐานของค่าสัมประสิทธิ์การย่อยฟอสฟอรัสของวัตถุดิบตามรายงานของ Robin son and Li (1996) และแคลเซียมฟอสเฟต ตามรายงานของ Wilson *et al*. (1982) เปรียบเทียบกับอาหารทดลองชุดควบคุมซึ่งไม่เสริมฟอสฟอรัส (ตารางที่ 1) ผสมวัตถุดิบอาหารแต่ละสูตรในเครื่องผสมอาหาร เป็นเวลา 15 นาที ปรับความชื้นของส่วนผสมให้มีค่าประมาณ 35-40 เปอร์เซ็นต์ แล้วอัดเม็ดด้วยเครื่องอัดเม็ดอาหาร ให้มีขนาดเม็ดอาหารประมาณ 3 มิลลิเมตร อบแห้งด้วยเครื่องเป่าลมร้อนแล้วนำไปร่อนแยกขนาดเม็ด เก็บรักษาในถุงพลาสติก polyethylene ที่อุณหภูมิ -18 องศาเซลเซียส จนกว่าจะนำออกมาใช้

ตารางที่ 1 สูตรอาหารทดลองเสริมฟอสฟอรัสอนินทรีย์รูปแบบต่าง ๆ

เปอร์เซ็นต์องค์ประกอบในอาหาร	**T1 control**	**T2 (MCP)**	**T3 (DCP)**
ปลาป่น	40	40	40
กากถั่วเหลือง	15	15	15
เศษไก่ป่น	17.5	17.5	17.5
แป้งสาลี	15	15	15
แป้งข้าวโพด	8.5	2.31	1.27
วิตามิน[1]	0.5	0.5	0.5
แร่ธาตุรวม[2]	0.5	0.5	0.5
น้ำมันถั่วเหลือง	3	3	3
$Ca(H_2PO_4)_2$	-	6.19	-
CaH_2PO_4	-	-	7.23
รวม	100	100	100
องค์ประกอบจากการวิเคราะห์ (percentage of dry matter)			
ความชื้น	2.51±0.16	3.45±0.08	3.45±0.03
โปรตีน	40.25±0.25	39.87±0.14	39.87±0.25
ไขมัน	12.70±1.59	13.81±1.36	14.57±0.38
เถ้า	15.60±0.02	19.98±0.00	21.64±0.20
คาร์โบไฮเดรตทั้งหมด	31.45±1.87	26.36±2.10	23.91±0.49
ฟอสฟอรัส	2.12±0.05	3.14±0.07	3.28±0.04
พลังงานทั้งหมด (Kcal/100g)	327.45±13.21	322.82±11.79	323.15±2.11

หมายเหตุ: [1] วิตามิน (mg/kg): thiamine hydrochloride 30; riboflavin 30; nicotinic acid 140; calcium pantothenate 100; pyridoxine hydrochloride 25; vitamin B12 0.005;

inositol 2,000; biotin 6; folic acid 6; choline chloride 1,000; ascorbyl-polyphosphate 50; vitamin E 200; vitamin K3 12; vitamin A 12,000 IU; vitamin D3 2400 IU.

[2] แร่ธาตุรวม (mg/kg): KH_2PO_4 4.2; NaH_2PO_4 6.25; KCl 2; KI 1.6; $MgSO_4.7H_2O$ 2; $ZnSO_4$ 0.1; $MnSO_4$ 0.1

3. ระบบการทดลอง และการเลี้ยงปลาทดลอง

ดำเนินการทดลองโดยชั่งน้ำหนักปลาเริ่มต้น คำนวณน้ำหนักเฉลี่ยต่อตัว ให้อาหารทดลองแต่ละสูตรในแต่ละชุดการทดลองจนเพียงพอต่อความต้องการของปลาทุกวัน วันละ 2 ครั้ง ในเวลา 9.30 น. และ 17.30 น. ตลอดระยะเวลาการทดลองดูดตะกอนเศษอาหารเหลือทุกวัน เปลี่ยนถ่ายน้ำในอัตราการไหล 200-400 เปอร์เซ็นต์ต่อวัน ด้วยระบบน้ำไหลผ่านตลอด (flow through system) ตรวจสอบการเจริญเติบโต และการกินอาหารของปลาโดยชั่งน้ำหนักปลาทั้งตู้ทดลอง และบันทึกน้ำหนักอาหารที่ใช้ทุกช่วง 2 สัปดาห์ของการทดลอง ทำการเลี้ยงปลาทดลองจนกระทั่งลูกปลาพัฒนาเข้าสู่ระยะปลานิ้วซึ่งใช้เวลา 10 สัปดาห์ จึงชั่งน้ำหนัก นับจำนวนปลา และเก็บตัวอย่างปลาในแต่ละตู้ทดลอง เพื่อวิเคราะห์ข้อมูลการทดลอง

4. การเก็บข้อมูล

4.1 การศึกษาผลของฟอสฟอรัสอนินทรีย์รูปแบบต่าง ๆ ต่อการเจริญเติบโต

ตรวจสอบการเจริญเติบโตของปลาหลังจากได้รับอาหารทดลองแต่ละสูตรทุก 2 สัปดาห์ของการทดลอง เป็นระยะเวลา 10 สัปดาห์ โดยชั่งน้ำหนักปลาทั้งตู้ บันทึกจำนวนตัวเพื่อคำนวณน้ำหนักเฉลี่ยต่อตัว น้ำหนักที่เพิ่ม และอัตราการรอดตาย บันทึกปริมาณอาหารที่ใช้เพื่อนำมาคำนวณอัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อ (feed conversion ratio, FCR) อัตรารอดตาย (survival rate %) และน้ำหนักที่เพิ่มขึ้น (weight gain, WG %)

