การใช้ประโยชน์จากฟอสฟอรัสในปลานิลแดงแปลงเพศที่ได้รับอาหารที่มีระดับปลาป่นต่ำ

Phosphorus Utilization in Sex-reversed Red Tilapia

(*Oreochromis niloticus* x *O. mossambicus*) Fed Low Fish Meal Based Diet

วุฒิพร พรหมขุนทอง

Wutiporn Phromkunthong

รายงานวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนการวิจัยจากงบประมาณประจำปี พ.ศ. 2551

ตามมติคณะรัฐมนตรี สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ

การใช้ประโยชน์จากฟอสฟอรัสในปลานิลแดงแปลงเพศ ที่ได้รับอาหารที่มีระดับปลาป่นต่ำ

วุฒิพร พรหมขุนทอง[1*]

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้แบ่งออกเป็น 2 การทดลอง โดยเป็นการศึกษาประสิทธิภาพของอาหารและการใช้ประโยชน์จากฟอสฟอรัสในปลานิลแดงแปลงเพศ ทั้งนี้เป็นการทดสอบสูตรอาหารที่ปลาป่นในปริมาณต่ำและเลือกใช้วัตถุดิบที่มีปริมาณฟอสฟอรัสต่ำ การทดลองที่ 1 ประกอบด้วย 5 ชุดการทดลอง โดยเป็นการเปรียบเทียบอาหารทดลองที่ผลิตขึ้นเอง 4 สูตรกับอาหารที่มีจำหน่ายในเชิงการค้า โดยใช้อาหารที่มีปลาป่นระดับสูงเป็นแหล่งโปรตีนหลักเป็นอาหารชุดควบคุม การทดลองใช้ปลานิลแดงแปลงเพศขนาด 12 กรัมและ 120 กรัม ระยะเวลาที่ใช้เลี้ยงสำหรับการทดลองที่ 1 คือ 12 สัปดาห์ และใช้เวลา 8 สัปดาห์ในการทดลองที่ 2 ตามลำดับ จากผลการทดลองของการทดลองที่ 1 พบว่า ปลาที่ได้รับอาหารที่มีส่วนผสมของปลาป่นต่ำ สูตรที่ 3 (ปลาป่น 18%) และสูตรที่ 4 (ปลาป่น 9%) ส่งผลในแง่การเจริญเติบโต ประสิทธิภาพการใช้อาหาร และการใช้ประโยชน์จากฟอสฟอรัสไม่แตกต่างจากปลาที่ได้รับอาหารที่มีส่วนผสมของปลาป่นในระดับสูง (สูตรที่ 2, ปลาป่น 36.5%) แต่พบว่าปลาที่ได้รับอาหารที่มีส่วนผสมของวัตถุดิบพืชทั้งหมด (สูตรที่ 5) ให้ผลในด้านต่างๆ ต่ำกว่าปลาที่ได้รับอาหารสูตรที่ 2 ถึง 4 ดังนั้นจึงทำการทดลองที่ 2 โดยใช้อาหารสูตรที่ 4 (ปลาป่น 9%) เปรียบเทียบกับอาหารปลาทางการค้า จากผลการทดลองพบว่า การเจริญเติบโต ประสิทธิภาพการใช้อาหาร และการใช้ประโยชน์จากฟอสฟอรัสของอาหารทดลองที่เตรียมขึ้นเองดีกว่าอาหารปลาทางการค้า จากผลการทดลองจึงสรุปได้ว่าสามารถพัฒนาสูตรอาหารทลองโดยใช้วัตถุดิบที่มีโปรตีนต่ำ โดยให้ผลด้านการเจริญเติบโตและประสิทธิภาพการใช้อาหารที่ดี

คำสำคัญ : ฟอสฟอรัส, ปลานิลแดงแปลงเพศ, ปลาป่น, ฟอสฟอรัสที่ถูกขับทิ้ง

[1]Ph.D. (Aquatic Animal Nutrition) รองศาสตราจารย์ ภาควิชาวาริชศาสตร์ คณะทรัพยากรธรรมชาติ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ อำเภอหาดใหญ่ จังหวัดสงขลา 90112

*Corresponding e-mail: wutipornp@yahoo.com

Phosphorus Utilization in Sex-reversed Red Tilapia (*Oreochromis niloticus* x *O. mossambicus*) Fed Low Fish Meal Based Diet

Wutiporn Phromkunthong[1*]

Abstract

Two experiments were conducted to evaluate feed efficiency and phosphorus (P) utilization by sex-reversed red tilapia fed test diets with low amounts of fish meal content and alternative low-P protein sources. Experiment 1 was composed of five treatments. Four test diets were compared with commercial diet (treatment 1) while fish meal (FM) diet was used as control. Fish weighing 12 g and 120 g on average were reared with the experimental diets for 12 weeks and 8 weeks, respectively. In the first experiment fish fed low fish meal diet (treatments 3, 18% fish meal) and 4 (9% fish meal) showed non-significant results in term of growth performance as well as feed efficiency and phosphorus utilization compared to high fish meal diet (treatment 2, 36.5% fish meal) ($p>0.05$). In contrast, these all parameters were lower and showed significantly differences ($p<0.05$) in fish fed plant based-diet (treatment 5) compared to those in treatments 2, 3 and 4. Therefore, we conducted the second experiment using diet that had the best results in the earlier experiment (diet 4, 9% fish meal) compared with commercial diet. At the end of the study, growth as well as feed efficiency and P utilization were found to be significantly higher in the fish fed the experimental diet than those fed the commercial diet. The results indicate that our practical diet can be developed for sex-reversed red tilapia through combinations of alternative protein sources.

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

[1]Ph.D. (Aquatic Animal Nutrition), Department of Aquatic Science, Faculty of Natural Resources, Prince of Songkla University Hat Yai Songkhla 90112

*Corresponding e-mail: wutipornp@yahoo.com

กิตติกรรมประกาศ

ข้าพเจ้าขอขอบพระคุณสำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติที่ให้การสนับสนุนงบประมาณประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2551 ตามมติคณะรัฐมนตรี ที่ใช้ในการวิจัยครั้งนี้ ขอขอบคุณนายอานูวี บากาที่ช่วยเลี้ยงปลาทดลอง และนายนัทท์ นันทพงศ์ที่มีส่วนช่วยในการจัดเตรียม manuscript

สารบัญ

เรื่อง	**หน้า**
บทคัดย่อ	-2-
Abstract	-3-
กิตติกรรมประกาศ	-4-
สารบัญ	-5-
รายการตาราง	-6-
รายการภาพ	-7-
บทนำ	
1. บทนำต้นเรื่อง	1
2. ตรวจเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	2
3. วัตถุประสงค์ของโครงการวิจัย	15
4. ประโยชน์ที่ได้รับจากโครงการวิจัย	16
วัสดุ อุปกรณ์ และวิธีการทดลอง	
1. วัสดุ	16
2. อุปกรณ์	17
3. วิธีการทดลอง	
3.1 การทดลองที่ 1	18
3.2 การทดลองที่ 2	28
ผลการทดลอง	
การทดลองที่ 1	35
การทดลองที่ 2	46
วิจารณ์ผลการทดลอง	
การทดลองที่ 1	54
การทดลองที่ 2	58
เอกสารอ้างอิง	62

รายการตาราง

ตารางที่	หน้า
1. ปริมาณของฟอสฟอรัสในวัตถุดิบ และค่าประสิทธิภาพการย่อยฟอสฟอรัสในปลาเรนโบว์เทร้าท์	10
2. องค์ประกอบทางเคมีของวัตถุดิบอาหารทดลองการทดลองที่ 1 โดยการวิเคราะห์ (% as fed basis)	21
3. สูตรอาหารทดลองสำหรับการทดลองที่ 1	22
4. องค์ประกอบทางเคมีของอาหารทดลองการทดลองที่ 1 โดยการวิเคราะห์ (% as fed basis)	23
5. องค์ประกอบทางเคมีของวัตถุดิบอาหารทดลองการทดลองที่ 2 โดยการวิเคราะห์ (% as fed basis)	30
6. สูตรอาหารทดลองสำหรับการทดลองที่ 2	31
7. องค์ประกอบทางเคมีของอาหารทดลองการทดลองที่ 2 โดยการวิเคราะห์ (% as fed basis)	32
8. น้ำหนักเฉลี่ยต่อตัวของปลานิลแดงแปลงเพศที่ได้รับอาหารทดลองสูตรต่างๆ เป็นเวลา 12 สัปดาห์[1] (หน่วยเป็นกรัม)	36
9. น้ำหนักที่เพิ่มขึ้น อัตราการเจริญเติบโตต่อวัน อัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อ และอัตราการรอดตาย	38
10. ส่วนประกอบทางโภชนาการของปลาทั้งตัวที่ได้รับอาหารทดลองสูตรต่างๆ เป็นเวลา 12 สัปดาห์ (%บนฐานน้ำหนักแห้ง)	40
11. ฟอสฟอรัสในซีรัมและกิจกรรมอัลคาไลน์ฟอสฟาเตสของปลานิลแดงแปลงเพศที่ได้รับอาหารทดลองสูตรต่างๆ เป็นเวลา 12 สัปดาห์	41
12. ฟอสฟอรัสในมูลปลา และกระดูกปลา เมื่อสิ้นสุดการทดลองของปลานิลแดงแปลงเพศที่ได้รับอาหารทดลองสูตรต่างๆ เป็นเวลา 12 สัปดาห์ (%)	42
13. สัมประสิทธิ์การย่อยฟอสฟอรัส, ฟอสฟอรัสที่สะสมในตัวปลา และฟอสฟอรัสที่ถูกขับทิ้งเมื่อสิ้นสุดการทดลองของปลานิลแดงแปลงเพศที่ได้รับอาหารทดลองสูตรต่างๆ เป็นเวลา 12 สัปดาห์ (%)	44
14. ต้นทุนค่าอาหารต่อผลผลิตปลานิลแดงแปลงเพศ(unit feed cost) ที่ได้รับอาหารทดลองสูตรต่างๆ เป็นเวลา 12 สัปดาห์	45
15. การเจริญเติบโต ประสิทธิภาพการใช้อาหาร และอัตรารอดตายของปลานิลแดงแปลงเพศที่ได้รับอาหารทดลองทั้ง 2 สูตร เป็นเวลา 8 สัปดาห์	47
16. องค์ประกอบทางเคมีของปลาทั้งตัวที่ได้รับอาหารทดลองสูตรต่างๆ เป็นเวลา 8 สัปดาห์ (%บนฐานน้ำหนักแห้ง)	49

รายการตาราง (ต่อ)

ตารางที่	หน้า
17. ฟอสฟอรัสในซีรัมและอัลคาไลน์ฟอสฟาเตสของปลานิลแดงแปลงเพศที่ได้รับอาหารทดลองสูตรต่างๆ เป็นเวลา 8 สัปดาห์	50
18. ฟอสฟอรัสและเถ้าในกระดูกปลา และฟอสฟอรัสในมูลปลา ของปลานิลแดงแปลงเพศที่ได้รับอาหารทดลองทั้ง 2 สูตรเป็นเวลา 8 สัปดาห์	51
19. สัมประสิทธิ์การย่อยวัตถุแห้ง, สัมประสิทธิ์การย่อยฟอสฟอรัส, ฟอสฟอรัสที่สะสมในตัวปลา และฟอสฟอรัสที่ถูกขับทิ้ง ของปลานิลแดงแปลงเพศที่ได้รับอาหารทดลองทั้ง 2 สูตรเป็นเวลา 8 สัปดาห์	52
20. ต้นทุนค่าอาหารต่อผลผลิตปลานิลแดงแปลงเพศ(unit feed cost) ที่ได้รับอาหารทดลองสูตรต่างๆ เป็นเวลา 8 สัปดาห์	53

