บทความวิจัย

การใช้ประโยชน์จากฟอสฟอรัสในปลานิลแดงแปลงเพศที่ได้รับอาหารที่มีระดับปลาป่นต่ำ

Phosphorus Utilisation in Sex-reversed Red Tilapia (*Oreochromis Niloticus X O. Mossambicus*) Fed Low Fish Meal Based Diet

วุฒิพร พรหมขุนทอง*

Wutiporn Phromkunthong Ph.D. (aquatic Animal Nutrition)

ภาควิชาวาริชศาสตร์ คณะทรัพยากรธรรมชาติ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตหาดใหญ่

Department of Aquatic Science, Faculty of Natural Resources, Prince of Songkla University

วรากรณ์ สีจง วท.ม. (วาริชศาสตร์)

Waragorn Srijong M.Sc. (Aquatic Science)

ภาควิชาวาริชศาสตร์ คณะทรัพยากรธรรมชาติ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตหาดใหญ่

Department of Aquatic Science, Faculty of Natural Resources, Prince of Songkla University

Key words : phosphorus, sex - reversed red tilapia, fish meal

Abstract

The feeding trial in sex-reversed red tilapia was conducted to determine the utilization of phosphorus in the feed. The experimental units comprised 235-l glass tanks filled with 180 l water in closed recirculating system. A total of 4 treatments into 4 replictions each were designed to accommodate twenty 12 g fish in each tank to which feed was given two ratios daily over a 12-week period for the completely ramdomized design. Each of the feed formulae contained 30% protein, 7% lipid and 3,200 kcal digestible energy/kg feed. The formula 1 was the control with 36.5% fish meal, formula 2 with 18% fish meal plus supplemented plant raw materials, formula 3 with 9% fish meal plus supplemented plant raw

*Corresponding e-mail : wutipornp@yahoo.com

materials and formula 4 contained totally plant raw materials. All feed formulae were adjusted to contain similar levels of dietary total phosphorus. At the conclusion of the feeding period, results showed no effect of fish meal contents was noted on the growth and survial. However, fish in treatment 4 showed lower average individaul weight, percent weight gain, daily growth rate as compared to those in treatments 1, 2 and 3. Apparent digestibility coefficient of phosphorus was reduced in proportional to the supplemented plant raw materials in the feed. The phosphorus retention in the fish was at lowest level in the treatment with plant raw materials alone in the feed (formula 4), while no significant difference among treatments 1 to 3 (p<0.05). Higher portion of phosphorus load was noted for the treatment given formula 1 feed and and formula 5 with plant materials alone as compared to those given formulae 2 and 3 feeds (p<0.05).

บทคัดย่อ

การทดลองนี้เป็นการศึกษาการใช้ประโยชน์จากฟอสฟอรัสในปลานิลแดงแปลงเพศ โดยศึกษาในตู้กระจกขนาด 235 ลิตร ที่มีปริมาตรน้ำ 180 ลิตร ระบบน้ำเป็นแบบปิด แบ่งเป็น 4 ชุดการทดลองๆ ละ 4 ซ้ำ โดยใช้ปลานิลแดงแปลงเพศน้ำหนักเฉลี่ยเริ่มต้นตัวละ 12 กรัม จำนวน 20 ตัวต่อซ้ำ ให้อาหารทดลองวันละ 2 มื้อ ระยะเวลาในการทดลอง 12 สัปดาห์ วางแผนการทดลองแบบสุ่มตลอด กำหนดให้สูตรอาหารทุกสูตรมีระดับโปรตีน 30 เปอร์เซ็นต์ ไขมัน 7 เปอร์เซ็นต์ พลังงานที่ย่อยได้ 3,200 กิโลคาลอรี/อาหาร 1 กิโลกรัม โดยสูตรที่ 1 เป็นสูตรควบคุมโดยใช้ปลาป่นในอาหารสูงคือ 36.5 เปอร์เซ็นต์ สูตรที่ 2 ใช้ปลาป่นลดลงครึ่งหนึ่งของปลาป่นในสูตรที่ 1 คือ 18 เปอร์เซ็นต์ และเสริมวัตถุดิบพืชทดแทน สูตรที่ 3 ลดปริมาณปลาป่นลงครึ่งหนึ่งของสูตรที่ 2 คือใช้ปลาป่น 9 เปอร์เซ็นต์ และเสริมวัตถุดิบจากพืช และสูตรที่ 4 ใช้วัตถุดิบจากพืชทั้งหมด โดยอาหารแต่ละสูตรจะถูกปรับให้มีระดับของฟอสฟอรัสรวมในอาหารใกล้เคียงกัน หลังจากเลี้ยงปลาเป็นเวลา 12 สัปดาห์ พบว่า การลดระดับปลาป่นในอาหารไม่ส่งผลต่อการเจริญเติบโตและอัตราการรอดตายของปลานิลแดงแปลงเพศ อย่างไรก็ตามในชุดการทดลองที่ 4 ซึ่งใช้วัตถุดิบจากพืชทั้งหมด ปลามีน้ำหนักเฉลี่ยต่อตัว, น้ำหนักที่เพิ่มขึ้น, อัตราการเจริญเติบโตต่อวัน ต่ำกว่าชุดการทดลองที่ 1, 2 และ 3 (p<0.05) ค่าสัมประสิทธิ์ การย่อยฟอสฟอรัสลดลงโดยแปรผันตรงกับระดับวัตถุดิบพืชที่เสริมในอาหาร (p<0.05) ส่วนฟอสฟอรัสที่สะสมในตัวปลามีค่าต่ำที่สุดในปลาที่ได้รับอาหารเสริมวัตถุดิบพืชโดยไม่ใช้ปลาป่น (สูตรที่ 4) ส่วนปลาที่ได้รับอาหารสูตรที่ 1-3 มีค่าดังกล่าวไม่แตกต่างกัน (p<0.05) ปริมาณฟอสฟอรัสที่ถูกขับทิ้งของปลาที่ได้รับอาหารสูตรที่ 1 (ปลาป่นสูงสุด) และสูตรที่ 4 วัตถุดิบพืชอย่างเดียวมีค่าสูงกว่าปลาที่ได้รับอาหารที่มีส่วนผสมของปลาป่นและวัตถุดิบพืชในสูตรที่ 2 และ 3

บทนำ

ฟอสฟอรัสจัดเป็นสารอาหารที่มีความสำคัญในสัตว์น้ำโดยเฉพาะปลาจะใช้เป็นโครงสร้างของร่างกายร่วมกับแคลเซียม ซึ่ง 85-90 เปอร์เซ็นต์ของฟอสฟอรัสทั้งหมดในร่างกายของปลาเป็นส่วนประกอบของกระดูกและเกล็ด (Lovell, 1989) ส่วนที่เหลือ 10-15 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งพบในเลือดและเนื้อเยื่อ ทำหน้าที่เป็นองค์ประกอบต่างๆ ในรูปอินทรีย์ฟอสเฟต ได้แก่ อะดีโนซินไตรฟอสเฟต (ATP) ฟอสฟอลิปิด (phospholipids) ดีออกซีไรโบนิวคลีอิกแอสิด (DNA) และโคเอนไซม์ เป็นต้น และมีส่วนสำคัญในกระบวนการเมแทโบลิซึมของคาร์โบไฮเดรต ไขมันและกรดอะมิโน (NRC, 1993; Lovell, 1989; Ciofalo

et al., 2003) ในขณะที่อนินทรีย์ฟอสเฟตจะทำหน้าที่สำคัญในการเป็นบัฟเฟอร์ เพื่อรักษาความเป็นกรดด่างของของเหลวทั้งภายในและภายนอกเซลล์ (Lovell, 1989; NRC, 1993) ฟอสฟอรัสที่ปลาได้รับส่วนใหญ่มาจากอาหารที่กินเข้าไป โดยแหล่งของฟอสฟอรัสที่ต่างชนิดจะให้ค่าฟอสฟอรัสที่ปลาสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้แตกต่างกัน จึงจำเป็นต้องทำการศึกษาค่าสัมประสิทธิ์การย่อยของวัตถุดิบอาหารแต่ละชนิด (จิรวัฒน์, 2550)

ในปัจจุบันได้มีความพยายามในการลดต้นทุนอาหารปลา โดยการลดปริมาณปลาป่นซึ่งเป็นวัตถุดิบที่มีราคาสูง และเลือกใช้วัตถุดิบจากพืชซึ่งมีราคาถูกกว่ามาทดแทน แต่ขณะเดียวกันก็พบว่าการใช้วัตถุดิบจากพืชในปริมาณสูงก็มีข้อจำกัด ทั้งนี้เพราะวัตถุดิบจากพืชบางชนิดจะมีฟอสฟอรัสรวมในปริมาณสูง แต่มีค่าฟอสฟอรัสที่ปลาสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ต่ำ โดยพบว่าฟอสฟอรัสจากพืช ประมาณ 2 ใน 3 ส่วน ของฟอสฟอรัสทั้งหมดจะอยู่ในรูปของไฟเตท (phytate) (Uhlig, 1998) ซึ่งปลาไม่สามารถนำมาใช้ได้ ดังนั้นในอาหารปลาที่ใช้วัตถุดิบพืชในปริมาณที่สูงจึงจำเป็นต้องมีการเพิ่มปริมาณฟอสฟอรัสที่ปลานำไปใช้ได้ให้มากขึ้น เพื่อให้ปลาได้รับฟอสฟอรัสในระดับที่เหมาะสมต่อความต้องการในการเจริญเติบโต แนวทางแก้ปัญหาดังกล่าวคือการเสริมฟอสฟอรัสสังเคราะห์ในรูปอนินทรีย์ฟอสเฟตในอาหาร หรือการเสริมเอนไซม์ไฟเตสที่ช่วยในการย่อยฟอสฟอรัสในรูปที่ปลาไม่สามารถใช้ประโยชน์ได้ให้สามารถ นำไปใช้ประโยชน์ได้ (Phromkunthong and Udom, 2008) แต่การเสริมอนินทรีย์ฟอสเฟตในอาหารก็มีผลทำให้ระดับฟอสฟอรัสที่ถูกขับออกมาในรูปของมูล และปล่อยลงสู่แหล่งน้ำมีปริมาณสูงขึ้นตามไปด้วย (Phromkunthong and Udom, 2008)

การศึกษาครั้งนี้เป็นการศึกษาถึงการใช้ประโยชน์จากฟอสฟอรัสในปลานิลแดงแปลงเพศที่ได้รับอาหารที่มีปลาป่นในระดับต่ำ การเลือกปลานิลแดงแปลงเพศเป็นปลาทดลองเนื่องจากเป็นปลาเนื้อขาวที่เลี้ยงง่าย โตเร็ว กำลังเป็นที่ต้องการของตลาดทั้งภายในและต่างประเทศ