4.2 การศึกษาผลของฟอสฟอรัสอนินทรีย์รูปแบบต่าง ๆ ต่อองค์ประกอบตัวปลา

เมื่อสิ้นสุดการทดลองในสัปดาห์ที่ 10 สุ่มตัวอย่างปลาในแต่ละชุดทดลองจำนวน 12 ตัวสลบด้วยสารละลายน้ำมันกานพลู 100 ส่วนในล้านส่วน เพื่อนำมาวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของตัวปลา ได้แก่ ปริมาณความชื้น โปรตีน ไขมัน และเถ้าตามวิธีการของ AOAC (1990) คำนวณค่าเปอร์เซ็นต์การสะสมโปรตีน (percentage of protein retention) ไขมัน (percentage of lipid retention) และฟอสฟอรัส (percentage of phosphorus retention) ตามวิธีการของ Halver and Hardy (2002)

4.3 การศึกษาผลของฟอสฟอรัสอนินทรีย์รูปแบบต่าง ๆ ต่อปริมาณฟอสฟอรัสและแคลเซียมในตัวปลา และในกระดูกปลา

สุ่มตัวอย่างปลา 12 ตัว จากแต่ละชุดทดลอง มาสลบด้วยสารละลายน้ำมันกานพลู 100 ส่วนในล้านส่วน จากนั้นนำปลาทั้งตัวไปอบแห้ง บดละเอียด แล้วนำไปตรวจวัดปริมาณแคลเซียม และฟอสฟอรัสในตัวปลาตามวิธีการของ AOAC (1990) การวิเคราะห์ปริมาณแคลเซียมและฟอสฟอรัสในกระดูกสันหลังดำเนินการโดยสุ่มตัวอย่างปลา 12 ตัว จากแต่ละชุดทดลอง นำมาตัดแยกส่วนกระดูกสันหลังออกมาเพื่อนำไปผ่านความร้อนโดยแช่กระดูกสันหลังปลาในน้ำเดือดเป็นเวลา 15 นาที แยกเนื้อปลาส่วนอื่น ๆ ออกให้เหลือเฉพาะกระดูกสันหลังจากนั้นนำไปอบแห้ง

บดละเอียดแล้วตรวจวัดปริมาณแคลเซียม และฟอสฟอรัสในกระดูกปลาตามวิธีการของ AOAC (1990)

5. การวิเคราะห์ข้อมูล

วิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าเฉลี่ยน้ำหนักปลา การเจริญเติบโต การรอดตายของปลา องค์ประกอบทางเคมี ตลอดจนปริมาณฟอสฟอรัสในตัว และกระดูกสันหลังของปลาดุกลำพันจากแต่ละชุดการทดลอง ในกรณีที่ข้อมูลอยู่ในรูปสัดส่วน ทำการแปลงข้อมูล (transform) ให้อยู่ในรูป arcsine ก่อนที่จะวิเคราะห์ความแปรปรวนด้วย one way analysis of variance (ANOVA) และวิเคราะห์ความแตกต่างของค่าเฉลี่ยด้วย Duncan's multiple range test (DMRT) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ ด้วยโปรแกรมการวิเคราะห์ทางสถิติ SPSS version 25 (Thaksin university Ref ID: TH-03-1118)

ผลการวิจัย

1. การเจริญเติบโตของปลาดุกลำพันที่ได้รับอาหารเสริมฟอสฟอรัสอนินทรีย์รูปแบบต่าง ๆ

น้ำหนักเฉลี่ยเริ่มต้นของปลาดุกลำพันในการทดลองนี้มีค่าอยู่ในช่วง 0.55±0.02 - 0.56±0.02 กรัมต่อตัว ซึ่งไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติในแต่ละชุดการทดลอง เมื่อสิ้นสุดการทดลองในสัปดาห์ที่ 10 พบว่า ปลาดุกลำพันที่ได้รับอาหารเสริม DCP มีน้ำหนักเฉลี่ยต่อตัว เปอร์เซ็นต์น้ำหนักที่เพิ่ม และการเจริญเติบโตจำเพาะสูงที่สุด เมื่อเทียบกับชุดทดลองอื่น ๆ ($p < 0.05$) (ตารางที่ 2 และ 3) อย่างไรก็ตามอัตราการแลกเนื้อและการรอดตายของปลาดุกลำพันในการทดลองนี้มีค่าไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p > 0.05$) โดยพบว่าการแลกเนื้อมีค่าอยู่ในช่วง1.12±0.01 - 1.12±0.01 ส่วนการรอดตายมีค่าอยู่ในช่วง 95.00±6.38 - 98.33±3.33 เปอร์เซ็นต์ ในระยะเวลาการทดลอง 10 สัปดาห์

ตารางที่ 2 น้ำหนักเฉลี่ยต่อตัวของปลาดุกลำพันที่ได้รับอาหารเสริมฟอสฟอรัสอนินทรีย์รูปแบบต่าง ๆ เป็นระยะเวลาการทดลอง 10 สัปดาห์

ชุดการทดลอง	น้ำหนักเริ่มต้น (กรัม)	น้ำหนักสุดท้าย (กรัม)
T1 Control	0.55±0.02	5.13±0.31[a]
T2 MCP 1.3%	0.56±0.02	5.01±0.32[a]
T3 DCP 1.3%	0.55±0.02	6.27±0.51[b]