รายการภาพ

ภาพที่	**หน้า**
1. โครงสร้างทางเคมีของกรดไฟติกและไฟเตท	6

บทนำ

1. บทนำต้นเรื่อง

ระบบการเลี้ยงแบบพัฒนา หรือแบบหนาแน่น (intensive culture) จำเป็นต้องใช้อาหารที่ผลิตขึ้นเพื่อรองรับความต้องการอาหารและสารอาหารของสัตว์น้ำที่เลี้ยงแต่ละชนิด ในการสร้างสูตรอาหารจึงต้องทราบถึงความต้องการสารอาหารของสัตว์น้ำนั้นๆ ฟอสฟอรัสจัดเป็นสารอาหารที่มีความสำคัญในสัตว์น้ำ โดยเฉพาะปลาจะใช้เป็นโครงสร้างของร่างกายร่วมกับแคลเซียม ซึ่ง 85-90 เปอร์เซ็นต์ของฟอสฟอรัสทั้งหมดในร่างกายของปลาจะเป็นส่วนประกอบของกระดูกและเกล็ด (Lovell, 1998) ส่วนที่เหลือ 10-15 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งพบในเลือดและเนื้อเยื่อ ทำหน้าที่เป็นองค์ประกอบต่างๆ ในรูปอินทรีย์ฟอสเฟต ได้แก่ อะดีโนซินไตรฟอสเฟต (adenosine triphosphate, ATP) ฟอสฟอลิปิด (phospholipids) ดีออกซีไรโบนิวคลีอิกแอสิด (deoxyribonucleic acid, DNA) และโคเอนไซม์ (coenzymes) เป็นต้น และมีส่วนสำคัญในกระบวนการเมทาโบลิซึมของคาร์โบไฮเดรต ไขมันและกรดอะมิโน (NRC, 1993; Lovell, 1998; Ciofalo *et al*., 2003) ในขณะที่อนินทรีย์ฟอสเฟตจะทำหน้าที่สำคัญในการเป็นบัฟเฟอร์ เพื่อรักษาความเป็นกรดด่างของของเหลวทั้งภายในและภายนอกเซลล์ (Lovell, 1998; NRC, 1993) ฟอสฟอรัสที่ปลาได้รับส่วนใหญ่มาจากอาหารที่กินเข้าไปได้แก่ ฟอสฟอรัสจากสัตว์ เช่น ปลาป่น, เลือดป่น ฟอสฟอรัสจากพืช เช่น ถั่วเหลือง, รำข้าว, ปลายข้าว และฟอสฟอรัสจากอนินทรีย์ฟอสเฟต เช่นโมโนโซเดียมฟอสเฟต,ไดแคลเซียมฟอสเฟต และไตรแคลเซียมฟอสเฟต ซึ่งแหล่งของฟอสฟอรัสที่ต่างชนิดจะให้ค่าฟอสฟอรัสที่ปลาสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ (available phosphorus) แตกต่างกัน จึงจำเป็นต้องทำการศึกษาค่าสัมประสิทธิ์การย่อยฟอสฟอรัส (apparent digestibility coefficient of phosphorus, ADCP) ของวัตถุดิบอาหารแต่ละชนิด เพื่อนำไปใช้ในการสร้างสูตรอาหาร โดยการใช้ค่าดังกล่าวจะมีความแม่นยำกว่าการใช้ค่าโภชนะของวัตถุดิบแต่ละตัวมาใช้ในการดำเนินการ (จิรวัฒน์, 2549; Tudkeaw *et al*., 2008) จิรวัฒน์(2549)ได้ศึกษาสัมประสิทธิ์การย่อยฟอสฟอรัสของวัตถุดิบหลายชนิดโดยเฉพาะวัตถุดิบจากพืช และพบว่าสามารถใช้ค่าดังกล่าวประยุกต์ใช้ในการสร้างสูตรอาหารสำหรับเลี้ยงปลาได้อย่างมีประสิทธิภาพ

ในปัจจุบันได้มีการศึกษาเกี่ยวกับการลดต้นทุนของอาหารปลา โดยลดปริมาณปลาป่นซึ่งเป็นวัตถุดิบที่มีราคาสูง โดยการใช้วัตถุดิบจากพืชซึ่งมีราคาถูกกว่ามาทดแทน แต่ขณะเดียวกันก็พบว่าการใช้วัตถุดิบจากพืชในปริมาณสูงก็มีข้อจำกัด เพราะแม้ว่าวัตถุดิบอาหารจากพืชบางชนิดจะมีฟอสฟอรัสรวม (total phosphorus) ในปริมาณสูง แต่มีค่าฟอสฟอรัสในรูปที่ปลาสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ (available phosphorus) อยู่น้อย โดยพบว่าฟอสฟอรัสจากพืช ประมาณ 2 ใน 3 ส่วน

ของฟอสฟอรัสทั้งหมดจะอยู่ในรูปของกรดไฟติก (phytic acid) ซึ่งมักรวมอยู่กับเกลือของแคลเซียม แมกนีเซียม โพแตสเซียม (Dey and Harborne, 1990) เรียกว่า ไฟติน (phytin) ส่วนเกลือของกรดไฟติกที่ประกอบด้วยอิโนซิทอลกับฟอสเฟตเรียกว่าไฟเตท (phytate) (Uhlig, 1998) ซึ่งปลาไม่สามารถนำฟอสฟอรัสในรูปไฟเตทมาใช้ได้ ดังนั้นในอาหารปลาที่ใช้วัตถุดิบจากพืชในปริมาณที่สูงจึงจำเป็นต้องมีการเพิ่มปริมาณฟอสฟอรัสที่ปลานำไปใช้ได้ให้มากขึ้น เพื่อให้ปลาได้รับฟอสฟอรัสในระดับที่เหมาะสมต่อความต้องการในการเจริญเติบโต แนวทางแก้ปัญหาดังกล่าวคือการเสริมฟอสฟอรัสสังเคราะห์ในรูปอนินทรีย์ฟอสเฟตในอาหาร หรือการเสริมเอนไซม์ไฟเตสที่ช่วยในการย่อยฟอสฟอรัสในรูปที่ไม่สามารถใช้ประโยชน์ได้ให้ปลาสามารถใช้ประโยชน์ได้แต่การเสริมอนินทรีย์ฟอสเฟตในอาหารก็มีผลทำให้ระดับฟอสฟอรัสที่ถูกขับออกมาในรูปของมูล และปล่อยลงสู่แหล่งน้ำมีปริมาณสูงขึ้นตามไปด้วย (Phromkunthong and Udom, 2008)

จากการทดลองของ วุฒิพร (2550) พบว่า การลดปริมาณปลาป่นในอาหารและเพิ่มสัดส่วนของวัตถุดิบจากพืชตั้งแต่ 1:1 ถึง 1:5 โดยทำให้การเจริญเติบโตของปลานิลแดงแปลงเพศไม่มีความแตกต่างกัน เมื่อมีการปรับค่าฟอสฟอรัสที่ใช้ประโยชน์ได้ในอาหารทุกสูตรที่มีการทดแทนด้วยวัตถุดิบจากพืชในปริมาณสูงให้ใกล้เคียงกัน และเพียงพอต่อความต้องการของปลาชนิดนี้ ขณะเดียวกันก็พบว่า เมื่อเปรียบเทียบผลการทดลองระหว่างปลาที่ได้รับอาหารที่เสริมวัตถุดิบจากพืชในปริมาณสูง โดยให้มีการเสริมและไม่เสริมอนินทรีย์ฟอสเฟต พบว่าปลาที่ไม่ได้รับอาหารเสริมอนินทรีย์ฟอสเฟตมีการเจริญเติบโตต่ำกว่ามาก ทั้งนี้ยังสอดคล้องกับค่าสัมประสิทธิ์การย่อยฟอสฟอรัสที่วิเคราะห์ได้จากปลาที่ได้รับอาหารแต่ละสูตรด้วย อย่างไรก็ตาม การเสริมฟอสฟอรัสในอาหารในระดับที่สูงขึ้นก็ทำให้ปริมาณฟอสฟอรัสที่วิเคราะห์ในมูลมีค่าสูงขึ้นตามไปด้วย จากการศึกษาของ Hernandez และคณะ (2004) พบว่า ปลาเรนโบว์เทราท์ที่ได้รับอาหารที่มีปลาป่นต่ำโดยใช้วัตถุดิบจากพืชมาทดแทน มีผลทำให้ค่าการสะสมของฟอสฟอรัสในร่างกายสูงกว่าปลาที่ได้รับอาหารที่มีปลาป่นสูง

การศึกษาครั้งนี้จึงต้องการศึกษาถึงการใช้ประโยชน์จากฟอสฟอรัสในปลานิลแดงแปลงเพศที่ได้รับอาหารที่มีปลาป่นในระดับต่ำ การเลือกปลานิลแดงแปลงเพศเป็นปลาทดลองเนื่องจากเป็นปลาเนื้อขาวที่เลี้ยงง่าย โตเร็ว กำลังเป็นที่ต้องการของตลาดทั้งภายในและต่างประเทศ

2. ตรวจเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ฟอสฟอรัส

2.1.1 ความสำคัญของฟอสฟอรัส

ฟอสฟอรัส (Phosphorus) เป็นแร่ธาตุชนิดหนึ่งที่สัตว์น้ำต้องการในปริมาณมาก โดยทำหน้าที่เป็นโครงสร้างของร่างกายร่วมกับแคลเซียม เช่น เป็นส่วนประกอบของกระดูกและ

เกล็ด นอกจากนี้ยังทำหน้าที่เป็นองค์ประกอบต่างๆ ในรูปอินทรีย์ฟอสเฟต ได้แก่ อะดีโนซิน ไตรฟอสเฟต (adenosine triphosphate, ATP) ฟอสฟอลิปิด (phospholipids) ดีออกซีไรโบนิวคลีอิก แอสิด (deoxyribonucleic acid, DNA) และโคเอนไซม์ (coenzymes) เป็นต้น และมีส่วนสำคัญในกระบวนการเมทาโบลิซึมของคาร์โบไฮเดรต ไขมันและกรดอะมิโน (Lovell, 1978; Davis and Gatlin, 1991; NRC, 1993; Ciofalo *et al*., 2003) เกี่ยวข้องกับโครงสร้างของสารพันธุกรรมต่างๆ เป็นโครงสร้างของเยื่อหุ้มเซลล์ และเกี่ยวข้องกับกระบวนการปรับสมดุลแร่ธาตุภายในร่างกาย (Lall, 2002) โดยอนินทรีย์ฟอสเฟตจะทำหน้าที่สำคัญในการเป็นบัฟเฟอร์ เพื่อรักษาระดับความเป็นกรดด่างของของเหลวในร่างกายของปลา (Lovell, 1989; Davis and Gatlin, 1991; NRC, 1993) โดยพบว่าปลาน้ำจืดจะมีระดับความต้องการฟอสฟอรัสสูงกว่าปลาน้ำเค็ม เนื่องจากต้องนำไปใช้ในระบบที่เกี่ยวข้องกับการปรับสมดุลเกลือแร่ในร่างกาย ปลาที่ได้รับฟอสฟอรัสไม่เพียงพอหรือขาดฟอสฟอรัสจะเจริญเติบโตช้า และมีความผิดปกติทางร่างกาย เช่น ปลากดอเมริกัน (channel catfish, *Ictalurus punctatus*) ปลากะพงขาว (seabass, *Lates calcarifer*) และปลานิล (Nile tilapia, *Oreochromis niloticus*) ที่ขาดฟอสฟอรัส พบว่าจะมีการเจริญเติบโตช้า ประสิทธิภาพการใช้อาหารต่ำ ปริมาณแคลเซียม ฟอสฟอรัส และเถ้าของร่างกายลดลง ปริมาณฮีมาโตคริต และฟอสเฟตในเลือดลดลง (Andrews *et al*., 1973; Wilson *et al*., 1982) ฟอสฟอรัสในน้ำอยู่ในรูปที่สัตว์น้ำนำไปใช้ประโยชน์ได้จำกัด โดยมีในปริมาณต่ำกว่า 0.1 มิลลิกรัมต่อน้ำ 1 ลิตร (ppm) ทำให้สัตว์น้ำได้รับฟอสฟอรัสจากน้ำน้อยคือต่ำกว่า 1 เปอร์เซ็นต์ของฟอสฟอรัสที่ได้รับจากอาหาร (NRC, 1993) จึงต้องอาศัยฟอสฟอรัสจากอาหารเป็นหลัก ซึ่งได้มาจากวัตถุดิบอาหารจำพวกพืชและสัตว์รวมทั้งจากฟอสฟอรัสสังเคราะห์โดยเฉพาะเกลือฟอสเฟตรูปต่างๆ แหล่งวัตถุดิบเหล่านี้แม้จะมีฟอสฟอรัสอยู่ในปริมาณสูง แต่อยู่ในรูปที่สัตว์น้ำสามารถนำมาใช้ได้น้อย เช่น ปลาป่นซึ่งมักพบฟอสฟอรัสอยู่ในรูปสารประกอบไฮดรอกซีอะพาไทด์ (hydroxyapatite) หรือไตรแคลเซียมฟอสเฟต (tricalcium phosphate) โดยเป็นองค์ประกอบอยู่ในกระดูกและเกล็ดปลา (Jobling, 1994) ส่วนฟอสฟอรัสจากพืชประมาณ 2 ใน 3 ส่วนของฟอสฟอรัสทั้งหมดจะอยู่ในรูปของกรดไฟติก (phytic acid) หรือไมโออินโนซิทอลเพ็นตะคิสฟอสเฟต (myo-inositol hexakisphosphate) ซึ่งมักรวมอยู่กับเกลือของแคลเซียม แมกนีเซียม โพแตสเซียม (Dey and Harborne, 1990) เรียกว่า ไฟติน (phytin) ส่วนเกลือของกรดไฟติกที่ประกอบด้วยอินโนซิทอลกับฟอสเฟต จะเรียกว่า ไฟเตท (phytate) (Uhlig, 1998) ส่วน Hendricks และ Bailey (1989) กล่าวถึงกรดไฟติกว่าเป็นพิษชนิดหนึ่งที่เกิดจากพืช ซึ่งสัตว์กระเพาะเดี่ยว (monogastric animals) และปลาไม่สามารถนำฟอสฟอรัสในรูปนี้มาใช้ได้ มีรายงานว่า อาหารปลากดอเมริกัน (channel catfish, *Ictalurus punctatus*) ที่มีไฟเตทเพิ่มขึ้นจาก 1.1 เป็น 2.2 เปอร์เซ็นต์ ทำให้ปลามีการเจริญเติบโต ประสิทธิภาพการใช้อาหาร และ