วัสดุ อุปกรณ์ และวิธีดำเนินการ

1. การเตรียมอุปกรณ์และปลาทดลอง

การทดลองดำเนินการโดยใช้ตู้กระจกขนาด100 x 50 x 47 เซนติเมตร ความจุน้ำ 235 ลิตร ปิดด้านข้างและด้านหลังตู้ด้วยแผ่นพลาสติกสีทึบทั้ง 3 ด้าน เพื่อป้องกันการถูกรบกวนจากภายนอก นำลูกปลานิลแดงแปลงเพศที่มีน้ำหนักเฉลี่ยตัวละ 5 กรัม จำนวน 1,000 ตัว จากฟาร์มเอกชนที่ ต.ลำปำ อ.เมือง จ.พัทลุง มาอนุบาลในถังไฟเบอร์กลาสกลม ขนาดความจุ 1 ลบ.ม. เป็นเวลา 1 เดือน เพื่อปรับสภาพปลาให้คุ้นเคยต่อสภาพของการเลี้ยง โดยใช้อาหารปลานิลยี่ห้อซีพี ซึ่งมีคุณค่าทางโภชนาการ คือ โปรตีน 30 % ไขมัน 5.5 % ความชื้น 4 % เยื่อใย 8 % และฟอสฟอรัส 1 % โดยให้อาหารวันละ 2 ครั้ง ช่วงเช้าเวลา 9.00 น. และเย็นเวลา 16.00 น. สังเกตพฤติกรรมการยอมรับอาหาร จนปลาทดลองมีน้ำหนักเฉลี่ยอยู่ในช่วง 11.5-12.5 กรัม ก่อนเริ่มทำการทดลองนำปลาไปตรวจสอบเชื้อแบคทีเรีย และปรสิตภายนอก ทั้งนี้ปลาที่ใช้ทดลองต้องสุขภาพดีไม่มีโรคใดๆ ปรับสภาพให้ปลาคุ้นเคยกับสภาพแวดล้อมของตู้และอาหารทดลองเป็นเวลา 7 วัน ก่อนเริ่มทำการทดลอง

2. การเตรียมอาหารทดลอง

เตรียมวัตถุดิบอาหารที่ใช้ทดลองโดยนำกากถั่วเหลือง คอร์นกลูเต้น รำละเอียด และปลายข้าวไปบดให้ละเอียดแล้วร่อนด้วยตะแกรงขนาดช่องตา 30 ไมโครเมตร จากนั้นจึงนำไปวิเคราะห์คุณค่าทางโภชนาการ ได้แก่ ความชื้น โปรตีน ไขมัน เยื่อใย เถ้า และฟอสฟอรัส ตามวิธีมาตรฐานของ AOAC (1990) (ตารางที่ 1) จากนั้นทำการเตรียมอาหารทดลอง 4 สูตร โดยลดระดับปลาป่นในอาหารลงและเสริมวัตถุดิบจากพืชทดแทน ปรับระดับฟอสฟอรัสรวมในอาหารทุกสูตรให้มีค่าใกล้เคียงกันคือประมาณ 1.1 เปอร์เซ็นต์ (โดยการคำนวณ) ชั่งวัตถุดิบอาหารตามสูตรอาหารทดลองและทำการผสมส่วนประกอบวัตถุดิบอาหารให้เข้ากันดี โดยใช้เครื่องผสมอาหาร (Hobart mixer รุ่น A200T)

(สูตรอาหารแสดงในตารางที่ 2) เติมน้ำลงไป 40 % ผ่านหน้าแว่นขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 2 มม. นำอาหารที่ได้ไปอบในตู้อบที่อุณหภูมิ 60 ^{o}C นาน 24 ชั่วโมง จากนั้นจึงบรรจุในถุงพลาสติก แล้วเก็บรักษาไว้ในตู้เย็นที่อุณหภูมิ 4 ^{o}C วิเคราะห์คุณค่าทางโภชนาการของอาหาร ตามวิธีมาตรฐานของ AOAC (1990) ส่วนปริมาณคาร์โบไฮเดรต (ไนโตรเจนฟรีเอกซ์แทรกซ์, Nitrogen free extract, NFE) ได้จากการคำนวณตามสูตร 100 - (%โปรตีน + %ไขมัน + %เถ้า + %เยื่อใย + %ความชื้น) (ตารางที่ 3)

ตารางที่ 1 ส่วนประกอบทางโภชนาการของวัตถุดิบอาหารทดลองโดยการวิเคราะห์ [1] (% as fed basis)

วัตถุดิบ	ความชื้น	โปรตีน	ไขมัน	เถ้า	ฟอสฟอรัส	เยื่อใย	NFE
ปลาป่น	8.72±0.05	65.22±1.11	11.02±0.12	22.44±0.12	2.21±0.04	0.92±0.31	0.34±0.29
กากถั่วเหลือง	10.70±0.04	42.71±0.64	0.88±0.09	7.54±0.10	0.66±0.06	5.59±0.14	67.42±0.23
คอร์นกลูเต้น	7.45±0.12	49.73±0.12	1.25±0.05	1.76±0.17	0.54±0.04	5.24±0.34	65.43±0.11
รำข้าว	9.79±0.02	12.39±0.02	7.23±0.41	4.55±0.03	1.35±0.07	6.45±0.31	40.41±0.15
ปลายข้าว	8.58±0.03	8.72±0.04	2.05±0.19	10.61±0.13	0.22±0.01	0.75±0.11	30.71±0.31
แป้งข้าวเจ้า	7.83±0.14	7.24±0.06	1.33±0.09	0.29±0.12	0.07±0.05	0.41±0.05	17.10±0.05
ไดแคลเซียมฟอสเฟต	-	-	-	-	18.30±0.55	-	

[1]ตัวเลขที่นำเสนอเป็นค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (จากการวิเคราะห์ตัวอย่าง 3 ซ้ำ)

NFE: nitrogen free extract

ตารางที่ 2 สูตรอาหารทดลองสำหรับเลี้ยงปลานิลแดงแปลงเพศ

วัตถุดิบอาหาร	สูตรที่ 1	สูตรที่2	สูตรที่ 3	สูตรที่ 4
ปลาป่น	36.5	18	9	0
กากถั่วเหลือง	0	18	20.5	40.5
คอร์นกลูเต้น	0	9.1	18	15.3
รำข้าว	0	20	30	32
ปลายข้าว	22	15	8	2.2
น้ำมันปลา + น้ำมันถั่วเหลือง(1:1)	1.5	2.3	2.7	3.4
ไดแคลเซียมฟอสเฟต	1	1	1	1
วิตามินผสม1	1	1	1	1
โคลีน คลอไรด์	0.6	0.6	0.6	0.6
แร่ธาตุผสม2	3	3	3	3
แป้งข้าวเจ้า	33.9	11.5	5.7	0.5
โครมิกออกไซด์	0.5	0.5	0.5	0.5
รวม	100	100	100	100

[1]วิตามินผสม(ปริมาณต่อ 1 กก.อาหาร)ประกอบด้วย thiamine (B1) 10 มิลลิกรัม; riboflavin (B2) 20 มิลลิกรัม; pyridoxine (B6) 10 มิลลิกรัม; cobalamine (B12) 2 มิลลิกรัม; retinol (A) 4,000 IU; cholecaciferol (D3) 2,000 IU; menadione sodium bisulfite (K3) 80มิลลิกรัม ; folic 5 มิลลิกรัม; calcium pantothenate 40 มิลลิกรัม; inositol 400 มิลลิกรัม ; niacin 150 มิลลิกรัม; tocopherol (E) 50 มิลลิกรัม; biotin 1 มิลลิกรัม; ascorbic acid (C) 500 มิลลิกรัม

[2]แร่ธาตุผสม (ปริมาณต่อ 1 กก.อาหาร) ประกอบด้วย Na 3.278 กรัม; Mg 25.25 กรัม; K 76.612 กรัม; Fe 4.821 กรัม; Zn 0.667 กรัม; Mn 0.433 กรัม, Cu 0.069 กรัม และ I 0.015 กรัม

ตารางที่ 3 ส่วนประกอบทางโภชนาการของอาหารทดลองโดยการวิเคราะห์[1] (% as fed basis)

อาหารทดลอง	ความชื้น	โปรตีน	ไขมัน	เถ้า	ฟอสฟอรัส	เยื่อใย	NFE	Available P(%)*
สูตรที่ 1 ปลาป่น 36.5%	1.12±0.12	31.66±0.64	7.37±0.05	12.79±0.17	1.32±0.21	1.50±0.70	45.55±0.19	0.628±0.00
สูตรที่ 2 ปลาป่น 18%+ วัตถุดิบพืช	1.38±0.02	31.80±0.12	7.89±0.41	11.20±0.03	1.28±0.45	3.49±0.00	44.24±0.13	0.536±0.00
สูตรที่ 3 ปลาป่น 9% + วัตถุดิบพืช	1.43±0.03	31.30±0.02	7.62±0.19	10.35±0.13	1.30±0.01	5.99±0.00	43.31±0.42	0.498±0.00
สูตรที่ 4 ปลาป่น 0% + วัตถุดิบพืช	1.96±0.17	31.10±0.11	7.77±0.18	9.11±0.05	1.09±0.22	7.48±0.00	42.58±0.09	0.431±0.00

[1]ตัวเลขที่นำเสนอเป็นค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (จากการวิเคราะห์ตัวอย่าง 3 ซ้ำ)

NFE: nitrogen free extract

* ค่าจากการคำนวณ

3. แผนการทดลอง

การทดลองนี้ เป็นการศึกษาการใช้ประโยชน์จากฟอสฟอรัสในปลานิลแดงแปลงเพศ ที่ได้รับอาหารที่มีระดับปลาป่นต่ำ โดยแบ่งการทดลองออกเป็น 4 ชุดการทดลอง (treatment) แต่ละชุดการทดลองประกอบด้วย 4 ซ้ำ (replication)วางแผนการทดลองแบบสุ่มตลอด (Completely Randomized Design : CRD) เปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยด้วยวิธี Duncan's Multiple Range Test (Steel and Torrie, 1980) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ ระยะเวลาในการเลี้ยง 12 สัปดาห์ ดำเนินการทดลองโดยเติมน้ำลงในตู้ที่เตรียมไว้ประมาณ 180 ลิตร/ตู้ ระบบน้ำเป็นแบบปิด เมื่อเริ่มต้นทดลองสุ่มปลาที่เตรียมไว้ลงเลี้ยงในตู้ทดลอง โดยใช้ปลาเริ่มต้นน้ำหนักประมาณ 12 กรัม/ตัว ตู้ละ 20 ตัว สุ่มปลาจำนวน 20 ตัว ไปวิเคราะห์หาความชื้น และองค์ประกอบทางเคมีของตัวปลา ได้แก่ โปรตีน ไขมัน เยื่อใย เถ้า และฟอสฟอรัส ตามวิธีมาตรฐานของ AOAC (1990) ให้อาหารปลาทดลองวันละ 2 ครั้ง คือ ช่วงเช้าเวลา 9.00 น. และช่วงเย็นเวลา 16.00 น. โดยในแต่ละมื้อให้ปลากินจนอิ่ม บันทึกน้ำหนักอาหารที่ให้ทุก 2 สัปดาห์ตลอดการทดลอง ทำการชั่งปลาทุกๆ 2 สัปดาห์ ตลอดการทดลอง