หมายเหตุ: ค่าเฉลี่ยในคอลัมน์ที่มีอักษรเหมือนกันกำกับ ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ ($p > 0.05$)

ตารางที่ 3 น้ำหนักเฉลี่ยต่อตัวของปลาดุกลำพันที่ได้รับอาหารเสริมฟอสฟอรัสอนินทรีย์รูปแบบต่าง ๆ เป็นระยะเวลาการทดลอง 10 สัปดาห์

ชุดการทดลอง	น้ำหนักที่เพิ่ม (เปอร์เซ็นต์)	การเจริญเติบโตจำเพาะ (เปอร์เซ็นต์/วัน)	การแลกเนื้อ (FCR)	การรอดตาย (เปอร์เซ็นต์)
T1 control	825.18±61.70[a]	3.18±0.10[a]	1.12±0.01	96.67±6.67
T2 MCP 1.3%	802.31±62.29[a]	3.14±0.10[a]	1.13±0.01	98.33±3.33
T3 DCP 1.3%	1031.47±51.42[b]	3.46±0.06[b]	1.13±0.01	95.00±6.38

หมายเหตุ: ค่าเฉลี่ยในคอลัมน์ที่มีอักษรเหมือนกันกำกับ ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ ($p > 0.05$)

2. องค์ประกอบทางเคมีของปลาดุกลำพันที่ได้รับอาหารเสริมฟอสฟอรัสอนินทรีย์รูปแบบต่าง ๆ

ปริมาณความชื้น โปรตีน ไขมัน และเถ้า ในตัวปลาดุกลำพันที่ได้รับอาหารเสริมฟอสฟอรัสอนินทรีย์รูปแบบต่าง ๆ เป็นระยะเวลา 10 สัปดาห์แสดงในตารางที่ 4 ผลการทดลองพบว่า ปลาดุกลำพันที่ได้รับอาหารทุกสูตรมีปริมาณความชื้นในตัวไม่แตกต่างกันทางสถิติโดยมีค่าอยู่ในช่วง 75.95±0.56-76.53±0.66 เปอร์เซ็นต์ ในขณะที่ปริมาณโปรตีนในตัวปลาที่ได้รับอาหารเสริม MCP และ DCP มีค่าสูง (62.05±0.60 และ 62.89±1.28 เปอร์เซ็นต์) และแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) เมื่อเทียบกับชุดควบคุม อย่างไรก็ตามปริมาณไขมันของปลาดุกลำพันที่ได้รับอาหารทดลองทุกสูตรมีค่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยมีค่าอยู่ในช่วง 31.96±1.84-36.18±5.19 เปอร์เซ็นต์ เช่นเดียวกับปริมาณเถ้าในตัวปลา ซึ่งมีค่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติและมีค่าอยู่ในช่วง 10.77±1.93-12.89±1.70 เปอร์เซ็นต์

ตารางที่ 4 องค์ประกอบทางเคมีของปลาดุกลำพันที่ได้รับอาหารเสริมฟอสฟอรัสอนินทรีย์รูปแบบต่าง ๆ เป็นระยะเวลาการทดลอง 10 สัปดาห์

ชุดการทดลอง	ความชื้น (เปอร์เซ็นต์)	โปรตีน (เปอร์เซ็นต์)	ไขมัน (เปอร์เซ็นต์)	เถ้า (เปอร์เซ็นต์)
T1 control	76.08±1.49[a]	56.47±2.54[a]	33.72±3.05[a]	10.77±1.93[a]
T2 MCP 1.3%	76.53±0.66[a]	62.05±0.60[b]	31.96±1.84[a]	12.89±1.70[a]
T3 DCP 1.3%	75.95±0.56[a]	62.89±1.28[b]	36.18±5.19[a]	11.40±3.03[a]

หมายเหตุ: ค่าเฉลี่ยในคอลัมน์ที่มีอักษรเหมือนกันกำกับ ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ ($p > 0.05$)

3. การสะสมโปรตีน ไขมัน และฟอสฟอรัสในตัวปลา

เมื่อคำนวณเปอร์เซ็นต์การสะสมโปรตีนของปลาดุกลำพันที่ได้รับอาหารทดลองเสริมฟอสฟอรัสอนินทรีย์รูปแบบต่าง ๆ พบว่าปลาที่ได้รับอาหารเสริม DCP มีเปอร์เซ็นต์การสะสมโปรตีนสูงสุด โดยมีค่าเฉลี่ย 43.60±2.26 เปอร์เซ็นต์ รองลงมาได้แก่ ปลาดุกลำพันที่ได้รับอาหารเสริม MCP ซึ่งมีค่าการผสมโปรตีน 33.43±0.86 เปอร์เซ็นต์ ส่วนปลาดุกลำพันที่ได้รับอาหารทดลองชุดควบคุมมีเปอร์เซ็นต์การสะสมโปรตีนต่ำที่สุด โดยมีค่าเฉลี่ย 30.07±1.83 เปอร์เซ็นต์ การเสริมฟอสฟอรัสอนินทรีย์รูปแบบต่าง ๆ มีผลต่อการสะสมไขมันในตัวของปลาดุกลำพัน จากผลการทดลองว่า ปลาดุกลำพันที่ได้รับอาหารเสริม DCP มีเปอร์เซ็นต์การสะสมไขมันในตัวปลาสูงสุดและแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) เมื่อเทียบกับชุดการทดลองอื่น โดยมีค่า 66.17±3.40 เปอร์เซ็นต์ รองลงมาได้แก่ ปลาดุกลำพันที่ได้รับอาหารทดลองชุดควบคุม (54.82±3.37 เปอร์เซ็นต์) ในขณะที่ปลาดุกลำพันที่ได้รับอาหารทดลองเสริม MCP มีค่าการสะสมไขมันในตัวปลาน้อยที่สุด (48.12±1.35 เปอร์เซ็นต์)