สังกะสีในกระดูกลดลง (Satoh *et al.*, 1989) แหล่งของฟอสฟอรัสที่ปลาได้รับมาจาก 2 แหล่งคือ ฟอสฟอรัสที่ละลายอยู่ในน้ำ เป็นฟอสฟอรัสในน้ำในรูปที่สัตว์น้ำนำไปใช้ประโยชน์ได้จำกัด และฟอสฟอรัสที่อยู่ในอาหารซึ่งเป็นแหล่งฟอสฟอรัสที่สำคัญสำหรับปลา ฟอสฟอรัสในอาหารส่วนใหญ่ได้มาจากวัตถุดิบจากพืช และสัตว์ แม้ว่าแหล่งของวัตถุดิบเหล่านี้จะมีฟอสฟอรัสอยู่ในปริมาณสูง แต่อยู่ในรูปที่ปลาสามารถย่อยและดูดซึมได้น้อย เนื่องจากมีปริมาณน้ำย่อยและประสิทธิภาพการทำงานที่ต่ำ (Wang *et al.*, 1980) ทำให้ต้องมีการเสริมอนินทรีย์ฟอสเฟตลงในอาหารเพื่อให้มีปริมาณฟอสฟอรัสที่เพียงพอกับความต้องการของปลา โดยทั่วไปปลามีความต้องการฟอสฟอรัสแตกต่างกันออกไปตามชนิด ขนาด อายุ และเพศ ความต้องการฟอสฟอรัสในปลาขึ้นอยู่กับชนิดและขนาดของปลา โดยปลาเรนโบว์เทราท์มีความต้องการฟอสฟอรัสในอาหารเพื่อการเจริญเติบโตและสร้างกระดูกประมาณ 0.7 ถึง 0.8 เปอร์เซ็นต์ของอาหารทั้งหมด (Ogino and Takeda, 1978) จากการศึกษาของ Andrews และคณะ (1973) พบว่า ปลากดอเมริกัน มีความต้องการฟอสฟอรัส 0.8 เปอร์เซ็นต์ ในขณะที่ Lovell (1978) และ Wilson และคณะ (1982) รายงานว่า ปลากดอเมริกันต้องการฟอสฟอรัสที่ใช้ประโยชน์ได้ 0.4 เปอร์เซ็นต์ ส่วนปลาไหลญี่ปุ่น (Japanese eel, *Anguilla japonica*) ต้องการในอาหารฟอสฟอรัสประมาณ 0.45 เปอร์เซ็นต์ และต้องการฟอสฟอรัสที่ใช้ประโยชน์ได้ 0.3 เปอร์เซ็นต์ (Roy and Lall, 2003) สำหรับปลานิล (blue tilapia, *O. aureus*) ต้องการฟอสฟอรัสในระดับ 0.50 เปอร์เซ็นต์ *O. niloticus* 0.46 เปอร์เซ็นต์ (Haylor *et al.*, 1988) Phromkunthong และ Udom (2008) รายงานว่าระดับของฟอสฟอรัสที่นำไปใช้ประโยชน์ได้ 0.76 เปอร์เซ็นต์ เป็นระดับที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตและการนำประโยชน์จากฟอสฟอรัสไปใช้ของปลานิลแดงแปลงเพศ Cheng และ Hardy (2003) รายงานว่า ในอาหารที่ใช้ถั่วเหลืองเป็นวัตถุดิบทดสอบ (30 เปอร์เซ็นต์) ผสมกับอาหารสูตรพื้นฐาน (70 เปอร์เซ็นต์) มีฟอสฟอรัสอยู่ในรูปไฟเตท 74.2 เปอร์เซ็นต์ ของฟอสฟอรัสทั้งหมด ซึ่งปลาเรนโบว์เทราท์ น้ำหนักเฉลี่ยเริ่มต้น 170 กรัม มีประสิทธิภาพการย่อยฟอสฟอรัสในรูปไฟเตท และฟอสฟอรัสทั้งหมดจากอาหารสูตรนี้เพียง 29.9 และ 21.2 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ แต่เมื่อเสริมเอนไซม์ไฟเตสในอาหารตั้งแต่ 200-1,000 ยูนิต ต่ออาหาร 1 กิโลกรัม พบว่าปลามีประสิทธิภาพการย่อยฟอสฟอรัสในรูปไฟเตท และฟอสฟอรัสทั้งหมดอยู่ในช่วง 60.9-93.8 เปอร์เซ็นต์ และ 81.3-93.9 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ดังนั้นอาหารปลาที่ใช้วัตถุดิบจากพืชเป็นหลักจึงจำเป็นต้องมีการเพิ่มปริมาณฟอสฟอรัสที่ใช้ได้ให้มากขึ้น เพื่อให้ปลามีการเจริญเติบโตและดำรงชีวิตอย่างปกติ ซึ่งแนวทางการแก้ไขปัญหาปลาขาดฟอสฟอรัสมีสองวิธี วิธีที่หนึ่ง คือ การเสริมฟอสฟอรัสสังเคราะห์ลงในอาหาร รูปแบบที่นิยมเสริมในอาหารปลา มี 3 รูปแบบ ได้แก่ โมโนเบสิค (monobasic) ไดเบสิค (dibasic) และไตรเบสิค (tribasic) (เวียง, 2542; Eya and Lovell, 1997) จากการทดลองของ Eya และ Lovell (1997) ศึกษาประสิทธิภาพการดูดซึม

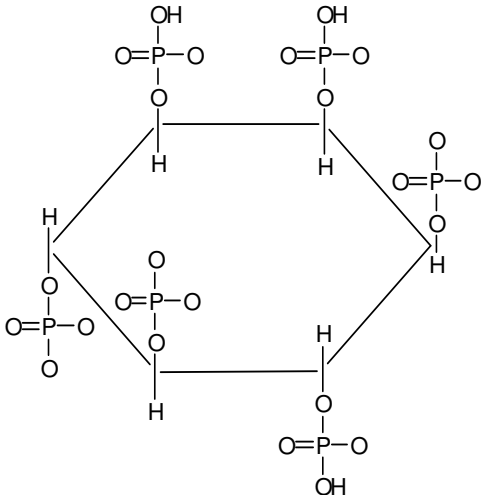
ฟอสฟอรัสในปลากดเมริกัน น้ำหนักเฉลี่ยเริ่มต้น 765 กรัม ซึ่งมีแหล่งอนินทรีย์ฟอสเฟตรูปแบบต่างๆ กัน พบว่าการเสริมอนินทรีย์ฟอสเฟตในรูปโมโนโซเดียมฟอสเฟต (monosodium phosphate) ทำให้ปลามีการประสิทธิภาพการดูดซึมฟอสฟอรัสดีที่สุด รองลงมาคือ โมโนแอมโมเนียมฟอสเฟต (monoammonium phosphate) โมโนแคลเซียมฟอสเฟต (monocalcium phosphate) ไดแคลเซียมฟอสเฟต (dicalcium phosphate) และไตรแคลเซียมฟอสเฟต (tricalcium phosphate) ตามลำดับ แต่การเสริมอนินทรีย์ฟอสเฟตในอาหารจะทำให้ต้นทุนสูงขึ้นและฟอสฟอรัสในอาหารที่สัตว์น้ำไม่สามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้จะถูกขับออกมาในรูปของมูล ทำให้มีการสะสมในแหล่งน้ำซึ่งหากมากเกินไปจะส่งผลให้แพลงก์ตอนพืชและสัตว์เจริญเติบโตจนเกินสมดุลและเกิดน้ำเสียในเวลาต่อมา เรียกว่าปรากฏการณ์ยูโทรฟิเคชัน (eutrophication) (สมสุข, 2528)

2.1.2 การย่อยและการดูดซึมฟอสฟอรัส

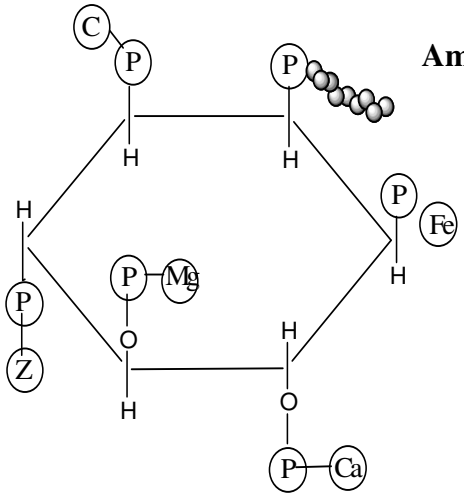
การย่อยอาหารเป็นกระบวนการเตรียมอาหารให้พร้อมสำหรับการดูดซึมของสิ่งมีชีวิต โดยอาหารจะถูกย่อยให้มีขนาดเล็กลงในท่อทางเดินอาหาร เพื่อดูดซึมผ่านเข้าทางเดินอาหารและเข้าสู่กระแสเลือด เพื่อนำไปใช้ในกระบวนการเมแทบอลิซึม (Lovell, 1989) กระบวนการเหล่านี้ต้องอาศัยเอนไซม์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา อวัยวะที่เกี่ยวข้องกับการย่อยและการดูดซึมอาหารของปลา ได้แก่ ปาก หลอดอาหาร กระเพาะ ลำไส้ ตับ ถุงน้ำดี และตับอ่อน (Smith, 1989) ปลาบางชนิดที่ไม่มีกระเพาะ มีการย่อยอาหารที่ปากและคอหอยได้ ดังเช่น สัตว์มีกระดูกสันหลังชั้นสูง (Smith, 1982) การย่อยฟอสฟอรัสเกิดขึ้นโดยฟอสเฟตอิออนจะถูกดูดซึมเข้าสู่ตัวปลาที่บริเวณลำไส้ โดยอาศัยกระบวนการเอคทีพทรานสปอร์ต (active transport) (Withers, 1992) จากการศึกษาการดูดซึมอนินทรีย์ฟอสเฟตในลำไส้ของปลาไน พบว่าการดูดซึมจะเกิดขึ้นบริเวณส่วนกลางของลำไส้มากกว่าบริเวณส่วนหน้าและส่วนท้าย (Nakamura, 1985)