4. การเก็บข้อมูลและวิเคราะห์ข้อมูล

4.1 การตรวจสอบพฤติกรรมและลักษณะภายนอก

ในระหว่างการทดลองสังเกตพฤติกรรมของปลาทุกชุดการทดลอง ได้แก่ การว่ายน้ำ การยอมรับอาหาร และสังเกตลักษณะภายนอก ได้แก่ สีของลำตัว การตกเลือด การคดงอของครีบและกระดูก และการเกิด

บาดแผลที่ครีบ ผิวหนัง และอวัยวะภายนอกอื่นๆ ใช้ยาและสารเคมีเพื่อป้องกันโรค ตามสภาพของปลา

4.2 การตรวจสอบการเจริญเติบโตของปลา

ชั่งน้ำหนักปลาทุก 2 สัปดาห์ โดยการชั่งน้ำหนักรวมของปลาแต่ละตู้ด้วยเครื่องชั่งไฟฟ้าทศนิยม 2 ตำแหน่ง (ก่อนวันที่ชั่งปลา งดให้อาหารปลาในมื้อเย็นเป็นเวลา 1 มื้อ) นับจำนวนปลาที่เหลืออยู่ สังเกตลักษณะอาการปลาตลอดการทดลองพร้อมทั้งบันทึกไว้จนสิ้นสุดการทดลอง นำข้อมูลที่ได้มาคำนวณน้ำหนักเฉลี่ยของปลาแต่ละตัว และอัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อ ตามวิธีการของ Dupree และ Sneed (1966) การเจริญเติบโต และอัตราการเจริญเติบโตต่อตัวต่อวัน (average daily gain, ADG) (กรัม/ตัว/วัน) ตามวิธีการของ Jantrarotai และคณะ (1994)

4.3 การศึกษาองค์ประกอบทางเคมี

เมื่อสิ้นสุดการทดลองสุ่มตัวอย่างปลาจากแต่ละตู้ทดลองๆ ละ 2 ตัว ไปวิเคราะห์ความชื้น โปรตีน ไขมัน เถ้า และฟอสฟอรัส ตามวิธีการของ AOAC (1990)

4.4 การใช้ประโยชน์จากฟอสฟอรัสของปลา

การศึกษาสัมประสิทธิ์การย่อยฟอสฟอรัส ฟอสฟอรัสสะสมในตัวปลา และฟอสฟอรัสที่ถูกขับทิ้ง

ทำการเก็บมูลสำหรับการวิเคราะห์สัมประสิทธิ์การย่อยอาหาร หลังจากเสร็จช่วงเวลาของการศึกษาการเจริญเติบโตในสัปดาห์ที่ 10 จากนั้นจึงให้อาหารที่มีส่วนผสมของโครมิกออกไซด์ (Cr_2O_3) 0.5 เปอร์เซ็นต์ เป็นเวลา 1 สัปดาห์ ทำการเก็บมูลปลาที่มีโครมิกออกไซด์ การเก็บมูลปลาจะทำหลังจากให้อาหารมื้อเช้าทุกๆ วัน ดำเนินการโดยทำความสะอาดตู้ด้วยวิธีกาลักน้ำ หลังจากให้อาหารเสร็จเป็นเวลา 1 ชั่วโมง เพื่อดูดเศษอาหารที่ตกค้าง จากนั้นทิ้งระยะเวลา 1-2 ชั่วโมง จึงเก็บมูลปลาตามวิธีของ Boonyaratpalin และ Phromkunthong (2000) โดยใช้ถุงกรองตาละเอียดรองรับน้ำจากปลายสายยางข้างหนึ่งโดยวิธีกาลักน้ำ รวบรวมมูลนำไปเก็บไว้ในช่องแช่แข็ง (freezer) และอบมูลปลาให้แห้งด้วยอุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 48 ชั่วโมง เพื่อนำไปวิเคราะห์ฟอสฟอรัส ตามวิธีมาตรฐานของ AOAC (1990) วิเคราะห์ปริมาณโครมิกออกไซด์ในอาหารและมูลตามวิธีของ Furukawa และ Tsukahara (1966) และทำการคำนวณสัมประสิทธิ์การย่อยฟอสฟอรัสและฟอสฟอรัสสะสมในตัวปลาโดยวิธีของ Green และคณะ (2002) ฟอสฟอรัสที่ถูกขับทิ้ง คำนวณโดยวิธีของ Vielma และ Ruohone (2002) จากสมการ

สัมประสิทธิ์ในการย่อยฟอสฟอรัส [ADCP (%)]

$$\text{ADCP ของอาหาร} = 1 - \left[\frac{\text{\% โครมิกออกไซด์ในอาหาร}}{\text{\% โครมิกออกไซด์ในมูล}} \right] \times \left[\frac{\text{\% ฟอสฟอรัสในมูล}}{\text{\% ฟอสฟอรัสในอาหาร}} \right]$$

ฟอสฟอรัสสะสมในตัวปลา (phospphorus retention)

$$\text{ฟอสฟอรัสสะสมในตัวปลา} = 100 \times \left[\frac{\text{FICN - INCN}}{\text{Nutrient intake}} \right]$$

โดยที่

FICN (final carcass nutrient content) = ปริมาณฟอสฟอรัสที่คงเหลือในซากหลังการทดลอง (g)
INCN (initail carcass nutrient content) = ปริมาณฟอสฟอรัสที่คงเหลือในซากก่อนการทดลอง (g)
Nutreint intake = ปริมาณของฟอสฟอรัสที่ได้รับทั้งหมด (g)

ฟอสฟอรัสที่ถูกขับทิ้ง (phosphorus load)

$$= \frac{\text{ปริมาณฟอสฟอรัสที่ปลาได้รับ (กรัม)} - \text{ปริมาณฟอสฟอรัสที่คงเหลือในตัวปลา (กรัม)}}{\text{น้ำหนักที่เพิ่มขึ้น (กิโลกรัม)}}$$

4.5 การวิเคราะห์ปริมาณฟอสฟอรัสในซีรัม และกิจกรรมอัลคาไลน์ฟอสฟาเตส

เมื่อสิ้นสุดการทดลองสุ่มปลาจากทุกชุดการทดลองๆ ละ 6 ตัว มาสลบด้วยควินาลดีน โดยงดอาหารก่อนเก็บซีรัมเป็นเวลา 12 ชั่วโมง เจาะเลือดจากบริเวณโคนหางประมาณ 3 มิลลิลิตร ใส่หลอดไมโครทิวป์ทิ้งไว้ 30 นาที จากนั้นนำไปหมุนเหวี่ยงที่ความเร็ว 3,000 รอบ/นาที เป็นเวลา 5 นาที แล้วนำตัวอย่างซีรัมจากเลือดปลาทดลองส่งวิเคราะห์ที่ภาควิชาพยาธิวิทยา คณะแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ โดยวิเคราะห์ปริมาณฟอสฟอรัสด้วยวิธี molypdate UV ตามวิธีการของ AOAC (1990) และวิเคราะห์ค่าอัลคาไลน์ฟอสฟาเตสด้วยเครื่อง automated analyzer (Boerhinger Mannheim Automated Analysis, Hitachi 717)

4.6 การวิเคราะห์ฟอสฟอรัสในกระดูก

เมื่อสิ้นสุดการทดลองสุ่มปลาตู้ละ 5 ตัว แล่เอาเฉพาะกระดูกบริเวณ ลำตัว กระดูกสันหลัง นำไปต้มในน้ำกลั่น 10 นาที เพื่อเลาะเอาเนื้อที่ติดกระดูกออกให้หมด และไปผ่านกระบวนการทำให้แห้งโดยอบที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส นาน 48 ชั่วโมง และนำตัวอย่างไปบดให้ละเอียดและสกัดไขมันออก (AOAC, 1990) จากนั้นนำตัวอย่างนั้นไปวิเคราะห์ปริมาณฟอสฟอรัส ตามวิธีการของ AOAC (1990)

4.7 การวิเคราะห์ข้อมูล

วิเคราะห์ข้อมูลด้วยคอมพิวเตอร์โดยโปรแกรมสำเร็จรูป SPSS Version 11.0 วิเคราะห์ความแปรปรวน ANOVA แบบ CRD และเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยด้วยวิธี Duncan's Multiple Range Test (Steel and Torrie, 1980)

ผลการทดลอง

1. ความผิดปกติและพฤติกรรมของปลานิลแดงแปลงเพศ

ผลการศึกษาในครั้งนี้ พบว่าปลานิลแดงแปลงเพศที่ได้รับอาหารที่มีการปรับระดับฟอสฟอรัสทั้งหมดในอาหาร (total phosphorus) ให้อยู่ในระดับที่ใกล้เคียงกัน และมีการทดแทนปลาป่นในสูตรอาหารปลาด้วยวัตถุดิบจากพืชได้แก่ กากถั่วเหลือง, คอร์นกลูเต้น, รำข้าวและปลายข้าว ไม่พบความผิดปกติของลักษณะภายนอก และปลาทุกตัวมีพฤติกรรมปกติ สุขภาพแข็งแรงตลอดการทดลอง

2. การเจริญเติบโต

2.1 น้ำหนักเฉลี่ยต่อตัว

น้ำหนักเฉลี่ยต่อตัวของปลานิลแดงแปลงเพศที่ได้รับอาหารทดลองทั้ง 4 สูตร ตลอดระยะเวลาการทดลอง 12 สัปดาห์ แสดงในตารางที่ 4 โดยน้ำหนักปลาเริ่มต้นอยู่ในช่วง 12.05 ± 0.33 – 12.06 ± 0.45 กรัม น้ำหนักของปลาเพิ่มขึ้นตามเวลาที่เลี้ยง และมีความแตกต่างทาง