อย่างไรก็ตามเมื่อพิจารณาการสะสมฟอสฟอรัสในตัวปลา พบว่าปลาที่ได้รับอาหารทดลองชุดควบคุมมีเปอร์เซ็นต์การสะสมฟอสฟอรัสสูงที่สุด (45.32±2.77 เปอร์เซ็นต์) ซึ่งแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) เมื่อเทียบกับชุดการทดลองอื่น ๆ รองลงมาได้แก่ ปลาดุกลำพันที่ได้รับอาหารทดลองเสริม DCP มีค่าการสะสมฟอสฟอรัส 34.37±1.77 เปอร์เซ็นต์ ส่วนปลาดุกลำพันที่ได้รับอาหารรองเสริม MCP กลับมีค่าการสะสมฟอสฟอรัสในตัวปลาน้อยที่สุดโดยมีค่าเฉลี่ย 29.16±0.78 เปอร์เซ็นต์ (ตารางที่ 5)

ตารางที่ 5 การสะสมโปรตีน ไขมัน และฟอสฟอรัสในตัวปลาดุกลำพันที่ได้รับอาหารเสริมฟอสฟอรัสอนินทรีย์รูปแบบต่าง ๆ ในระยะเวลาการทดลอง 10 สัปดาห์

ชุดการทดลอง	การสะสมโปรตีน (เปอร์เซ็นต์)	การสะสมไขมัน (เปอร์เซ็นต์)	การสะสมฟอสฟอรัส (เปอร์เซ็นต์)
T1 control	30.07±1.83[a]	54.82±3.37[b]	45.32±2.77[b]
T2 MCP 1.3%	33.43±0.86[b]	48.12±1.35[a]	29.16±0.78[a]
T3 DCP 1.3%	43.60±2.26[c]	66.17±3.40[c]	34.37±1.77[c]

หมายเหตุ: ค่าเฉลี่ยในคอลัมน์ที่มีอักษรเหมือนกันกำกับ ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ ($p > 0.05$)

4. ปริมาณฟอสฟอรัส แคลเซียมในตัวและกระดูกของปลา

การใช้อาหารทดลองเสริมฟอสฟอรัสอนินทรีย์รูปแบบต่าง ๆ ไม่มีผลต่อปริมาณฟอสฟอรัสและแคลเซียมในตัวปลาดุกลำพัน (ตารางที่ 6) ปลาทดลองที่ได้รับอาหารชุดควบคุมและชุดทดลองที่เสริมฟอสฟอรัสอนินทรีย์ในรูปแบบต่าง ๆ มีปริมาณฟอสฟอรัสในตัวปลาอยู่ในช่วง 4.18±0.38-4.51±0.38 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) ในขณะที่ปริมาณแคลเซียมในตัวปลามีค่าอยู่ในช่วง 2.16±0.34-2.87±0.86 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติในแต่ละชุดการทดลอง ($p > 0.05$) เช่นเดียวกันกับปริมาณ

ฟอสฟอรัส และแคลเซียมในกระดูก (ตารางที่ 7) ซึ่งจากการทดลองพบว่า ปริมาณฟอสฟอรัสในกระดูกของปลาดุกลำพันที่ได้รับอาหารทดลองทุกสูตรมีค่าอยู่ในช่วง 8.67±0.23-9.43±0.61 เปอร์เซ็นต์ ส่วนปริมาณแคลเซียมในกระดูกมีค่าเฉลี่ยอยู่ในช่วง 18.00±0.62-18.22±1.01 เปอร์เซ็นต์ และไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติในทุกชุดการทดลอง ($p > 0.05$)

ตารางที่ 6 ปริมาณฟอสฟอรัส แคลเซียมในตัวปลาดุกลำพันที่ได้รับอาหารเสริมฟอสฟอรัสอนินทรีย์รูปแบบต่าง ๆ ในระยะเวลาการทดลอง 10 สัปดาห์

ชุดการทดลอง	ฟอสฟอรัสในตัวปลา (เปอร์เซ็นต์)	แคลเซียมในตัวปลา (เปอร์เซ็นต์)
T1 control	4.51±0.38	2.16±0.34
T2 MCP 1.3%	4.26±0.94	2.87±0.86
T3 DCP 1.3%	4.18±0.38	2.55±0.63

ตารางที่ 7 ปริมาณฟอสฟอรัส แคลเซียมในกระดูกของปลาดุกลำพันที่ได้รับอาหารเสริมฟอสฟอรัสอนินทรีย์รูปแบบต่าง ๆ ในระยะเวลาการทดลอง 10 สัปดาห์

ชุดการทดลอง	ฟอสฟอรัสในกระดูก (เปอร์เซ็นต์)	แคลเซียมในกระดูก (เปอร์เซ็นต์)
T1 control	8.80±0.08	18.00±0.62
T2 MCP 1.3%	9.43±0.61	18.22±1.01
T3 DCP 1.3%	8.67±0.23	18.00±1.02