2.1.3 แหล่งของฟอสฟอรัส

1) ฟอสฟอรัสจากวัตถุดิบพืช พบว่า ปลาสามารถใช้ฟอสฟอรัสจากพืช เช่น กากถั่วเหลือง ข้าวโพด หรือรำได้น้อยมาก เนื่องจากฟอสฟอรัสในวัตถุดิบจากพืชอยู่ในรูปของกรดไฟติก (phytic acid หรือ myo-inositol hexakis dihydrogen phosphate) มีโครงสร้างเป็นรูป หกเหลี่ยม โดยมีกรดฟอสฟอริค 6 กลุ่ม จับอยู่กับไมโออินโนซิทอล (myo-inositol) ด้วยพันธะเอสเทอร์ (ester bond) (Kornegay, 2001) ซึ่งมักรวมอยู่กับเกลือของแคลเซียม แมกนีเซียม โพแตสเซียม เรียกว่าไฟติน (phytin) (Dey and Harborne, 1990) ส่วนเกลือของกรดไฟติกที่ประกอบด้วยอินโนซิทอลกับฟอสเฟตจะเรียกว่าไฟเตท (phytate) (Uhlig, 1998) (ภาพที่ 1) ซึ่งฟอสฟอรัสในรูปเหล่านี้สัตว์กระเพาะเดี่ยว เช่น ปลาไม่สามารถย่อยและนำไปใช้ประโยชน์ได้



กรดไฟติก



ไฟเตท

ภาพที่ 1 โครงสร้างทางเคมีของกรดไฟติกและไฟเตท

ที่มา : Gabaudan (2003)

นอกจากนี้ไฟเตทยังมีผลต่อการใช้ประโยชน์ของสารอาหารอื่นๆ อีกด้วย ดังนี้

แร่ธาตุ

เนื่องจากโครงสร้างของไฟเตทประกอบด้วยกลุ่มฟอสเฟตจำนวนมาก ซึ่งมีคุณสมบัติเป็นคีเลท (chelate) ทำให้สามารถจับกับสารที่มีประจุบวก 2 เช่น แคลเซียม แมกนีเซียม เหล็ก และสังกะสี ได้ ทำให้เกิดเป็นเกลือที่ไม่ละลาย ปลาจึงไม่สามารถดูดซึมแร่ธาตุเหล่านี้ไปใช้ได้ (Ensminger *et al*., 1994; Vielma and Ruohone, 2002) จากการทดลองของ Gatlin และ Wilson (1983) พบว่า ปลากดอเมริกันที่กินอาหารที่มีฟอสฟอรัสอยู่ในรูปไฟเตทและมีแคลเซียมในปริมาณสูง ทำให้ไปขัดขวางการใช้ประโยชน์ของสังกะสีโดยแคลเซียมและฟอสฟอรัส ปลากดอเมริกันจึงมีความต้องการสังกะสีเพิ่มขึ้นจาก 20 มิลลิกรัมต่ออาหาร 1 กิโลกรัม ตามปกติเป็น 150 มิลลิกรัมต่ออาหาร 1 กิโลกรัม

โปรตีน

อนุภาคของไฟเตทสามารถจับกับโปรตีนได้ โดยที่สภาพความเป็นกรดด่างต่ำ โปรตีนซึ่งมีประจุบวกจะจับกับประจุลบของไฟเตท ทำให้เกิดเป็นสารประกอบเชิงซ้อนที่ละลายไม่ได้ แต่เมื่อ pH สูงขึ้น โปรตีนจะกลายเป็นประจุลบ มีแร่ธาตุที่มีประจุบวก เช่น แคลเซียม แมกนีเซียม หรือสังกะสี เป็นตัวเชื่อมประจุลบของโปรตีนและไฟเตทเข้าด้วยกัน ทำให้โปรตีนเกิดการเปลี่ยนแปลงรูปร่าง ส่งผลให้การละลาย การย่อยและการใช้ประโยชน์ได้ของโปรตีนลดลง (Kornegay and Yi, 1996 อ้างโดย บุญล้อม และสุชน, 2540) นอกจากนี้ยังพบว่าไฟเตทขัดขวางการ

ทำงานของเอ็นไซม์บางชนิด เช่น โปรติเอส (protease) เปบซิน (pepsin) และทริปซิน (trypsin) (Liener, 1994) ซึ่งการที่ปลานำโปรตีนและอนุพันธ์ของโปรตีนมาใช้ได้น้อยจะส่งผลต่อการเจริญเติบโตและประสิทธิการใช้อาหารของปลา (NRC, 1993)

แป้ง

Liener (1994) พบว่าไฟเตทมีผลทำให้การย่อยแป้งลดน้อยลง เนื่องจากไฟเตทไปขัดขวางการทำงานของเอ็นไซม์ alpha-amylase

2) ฟอสฟอรัสจากสัตว์

เป็นแหล่งฟอสฟอรัสที่ดีสำหรับปลา ซึ่งแหล่งฟอสฟอรัสในอาหารปลาส่วนใหญ่มาจากวัตถุดิบจากสัตว์ เช่น ปลาป่น กระดูกป่น เลือดป่น เนื้อสัตว์ป่น เนื้อสัตว์และกระดูกป่น เป็นต้น ปลาจะสามารถนำฟอสฟอรัสจากสัตว์ไปใช้ประโยชน์ได้ดีกว่าฟอสฟอรัสจากพืช เพราะฟอสฟอรัสในสัตว์มีปริมาณฟอสฟอรัสที่สามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้สูงกว่าในพืช โดยทั่วไปปลาสามารถย่อยฟอสฟอรัสในปลาป่นได้ประมาณ 60-80 เปอร์เซ็นต์ แต่ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับชนิดของปลาด้วย และฟอสฟอรัสในปลาป่นส่วนใหญ่อยู่ในรูปที่เรียกว่า insoluble hydroxyapatite ซึ่งมาจากเนื้อเยื่อส่วนแข็งได้แก่ กระดูก และเกล็ดของปลา

3) ฟอสฟอรัสในรูปสารอนินทรีย์

ส่วนมากจะมีคุณสมบัติแตกตัวได้ง่ายและอยู่ในรูปอิสระ จึงถูกดูดซึมผ่านผนังกระเพาะอาหารหรือลำไส้ได้ง่าย (วีรพงศ์, 2536) รูปแบบของ อนินทรีย์ฟอสเฟตที่ปลาสามารถนำไปใช้มี 3 รูปแบบ คือ โมโนฟอสเฟต (monophosphate) ไดฟอสเฟต (diphosphate) และไตรฟอสเฟต (triphosphate) (NRC, 1993) สำหรับการใช้ประโยชน์จากอนินทรีย์ฟอสเฟตขึ้นอยู่กับชนิดและปริมาณที่ผสมในลงอาหาร Eya และ Lovell (1997) พบว่า ปลากดอเมริกันสามารถดูดซึมโมโนโซเดียมฟอสเฟตได้ดีที่สุด คือ 88.6 เปอร์เซ็นต์ รองลงมา ได้แก่ โมโนแอมโมเนียมฟอสเฟต 85.4 เปอร์เซ็นต์ โมโนแคลเซียมฟอสเฟต 81.2 เปอร์เซ็นต์ ไดแคลเซียมฟอสเฟต 74.8 เปอร์เซ็นต์ และไตรแคลเซียมฟอสเฟตได้ 54.8 เปอร์เซ็นต์ Sakamoto และ Yone 1979 อ้างตาม เวียง, 2542 รายงานว่า ปลาเรนโบว์เทราท์ (rainbrow trout, *Oncorhynchus mykiss*) ใช้ประโยชน์จากเกลือฟอสเฟตได้ดีกว่าปลาไน และปลาทั้งสองชนิดใช้ประโยชน์จากโซเดียมหรือโพแทสเซียมฟอสเฟตได้ดีกว่าแคลเซียมฟอสเฟต มะลิและจูอะดี (2533) ศึกษาปริมาณและแหล่งของฟอสฟอรัสในอาหารปลากะพงขาว พบว่าปลากะพงขาวเจริญเติบโตดีที่สุดและมีประสิทธิภาพการใช้โปรตีนสูงสุดเมื่อเลี้ยงด้วยอาหารที่มีฟอสฟอรัสอยู่ 0.55-0.65 เปอร์เซ็นต์ และโมโนโซเดียมฟอสเฟตเป็นแหล่งของฟอสฟอรัสที่ดีที่สุด การเพิ่มโมโนโซเดียมฟอสเฟตในอาหาร 0.5-1 เปอร์เซ็นต์ ทำให้

อาหารมีฟอสฟอรัสอยู่ในระดับที่ปลาต้องการ แต่การเสริมด้วยอนินทรีย์ฟอสเฟตมีผลเสียคือ ส่งผลให้มีปริมาณฟอสฟอรัสถูกขับออกจากมูลมากขึ้น (Kim *et al*., 1998) นอกจากนี้ปัจจัยที่มีผลต่อการย่อยและดูดซึมฟอสฟอรัสประกอบด้วยปัจจัยดังต่อไปนี้

2.1.4 ชนิดของปลา

ปลาที่มีกระเพาะอาหาร เช่น ปลาดุก ปลากะพงขาว ปลาซัลมอน และปลาเรนโบว์เทราท์ มีความสามารถในการย่อยและดูดซึมฟอสฟอรัสได้ดีกว่าปลาที่ไม่มีกระเพาะอาหาร เช่น ปลาไน โดยจากการศึกษาของ Watanabe และคณะ (1988) พบว่า ปลาเรนโบว์เทราท์สามารถย่อยและดูดซึมไดแคลเซียมฟอสเฟต และไตรแคลเซียมฟอสเฟตได้ 71 และ 64 เปอร์เซ็นต์ ในขณะที่ปลาไนย่อยและดูดซึมมาใช้ประโยชน์ได้เพียง 46 และ 13 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ เนื่องจากปลาที่มีกระเพาะมีกรดเกลือสามารถย่อยฟอสฟอรัสให้แตกตัวออกมาได้ โดยเฉพาะไตรแคลเซียมฟอสเฟต ซึ่งจะละลายได้ดีในสารละลายที่เป็นกรดแก่เท่านั้น จึงทำให้ปลาเรนโบว์ เทร้าท์ดูดซึมนำไปใช้ประโยชน์ได้มาก แต่ปลาไนไม่มีกระเพาะอาหารจึงไม่มีกรดเกลือมาช่วยในการย่อยฟอสฟอรัส ปลาเรนโบว์เทราท์ที่ได้รับอาหารที่มีฟอสฟอรัสในรูปไดแคลเซียมฟอสเฟตหรือไตรแคลเซียมฟอสเฟต จึงมีอัตราการเจริญเติบโตใกล้เคียงกัน Eya และ Lovell (1997) รายงานว่า ปลากดอเมริกันสามารถดูดซึมโมโนโซเดียมฟอสเฟตได้ดีที่สุด คือ 88.6 เปอร์เซ็นต์ รองลงมาได้แก่ โมโนแอมโมเนียมฟอสเฟต 85.4 เปอร์เซ็นต์ โมโนแคลเซียมฟอสเฟต 81.2 เปอร์เซ็นต์ ไดแคลเซียมฟอสเฟต 74.8 เปอร์เซ็นต์ และ ไตรแคลเซียมฟอสเฟตได้ 54.8 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ

2.1.5 ปริมาณแคลเซียมในอาหาร

เนื่องจากแคลเซียมสามารถรวมตัวกับกรดไฟติก ในอาหารซึ่งทำให้ฟอสฟอรัสอยู่ในรูปสารประกอบที่ไม่ละลายน้ำ มีผลทำให้ย่อยและดูดซึมฟอสฟอรัสจากอาหารไปใช้ประโยชน์ได้น้อยลง Davis (1990) รายงานว่า เมื่อเสริมแคลเซียมในอาหารกุ้งมีผลทำให้ยับยั้งการนำฟอสฟอรัสไปใช้ประโยชน์