สถิติตั้งแต่สัปดาห์ที่ 2 (p<0.05) จนกระทั่งในสัปดาห์ที่ 12 ปลาที่ได้รับอาหารสูตรที่ 2 (ปลาป่น 9 เปอร์เซ็นต์และเสริมวัตถุดิบจากพืช) มีน้ำหนักเฉลี่ยต่อตัวสูงสุด และไม่มีความแตกต่างทางสถิติกับปลาที่ได้รับอาหารสูตรที่ 1 และ 3 ส่วนปลาที่ได้รับอาหารสูตรที่ 4 (วัตถุดิบจากพืชอย่างเดียว) มีน้ำหนักเฉลี่ยต่อตัวต่ำที่สุด (p<0.05) (ตารางที่ 4)

2.2 น้ำหนักที่เพิ่มขึ้น อัตราการเจริญเติบโตต่อวัน อัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อ อัตราการรอดตาย และปริมาณการกินอาหาร

น้ำหนักที่เพิ่มขึ้น อัตราการเจริญเติบโตต่อวัน อัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อ และอัตราการรอดตายของปลานิลแดงแปลงเพศ ที่ได้รับอาหารทดลองทั้ง 4 สูตร เป็นระยะเวลา 12 สัปดาห์ แสดงไว้ในตารางที่ 5

น้ำหนักที่เพิ่มขึ้นและอัตราการเจริญเติบโตของปลาที่ได้รับอาหารทดลองแต่ละสูตรมีแนวโน้มเช่นเดียวกันกับน้ำหนักเฉลี่ยของปลาในสัปดาห์ที่ 12 โดยพบว่าปลาที่ได้รับอาหารเสริมวัตถุดิบจากพืชในสูตรที่ 2 และ 3 มีน้ำหนักที่เพิ่มขึ้นและอัตราการเจริญเติบโตไม่มีความแตกต่างทางสถิติกับปลาที่ได้รับอาหารสูตรที่ 1 (ปลาป่นอย่างเดียว) (p>0.05) ในขณะที่ปลาที่ได้รับอาหารสูตรที่ 4 (วัตถุดิบจากพืชอย่างเดียว) มีค่าดังกล่าวต่ำที่สุด (p<0.05)

อัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อของปลาที่ได้รับอาหารสูตรที่ 1 และ 4 ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ (p>0.05) และมีค่าสูงกว่าปลาที่ได้รับอาหารสูตรที่ 2 และ 3

ตารางที่ 4 น้ำหนักเฉลี่ยต่อตัวของปลานิลแดงแปลงเพศที่ได้รับอาหารทดลองสูตรต่างๆ เป็นเวลา 12 สัปดาห์[1] (หน่วยเป็นกรัม)

อาหารทดลอง	สัปดาห์ที่ 1	สัปดาห์ที่ 2	สัปดาห์ที่ 4	สัปดาห์ที่ 6	สัปดาห์ที่ 8	สัปดาห์ที่ 10	สัปดาห์ที่ 12
สูตรที่ 1 ปลาป่น 36.5%	12.05 ± 0.33 ^{ns}	17.79 ± 0.16^{c}	23.06 ± 0.83^{c}	30.80 ± 1.19^{c}	37.02 ± 1.16^{c}	43.14 ± 2.05^{b}	48.70 ± 2.54^{b}
สูตรที่ 2 ปลาป่น 18%+ วัตถุดิบจากพืช	12.06 ± 0.45 ^{ns}	16.99 ± 0.37^{b}	22.43 ± 0.99^{c}	29.54 ± 1.48^{bc}	36.31 ± 1.03^{c}	43.74 ± 2.22^{b}	50.89 ± 1.63^{b}
สูตรที่ 3 ปลาป่น 9% + วัตถุดิบจากพืช	12.05 ± 0.54 ^{ns}	16.59 ± 0.57^{ab}	20.82 ± 1.22^{b}	27.53 ± 2.06^{b}	33.32 ± 2.79^{b}	40.20 ± 3.17^{b}	47.67 ± 3.62^{b}
สูตรที่ 4 ปลาป่น 0% + วัตถุดิบจากพืช	12.06 ± 0.42 ^{ns}	15.96 ± 0.39^{a}	19.23 ± 0.55^{a}	23.30 ± 1.03^{a}	27.43 ± 1.53^{a}	32.75 ± 2.29^{a}	38.73 ± 3.57^{a}

[1]ตัวเลขที่นำเสนอเป็นค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (n=3)
ค่าเฉลี่ยในสดมภ์ที่มีตัวอักษรเหมือนกันกำกับ ไม่มีความแตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ (p>0.05)

ตารางที่ 5 น้ำหนักที่เพิ่มขึ้น อัตราการเจริญเติบโตต่อวัน อัตราการเปลี่ยนอาหารเนื้อ อัตราการรอดตาย และปริมาณการกินอาหารของปลานิลแดงแปลงเพศที่ได้รับอาหารทดลองสูตรต่างๆ เป็นเวลา 12 สัปดาห์[1]

อาหารทดลอง	น้ำหนักที่เพิ่มขึ้น (เปอร์เซ็นต์)	อัตราการเจริญเติบโตต่อวัน(กรัม/ตัว/วัน)	อัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อ	อัตราการรอดตาย (เปอร์เซ็นต์)	ปริมาณการกินอาหาร(กรัม/ตัว)
สูตรที่ 1 ปลาป่น 36.5%	293.10±9.84^{b}	0.43±0.06^{b}	1.69±0.17^{b}	99.57±0.66 ^{ns}	59.55±4.18^{c}
สูตรที่ 2 ปลาป่น 18%+ วัตถุดิบจากพืช	305.76±11.54^{b}	0.50±0.11^{b}	1.36±0.10^{a}	99.37±1.04^{ns}	51.82±2.74^{b}
สูตรที่ 3 ปลาป่น 9% + วัตถุดิบจากพืช	290.46±28.50^{b}	0.42±0.09^{ab}	1.38±0.05^{a}	99.79±0.51^{ns}	48.94±4.37^{b}
สูตรที่ 4 ปลาป่น 0% + วัตถุดิบจากพืช	213.28±33.24^{a}	0.31±0.07^{a}	1.57±0.14^{b}	99.58±0.64^{ns}	39.78±4.32^{a}

[1]ตัวเลขที่นำเสนอเป็นค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (จากการวิเคราะห์ตัวอย่าง 3 ซ้ำ)
ค่าเฉลี่ยในสดมภ์ที่มีตัวอักษรเหมือนกันกำกับ ไม่มีความแตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ (p>0.05)

อัตราการรอดตายของปลาที่ได้รับอาหารทดลองทั้ง 4 สูตรพบว่าไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติระหว่างชุดการทดลอง (p>0.05)

ปริมาณการกินอาหาร พบว่าปลาที่ได้รับอาหารทดลองสูตรที่ 1 มีปริมาณการกินอาหารสูงที่สุด รองลงมาคือปลาที่ได้รับอาหารทดลองสูตรที่ 2 และ 3 ซึ่งไม่มีความแตกต่างทางสถิติระหว่างชุดการทดลองดังกล่าว (p>0.05) แต่พบว่าปลาที่ได้รับอาหารทดลองสูตรที่ 4 มีปริมาณการกินอาหารต่ำกว่าสูตรอื่นๆ (p>0.05) (ตารางที่ 5)

2.3 องค์ประกอบทางโภชนาการของปลาทั้งตัว

องค์ประกอบทางโภชนาการของซากปลานิลแดงแปลงเพศก่อนทดลอง และปลาที่ได้รับอาหารทดลองทั้ง 5 สูตร เมื่อสิ้นสุดการทดลอง แสดงไว้ในตารางที่ 6

ความชื้นของปลาทั้งตัวที่ได้รับอาหารทดลองมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ระหว่างชุดการทดลอง (p<0.05) โดยความชื้นในตัวปลามีค่าอยู่ในช่วง 70.64±0.68 - 72.32±0.21 เปอร์เซ็นต์

โปรตีนในตัวปลาที่ได้รับอาหารทดลองทั้ง 4 สูตรไม่พบความแตกต่างทางสถิติระหว่างชุดการทดลอง (p>0.05) โดยโปรตีนในตัวปลามีค่าอยู่ในช่วง 54.06±0.12 – 56.90±0.41 เปอร์เซ็นต์

ไขมันในตัวปลาที่ได้รับอาหารทดลองทั้ง 4 สูตรมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติระหว่างชุดการทดลอง (p<0.05) ค่าไขมันในตัวปลามีค่าอยู่ในช่วง 24.81±0.44 - 30.12±0.26 เปอร์เซ็นต์โดยปลาที่ได้รับอาหารสูตรที่ 3 มีค่าไขมันในตัวปลาสูงที่สุด และปลา

ตารางที่ 6 ส่วนประกอบทางโภชนาการของปลาทั้งตัวที่ได้รับอาหารทดลองสูตรต่างๆ เป็นเวลา 12 สัปดาห์[1] (%บนฐานน้ำหนักแห้ง)

อาหารทดลอง	ความชื้น	โปรตีน	ไขมัน	เถ้า	ฟอสฟอรัส
ปลาเริ่มต้น	71.26 ± 2.18	53.43 ± 0.88	28.22 ± 0.08	15.36 ± 0.41	2.25 ± 0.07
สูตรที่ 1 ปลาป่น 36.5%	70.64 ± 0.68^{a}	54.34 ± 0.40^{ns}	25.71 ± 0.70^{b}	15.70 ± 0.19^{c}	4.16 ± 0.39^{b}
สูตรที่ 2 ปลาป่น 18%+ วัตถุดิบจากพืช	72.12 ± 0.90^{b}	54.74 ± 0.21^{ns}	24.81 ± 0.44^{a}	13.61 ± 0.37^{a}	4.06 ± 0.25^{b}
สูตรที่ 3 ปลาป่น 9% + วัตถุดิบจากพืช	71.33 ± 0.18^{ab}	54.18 ± 0.21^{ns}	30.12 ± 0.26^{d}	14.57 ± 0.22^{b}	3.77 ± 0.97^{ab}
สูตรที่ 4 ปลาป่น 0% + วัตถุดิบจากพืช	72.32 ± 0.2^{b}	54.06 ± 0.12^{ns}	28.64 ± 0.14^{c}	15.23 ± 0.12^{c}	2.98 ± 0.14^{a}

[1]ตัวเลขที่นำเสนอเป็นค่าเฉลี่ย±ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (จากการรวมตัวอย่างและแยกวิเคราะห์ 3 ซ้ำ)
ค่าเฉลี่ยในสดมภ์ที่มีตัวอักษรเหมือนกันกำกับ ไม่มีความแตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ (p>0.05)