การอภิปรายผลการวิจัย

ฟอสฟอรัสเป็นแร่ธาตุสำคัญทำหน้าที่เป็นองค์ประกอบของโครงสร้างในตัวปลา แต่เนื่องจากฟอสฟอรัสเป็นแร่ธาตุที่มีปริมาณจำกัดในน้ำ จึงมักจะพบภาวะขาดฟอสฟอรัสได้บ่อยในปลาชนิดต่าง ๆ (Lall, 2002) การขาดฟอสฟอรัสจะทำให้เมตาบอลิซึมเกิดขึ้นไม่สมบูรณ์โดยเฉพาะในด้านของการเจริญเติบโตและการแลกเปลี่ยนเนื้อ นอกจากนั้นโครงสร้างของกระดูกก็จะผิดปกติด้วย (NRC, 2011) จากการศึกษานี้พบว่าปลาดุกลำพันที่ได้รับอาหารชุดควบคุมไม่เสริมฟอสฟอรัสและเสริมในรูปแบบโมโนแคลเซียมฟอสเฟตมีการเจริญเติบโตที่ต่ำกว่าปลาดุกลำพันที่ได้รับอาหารเสริมไดแคลเซียมฟอสเฟต ซึ่งอาจเป็นไปได้ว่าปริมาณของฟอสฟอรัสที่ปลาได้รับในอาหารชุดควบคุมมีปริมาณไม่เพียงพอสำหรับการเจริญเติบโตของปลา และปลาดุกลำพันอาจจะดูดซึมและนำโมโนแคลเซียมฟอสเฟตไปใช้ประโยชน์ได้น้อย จึงเป็นเหตุให้ปลามีการเจริญเติบโตต่ำกว่าปลาที่ได้รับไดแคลเซียมฟอสเฟต Lall (2002) รายงานว่าปลาที่ได้รับอาหารไม่เสริมฟอสฟอรัส หรือได้รับฟอสฟอรัสไม่เพียงพอต่อความต้องการจะมีการเจริญเติบโตลดลง และการแลกเนื้อสูงขึ้น รวมทั้งมีปริมาณของการสะสมแร่ธาตุในกระดูกของปลาลดลงด้วย แต่ผลการทดลองในปลาดุกลำพันครั้งนี้พบว่าปลาที่ได้รับอาหารชุดควบคุมมีการแลกเนื้อ และการรอดตายไม่แตกต่างจากปลาที่ได้รับอาหารเสริมฟอสฟอรัสอนินทรีย์ทุกรูปแบบซึ่งอาจเป็นไปได้ว่าอาหารปลาดุกลำพันในการทดลองนี้ใช้ปลา

ป่นเป็นแหล่งโปรตีนในอาหาร และปลาได้รับฟอสฟอรัสในรูปแบบไฮดรอกซีอะพาไทต์จากปลาป่นที่มีอยู่ในอาหารทดลองในปริมาณที่เพียงพอสำหรับส่งผลให้การแลกเนื้อ และการรอดตายเป็นปกติ

ในด้านผลของฟอสฟอรัสต่อองค์ประกอบทางเคมีของตัวปลา พบว่าปลาแต่ละชนิดมีความต้องการฟอสฟอรัสแตกต่างกัน รวมทั้งยังมีประสิทธิภาพการนำฟอสฟอรัสแต่ละรูปแบบไปใช้ประโยชน์ได้ต่างกัน และมีให้องค์ประกอบทางเคมีของตัวปลาแตกต่างกัน Luo *et al*. (2010) ศึกษาระดับความต้องการฟอสฟอรัสในอาหารของปลาดุก Yellow catfish (*Pelteobagrus fulvidraco*) โดยใช้โซเดียมไดไฮโดรเจนฟอสเฟตเป็นแหล่งของฟอสฟอรัสในอาหารทดลอง ผลการทดลองพบว่าปลาดุกมีปริมาณโปรตีนในตัวปลาและเถ้าเพิ่มสูงขึ้นเมื่อได้รับอาหารเสริมฟอสฟอรัสในปริมาณมากขึ้น แต่มีปริมาณไขมันในตัวปลาไม่แตกต่างกันในทุกชุดการทดลอง ปลาที่ได้รับอาหารเสริมฟอสฟอรัสในปริมาณที่นำไปใช้ประโยชน์ได้ 0.43-0.78 เปอร์เซ็นต์ มีปริมาณฟอสฟอรัสในกระดูกสูงขึ้น แต่ไม่แตกต่างกับปลาทดลองที่ได้รับอาหารเสริมฟอสฟอรัสในปริมาณที่มีฟอสฟอรัสที่นำไปใช้ประโยชน์ได้ 0.90-1.18 และได้สรุปว่าควรใช้โซเดียมไดไฮโดรเจนฟอสเฟต 0.76 เปอร์เซ็นต์ จึงจะทำให้ปริมาณฟอสฟอรัสในตัวปลามีค่าสูงสุด แต่ Tang *et al*. (2012) ได้ทดลองเลี้ยงปลาดุก Yellow catfish ด้วยอาหารทดลองเสริมโมโนแคลเซียมฟอสเฟตในปริมาณที่มีฟอสฟอรัสที่นำไปใช้ประโยชน์ได้ 0.33-1.57 เปอร์เซ็นต์ ผลการทดลองพบว่าปลามีปริมาณฟอสฟอรัสสะสมในกระดูกสูงที่สุดเมื่อได้รับอาหารทดลองที่เสริมโมโนแคลเซียมฟอสเฟตในปริมาณที่นำไปใช้ประโยชน์ได้ 1.21 เปอร์เซ็นต์ ในขณะที่ปลาที่ได้รับอาหารเสริมโมโนแคลเซียมฟอสเฟตในปริมาณที่นำไปใช้ประโยชน์ได้ 1.57 เปอร์เซ็นต์ มีกิจกรรมของเอนไซม์ในการต้านทานอนุมูลอิสระในตับมากที่สุด จากผลการทดลองในปลาดุกลำพันครั้งนี้ พบว่าปลาสามารถใช้ไดแคลเซียมฟอสเฟตเป็นแหล่งของฟอสฟอรัสได้ดีกว่าการใช้โมโนแคลเซียมฟอสเฟต สอดคล้องกับรายงานของ Rodrigues and Teles (2007) ทดลองเปรียบเทียบการใช้โมโนแคลเซียมฟอสเฟต ไดแคลเซียมฟอสเฟต และไตรแคลเซียมฟอสเฟตในอาหารของปลากระพงยุโรป (*Dicentrarchus labrax*) ผลการทดลองพบว่าไดแคลเซียมฟอสเฟตมีประสิทธิภาพการนำไปใช้ประโยชน์ 68 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งสูงกว่าโมโนแคลเซียมฟอสเฟตและไตรแคลเซียมฟอสเฟต ที่มีประสิทธิภาพการนำไปใช้ประโยชน์ 50-56 เปอร์เซ็นต์ แต่ผลการทดลองครั้งนี้แตกต่างจากการทดลองในปลาเวลส์ตะวันออก (*Silurus asotus*) ที่พบว่าโมโนแคลเซียมฟอสเฟต เป็นแหล่งของฟอสฟอรัสที่มีประสิทธิภาพดีกว่าไดแคลเซียมฟอสเฟต (Yoon *et al*., 2014) เช่นเดียวกันกับ Ogino *et al*. (1979) พบว่าปลาไน (*Cyprinus carpio*) สามารถนำฟอสฟอรัสอนินทรีย์จากโมโนแคลเซียมฟอสเฟตไปใช้ประโยชน์ และมีผลให้ปลาเติบโตได้มากกว่าการใช้ฟอสฟอรัสจากไดแคลเซียมฟอสเฟต และไตรแคลเซียมฟอสเฟต