2.1.6 ความต้องการฟอสฟอรัสในปลา

ความต้องการฟอสฟอรัสในปลาขึ้นอยู่กับชนิดและขนาดของปลา โดยปลาเรนโบว์เทราท์มีความต้องการฟอสฟอรัสในอาหารเพื่อการเจริญเติบโตและสร้างกระดูกประมาณ 0.7 ถึง 0.8 เปอร์เซ็นต์ของอาหารทั้งหมด (Ogino and Takeda, 1978) ปลาแอตแลนติกแซลมอน (Atlantic salmon, *Salmo salar*) ที่กินอาหารที่มีกากถั่วเหลืองที่เอาเปลือกออก (dehulled soybean meal) เป็นแหล่งโปรตีนต้องการฟอสฟอรัสประมาณ 0.6 เปอร์เซ็นต์ Watanabe และคณะ (1980b) รายงานว่าปลาชัม แซลมอน (chum salmon, *Oncorhynchus hetai*) มีความต้องการฟอสฟอรัส 0.5 ถึง 0.6 เปอร์เซ็นต์ของอาหาร จากการศึกษาของ Andrews และคณะ (1973) พบว่า ปลากดอเมริกัน มี

ความต้องการฟอสฟอรัส 0.8 เปอร์เซ็นต์ ในขณะที่ Lovell (1978) และ Wilson และคณะ (1982) รายงานว่า ปลากดอเมริกันต้องการฟอสฟอรัสที่ใช้ประโยชน์ได้ 0.4 เปอร์เซ็นต์ ส่วนปลาไหลญี่ปุ่น (Japanese eel, *Anguilla japonica*) ต้องการในอาหารฟอสฟอรัสประมาณ 0.45 เปอร์เซ็นต์ และต้องการฟอสฟอรัสที่ใช้ประโยชน์ได้ 0.3 เปอร์เซ็นต์ (Roy and Lall, 2003) สำหรับปลานิล (blue tilapia, *O. aureus*) ต้องการฟอสฟอรัสในระดับ 0.50 เปอร์เซ็นต์ *O. niloticus* 0.46 เปอร์เซ็นต์ (Haylor *et al*., 1988) ปลาเรดดรัม (red drum, *Sciarnops ocellatus*) 0.85 เปอร์เซ็นต์ (Davis and Robinson, 1987) ในปลาไน 0.6 ถึง 0.7 เปอร์เซ็นต์ (Ogino and Takeda, 1978) Phromkunthong และ Udom (2008) รายงานว่าปลานิลแดงแปลงเพศ (*Oreochromis niloticus* (Linnaeus) × *Oreochromis mossambicus* (Peters)) การเสริมฟอสฟอรัสในอาหารที่ระดับ 1.09% มีฟอสฟอรัสที่ใช้ประโยชน์ได้ 0.56% เป็นระดับที่ทำให้ปลานิลแดงแปลงเพศดำรงชีวิตได้เป็นปกติ ส่วนระดับฟอสฟอรัสในอาหาร 1.19 % มีฟอสฟอรัสที่ใช้ประโยชน์ได้ 0.66% เป็นระดับที่เหมาะสมที่สุด ทำให้ปลามีการเจริญเติบโต ประสิทธิภาพการใช้อาหาร (อัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อ ประสิทธิภาพการใช้โปรตีน) ประสิทธิภาพการย่อยอาหารดีที่สุด

2.1.7 ผลกระทบจากฟอสฟอรัสในอาหารปลาต่อสภาพแวดล้อม

อุตสาหกรรมการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำได้รับการยอมรับว่าเป็นส่วนของการผลิตอาหารที่เติบโตเร็วที่สุดในโลก (NACA/FAO, 2000) ผลกระทบจากการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำต่อสิ่งแวดล้อมนั้นเป็นที่ปรากฏชัดเจน มีข้อมูลที่สนับสนุนความเชื่อที่ว่าระดับของความเสียหายต่อสิ่งแวดล้อมจะแสดงให้เห็นได้โดยผ่านระบบนิเวศทางน้ำ ซึ่งส่วนที่มากที่สุดก็คือของเสียจากกระบวนการผลิตสัตว์น้ำ การที่ประชาคมโลกให้การยอมรับถึงผลกระทบด้านลบต่อสิ่งแวดล้อมจากหลายวิธีการในกระบวนการผลิตสัตว์น้ำ และมีการให้ความสำคัญในส่วนของการดูแลรักษาระบบนิเวศและการจัดการทรัพยากรธรรมชาติเพื่อความยั่งยืนในอุตสาหกรรมการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ ของเสียจากระบบการเพาะเลี้ยงจำพวกสารอินทรีย์ และแร่ธาตุต่างๆ เช่น ไนโตรเจน และฟอสฟอรัส เป็นต้น

ฟอสฟอรัสจัดเป็นธาตุอาหารที่สำคัญที่เป็นส่วนที่ถูกขับออกมาจากระบบการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ เนื่องจากฟอสฟอรัสเป็นธาตุอาหารที่มีบทบาทสำคัญต่อการเจริญเติบโตของพืชและสาหร่ายชนิดต่างๆเป็นจำนวนมาก โดยปกติฟอสฟอรัสในวัตถุดิบอาหารสัตว์ปลาจะอยู่ในรูปที่ไม่สามารถย่อยและดูดซึมไปใช้ได้ จึงทำให้มีฟอสฟอรัสตกค้างอยู่ในมูลปลาที่ถูกขับออกมา โดยจะมีทั้งที่สามารถละลายน้ำได้และไม่สามารถละลายน้ำได้ ซึ่งจะมีผลทำให้เกิดการเพิ่มของฟอสฟอรัสในแหล่งน้ำทั้งในตะกอนและในมวลน้ำ ซึ่งความต้องการฟอสฟอรัสโดยทั่วไปจะแตกต่างกันตามชนิดของปลา (Hardy and Galtin, 2002) โดยจะอยู่ระหว่าง 0.3-0.9 เปอร์เซ็นต์ ของอาหาร ซึ่งวัตถุดิบอาหารที่มีฟอสฟอรัสจะถูกย่อยสลายได้มากน้อยแตกต่างกันตามชนิดของวัตถุดิบ

(ตารางที่ 1) นอกจากนี้ในปลาชนิดเดียวกันแต่หากวัตถุดิบอาหารแตกต่างกัน ค่าสัมประสิทธิ์การย่อยฟอสฟอรัส ก็จะมีค่าที่แตกต่างกันไปตามชนิดของวัตถุดิบอาหารด้วย

ตารางที่ 1 ปริมาณฟอสฟอรัสในวัตถุดิบและค่าสัมประสิทธิ์การย่อยฟอสฟอรัสในปลาเรนโบว์เทร้าท์

วัตถุดิบอาหาร	ฟอสฟอรัสทั้งหมด (%)	สัมประสิทธิ์การย่อยฟอสฟอรัส (%)
ปลาเฮอริงป่น (Herring meal)	2.2	45-52
ปลาป่น (Menhaden meal)	3.5	36
โปรตีนจากสัตว์ปีก (Poultry by product meal)	2.2	48-62
เนื้อและกระดูกสัตว์ป่น (Meat and Bone meal)	5.6	27
คอร์นกลูเต้น (Corn Gluten)	0.5	8.50

ที่มา : Hardy และ Gatlin (2002)

ฟอสฟอรัสที่ถูกขับออกจากตัวปลาทั้งที่อยู่ในรูปของฟอสฟอรัสที่ปลาไม่สามารถใช้ประโยชน์ได้ (unvailable phosphorus) และฟอสฟอรัสที่ผ่านการย่อยและใช้ประโยชน์แล้วในมูลปลา (phosphorus in feces) จะมีผลกระทบต่อสภาพแวดล้อม โดยมีผลต่อคุณภาพน้ำและปริมาณสารอาหารในน้ำ ซึ่งหากมีปริมาณฟอสฟอรัสในระดับที่สูงเกินไป ก็จะส่งผลให้เกิดการแพร่ขยายของแพลงก์ตอนและพืชน้ำอย่างรวดเร็ว จนส่งผลกระทบต่อคุณภาพน้ำและสิ่งมีชีวิตต่างๆ ที่อาศัยอยู่ในบริเวณที่มีการแพร่กระจายของแพลงก์ตอนและพืชน้ำอย่างรวดเร็วดังกล่าว ซึ่งเรียกปรากฏการณ์นี้ว่า ปรากฏการณ์ยูโทรฟิเคชัน (eutrophication) ซึ่งเป็นสาเหตุของปรากฏการณ์น้ำเปลี่ยนสี หรือที่เรียกกันว่าขี้ปลาวาฬ (red tide) โดยปรากฏการณ์นี้มีผลกระทบในทางลบต่อสัตว์น้ำที่อาศัยอยู่ในบริเวณนั้นๆ โดยแพลงก์ตอนและพืชน้ำจะไปปิดกั้นการแลกเปลี่ยนก๊าซระหว่างอากาศกับน้ำ ทำให้ในน้ำมีออกซิเจนต่ำ ส่งผลให้สัตว์น้ำไม่สามารถดำรงชีวิตอยู่ได้ และยังปิดกั้นแสงทำให้น้ำมีอุณหภูมิต่ำอีกด้วย

2.2 ปลานิล

2.2.1 ปลานิลแดงแปลงเพศ

ปลานิลเป็นปลาที่เจริญเติบโตเร็ว แข็งแรง และอดทนต่อการเปลี่ยนแปลงของสภาพแวดล้อมได้ดี สามารถทนอยู่ได้ในช่วงการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิที่กว้างมาก ตั้งแต่ 11-42 องศาเซลเซียส ทนต่อความเป็นกรด ด่างได้ดีในช่วง 6.5-8.3 และทนต่อความเค็มของน้ำสูงถึง 20 พีพีที (ppt) ได้อย่างปลอดภัย ชอบอาศัยอยู่รวมกันเป็นฝูงตามแม่น้ำ ลำคลอง หนองบึง ทะเลสาบ (กรมประมง, 2541) ปลาในตระกูลปลานิลเป็นปลาที่กินอาหารได้ทุกชนิด จัดเป็นปลาที่กินทั้งพืชและสัตว์ (omnivorous) ชอบหากินในเวลากลางวันและหยุดหากินในเวลากลางคืน แต่การย่อยอาหารยังคงดำเนินการไปอย่างต่อเนื่องและช้าๆ จะย่อยเสร็จสมบูรณ์ในเวลา 18-24 ชั่วโมง ปลานิลมีทางเดินอาหาร 5-7เท่าของลำตัว แต่ไม่มีกระเพาะแท้เหมือนปลากินเนื้อทั่วๆ ไป แต่มีเนื้อเยื่อที่มีโครงสร้างคล้ายกระเพาะที่สามารถหลั่งน้ำย่อย เพื่อลดความเป็นกรดเป็นด่างระหว่างการย่อยอาหารได้ (วีรพงศ์, 2536)

จากการศึกษาประวัติความเป็นมาของปลาในตระกูลปลานิลที่เลี้ยงอยู่ในประเทศไทยกับการศึกษาถึงลักษณะภายนอกของปลานิลสีแดงสายพันธุ์ไทยในปัจจุบัน และจากการตรวจสอบโดยวิธีอีเลคโตรโฟรีซีส (electrophoresis)โดยมหาวิทยาลัยสเตอร์ลิงประเทศอังกฤษและมหาวิทยาลัยฟิลิปปินส์ประเทศฟิลิปปินส์ สรุปได้ว่าปลานิลสีแดงสายพันธุ์ไทยในปัจจุบัน เป็นลูกผสมระหว่างปลานิล(*Oreochromis niloticus*) และปลาหมอเทศ(*Oreochromis mossambicus*) โดยมีความถี่ของยีนส์ปลานิล 78 เปอร์เซ็นต์ และปลาหมอเทศ 22 เปอร์เซ็นต์ จะเห็นได้ว่าปลานิลสีแดงสายพันธุ์ไทยมีลักษณะของปลานิลและปลาหมอเทศรวมกัน กล่าวคือ ปากเฉียงขึ้นคล้ายปลาหมอเทศและลักษณะลำตัวคล้ายปลานิล (พรรณศรี, 2531) จำนวนก้านครีบแข็งและก้านครีบอ่อน และสัดส่วนบนลำตัวของปลาทั้งสองชนิดมีความแตกต่างกันเพียงเล็กน้อย ปลานิลสีแดงมีลำตัวสีแดงส้ม แดงส้ม ชมพู หรือขาว บางตัวมีเกล็ดสีแดงและสีเงินเป็นหย่อมๆ ปลานิลสีแดงเป็นปลาที่มีนิสัยก้าวร้าว เป็นทั้งปลากินทั้งพืชและสัตว์ เช่นเดียวกับปลานิลธรรมดา แต่ค่อนข้างจะชอบกินสัตว์มากกว่า คือ ปลานิลสีแดงจะกินปลาอื่นที่มีขนาดเล็กกว่า พ่อแม่ปลาบางครั้งก็จะกินลูกปลา ซึ่งพฤติกรรมเช่นนี้ไม่ปรากฏในปลานิลธรรมดา มีการผสมพันธุ์วางไข่เหมือนกับปลานิลธรรมดา ตัวเมียจะเริ่มวางไข่เมื่อมีความยาวเฉลี่ย 6.5 เซนติเมตร น้ำหนักเฉลี่ย 200-250 กรัม จะให้ลูกรุ่นละ 500-1,000 ตัว (มานพ และคณะ, 2536; พรรณศรี, 2531)