ที่ได้รับอาหารสูตรที่ 2 มีค่าไขมันในตัวปลาต่ำที่สุด

ค่าฟอสฟอรัสในตัวปลาที่ได้รับอาหารทดลองทั้ง 4 สูตรมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติระหว่างชุดการทดลอง (p<0.05) โดยฟอสฟอรัสในปลามีค่าอยู่ในช่วง 2.98±0.14 - 4.16 0.39 เปอร์เซ็นต์ โดยปลาที่ได้รับอาหารสูตรที่ 1 มีค่าฟอสฟอรัสในตัวปลาสูงที่สุด และไม่มีความแตกต่างทางสถิติกับสูตรที่ 2 ส่วนโดยปลาที่ได้รับอาหารสูตรที่ 4 มีค่าฟอสฟอรัสในตัวปลาต่ำที่สุด (ตารางที่ 6)

2.4 อัลคาไลน์ฟอสฟาเตสและฟอสฟอรัสในซีรัม

กิจกรรมอัลคาไลน์ฟอสฟาเตสและฟอสฟอรัสในซีรัมในปลาที่ได้รับอาหารทดลองทั้ง 4 สูตร แสดงไว้ในตารางที่ 7

กิจกรรมอัลคาไลน์ฟอสฟาเตสของปลาที่ได้รับอาหารทดลองมีค่าอยู่ในช่วง 20.50±2.12 - 26.00±0.00 ยูนิต/ลิตร ซึ่งชุดการทดลองที่ 1 (ปลาป่น 36.5 เปอร์เซ็นต์) มีค่าอัลคาไลน์ฟอสฟาเตสสูงที่สุด และชุดการทดลองที่ 4 (วัตถุดิบจากพืช) มีค่าอัลคาไลน์ฟอสฟาเตสต่ำที่สุด

ส่วนค่าฟอสฟอรัสในซีรัมในปลาที่ได้รับอาหารทดลองทั้ง 4 สูตร พบว่าไม่มีความแตกต่างทางสถิติระหว่างชุดการทดลองที่ 1 (ปลาป่น 36.5 เปอร์เซ็นต์) และชุดการทดลองที่ 2 (ปลาป่น 18 เปอร์เซ็นต์ และเสริมวัตถุดิบจากพืช) (p>0.05) ส่วนชุดการทดลองที่ 3 (ปลาป่น 9 เปอร์เซ็นต์ และเสริมวัตถุดิบพืช) และชุดการทดลองที่ 4 (วัตถุดิบจากพืช) มีฟอสฟอรัสในซีรัมต่ำกว่าตามลำดับ

ตารางที่ 7 อัลคาไลน์ฟอสฟาเตสและฟอสฟอรัสในซีรัมของปลานิลแดงแปลงเพศที่ได้รับอาหารทดลองสูตรต่างๆ เป็นเวลา 12 สัปดาห์[1]

อาหารทดลอง	อัลคาไลน์ฟอสฟาเตส (U/L)	ฟอสฟอรัสในซีรัม (มก.%)
สูตรที่ 1 ปลาป่น 36.5 %	26.00 ± 0.00[d]	23.20 ± 1.69[c]
สูตรที่ 2 ปลาป่น 18 % + วัตถุดิบจากพืช	24.5 ± 0.70[c]	23.30 ± 0.98[c]
สูตรที่ 3 ปลาป่น 9 % + วัตถุดิบจากพืช	23.00 ± 1.41[b]	21.5 ± 0.00[b]
สูตรที่ 4 ปลาป่น 0 % + วัตถุดิบจากพืช	20.50 ± 2.12[a]	18.25 ± 2.33[a]

[1]ตัวเลขที่นำเสนอเป็นค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (จากการวิเคราะห์ตัวอย่าง 9 ซ้ำ)
ค่าเฉลี่ยในสดมภ์ที่มีตัวอักษรเหมือนกันกำกับ ไม่มีความแตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ (p>0.05)

ตารางที่ 8 ฟอสฟอรัสในมูลปลา และกระดูกปลา เมื่อสิ้นสุดการทดลองของปลานิลแดงแปลงเพศที่ได้รับอาหารทดลองสูตรต่างๆ เป็นเวลา 12 สัปดาห์[1] (%)

อาหารทดลอง	ฟอสฟอรัสในมูลปลา	ฟอสฟอรัสในกระดูกปลา
สูตรที่ 1 ปลาป่น 36.5 %	3.37 ± 0.09[c]	12.63 ± 0.15[c]
สูตรที่ 2 ปลาป่น 18 % + วัตถุดิบจากพืช	3.31 ± 0.18[c]	12.06 ± 0.78[c]
สูตรที่ 3 ปลาป่น 9 % + วัตถุดิบจากพืช	2.60 ± 0.13[b]	11.63 ± 0.60[b]
สูตรที่ 4 ปลาป่น 0 % + วัตถุดิบจากพืช	2.44 ± 0.16[a]	10.96 ± 0.09[a]

[1]ตัวเลขที่นำเสนอเป็นค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (จากการวิเคราะห์ตัวอย่าง 9 ซ้ำ)
ค่าเฉลี่ยในสดมภ์ที่มีตัวอักษรเหมือนกันกำกับ ไม่มีความแตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ (p>0.05)

2.5 ฟอสฟอรัสในมูลปลา และกระดูกปลา เมื่อสิ้นสุดการทดลอง

ค่าฟอสฟอรัสในมูลปลา และกระดูกปลา เมื่อสิ้นสุดการทดลอง ในปลาที่ได้รับอาหารทดลองทั้ง 4 สูตร แสดงไว้ใน ตารางที่ 8

ค่าฟอสฟอรัสในมูลปลาของปลาที่ได้รับอาหารทดลองสูตรที่ 1 และ 2 ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ (p>0.05) และมีค่าสูงกว่าสูตรที่ 3 และ 4 (p<0.05) โดยมีค่าอยู่ระหว่าง 2.44±0.16 - 3.37±0.09 เปอร์เซ็นต์ (ตารางที่ 8)

ค่าฟอสฟอรัสในกระดูกของปลาทดลองได้รับอาหารทดลองทั้ง 4 สูตร พบว่ามีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติระหว่างชุดการทดลอง (p<0.05) โดยมีค่าอยู่ระหว่าง 10.96±0.09 - 12.63±0.15 เปอร์เซ็นต์ โดยค่าฟอสฟอรัสในกระดูกปลา มีความสัมพันธ์กับระดับของฟอสฟอรัสที่ใช้ประโยชน์ได้ในอาหารทดลองแต่ละสูตร (ตารางที่ 8)

2.6 สัมประสิทธิ์การย่อยฟอสฟอรัส ฟอสฟอรัสที่สะสมในตัวปลา และฟอสฟอรัสที่ถูกขับทิ้ง เมื่อสิ้นสุดการทดลอง

ค่าสัมประสิทธิ์การย่อยฟอสฟอรัส, ฟอสฟอรัสที่สะสมในตัวปลา และฟอสฟอรัสที่ถูกขับทิ้งในปลาที่ได้รับอาหารทดลองทั้ง 4 สูตร แสดงไว้ในตารางที่ 9

ค่าสัมประสิทธิ์การย่อยฟอสฟอรัสในปลาที่ได้รับอาหารทดลองทั้ง 4 สูตร พบว่ามีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติระหว่างชุดการทดลอง (p<0.05) โดยมีค่าอยู่ระหว่าง 31.88 ± 1.09 – 42.85 ± 1.38 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งสูตรที่ 1 มีค่าสัมประสิทธิ์การย่อยฟอสฟอรัสสูงที่สุด และลดลงในสูตรที่ 2, 3 และสูตรที่ 4 ตามระดับของการเสริมวัตถุดิบจากพืชในอาหาร (ตารางที่ 9)

ฟอสฟอรัสสะสมในตัวปลาที่ได้รับอาหารทดลองทั้ง 4 สูตร ไม่มีความแตกต่างทางสถิติระหว่างปลาที่ได้รับอาหารทดลองสูตรที่ 1, 2 และ 3 (p>0.05) แต่พบว่าปลาที่ได้รับอาหารทดลองสูตรที่ 4 มีปริมาณฟอสฟอรัสสะสมในตัวปลาต่ำที่สุด (p<0.05) (ตารางที่ 9)

ฟอสฟอรัสที่ถูกขับทิ้งในปลาที่ได้รับอาหารทดลองทั้ง 4 สูตร พบว่าปลาที่ได้รับอาหารทดลองสูตรที่ 4 มีค่าฟอสฟอรัสที่ถูกขับทิ้งสูงที่สุด รองลงมาคือปลาที่ได้รับอาหารทดลองสูตรที่ 1 และไม่มีความแตกต่างทางสถิติระหว่างปลาที่ได้รับอาหารทดลองสูตรที่ 2 และ 3 (p>0.05) ซึ่งมีระดับฟอสฟอรัสที่ถูกขับทิ้งในกลุ่มที่ต่ำ (ตารางที่ 9)

ตารางที่ 9 สัมประสิทธิ์การย่อยฟอสฟอรัส, ฟอสฟอรัสที่สะสมในตัวปลา และฟอสฟอรัสที่ถูกขับทิ้ง เมื่อสิ้นสุดการทดลองของปลานิลแดงแปลงเพศที่ได้รับอาหารทดลองสูตรต่างๆ เป็นเวลา 12 สัปดาห์[1]

อาหารทดลอง	สัมประสิทธิ์การย่อยฟอสฟอรัส	ฟอสฟอรัสที่สะสมในตัวปลา (%)	ฟอสฟอรัสที่ถูกขับทิ้ง (ก.ฟอสฟอรัส/กก.น้ำหนักที่เพิ่มขึ้น)
สูตรที่ 1 ปลาป่น 36.5 %	42.85 ± 1.38^{d}	40.12 ± 3.04^{b}	4.09 ± 0.66^{ab}
สูตรที่ 2 ปลาป่น 18 % + วัตถุดิบจากพืช	37.04 ± 1.85^{c}	41.48 ± 2.83^{b}	3.50 ± 0.38^{a}
สูตรที่ 3 ปลาป่น 9 % + วัตถุดิบจากพืช	34.93 ± 0.95^{b}	41.49 ± 1.66^{b}	3.46 ± 0.47^{a}
สูตรที่ 4 ปลาป่น 0 % + วัตถุดิบจากพืช	31.88 ± 1.09^{a}	37.84 ± 1.32^{a}	5.09 ± 0.95^{b}