ผลจากการทดลองในปลาดุกลำพันครั้งนี้พบว่าปลาที่ได้รับอาหารทดลองเสริมโมโนแคลเซียมฟอสเฟต ไดแคลเซียมฟอสเฟต มีปริมาณโปรตีนในตัวปลามากกว่าปลาในชุดควบคุม โดยเฉพาะปลาที่ได้รับอาหารทดลองซึ่งใช้ไดแคลเซียมฟอสเฟตเป็นแหล่งของฟอสฟอรัสจะมีค่าประสิทธิภาพการสะสมโปรตีนในตัวปลาสูงกว่าปลาในชุดการทดลองอื่นๆ สอดคล้องกับ Sarkar *et al*. (2004) ซึ่งใช้อาหารเสริมไดแคลเซียมฟอสเฟต และทริปเปิลซุปเปอร์ฟอสเฟต เป็นแหล่งของฟอสฟอรัสในอาหารสำหรับปลานิล พบว่าการเสริมฟอสฟอรัสในอาหารจะมีผลทำให้โปรตีนในตัวปลามีปริมาณสูงขึ้น ไดแคลเซียมฟอสเฟตมีผลให้ปริมาณโปรตีนในตัวปลาเมื่อสิ้นสุดการทดลองมีค่าสูงไม่แตกต่าง

กับปลาที่ได้รับอาหารเสริมทริปเปิลซุปเปอร์ฟอสเฟตในขณะที่ปลาซึ่งได้รับอาหารทดลองไม่เสริมฟอสฟอรัสมีปริมาณโปรตีนในตัวต่ำที่สุด สาเหตุที่ทำให้ปริมาณโปรตีนต่ำในปลาที่ได้รับอาหารขาดฟอสฟอรัสเกิดขึ้นเนื่องจากภาวการณ์ขาดฟอสฟอรัสจะไปมีผลยับยั้งกระบวนการเบตาออกซิเดชั่นในการเผาผลาญกรดไขมัน ทำให้สามารถใช้ไขมันมาเป็นแหล่งของพลังงานได้น้อยลงปลาที่ขาดฟอสฟอรัสจึงต้องนำเอาโปรตีนมาใช้เป็นพลังงานแทนไขมันและเหลือโปรตีนสะสมในร่างกายลดลง (Lall, 2002) จากการทดลองในปลาดุกลำพันครั้งนี้แม้ว่าปลาที่ได้รับอาหารทดลองทุกสูตรจะมีปริมาณไขมันในตัวปลาไม่แตกต่างกันแต่ปลาที่ได้รับอาหารเสริมไดแคลเซียมฟอสเฟตและ โมโนแคลเซียมฟอสเฟตมีค่าประสิทธิภาพการสะสมไขมันในตัวปลาสูงกว่าปลาในชุดควบคุม สอดคล้องกับการทดลองของ Eya and Lovell (1997)ที่พบว่าการเสริมฟอสฟอรัสในอาหารในปริมาณเพิ่มขึ้นจะทำให้มีการสะสมโปรตีนในตัวปลาเพิ่มขึ้น แต่ไม่มีผลให้ปริมาณไขมันในตัวปลาเพิ่มขึ้น