เนื่องจากปลานิลเป็นปลาที่สามารถวางไข่ได้ตั้งแต่อายุ 2 เดือนเป็นต้นไป ทำให้เพศเมียเจริญเติบโตช้าเพราะต้องสูญเสียพลังงานในการสร้างไข่และแม่ปลายังต้องอนุบาลลูกปลาโดยการอมไข่ไว้ในปากเป็นเวลาประมาณ 10 วัน แม่ปลาไม่สามารถกินอาหารได้ ทำให้น้ำหนัก

ลดและเป็นการเพิ่มอัตราความหนาแน่นของประชากรปลาในบ่อเลี้ยง แนวทางหนึ่งที่จะช่วยในการเพิ่มผลผลิตการเลี้ยงเพื่อให้ได้ปลาที่มีขนาดใหญ่และใกล้เคียงกันเมื่อจับขาย คือ การเลี้ยงปลานิลเพศผู้ทั้งหมด ซึ่งสามารถดำเนินการได้หลายวิธี

1) การคัดลูกปลาเฉพาะตัวผู้โดยการดูลักษณะเพศภายนอก แต่ไม่เป็นที่นิยม เนื่องจากขนาดปลาที่สามารถแยกเพศได้ต้องมีขนาดความยาวตั้งแต่ 12 เซนติเมตรและมีน้ำหนัก 50 กรัมขึ้นไป (กรมประมง, 2541)

2) โดยการให้ปลากินฮอร์โมน 17 α - เมทธิลเทสโทสเตอร์โรน (17 α - methyltestosterone หรือ 17 - MT) ความเข้มข้น 40-60 มิลลิกรัมต่ออาหาร 1 กิโลกรัม เป็นระยะเวลา 28-30 วัน แต่การผลิตลูกปลาโดยวิธีการนี้ค่อนข้างยุ่งยาก ต้องมีความรู้ความชำนาญเพียงพอ อีกทั้งอาจมีอันตรายต่อผู้ผลิตลูกพันธุ์ปลา นอกจากนั้นฮอร์โมน 17 α - เมทธิลเทสโทสเตอร์โรน ต้องนำเข้ามาจากต่างประเทศ มีราคาแพง และเสื่อมคุณภาพได้ง่ายโดยเฉพาะภูมิอากาศร้อนอย่างประเทศไทย ทำให้ต้นทุนในการผลิตปลาเพศผู้โดยวิธีนี้ค่อนข้างสูง และประสิทธิภาพในการผลิตก็ไม่สม่ำเสมอ หากลูกปลากินอาหารผสมฮอร์โมนไม่ครบ ก็จะให้ผลผลิตเพศผู้ไม่ได้ 100 เปอร์เซ็นต์ อย่างไรก็ตามแม้ว่าฮอร์โมนเหล่านี้ได้รับการยืนยันว่า ไม่มีผลตกค้างในเนื้อปลาที่มีขนาดจับขายได้ แต่ก็มีผู้บริโภคบางส่วนที่ไม่ยอมบริโภคปลานิลที่ถูกเปลี่ยนเพศด้วยฮอร์โมนเหล่านี้ (นวลมณี และพุทธรัตน์, 2538)

3) การผลิตปลานิลเพศผู้ทางอ้อม (indirect monosex production) โดยผลิตพ่อพันธุ์ปลานิลซุปเปอร์เมล (supermale หรือ YY-male) ซึ่งมีโครโมโซมเป็น YY แล้วนำไปผสมกับแม่พันธุ์ปลานิลปกติ จะได้ลูกที่เป็นเพศผู้ทั้งหมด เนื่องจากปลานิลเพศผู้เหล่านี้เป็นปลาเพศผู้โดยพันธุกรรม (genetically male tilapia) และมีโครโมโซมเพศเป็น XY จึงนิยมเรียกปลาเพศผู้เหล่านี้ว่า ปลานิลเพศผู้ GMT จากการทดลองเลี้ยงปลานิลเพศผู้ GMT อายุ 1 เดือน ในบ่อดินนาน 8 เดือน พบว่าปลานิลเพศผู้ GMT เจริญเติบโตได้เร็วกว่าการเลี้ยงปลานิลรวมเพศ โดยการเลี้ยงปลานิลรวมเพศให้ผลผลิตรวมต่อบ่อ 217.43 กิโลกรัม ส่วนการเลี้ยงปลานิลเพศผู้ GMT ให้ผลผลิตรวมต่อบ่อ 303.02 กิโลกรัม ซึ่งให้ผลผลิตสูงกว่าการเลี้ยงปลานิลรวมเพศ 28.28 เปอร์เซ็นต์ (นวลมณี และพุทธรัตน์, 2538)

4) การผสมข้ามสายพันธุ์ (hybridization) การใช้วิธีการผสมข้ามสายพันธุ์ ทั้งข้ามสกุล (genus) และ ชนิด (species) ในปลาบางชนิด สามารถเกิดลูกทั้งหมดเป็นเพศเดียวกันได้ สำหรับปลานิลการผสมข้ามสายพันธุ์ระหว่าง *O. niloticus* × *O. aureus* จะได้ลูกที่มีเพศผู้ 100 เปอร์เซ็นต์

ปลานิลเป็นปลาที่เลี้ยงง่าย โตเร็ว มีความทนทาน และมีผู้นิยมบริโภคกันมาก โดยเฉพาะปลานิลสีแดงมีผู้ชอบมากกว่าปลานิล 85.71 เปอร์เซ็นต์ เพราะปลานิลสีแดงมีเนื้อนุ่ม หวานมันกว่าและมีเนื้อละเอียดมากกว่าปลานิล และปลานิลสีแดงมีไขมันสูงกว่าปลานิล ปลานิลสีแดงมีไขมัน 1.39 เปอร์เซ็นต์ ในขณะที่ปลานิลมีไขมันเพียง 0.80 เปอร์เซ็นต์ (พรรณศรี, 2531) จากการสำรวจในปี 2540 การบริโภคปลาของคนไทยเฉลี่ย 27 กิโลกรัมต่อคนต่อปี รองลงมาได้แก่ การบริโภคเนื้อวัว-ควาย ไก่ และหมู เฉลี่ยต่อคนต่อปีเท่ากับ 11.5, 8.5 และ 2.1 กิโลกรัม ตามลำดับ (กรมประมง, 2545) และในช่วงปี 2541-2542 พบว่าคนไทยบริโภคปลาโดยเฉลี่ยต่อคนเพิ่มขึ้นเป็นปีละ 28.8 กิโลกรัมต่อคน ชนิดปลาสายพันธุ์ที่มีการบริโภคสูงสุดได้แก่ ปลานิล เฉลี่ย 8.52 กิโลกรัมต่อคนต่อปี รองลงมาได้แก่ ปลาดุกบิ๊กอุย และปลาไน บริโภคเฉลี่ยต่อคนต่อปีเท่ากับ 3.0 และ 0.48 กิโลกรัม ตามลำดับ (Piumsombun, 2003) ซึ่ง Lovell (1998) รายงานว่าปลามีเปอร์เซ็นต์ของเนื้อสูงกว่าเนื้อวัว เนื้อหมู หรือในสัตว์ปีก เช่น ปลา channel catfish มีเนื้อมากกว่า 80 เปอร์เซ็นต์ และ 13.7 เปอร์เซ็นต์ เป็นกระดูก เอ็น และไขมันที่เสีย (Lovell, 1993) ในขณะเดียวกันจากการศึกษาดังกล่าวได้ทำการสำรวจความนิยมของผู้บริโภค (ยกเว้นภาคใต้) ปลา 4 ชนิด ได้แก่ ปลานิล ปลาตะเพียน ปลาดุกบิ๊กอุย ปลาช่อน และปลาทู ผลปรากฏว่าผู้บริโภคนิยมบริโภคปลานิลมากที่สุดคิดเป็นร้อยละ 23.77 รองลงมาได้แก่ ปลาช่อน ร้อยละ 20.19 ที่เหลือนิยมบริโภคปลาดุกบิ๊กอุย ปลาตะเพียน และปลาทู คิดเป็นร้อยละ 11.69, 11.21 และ 9.95 ตามลำดับ เหตุผลที่นิยมบริโภคดังกล่าวรสชาติดีและหาซื้อง่าย (กรมประมง, 2545) โดยผลผลิตสัตว์น้ำจืดของไทยในปี 2542 รวมทั้งหมด 252,612 ตัน ปลาที่ได้รับความนิยมมีประมาณ 6 ชนิด ที่สำคัญ ได้แก่ ปลานิล ปลาไน ปลาดุกบิ๊กอุย ปลาจีน ปลายี่สกเทศ และนวลจันทร์เทศ ซึ่งมีผลผลิตทั้งหมดประมาณ 158,030 ตัน หรือคิดเป็นร้อยละ 63 ของผลผลิตทั้งหมด ชนิดปลาที่มีผลผลิตสูงสุดได้แก่ ปลานิล 76,461 ตัน รองลงมาได้แก่ ปลาดุกบิ๊กอุย 72,289 ตัน ผลผลิตส่วนใหญ่ใช้เพื่อการบริโภคภายในประเทศ บางชนิดพัฒนาการเลี้ยงได้ในเชิงพาณิชย์ยึดเป็นอาชีพหลัก อย่างไรก็ตาม ในปัจจุบันมีการปรับวิธีการเลี้ยงและปรับปรุงสายพันธุ์จนสามารถผลิตปลาคุณภาพ เพื่อการส่งออก เช่น ปลานิล เป็นต้น (กรมประมง, 2545) และในปี พ.ศ. 2546 ผลผลิตปลานิลเพิ่มขึ้นเป็น 106,000 ตัน (กรมประมง, 2546ก) จากสถิติการส่งออกปลานิล พบว่า ในปี 2545 มีปริมาณ 3,245.5 ตัน คิดเป็นมูลค่า 181,274,507 บาท และในปี 2546 (ม.ค.-ก.ย.) มีปริมาณ 3,399.5 ตัน คิดเป็นมูลค่า 205,226,957 บาท (กรมประมง, 2546ข) ดังนั้นการผลิตและพัฒนาการเพาะเลี้ยง อาหารสัตว์น้ำเป็นปัจจัยที่เข้ามามีบทบาทสำคัญ เพราะสารอาหารที่เหมาะสมและเพียงพอกับความต้องการของสัตว์น้ำ ซึ่งจะช่วยให้สัตว์น้ำมีการเจริญเติบโตที่รวดเร็ว เพิ่มปริมาณสัตว์น้ำได้มากขึ้น และช่วยลดต้นทุนในการผลิต

2.2.2 ความต้องการสารอาหารของปลานิล

ปลาต้องการโปรตีนจากสารอาหารเพื่อการเจริญเติบโตและสร้างเนื้อเยื่อรวมทั้งเป็นแหล่งให้พลังงานที่สำคัญด้วย นอกจากนี้ก็ยังมีสารอาหารพวก ไขมัน คาร์โบไฮเดรต ตลอดจนพวกวิตามินและแร่ธาตุ