[1]ตัวเลขที่นำเสนอเป็นค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (จากการวิเคราะห์ตัวอย่าง 9 ซ้ำ)
ค่าเฉลี่ยในสดมภ์ที่มีตัวอักษรเหมือนกันกำกับ ไม่มีความแตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ (p>0.05)
* ไม่มีการคำนวณค่าสัมประสิทธิ์การย่อยฟอสฟอรัส

วิจารณ์

จากการศึกษานี้จะเห็นได้ว่าเมื่อเปรียบเทียบการเจริญเติบโตของปลาที่ได้รับอาหารที่มีปลาป่นสูง (สูตรที่ 1) และปลาที่ได้รับอาหารที่ลดปริมาณปลาป่น และทดแทนด้วยวัตถุดิบจากพืช (สูตรที่ 2 และ 3) จะให้การเจริญเติบโตที่ไม่แตกต่างกัน ทั้งนี้เนื่องจากมีการปรับปริมาณฟอส-ฟอรัสในอาหารสูตรที่ 2 และ 3 ที่ใช้วัตถุดิบจากพืชสูงให้มีความใกล้เคียงกัน โดยการเสริมไดแคลเซียมฟอสเฟต (DCP) ส่วนปลาที่ได้รับอาหารสูตรที่ 4 ซึ่งใช้วัตถุดิบจากพืชเพียงอย่างเดียว แม้จะเสริมฟอสฟอรัสสังเคราะห์ลงไป แต่ก็ยังมีค่าฟอสฟอรัสรวมต่ำกว่าสูตรอาหารที่ 1 และ 3 ทำให้การเจริญเติบโตต่ำกว่าปลาในชุดการทดลองอื่น ๆ สอดคล้องกับการทดลองของ วุฒิพร (2550) ที่พบว่าเมื่อปลานิลแดงแปลงเพศได้รับอาหารที่มีสัดส่วนของโปรตีนสัตว์ต่อโปรตีนพืชเพิ่มขึ้นได้ถึง 1:4 ทำให้การเจริญเติบโตและประสิทธิภาพการใช้อาหารต่ำลง และยังสอดคล้องกับการทดลองของ Rumsey และคณะ (1993, 1994) Sticney และคณะ (1996) และ Kim และคณะ (1998) ที่แสดงให้เห็นว่า ปลานิลมีความสามารถในการใช้วัตถุดิบจากพืชแทนที่ปลาป่นได้ในปริมาณที่จำกัด ขึ้นอยู่กับคุณค่าทางอาหารและสารต้านโภชนาการ (anti-nutritional factor) ที่มีในวัตถุดิบจากพืชแต่ละชนิด (NRC, 1993) ได้แก่ สารยับยั้งทริพซิน (trypsin inhibitor) โกสสิโพล (gossypol) และกรดไขมันไซโคลโพรพีน (cyclopropene fatty acid) และมิโมซีน (mimosine) (Francis *et al*., 2001) นอกจากนี้เยื่อใย (fiber) ในปริมาณสูงในวัตถุดิบจากพืชเป็นสารอาหารที่ปลาไม่สามารถย่อยได้ สอดคล้องกับปริมาณการกินอาหาร โดยพบว่า เมื่อเพิ่มระดับของวัตถุดิบจากพืชในอาหารสูงขึ้น จะทำให้ปริมาณการกินอาหารของปลาทดลองลดลง อีกทั้งผลการทดลองนี้ยังสอดคล้องกับการศึกษาของ วุฒิพรและอัจฉริยา (2548) ที่พบว่า เมื่อเพิ่มสัดส่วนของพืชในอาหารให้สูงขึ้น ทำให้การเจริญเติบโตและประสิทธิภาพการใช้อาหารของปลานิลแดงแปลงเพศลดลง การที่ปลาได้รับอาหารสูตรที่ 4 ซึ่งไม่ได้เสริมปลาป่นเลย แต่ใช้วัตถุดิบจากพืชเป็นส่วนผสมของอาหารทั้งหมด ให้ผลการเจริญเติบโตต่ำและประสิทธิภาพการใช้อาหารไม่ดี อาจเกิดจากสาเหตุที่กล่าวมาแล้วข้างต้น เมื่อพิจารณาถึงปริมาณฟอสฟอรัสที่ปลานำไปใช้ประโยชน์ได้ในอาหารที่ปลาได้รับมีเพียง 0.43 เปอร์เซ็นต์ (ตารางที่ 3) ซึ่งเป็นระดับต่ำกว่าที่ปลาชนิดนี้ต้องการ จากการทดลองของ Phromkunthong and Udom (2008) พบว่า เมื่อใช้ค่าการสะสมของฟอสฟอรัสในกระดูกสันหลัง (vertebrae) และในร่างกาย ระดับความต้องการฟอสฟอรัสของปลาชนิดนี้อยู่ในช่วง 0.76-0.79 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งเป็นระดับที่สูงกว่าที่ NRC (1993) รายงานไว้ ซึ่งอยู่ในระดับ 0.5 เปอร์เซ็นต์ ทั้งนี้แม้ว่าจะเป็นปลาชนิดเดียวกันแต่อาจแตกต่างกันเนื่องจาก สภาพแวดล้อมของการเลี้ยง ขนาดของปลา และชนิดของอาหารที่ใช้ (Halver, 2002) ทั้งนี้งานทดลองนี้สอดคล้องกับการศึกษาของ วุฒิพร (2550) ที่พบว่าแม้จะมีการเพิ่มสัดส่วนวัตถุดิบจากพืชในอาหารสูงขึ้น แต่ทำการเสริมอนินทรีย์ฟอสเฟตในรูปไดแคลเซียมฟอสเฟต โดยทำให้ระดับของฟอสฟอรัสที่ใช้ประโยชน์ได้อยู่ในระดับที่เพียงพอกับความต้องการของปลานิลแดงแปลงเพศ พบว่า การเจริญเติบโตของปลาอยู่ในเกณฑ์ดีและไม่แตกต่างจากปลาที่ได้รับอาหารที่มีสัดส่วนของปลาป่นกับวัตถุดิบจากพืชที่สูงกว่า ในขณะที่ปลากลุ่มที่เพิ่มสัดส่วนของวัตถุดิบพืชสูงขึ้น แต่ไม่มีการเสริมอนินทรีย์ฟอสเฟต มีการเจริญเติบโตต่ำกว่ากลุ่มแรกอย่างมีนัยสำคัญ ในทำนองเดียวกับ จูอะดี และคณะ (2549) ที่พบว่าอาหารที่มีระดับฟอสฟอรัสที่มาจากปลาป่นในระดับที่เพียงพอกับระดับความต้องการของปลากะพงแดง ไม่พบการเจริญเติบโตที่ลดลง และไม่จำเป็นต้องเสริมอนินทรีย์ฟอสเฟตและแคลเซียมในอาหาร นอกจากนี้ยังพบว่าปริมาณฟอสฟอรัสและแคลเซียมในกระดูกปลาทดลองมีอัตราส่วนของแคลเซียมต่อฟอสฟอรัสโดยประมาณ 2:1 โดยปริมาณแคลเซียมและฟอสฟอรัสในอาหารไม่มีผลต่อสัดส่วนแคลเซียมและฟอสฟอรัสในกระดูกปลา การเจริญเติบโตที่ลดลงเป็นลักษณะที่พบในปลาเกือบทุกชนิดที่ได้รับอาหารขาดฟอสฟอรัส ทั้งนี้การเจริญเติบโตช้าและอัตราแลกเนื้อที่สูงที่เกิดจากปลาได้รับ

ฟอสฟอรัสในปริมาณที่ไม่เพียงพอ มีรายงานในปลาแฮดด็อก(haddock)(RoyandLall,2003) ปลาเรนโบว์เทราท์ (rainbow trout) (Ketola and Richmond, 1994) ปลาซันไชน์แบส (sunshine bass) (Brown *et al*., 1993) ปลากดอเมริกัน (channel catfish) (Wilson *et al*., 1982) ปลาไน (Ogino and Takeda, 1978) และปลาเรดซีบรีม (red sea bream) (Sakamoto and Yone, 1978) อย่างไรก็ตาม ไม่พบว่าการเจริญเติบโตลดลงในปลากะพงแดง (จูอะดี และคณะ 2549) ปลากะพงขาว (Chaimongkol and Boonyaratpalin, 2001) และปลาแอตแลนติกแซลมอน (Atlantic salmon) (Vielma and Lall, 1998) ที่ได้รับอาหารที่มีฟอสฟอรัสต่ำ