ในด้านผลของฟอสฟอรัสอนินทรีย์รูปแบบต่าง ๆ ต่อการสะสมฟอสฟอรัสในตัวปลา Morales *et al*. (2018) ได้ทำการทดลองใช้โมโนโซเดียมฟอสเฟต โมโนแคลเซียมฟอสเฟต และโมโนแอมโมเนียมฟอสเฟตเป็นแหล่งของฟอสฟอรัสในอาหารเลี้ยงปลาเรนโบว์เทร้าต์ (*Oncorhynchus mykiss*) พบว่าปลาสามารถใช้โมโนโซเดียมฟอสเฟต และโมโนแอมโมเนียมฟอสเฟตเป็นแหล่งของฟอสฟอรัสได้ดี และมีผลให้เกิดการสะสมฟอสฟอรัสในตัวปลา และการย่อยนำฟอสฟอรัสไปใช้ประโยชน์ได้มากกว่าชุดควบคุม ในขณะที่สามารถใช้โมโนโซเดียมฟอสเฟตเป็นแหล่งของฟอสฟอรัสได้น้อย และส่งผลให้เกิดปริมาณฟอสฟอรัสขับถ่ายออกสู่สิ่งแวดล้อมมากกว่าปลาที่ได้รับฟอสฟอรัสจากแหล่งอื่นๆ ทั้งนี้ฟอสฟอรัสอนินทรีย์แต่ละแหล่งมีประสิทธิภาพในการละลายน้ำและการย่อยเพื่อดูดซึมนำไปใช้ประโยชน์ในปลาแต่ละชนิดได้ต่างกัน ซึ่งเกิดขึ้นจากทั้งความสมดุลของสัดส่วนฟอสฟอรัสและแคลเซียมในอาหาร ที่จะมีผลต่อความสามารถในการละลายของฟอสฟอรัส และระดับ pH ในทางเดินอาหารของปลาแต่ละชนิดก็จะมีผลต่อความสามารถในการละลายน้ำและดูดซึมนำเอาฟอสฟอรัสในอาหารไปใช้ประโยชน์ภายในลำไส้ ในกรณีที่ปลามีความสามารถในการดูดซึมฟอสฟอรัสไปใช้ประโยชน์ได้น้อยก็จะขับถ่ายทิ้งออกสู่สิ่งแวดล้อมในภายหลัง (Morales *et al*., 2018) ตามปกติปริมาณฟอสฟอรัสที่สะสมในตัวปลา และในกระดูกของปลาจะใช้เป็นดัชนีชี้วัดความต้องการฟอสฟอรัสในอาหารของปลาได้ดี (Luo *et al*., 2009) แต่จากการทดลองในปลาดุกลำพันในครั้งนี้พบว่าปลาที่ได้รับอาหารทดลองทุกสูตรมีปริมาณฟอสฟอรัสในตัวปลา และในกระดูกไม่แตกต่างกัน ผลการทดลองดังกล่าวเกิดขึ้นเนื่องจากในอาหารชุดควบคุมก็ยังคงมีฟอสฟอรัสจากปลาป่นในปริมาณสูง และเพียงพอที่จะรักษาระดับของฟอสฟอรัสในตัว และในกระดูกของปลาให้อยู่ในระดับสูงสุดได้ สอดคล้องกับการทดลองของ Luo *et al*. (2009) พบว่าการเสริมฟอสฟอรัสในอาหารในปริมาณที่มากกว่า 1.06 เปอร์เซ็นต์ ขึ้นไปจะทำให้ปริมาณฟอสฟอรัสในตัว และในกระดูกสันหลังของปลาบู่ (*Synechogobius hasta*) มีค่าสูงสุดและไม่เพิ่มขึ้นอีกแม้ว่าปลาจะได้รับอาหารที่มีฟอสฟอรัสในปริมาณมากกว่านี้ ในด้านประสิทธิภาพสะสมฟอสฟอรัส พบว่าประสิทธิภาพการสะสมฟอสฟอรัส มีค่าสูงสุดในปลาที่ได้รับอาหารชุดควบคุม ซึ่งเกิดขึ้นเนื่องจากฟอสฟอรัสที่เสริมลงในอาหารอาจจะมีปริมาณมาก และไม่สามารถย่อยดูดซึมนำไปใช้ประโยชน์ในตัวปลาได้ทั้งหมด เกิดการขับถ่ายออกสู่สิ่งแวดล้อม เมื่อคำนวณปริมาณการสะสมฟอสฟอรัสในตัวปลาจึงพบว่า

มีสัดส่วนปริมาณฟอสฟอรัสในตัวปลาต่อฟอสฟอรัสในอาหารต่ำ ในขณะที่อาหารชุดควบคุมมีปริมาณฟอสฟอรัสต่ำ ทำให้ปลาย่อยและดูดซึมฟอสฟอรัสไปสะสมในตัวได้หมด เหลือทิ้งในปริมาณน้อย จึงส่งผลให้สัดส่วนของฟอสฟอรัสในตัวปลาต่อฟอสฟอรัสในอาหารมีค่าสูงกว่า (Luo *et al*., 2009)

ผลจากการทดลองพบว่าไดแคลเซียมฟอสเฟตเป็นแหล่งของฟอสฟอรัสที่มีผลดีในด้านการเจริญเติบโตของปลาดุกลำพัน แต่ก็ควรที่จะมีการศึกษาถึงระดับที่เหมาะสมของไดแคลเซียมฟอสเฟตสำหรับปลาดุกลำพันเพื่อที่จะทำให้ปลามีการเจริญเติบโตที่ดีและสามารถนำฟอสฟอรัสจากอาหารไปใช้ประโยชน์ได้โดยส่งผลเสียต่อสภาพแวดล้อมน้อยที่สุด