ความต้องการโปรตีนของปลานิลพบว่าปลาจะนำเอาโปรตีนไปใช้เพื่อการเจริญเติบโตมากกว่าการดำรงชีวิตหรือการสืบพันธุ์ เนื่องจากสามารถนำไปใช้ได้โดยตรง (วีรพงศ์, 2536) อย่างไรก็ตามกรดอะมิโนซึ่งเป็นองค์ประกอบที่สำคัญของโปรตีนมีผลต่อการเจริญเติบโตมากที่สุด (Kevin, 1997) จากการทดลองของ Santiago และ Lovell (1988) กล่าวว่าปลานิล *Oreochromis niloticus* ต้องการกรดอะมิโนอาร์จีนีน, ไอโซลูซีน, ไลซีน, ฟีนิลอะลานีน, วาลีน, ฮีสติดีน, ลูซีน, เมทไทโอนีน, ทริฟโตเฟน, ทรีโอนีน ในระดับ 1.18, 0.87, 1.34, 1.05, 0.78, 0.48, 0.95, 0.75, 0.28 และ 1.05 เปอร์เซ็นต์/กก.น้ำหนักอาหารแห้ง ตามลำดับ

ปลานิลต้องการโปรตีนจากสารอาหารเพื่อการเจริญเติบโตและสร้างเนื้อเยื่อ ในตัวปลานิลจึงมีโปรตีนเป็นองค์ประกอบถึง 60 เปอร์เซ็นต์ (น้ำหนักแห้ง) (วิมล และคณะ, 2536) ความต้องการโปรตีนของปลามีมากน้อยเพียงใดขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายประการ ได้แก่ ขนาดและอายุของปลา คุณภาพของโปรตีนในอาหาร และระดับพลังงานในอาหาร เวียง (2542) กล่าวว่า ปลาขนาดเล็กมีความต้องการโปรตีนในอาหารสูงกว่าปลาขนาดใหญ่เนื่องจากอยู่ในวัยที่กำลังเจริญเติบโต วิมล และคณะ (2536) กล่าวว่า ปลานิลขนาด 1-10 กรัม ต้องการโปรตีนในอาหารอย่างน้อย 30-36 เปอร์เซ็นต์เพื่อการเจริญเติบโต ส่วน Santiago และ Lovell (1988) รายงานว่าในปลานิลวัยอ่อนมีความต้องการโปรตีนที่ระดับ 35 เปอร์เซ็นต์ ก็เพียงพอกับความต้องการ

ความต้องการคาร์โบไฮเดรตของปลานิล ปลานิลสามารถใช้คาร์โบไฮเดรตเป็นแหล่งพลังงานได้ดี นอกจากนี้คาร์โบไฮเดรตยังเป็นแหล่งสำรองโปรตีนและไขมันที่ใช้สำหรับการเจริญเติบโตและทำหน้าที่อื่นๆ ปลานิลสามารถใช้วัตถุดิบอาหารที่มีคาร์โบไฮเดรตสูง เช่น รำข้าว ปลายข้าว และมันสำปะหลัง เป็นแหล่งให้พลังงานที่ดีโดยผสมในอาหารได้ 30-60 เปอร์เซ็นต์ จากรายงานการทดลองพบว่า การทดแทนโปรตีนด้วยคาร์โบไฮเดรตในอาหารปลานิล ปลาสามารถใช้ประโยชน์จากอาหารในการเจริญเติบโตได้อย่างมีประสิทธิภาพ รายงานของกรมประมง (2541) พบว่าปลานิลขนาด 10-100 กรัม ต้องการโปรตีนในอาหาร 28-30 เปอร์เซ็นต์ แต่เมื่อเพิ่มปริมาณคาร์โบไฮเดรตและลดปริมาณโปรตีนในอาหารลง ปลาก็สามารถเจริญเติบโตได้ดี Shiau และ Peng (1993) ทดลองใช้กลูโคส แป้ง และเด็กซ์ตริน (dextrin) ซึ่งเป็นแหล่งคาร์โบไฮเดรตในอาหารสำหรับเลี้ยงปลานิลลูกผสมวัยรุ่น พบว่าสามารถลดระดับโปรตีนในอาหารลงจาก 28 เปอร์เซ็นต์เป็น 24 เปอร์เซ็นต์ โดยเพิ่มแป้งหรือเด็กซ์ตรินจาก 37 เป็น 41 เปอร์เซ็นต์ ได้โดยไม่มีผลต่ออัตรา

การเจริญเติบโต ประสิทธิภาพการใช้อาหาร และคุณภาพซากของปลา Kevin (1997) กล่าวว่า อาหารที่ใช้เลี้ยงปลานิลขนาดต่ำกว่า 1 กรัม ไม่ควรมีคาร์โบไฮเดรตเป็นส่วนประกอบอยู่เกิน 25 เปอร์เซ็นต์ แต่ในปลาที่มีขนาด 1 กรัม ขึ้นไป สามารถมีคาร์โบไฮเดรตในอาหารได้ประมาณ 20-30 เปอร์เซ็นต์

ความต้องการไขมันในปลานิล ปลานิลเป็นปลาที่ต้องการกรดไขมันในกลุ่มโอเมก้า-6 Kanazawa และคณะ (1980) พบว่าปลานิล *Tilapia zillii* ต้องการกรดไขมันในอาหารที่มีกรดลิโนลิอิค (linoleic) (18:2n-6) 1 เปอร์เซ็นต์ หรือกรดอะราชิโดนิก (arachidonic) (20:4n-6) 1 เปอร์เซ็นต์ ทำให้เจริญเติบโตดีกว่าเมื่อปลาได้รับอาหารที่มีกรดลิโนลินิค (linolenic) (18:3n-3) และ 20:5n-3 (EPA : eicosapentaenoic) ส่วน Takeuchi และคณะ (1983b) รายงานว่าปลานิล *O. niloticus* ต้องการกรดลิโนลิอิก 0.5 เปอร์เซ็นต์ สำหรับความต้องการกรดไขมันในกลุ่มโอเมก้า-3 ปลานิลต้องการน้อยหรือไม่มีเลย เช่น การศึกษาของ Viola และคณะ (1988) ที่พบว่าการให้อาหารที่มีน้ำมันปลาเป็นองค์ประกอบของกรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัว (n-3) สูงไม่มีผลต่อการเจริญเติบโตของปลานิลเลย นอกจากนั้น Takeuchi และคณะ (1983a) ได้ทดลองใช้ไขมันหลายๆ ชนิดต่อการเจริญเติบโตของปลานิล *O. niloticus* และพบว่าน้ำมันตับปลาพอลล็อก (pollock liver oil) ไม่มีผลต่อการเจริญเติบโตของปลานิล ส่วนแหล่งของไขมันที่ดีที่สุดที่ได้จากการทดลองคือ น้ำมันข้าวโพด และน้ำมันถั่วเหลือง เนื่องจากทั้งสองชนิดนี้มีกรดไขมันในกลุ่มลิโนลิอิคสูง El-Sayed (1998) ได้ทดลองใช้กากเนื้อเมล็ดในปาล์มน้ำมันเป็นวัตถุดิบจากพืช ที่มีกรดไขมันจำเป็นในกลุ่มของกรดลิโนเลอิคหรือโอเมก้า 6 ซึ่งจำเป็นต่อการเจริญเติบโตของสัตว์น้ำ โดยเฉพาะสัตว์น้ำจืด

วัตถุประสงค์ของโครงการวิจัย

เพื่อศึกษาการใช้ประโยชน์ของฟอสฟอรัส ในปลานิลแดงแปลงเพศที่ได้รับอาหารที่มีระดับปลาป่นต่ำในแง่ต่างๆดังนี้

1.) อัตราการเจริญเติบโต ประสิทธิภาพการใช้อาหาร อัตราการรอดตาย

2.) ศึกษาประสิทธิภาพการย่อยได้ ฟอสฟอรัสที่สะสมในตัวปลา และฟอสฟอรัสที่ขับทิ้งสู่สภาพแวดล้อม

3.) เปรียบเทียบต้นทุนค่าอาหารในแต่ละสูตรการทดลอง

ประโยชน์ที่ได้รับจากโครงการวิจัย

1. ทราบถึงการใช้ประโยชน์ของฟอสฟอรัส ในปลานิลแดงแปลงเพศที่ได้รับอาหารที่มีระดับปลาป่นต่ำ ต่อการเจริญเติบโต ประสิทธิภาพการใช้ฟอสฟอรัส และอัตราการรอดตาย

2. เป็นการลดมลภาวะจากสารอาหารที่ขับทิ้งสู่แหล่งน้ำ

วัสดุ อุปกรณ์ และวิธีการทดลอง

1. วัสดุ

1.1 ปลาทดลองในการทดลองที่ 1

ลูกปลานิลแดงแปลงเพศ น้ำหนักเฉลี่ย 5 กรัม จำนวน 1,000 ตัว จากฟาร์มเอกชน ต.ลำปำ อ.เมือง จ.พัทลุง นำมาอนุบาลในถังไฟเบอร์กลาสกลม ขนาดความจุ 1 ลบ.ม.จนกระทั่งปลามีน้ำหนักเฉลี่ยประมาณ 8-10 กรัม

1.2 ปลาทดลองในการทดลองที่ 2

นำปลานิลแดงแปลงเพศที่มีน้ำหนักเฉลี่ยตัวละ 5 กรัม จำนวน 1,000 ตัว จากฟาร์มเอกชน ต.ลำปำ อ.เมือง จ.พัทลุง มาอนุบาลในถังไฟเบอร์กลาสกลม ขนาดความจุ 3 ลบ.ม. จนกระทั่งปลามีน้ำหนักเฉลี่ยตัวละประมาณ 100-120 กรัม

1.3 สารเคมี

1) สารเคมีสำหรับวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของร่างกายปลาทดลอง และวิเคราะห์องค์ประกอบทางโภชนาการอาหารทดลอง

2) สารเคมีสำหรับวิเคราะห์ฟอสฟอรัสของร่างกายปลา กระดูกปลา มูลปลาและอาหารทดลอง

3) สารเคมีสำหรับวิเคราะห์องค์ประกอบเลือดของปลาทดลอง

4) สารเคมีสำหรับวิเคราะห์โครมิคออกไซด์ในมูลปลาและอาหารทดลอง

5) สารเคมีสำหรับสลบปลาคือ น้ำมันกานพลูความเข้มข้น 50 ppm

1.4 อาหารสำหรับอนุบาลลูกปลาก่อนเริ่มต้นทดลอง

อาหารสำหรับอนุบาลลูกปลานิลแดงแปลงเพศก่อนเริ่มการทดลอง ใช้อาหารเม็ดสำเร็จรูปยี่ห้อไฮ-เกรด ของบริษัทเอส ดับบลิว ที เบอร์ 9961 ซึ่งมีคุณค่าทางโภชนาการ คือ ความชื้น 12 เปอร์เซ็นต์ โปรตีน 40 เปอร์เซ็นต์ ไขมัน 6 เปอร์เซ็นต์ และเยื่อใย 5 เปอร์เซ็นต์

2. อุปกรณ์

2.1 อุปกรณ์ที่ใช้ในการเลี้ยงปลาทดลอง

1) ถังไฟเบอร์กลาสกลม ขนาดความจุ 1 ลูกบาศก์เมตร

2) ตู้กระจกทดลองขนาด 100 x 50 x 47 เซนติเมตร ความจุน้ำ 235 ลิตร ปิดด้านข้างและด้านหลังตู้ด้วยแผ่นพลาสติกสีทึบทั้ง 3 ด้าน เพื่อป้องกันการถูกรบกวนจากภายนอก

3) เครื่องปั๊มน้ำ

4) อุปกรณ์ให้อากาศ ประกอบด้วยเครื่องให้อากาศ สายยาง หัวทราย

5) อุปกรณ์เปลี่ยนถ่ายน้ำได้แก่ สายยาง เครื่องปั๊มน้ำชนิดจุ่ม

6) อุปกรณ์ขนย้ายปลา ได้แก่ สวิงช้อนปลา ขันพลาสติก ถังพลาสติก

2.2 อุปกรณ์เตรียมอาหารทดลอง

1) เครื่องมือเตรียมอาหารทดลอง ของ Hobart Model A 200 T ประกอบด้วย ชุดเครื่องผสมอาหารแบบมีใบพัด ชุดเครื่องอัดเม็ดอาหาร

2) อุปกรณ์ชั่งตวงวัสดุอาหาร ได้แก่ เครื่องชั่งไฟฟ้าทศนิยม 2 ตำแหน่ง ของ Sartorius รุ่น Basic เครื่องชั่งไฟฟ้าทศนิยม 4 ตำแหน่ง ของ Sartorius รุ่น Research กระบอกตวง บีกเกอร์ ถาดเตรียมอาหาร และโกร่งบด