ค่าสัมประสิทธิ์การย่อยฟอสฟอรัสลดลงตามปริมาณวัตถุดิบจากพืชที่เพิ่มสูงขึ้นในอาหาร ทั้งนี้เนื่องจากฟอสฟอรัสที่มีในวัตถุดิบพืชส่วนใหญ่อยู่ในรูปของไฟเตทและกรดไฟติก ซึ่งเป็นโครงสร้างที่มีความแข็งแรง ปลาไม่สามารถย่อยและนำไปใช้ประโยชน์ได้ ทั้งยังต้านการดูดซึมและการใช้ประโยชน์จากฟอสฟอรัสในอาหารของปลาอีกด้วย (Vielma *et al*., 2004) ซึ่งจากข้อมูลค่าสัมประสิทธิ์การย่อยฟอสฟอรัสของวัตถุดิบอาหารชนิดต่างๆ เช่นปลาป่น สามารถใช้ได้ 60 ถึง 80 เปอร์เซ็นต์ ส่วนฟอสฟอรัสจากพืช เช่น กากถั่วเหลืองหรือรำ ปลาสามารถย่อยได้น้อยมากประมาณ 8-20 เปอร์เซ็นต์ (วีรพงศ์, 2536) Rich และ Brown (1996) ศึกษาประสิทธิภาพการใช้ฟอสฟอรัสของปลาเรนโบว์เทราท์ (rainbrow trout, *Oncorhynchus mykiss*) พบว่า เมื่อเสริมเอนไซม์ไฟเตส 3,750 ยูนิตต่ออาหาร 1 กิโลกรัม ทำให้ประสิทธิภาพการดูดซึมฟอสฟอรัสของกากถั่วลิสงเพิ่มขึ้นจาก 22.1 เปอร์เซ็นต์เป็น 75.6 เปอร์เซ็นต์ กากถั่วเหลืองสกัดน้ำมันมีประสิทธิภาพการดูดซึมฟอสฟอรัสเพิ่มขึ้นจาก 13.4 เปอร์เซ็นต์ เป็น46.6 เปอร์เซ็นต์ และคอร์นกลูเต้นมีประสิทธิภาพการดูดซึมฟอสฟอรัสเพิ่มขึ้นจาก 30.7 เปอร์เซ็นต์เป็น 76.8 แสดงให้เห็นว่าหากปลาสามารถย่อยสลายกรดไฟติกหรือไฟเตทในอาหารได้จะส่งผลให้สามารถนำฟอสฟอรัสไปใช้ประโยชน์ได้มากขึ้น ส่งผลให้ค่าสัมประสิทธิ์การย่อยฟอสฟอรัสของวัตถุดิบเพิ่มสูงขึ้นได้ ซึ่งสอดคล้องกับค่าปริมาณ อัลคาไลน์ฟอสฟาเตสในซีรัมของปลาจากการทดลองนี้ ซึ่งพบว่า ค่าอัลคาไลน์ฟอสฟาเตสจะลดลงตามระดับของวัตถุดิบจากพืชที่เสริมในอาหาร กล่าวคือ เมื่อเสริมวัตถุดิบจากพืชลงในอาหารเพิ่มขึ้น ค่าฟอสฟอรัสที่ปลาสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ (AvP) ก็จะลดลงตามลำดับ สอดคล้องกับการทดลองของ Phromkunthong and Udom (2008) ที่พบว่า ระดับของอัลคาไลน์ฟอสฟาเตสสูงขึ้นอย่างมีนัยสำคัญตามระดับของฟอสฟอรัสที่เพิ่มขึ้นในอาหาร ซึ่งมีความสัมพันธ์กับฟอสฟอรัสในซีรัม โดยพบว่าฟอสฟอรัสในซีรัมมีแนวโน้มไปในทิศทางเดียวกับค่าอัลคาไลน์ฟอสฟาเตส คือระดับของฟอสฟอรัสในซีรัมจะลดลงตามระดับของวัตถุดิบจากพืชที่เสริมในอาหาร สอดคล้องกับการทดลองของ Phromkunthong and Udom (2008) พบว่า ระดับของฟอสฟอรัสในซีรัมจะเพิ่มขึ้นตามระดับของฟอสฟอรัสที่เสริมในอาหาร Lall (2002) พบว่า การดูดซึมฟอสเฟตในอาหารของปลาจะมีผลกับระดับฟอสเฟตในเลือดและพบว่าการขาดฟอสฟอรัสทำให้ฟอสเฟตในยูรีน (urine) และในพลาสมาต่ำโดย Eya และ Lovell (1997) ซึ่งรายงานว่าระดับอัลคาไลน์ฟอสฟาเตสในซีรัมจะเป็นตัวบ่งชี้ถึงระดับฟอสฟอรัสที่ต้องการในปลากดอเมริกันขนาดใหญ่

ส่วนประกอบทางโภชนาการของตัวปลา พบว่าปริมาณไขมันในตัวปลาที่ได้รับอาหารที่มีระดับปลาป่น 18 เปอร์เซ็นต์ และเสริมวัตถุดิบจากพืช (สูตรที่2) มีปริมาณไขมันในซากต่ำที่สุด ซึ่งต่ำกว่ากลุ่มปลาที่ได้รับอาหารทดลองสูตรที่ 3 (ปลาป่น 9 เปอร์เซ็นต์ และเสริมวัตถุดิบจากพืช)และ 4 (วัตถุดิบจากพืชอย่างเดียว) อธิบายได้ว่าในอาหารสูตรที่ 2 มีค่าฟอสฟอรัสที่ปลาสามารถใช้ประโยชน์ได้สูงกว่า เมื่อเพิ่มระดับของการเสริมวัตถุดิบจากพืชในปลาที่ได้รับอาหารทดลองสูตรที่ 3 และ 4 ส่งผลให้ปลาได้รับฟอสฟอรัสในระดับที่ต่ำกว่า ในการนำไปใช้ในกระบวนการสลายกรดไขมัน (เบตา-ออกซิเดชัน) ทำให้ค่าปริมาณไขมันในตัวปลามีค่าลดลง ซึ่งมีรายงานว่าการขาดฟอสฟอรัสจะส่งผลต่อการเจริญเติบโต ลดประสิทธิภาพการใช้อาหาร มีแร่ธาตุสะสมในกระดูก

น้อยลง (Lall, 2002) และยังพบว่าปลาไนที่ขาดฟอสฟอรัสมีปริมาณไขมันในซากเพิ่มสูงขึ้น (Ogino nad Takeda, 1976; Onishi *et al*., 1981; Takeuchi and Nakazue, 1981 อ้างโดย Lall, 2002)

จากผลการศึกษาปริมาณฟอสฟอรัสในตัวปลาหลังการทดลองพบว่า ปลาที่ได้รับอาหารที่ใช้ปลาป่นเพียงอย่างเดียว(สูตรที่ 1), อาหารที่มีระดับปลาป่น 18เปอร์เซ็นต์และเสริมวัตถุดิบจากพืช (สูตรที่ 2) และที่มีระดับปลาป่น 9 เปอร์เซ็นต์ และเสริมวัตถุดิบจากพืช (สูตรที่ 3) มีปริมาณฟอสฟอรัสในตัวไม่แตกต่างทางสถิติ และสูงกว่าปลาที่ได้รับอาหารที่ใช้วัตถุดิบพืชทั้งหมด (สูตรที่ 4) ทั้งนี้เนื่องจากอาหารสูตรที่ 5 มีปริมาณฟอสฟอรัสที่นำไปใช้ประโยชน์ได้ต่ำกว่าระดับความต้องการฟอสฟอรัสของปลานิล ส่งผลให้การเจริญเติบโตและประสิทธิภาพการใช้อาหารลดลง และมีการสะสมแร่ธาตุน้อยลงด้วย (Lall, 2002) ซึ่งสอดคล้องกับปริมาณการสะสมของฟอสฟอรัสในกระดูกปลาและการสะสมของฟอสฟอรัสในตัวปลา (phoshorus retention) ซึ่งพบว่า ปลาที่ได้รับอาหารสูตรที่ 4 มีการสะสมของฟอสฟอรัสในกระดูกปลาและการสะสมของฟอสฟอรัสในตัวปลา ต่ำกว่าปลาที่ได้รับอาหารสูตรที่ 1, 2 และ 3 นอกจากนี้ยังมีรายงานว่าฟอสฟอรัสที่ถูกดูดซึมจะถูกเก็บสะสมในเนื้อเยื่ออ่อนนุ่ม เช่น หัวใจ ตับ ไต กล้ามเนื้อ และเลือด ได้เร็ว แต่การเก็บสะสมในโครงสร้างแข็ง เช่น กระดูกนั้นเป็นไปอย่างช้าๆ (Tomiyama *et al*., 1956; Asano and Ito, 1957 อ้างโดย Lall 2002) และการทดลองครั้งนี้ปลาทดลองที่ได้รับอาหารที่ใช้ปลาป่นเพียงอย่างเดียว (สูตรที่ 1), อาหารที่มีระดับปลาป่น 18 เปอร์เซ็นต์ และเสริมวัตถุดิบจากพืช (สูตรที่ 2) และอาหารที่มีระดับปลาป่น 9 เปอร์เซ็นต์ และเสริมวัตถุดิบจากพืช (สูตรที่ 3) มีน้ำหนักที่เพิ่มขึ้นไม่แตกต่างกัน ซึ่งอาจส่งผลให้ปริมาณฟอสฟอรัสที่ถูกดูดซึมและเก็บสะสมในตัวปลามีปริมาณใกล้เคียงกันด้วย

ค่าฟอสฟอรัสที่สะสมในตัวปลาจากการศึกษาครั้งนี้ พบว่าไม่มีความแตกต่างระหว่างปลาที่ได้รับอาหารทดลองสูตรที่ 1, 2 และ 3 แต่ปลาที่ได้รับอาหารทดลองสูตรที่ 4 มีปริมาณฟอสฟอรัสสะสมในตัวปลาต่ำที่สุด ทั้งนี้เพราะระดับของฟอสฟอรัสที่ปลาสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ในอาหารสูตรที่ 4 ซึ่งใช้วัตถุดิบจากพืชเป็นส่วนประกอบทั้งหมด มีค่าต่ำกว่าอาหารสูตรอื่นๆ จึงส่งผลให้ค่าฟอสฟอรัสที่สะสมในตัวปลามีค่าดังที่กล่าวมาข้างต้น

ค่าฟอสฟอรัสที่ถูกขับทิ้ง (phosphorus load) พบว่าเมื่อมีปริมาณฟอสฟอรัสที่สะสมในตัวปลาสูง ค่าปริมาณฟอสฟอรัสที่ถูกขับทิ้งก็จะต่ำลง โดยปลาที่ได้รับอาหารทดลองที่มีระดับปลาป่น 18 เปอร์เซ็นต์ และเสริมวัตถุดิบจากพืช (สูตรที่ 2) และที่มีระดับปลาป่น 9 เปอร์เซ็นต์ และเสริมวัตถุดิบพืช (สูตรที่ 3) มีค่าอยู่ในกลุ่มที่ต่ำกว่าปลาที่ได้รับอาหารทดลองอีก 2 สูตรที่เหลือ คือสูตรที่ 1 และ สูตรที่ 4 ซึ่งค่าฟอสฟอรัสที่ถูกขับทิ้งนี้จะเป็นตัวบอกถึงระดับของฟอสฟอรัสที่ถูกขับออกจากตัวปลาสู่สภาพแวดล้อม หากค่าฟอสฟอรัสที่ถูกขับทิ้งมีปริมาณสูง ก็อาจส่งผลกระทบต่อสภาพแวดล้อมได้ เนื่องจากมีปริมาณฟอสฟอรัสซึ่งเป็นอินทรีย์สารชนิดหนึ่งที่มีความสำคัญต่อการเจริญเติบโตของพืชน้ำและแพลงก์ตอนพืช จากการศึกษาพบว่า ชุดการทดลองที่ 4 ซึ่งใช้วัตถุดิบจากพืชเป็นส่วนประกอบทั้งหมด มีค่าฟอสฟอรัสที่ถูกขับทิ้งสูงที่สุด ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ Hernandez และคณะ (2004) ที่ทำการศึกษาค่าฟอสฟอรัสที่สะสมในตัวปลา ในปลาเรนโบว์เทราท์ โดยกำหนดสูตรอาหารให้ สูตรที่ 1 ใช้ปลาป่นเป็นวัตถุดิบอาหารโดยไม่ใช้วัตถุดิบจากพืช (ปลาป่น 57 เปอร์เซ็นต์/กก.อาหาร) สูตรที่ 2 ลดระดับปลาป่นลงและใช้วัตถุดิบจากพืชเสริมทดแทน (ปลาป่น 15 เปอร์เซ็นต์/กก.อาหาร) ผลการศึกษาพบว่าค่าฟอสฟอรัสที่สะสมในตัวปลา ในอาหารสูตรที่ 2 (36.0 เปอร์เซ็นต์) มีค่าสูงกว่า สูตรที่ 1 (22.2 เปอร์เซ็นต์) โดยมีความสัมพันธ์กับค่าฟอสฟอรัสที่ถูกขับทิ้ง