สรุปผลการวิจัย

ไดแคลเซียมฟอสเฟตเป็นแหล่งของฟอสฟอรัสที่ให้ผลดีในด้านการเจริญเติบโตของปลาดุกลำพันระยะวัยรุ่น

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับงบประมาณสนับสนุนจากเงินอุดหนุนการวิจัยงบประมาณแผ่นดิน พ.ศ. 2560 มหาวิทยาลัยทักษิณ

เอกสารอ้างอิง

วันวิภา หนูมา และสุภฎา คีรีรัฐนิคม. (2554). ผลของวิตามินซี และอีต่อองค์ประกอบเลือดของปลาดุกลำพัน. ใน *การประชุมวิชาการประมง ครั้งที่ 6 เพื่อความมั่นคงด้านการประมง และทรัพยากรทางน้ำ* (หน้า 102-103). เชียงใหม่: คณะเทคโนโลยีการประมงและทรัพยากรทางน้ำ มหาวิทยาลัยแม่โจ้.

สุภฎา คีรีรัฐนิคม และอานุช คีรีรัฐนิคม. (2555). ความต้องการไขมันในอาหารของปลาดุกลำพัน (*Clarias nieuhofii*). ระยะปลานิ้ว. ในบทคัดย่อ *การประชุมวิชาการระดับชาติมหาวิทยาลัยทักษิณ ครั้งที่ 22 ประจำปี 2555*. สงขลา: มหาวิทยาลัยทักษิณ.

AOAC. (1990). *Official Methods of Analysis*. (15th ed). Washington DC.: The Association of Official Analytical Chemists.

Eya, J.C. and Lovell, R.T. (1997). Net absorption of dietary phosphorus from various inorganic sources and effect of fungal phytase on net absorption of plant phosphorus by channel catfish *Ictalurus punctatus*. *Journal of the World Aquaculture Society*, 28(4), 386-391.

Halver, J.E. and Hardy, R.W. (2002). *Fish Nutrition*. (3rd ed). New York: Academic Press.

Kiriratnikom, S. and Kiriratnikom, A. (2012). Growth, feed utilization, survival and body composition of fingerlings of Slender walking catfish, *Clarias nieuhofii*, fed diets containing different protein levels. *Songklanakarin Journal of Science and Technology*, 34(1), 37-43.

Lall, S.P. (2002). The Mineral. In Halver, J.E. and Hardy, R.W. (Eds.). *Fish Nutrition*. (3rd ed)., pp. 259-308. San Diego: Academic Press.

Luo, Z., Tan, X.Y., Liu, X. and Wang, W.M. (2010). Dietary total phosphorus requirement of juvenile yellow catfish *Pelteobagrus fulvidraco*. *Aquaculture International*, 18(5), 897-908.

Luo, Z., Xiaodong, L., Shiyuan, G., Wenqiu, X. and Yali, L. (2009). Effect of dietary phosphorus on the growth and body components of juvenile *Synechogobius hasta*. *Journal of Ocean University of China*, 8(1), 65-70.

Morales, G.A, Azcuy, R.L., Casaretto, M.E., Márquez, L., Hernández, A.J., Gómez, F., Koppe, W. and Mereu, A. (2018). Effect of different inorganic phosphorus sources on growth performance, digestibility, retention efficacy and discharge of nutrients in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). *Aquaculture*, 495, 568-574.

National Research Council. (2011). *Nutrition requirement of fish*. Washington DC.: National Academy Press.

Ogino, C., Takeuchi, L., Takeda, H. and Watanabe, T. (1979). Availability of dietary phosphorus in carp and rainbow trout. *Bulletin of the Japanese Society of Scientific Fisheries.* 45(12), 1527-2532.

Rodrigues, A.P. and Teles, A.O. (2007). Phosphorus availability of inorganic phosphates and fish meal in European sea bass (*Dicentrarchus labrax* L.) juveniles. *Aquaculture*, 267, 300-307.

Robinson, E.H. and Li, M.H. (1996). *A practical guide to nutrition, feeds, and feeding of catfish*. Mississippi: Mississippi State University.

Sarkar, M.R.U., Yakupitiyage, A., Lin, C.K. and Little, D.C. (2004). Effect of phosphorus supplementation in the formulated fish feed on carcass quality of Niletilapia *Oreochromis niloticus* L. *Bangladesh Journal of Fisheries Research*, 8(1), 19-25.

Tang, Q., Wang, C., Xie, C., Jin, J. and Huang, Y. (2012). Dietary available phosphorus affected growth performance, body composition and hepatic antioxidant property of juvenile yellow catfish *Pelteobagrus fulvidraco*. *The Scientific World Journal*, 24, 1-9.

Wilson, R.P., Robinson, E.H., Gatlin, D. and Poe, W.E. (1982). Dietary phosphorus requirement of channel catfish. *The Journal of Nutrition*. 112(6), 1197-1202.

Yoon, T.H., Lee, D.H., Won, S.G., Ra, C.S. and Kim, J.D. (2014). Effects of dietary supplementation of magnesium hydrogen phosphate ($MgHPO_4$) as an alternative phosphorus source on growth and feed utilization of juvenile far eastern catfish (*Silurus asotus*). *Asian Australasian Journal of Animal Sciences*, 27(8), 1141-1149.