สรุป

1. การลดระดับปลาป่นในอาหารปลานิลแดงแปลงเพศจากระดับ 36 เปอร์เซ็นต์ให้เหลือ 18 และ 9 เปอร์เซ็นต์ และใช้วัตถุดิบพืชเสริมทดแทน โดยปรับปริมาณฟอส-ฟอรัสรวมในอาหารในระดับที่เหมาะสมจะไม่ส่งผลต่อการเจริญเติบโต ประสิทธิภาพการใช้อาหาร และอัตราการรอดตาย

2. ค่าสัมประสิทธิ์การย่อยฟอสฟอรัสของอาหารมีความสัมพันธ์กับค่าฟอสฟอรัสที่ปลาใช้ประโยชน์ได้ (available phosphorus) โดยจะมีค่าลดลงเมื่อปลาได้รับอาหารที่มีวัตถุดิบพืชเพิ่มขึ้น

3. ค่าไขมันในตัวปลามีความสัมพันธ์โดยตรงกับค่าฟอสฟอรัสที่ปลาใช้ประโยชน์ได้ในอาหาร โดยมีค่าสูงขึ้นเมื่อปลาได้รับอาหารที่มีวัตถุดิบพืชในอาหารเพิ่มขึ้น

4. กิจกรรมอัลคาไลน์ฟอสฟาเตสและฟอสฟอรัสในซีรัมมีความสัมพันธ์โดยตรงกับค่าฟอสฟอรัสที่ปลาใช้ประโยชน์ได้ในอาหาร โดยพบว่าค่าดังกล่าวจะลดลงเมื่อปลาได้รับอาหารที่มีวัตถุดิบพืชเพิ่มขึ้น

เอกสารอ้างอิง

จิรวัฒน์ ทัดแก้ว. 2550. ผลของเอนไซม์ไฟเตสต่อประสิทธิภาพการย่อยสารอาหารในวัตถุดิบพืช 5 ชนิด ในปลานิลแดงแปลงเพศ (*Oreochromis niloticus* x *O. mossambicus*) วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวาริชศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.

จูอะดี พงศ์มณีรัตน์, พิชญา ชัยนาค, โกวิทย์ เก้าเอี้ยน, สาวิตรี ศิลาเกศ, ดาราวรรณ ยุทธยงค์ และทวี จินดามัยกุล. 2549. ระดับฟอสฟอรัสที่เหมาะสมในอาหารสำหรับปลากะพงแดง Optimum Phosphorus level in diets for red snapper (*Lutjanus argentimaculatus*, Forskal). ว.การประมง 59: 252-258.

วีรพงศ์ วุฒิพันธุ์ชัย. 2536. การเพาะพันธุ์ปลา.ชลบุรี: ภาควิชาวาริชศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา.

วุฒิพร พรหมขุนทอง และ อัจฉริยา มูสโกภาศ. 2548. ผลของเอนไซม์ไฟเตสต่อการเพิ่มการใช้ฟอสฟอรัสจากวัตถุดิบพืช ในปลานิลแดงแปลงเพศ ว.สงขลานครินทร์ วทท. 27(1) : 151-170.

วุฒิพร พรหมขุนทอง. 2550. การศึกษาสัดส่วนโปรตีนสัตว์ต่อโปรตีนพืชและการทดแทนฟอสฟอรัสจากปลาป่นด้วยวัตถุดิบพืช และอนินทรีย์ฟอสเฟต ในอาหารสำหรับปลานิลแดงแปลงเพศ. ภาควิชาวาริชศาสตร์. คณะทรัพยากรธรรมชาติ. มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์. 40 หน้า.

AOAC (Association of Official Analytical Chemists). 1990. Official Methods of Analysis. Washington, D.C : AOAC.

Brown, M.L., Jaramillo Jr., F. and Gatlin, D.M., 1993. Dietary phosphorus requirement of juvenile sunshine bass, *Morone chrysops* U_*M. saxatilis* h. Aquaculture 113, 355– 363.

Boonyaratpalin, M. and Phromkunthong, W. 2000. Effects of Ronozyme VP treated rice bran and oil palm meal on growth of sex reversed *Tilapia nilotica*. The 6th Roche Aquaculture Conference Asia Pacific, Bangkok, Thailand, September 29, 2000: 50-63.

Chaimonkkol, A. and Boonyaratpalin, M. 2001. Effects of ash and inorganic phosphorus in diets on growth and mineral composition of seabass, *Lates calcarifer* (Bloch). Aquac. Res. 32: 53-59.

Ciofalo, V., Barton, N., Kretz, K., Baird, J., Cook, M. and Shanahan, D. 2003. Safety evaluation of a phytase, expressed in

Schizosaccharomyces pombe, intended for use in animal feed. Regulatory Toxicol. and Pharmacol. 37: 286-292.

Dupree, H. K. and Sneed, K. P. 1966. Response of Channel Catfish Fingerling to Different Levels of Major Nutrients in Purified Diets. U.S. Bureau of Sports Fish and Wildlife. Tech. Pap. No. 9.

Eya, J.C. and Lovell, R.T.1997. Available phosphorus requirement of food-size channel catfish (*Ictalurus punctatus*) fed practical diets in ponds. Aquaculture 154 : 283-291.

Francis, G., Makkar, H.P.S., Becker, K., 2001. Antinutritional factors present in plant-derived alternate fish feed ingredients and their effect in fish. Aquaculture 199: 197–227.

Furukawa, A. and Tsukahara, H. 1966. On The digestion method for the determination of chromicoxides as an index substance in the study of digestibility of fish feed. Bull. Jpn. Soc. Sci. Fish. 32 : 502-506.

Green, J. A., Brannon, E.L. and Hardy, R. W. 2002. Effects of dietary phosphorus and lipid levels on utilization and excretion of phosphorus and nitrogen by rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). Aquac. Nutr. 8: 291-298.

Halver, J.E., Hardy, R.W. and Hardy, D.M. 2002. Fish Nutrition. New York : Academic Press.

Hernandez, A., Satoh, S., Kiron, V. and Watanabe, T. 2004. Phosphorus retention efficiency in rainbow trout fed diets with low fish meal and alternative protein ingredients. Fish. Sci. 70: 580-586.

Jantrarotai, W., Sitasit, P. and Rajchapakdee, S. 1994. The optimum carbohydrate to lipid ratio in hybrid Clarias catfish (*Clarias macrocephalus* X *C.gariepinus*) diets containing raw broken rice. Aquaculture 127: 61-68.

Ketola, H.G. and Richmond, M.E., 1994. Requirement of rainbow trout for dietary phosphorus and its relationship to the amount discharged in hatchery effluent. Trans. Am. Fish. Soc. 104: 587– 594.

Kim, J.D., Kim, K.S., Song, J.S., Lee, J.Y. and Jeong, K.S. 1998. Optimum level of dietary monocalcium phosphorus excretion of minor carp (Cyprinus carpio) Aquaculture 161: 334-337.

Lall, S.P. 2002. The minerals. *In*: Halver, J.E. and Hardy, R.W. (eds.), Fish Nutrition, 3rd ed. Academic Press, San Diego, CA.

Lovell, R.T. 1989. Nutritional and Feeding of Fish. Auburn University, Auburn, Alabama.

NRC. 1993. Nutrient Requirement of Fish. National Academy Press, Washington D.C.

Ogino, C., and Takeda, H. 1978. Requirement of rainbow trout for dietary calcium and phosphorus in carp and rainbow trout. Bull. Jpn. Soc. Sci. Fish. 45: 1527-1532.

Phromkunthong, W. and Udom, U. 2008. Available phosphorus requirement of sex-reversed red tilapia fed all-plants diets. Songklanakarin J. Sci. Tech. 30: accepted.

Rich, M. and Brown, P.B. 1996. Availability of phosphorus from feedstuffs fed to rainbrow trout (*Oncorhynchus mykiss*). Aquaculture 142: 269-282.

Roy, P. K. and Lall, S. P. 2003. Dietary phosphorus requirement of juvenile haddock (*Melanogrammus aeglefinus* L.). Aquaculture 221: 451–468.

Rumsey, G.L., Hughes, S.G. and Winfree, R.A. 1993. Chemical and nutritional evaluation of soya protein preparations as primary nitrogen soures for rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) Anim. Feed Sci. Technol. 40: 135-151.

Rumsey, G.L., Siwicki, A.K., Anderson, D.P. and Bowser, P.R. 1994. Effect of soybean protein on serological response, non-specific defense mechanisms, growth, and protein utilization in rainbow trout. Vet. Immunol. Immunopathol. 41: 323-339.

Sakamoto, S. and Yone, Y. 1978. Effects of dietary phosphorus on chemical composition of red sea bream. Bull. Jpn. Soc. Sci. Fish. 44 : 227-229.

Steel, R. G. D. and Torrie, J.H. 1980. Principle and Procedures of Statistics. 2 edition. , New York: McGraw Hill.

Stickney, R.R., Hardy, R.W., Koch, K., Harrold, R., Seawright, D. and Massee, K.C. 1996. The effects of substitution selected oilseed protein concentrates for fish meal in rainbow trout *Oncorhynchus mykiss* diets. J. World Aquacult. Soc. 27: 57-63.

Uhlig, H. 1998. Industrial enzyme and their application. John Wiley & Sons, Inc., New York.

Vielma, J. and Lall, S.P. 1998. Phosphorus utilization by Atlantic salmon (*Salmo salar*) reared in freshwater is not influenced by higher dietary calcium intake. Aquaculture 160: 117-128.

Vielma, J. and Ruohone, K. 2002. Dephytinzation of two soy proteins increases phosphorus and protein utilization by rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). Aquaculture 204: 145-156.

Vielma, J., Ruohone, K., Gabaudan, J. and Voge, K. 2004. Top-spraying soybean meal-based diets with phytase improves protein and mineral digestibilities but not lysine utilization in rainbow trout, *Oncorhynchus mykiss* (Walbaum). Aquac. Res. 35: 955-964.

Wilson, R.P., Robinson, E.H. Gatlin III, D.M. and Poe, W.E. 1982. Dietary phosphorus requirement of channel catfish. J. Nutr. 112: 1197-1202.