3) ตู้เย็น อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส ใช้เพื่อเก็บอาหารทดลองระหว่างรอนำมาใช้

2.3 อุปกรณ์วิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของอาหารทดลองและตัวปลา

1) อุปกรณ์วิเคราะห์ความชื้น ได้แก่ ขวดชั่ง (bottle weight) ตู้อบ (hot air oven) ของ Memmert โถดูดความชื้น (desiccator) เครื่องชั่งไฟฟ้า 4 ตำแหน่ง

2) อุปกรณ์วิเคราะห์โปรตีน ได้แก่ เครื่องย่อย (digestion apparatus) ของ Gerhardt รุ่น Kjeldatherm เครื่องกลั่น (distillation apparatus) ของ Gerhardt รุ่น Vapodest I หลอดย่อยโปรตีน (digestion tube) กระบอกตวง บีกเกอร์ บิวเรต และขวดรูปชมพู่ เครื่องชั่งไฟฟ้า 4 ตำแหน่ง

3) อุปกรณ์วิเคราะห์เถ้า ได้แก่ ถ้วยกระเบื้องเคลือบ (crucible) เตาเผา (muffle furnace) ของ Gallenkamp โถดูดความชื้น เครื่องชั่งไฟฟ้า 4 ตำแหน่ง

4) อุปกรณ์วิเคราะห์ไขมัน ได้แก่ ชุดเครื่องมือวิเคราะห์ไขมัน รุ่น Soxtec System HT6 ไส้กรองสาร ถ้วยสกัดสาร ตู้อบ โถดูดความชื้น เครื่องชั่งไฟฟ้า 4 ตำแหน่ง

5) อุปกรณ์วิเคราะห์เยื่อใย ได้แก่ ชุดเครื่องมือวิเคราะห์เยื่อใย รุ่น Fibertec System ถ้วยแก้ว (glass crucible) เบอร์ 1 ตู้อบ เตาเผา โถดูดความชื้น เครื่องชั่งไฟฟ้า 4 ตำแหน่ง

2.4 อุปกรณ์วิเคราะห์อัลคาไลน์ฟอสฟาเตสและฟอสฟอรัสในซีรัม

1) อุปกรณ์เก็บเลือดปลา ได้แก่ เข็มขนาด 26 g และหลอดฉีดยา ขนาด 1 มิลลิลิตรและหลอดไมโครทิวบ์

2) อุปกรณ์แยกพลาสมา ได้แก่ ไมโครปิเปต เครื่องหมุนเหวี่ยง (centrifuge) ของ Beckman รุ่น Avanti™

2.5 อุปกรณ์วิเคราะห์โครมิคออกไซด์ในอาหารทดลองและมูลปลาทดลอง

1) อุปกรณ์เก็บมูลปลา ประกอบด้วย สายยางเส้นผ่าศูนย์กลาง 1.5 เซนติเมตร และถุงกรองแพลงก์ตอน ขนาดช่องตา 50 ไมครอน

2) อุปกรณ์วิเคราะห์โครมิคออกไซด์ ได้แก่ ตู้อบ โถอบแห้ง โกร่งบดตัวอย่าง เครื่องชั่งไฟฟ้า 4 ตำแหน่ง แผ่นให้ความร้อน (0-300 องศาเซลเซียส) ขวดรูปชมพู่ ขวดปรับปริมาตร (volumetric flask) ขนาด 25 มิลลิลิตร และขวดพลาสติก

3) เครื่องวัดค่าการดูดกลืนแสง (UV-vis spectrophotometer) ของบริษัท Shimadzu รุ่น UV mini 1240

2.6 อุปกรณ์สำหรับตรวจสอบการเจริญเติบโตของปลา

ประกอบด้วย เครื่องชั่งไฟฟ้าทศนิยม 2 ตำแหน่ง ยี่ห้อ Sartorius รุ่น B 3100 S ถังน้ำบรรจุ 20 ลิตร ถังพลาสติกขนาด 3 ลิตร ขันพลาสติก และสวิงช้อนปลา

3. วิธีการทดลอง

งานวิจัยนี้แบ่งออกเป็น 2 การทดลอง โดยเป็นการศึกษาประสิทธิภาพของอาหารและการใช้ประโยชน์จากฟอสฟอรัสในปลานิลแดงแปลงเพศ ทั้งนี้เป็นการเลือกใช้วัตถุดิบที่มีปริมาณฟอสฟอรัสต่ำ การทดลองใช้ปลานิลแดงแปลงเพศขนาด 12 กรัมและ 120 กรัมสำหรับการทดลองที่ 1 และ 2 ตามลำดับ ระยะเวลาที่ใช้เลี้ยงสำหรับการทดลองที่ 1 คือ 12 สัปดาห์ และใช้เวลา 8 สัปดาห์ในการทดลองที่ 2 รายละเอียดของการทดลองมีดังนี้

3.1 การทดลองที่ 1

3.1.1 การเตรียมอุปกรณ์การทดลอง

ใช้ตู้กระจกขนาด ขนาด 100× 50 × 47 ซม. ความจุน้ำ 235 ลิตร ทำความสะอาด และติดตั้งอุปกรณ์ให้อากาศให้พร้อมสมบูรณ์แล้วเติมน้ำประปาที่ปราศจากคลอรีน ให้ได้ปริมาตร 180 ลิตร ปิดตู้ด้วยผ้าพลาสติกสีทึบ 3 ด้าน เพื่อป้องกันการถูกรบกวนขณะทำการทดลอง

3.1.2 การเตรียมอาหารทดลอง

อาหารทดลองมี 5 สูตร โดยสูตรที่ 1 เป็นอาหารปลาทางการค้าที่มีขายในท้องตลาดเพื่อเปรียบเทียบและสังเกตประสิทธิภาพการใช้อาหารผสมสำเร็จรูป สูตรที่ 2-5 จัดเตรียมเป็นอาหารเม็ดจมที่ทำขึ้นเอง วัตถุดิบที่ใช้คือ ปลาป่น, กากถั่วเหลือง, ปลายข้าว, รำข้าว, คอร์นกลูเต้น, แป้งข้าวเจ้า, น้ำมันปลา, วิตามินรวม, แร่ธาตุรวม โคลีนคลอไรด์ และไดแคลเซียมฟอสเฟต รายละเอียดของชุดการทดลองมีดังนี้

ชุดการทดลองที่ 1 ใช้อาหารปลานิลผสมสำเร็จรูป สำหรับปลาขนาดเล็ก มีระดับโปรตีน 30 เปอร์เซ็นต์ ไขมัน 5.5 เปอร์เซ็นต์ และฟอสฟอรัส 1 เปอร์เซ็นต์ (จากการวิเคราะห์)

ชุดการทดลองที่ 2 ใช้ปลาป่น 36.5 เปอร์เซ็นต์/อาหาร 100 กรัม

ชุดการทดลองที่ 3 ใช้ปลาป่น 18 เปอร์เซ็นต์/อาหาร 100 กรัมและเสริมวัตถุดิบจากพืช

ชุดการทดลองที่ 4 ใช้ปลาป่น 9 เปอร์เซ็นต์/อาหาร 100 กรัมและเสริมวัตถุดิบจากพืช

ชุดการทดลองที่ 5 ใช้วัตถุดิบจากพืชทั้งหมด

ในชุดการทดลองที่ 2-5 มีการปรับระดับฟอสฟอรัสรวมในอาหารให้ใกล้เคียงกันคือ อยู่ในช่วง 1.1 เปอร์เซ็นต์

ขั้นตอนในการเตรียมอาหารทดลองมีดังต่อไปนี้

1) วิเคราะห์คุณค่าทางโภชนาการวัตถุดิบที่ใช้ในการเตรียมอาหารทดลอง ได้แก่ ความชื้น, โปรตีน, ไขมัน, เยื่อใย, เถ้า และฟอสฟอรัส (ตารางที่ 2) อาหารสูตรที่ 2-5 ปรับให้มีระดับฟอสฟอรัสทั้งหมด (total phosphorus) ใกล้เคียงกันคือ 1.1 เปอร์เซ็นต์ โปรตีน 30 เปอร์เซ็นต์ ไขมัน 7 เปอร์เซ็นต์ พลังงานที่ย่อยได้ 3,200 กิโลแคลอรี/อาหาร 1 กิโลกรัม โดยค่าพลังงานที่ย่อยได้คำนวณโดยใช้ค่าต่างๆ ซึ่งประยุกต์มาจากค่าที่ใช้ในปลานิลคือ 4.4 กิโลแคลอรี/สำหรับโปรตีน 1 กรัม 9.0 กิโลแคลอรี/สำหรับไขมัน 1 กรัม และ 3.7 กิโลแคลอรี/ สำหรับคาร์โบไฮเดรต 1 กรัม (Stickney, 1979)

2) ชั่งวัตถุดิบอาหารที่ผ่านการร่อนจากตะแกรง ขนาด 30 เมช (mesh) ส่วนน้ำมัน วิตามิน และแร่ธาตุ ชั่งแยกใส่ถุงไว้สำหรับอาหารทดลองแต่ละสูตร (ตารางที่ 3)

3) นำส่วนผสมทั้งหมด ได้แก่ ปลาป่น, กากถั่วเหลือง, ปลายข้าว, รำข้าว, คอร์นกลูเต้น, แป้งข้าวเจ้า, วิตามินรวม, แร่ธาตุรวม, โคลีนคลอไรด์ ไดแคลเซียมฟอสเฟต ยกเว้นน้ำมัน คลุกเคล้าให้เข้ากันด้วยเครื่องผสมอาหาร (Hobart Model A200T) ประมาณ 6-7 นาที จึงเติมน้ำมันลงไป เมื่อส่วนผสมเข้ากันดี เติมน้ำกลั่นประมาณ 40 เปอร์เซ็นต์ (วุฒิพร และคณะ, 2547)

4) นำวัตถุดิบอาหารที่ผสมกันดีแล้วเข้าเครื่องอัดเม็ดอาหาร ผ่านหน้าแว่นขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 3 มิลลิเมตร โดยตัดเม็ดอาหารให้มีขนาดใกล้เคียงกัน

5) อบอาหารที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส นาน 24 ชั่วโมง

6) เก็บอาหารที่ผ่านการอบแล้วบรรจุในถุงพลาสติกเก็บรักษาไว้ในตู้เย็นที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส (วุฒิพร และคณะ, 2540)

7) นำอาหารทดลองไปวิเคราะห์ ความชื้น, โปรตีน, ไขมัน, เยื่อใย, เถ้า และฟอสฟอรัส ตามวิธีมาตรฐานของ AOAC (1990)ส่วนปริมาณ ไนโตรเจนฟรีเอกซ์แทรกซ์ (nitrogen free extract, NFE) คำนวณได้จากสูตร 100 - (%ความชื้น+ %โปรตีน+ % ไขมัน+ %เถ้า+ %เยื่อใย)

องค์ประกอบทางเคมีของสูตรอาหารทดลองสำหรับเลี้ยงปลานิลแดงแปลงเพศที่ใช้ในการศึกษาครั้งนี้แสดงไว้ในตารางที่ 4

ตารางที่ 2 องค์ประกอบทางเคมีของวัตถุดิบอาหารทดลองการทดลองที่ 1 โดยการวิเคราะห์[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	0.32±0.13
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	32.81±0.35
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	34.51±0.07
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	59.51±0.11
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	69.21±0.10
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	82.88±0.11
ไดแคลเซียมฟอสเฟต	-	-	-	-	18.55±0.35	-	-

[1]ตัวเลขที่นำเสนอเป็นค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (จากการวิเคราะห์ตัวอย่าง 3 ซ้ำ)

NFE: nitrogen free extract

ตารางที่ 3 สูตรอาหารทดลองสำหรับการทดลองที่ 1

วัตถุดิบอาหาร(%)	สูตรที่ 1	สูตรที่ 2	สูตรที่ 3	สูตรที่ 4	สูตรที่ 5
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	-	1.5	2.3	2.7	3.4
ไดแคลเซียมฟอสเฟต	-	1	1	1	1
วิตามินผสม[1]	-	1	1	1	1
โคลีน คลอไรด์	-	0.6	0.6	0.6	0.6
แร่ธาตุผสม[2]	-	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 4 องค์ประกอบทางเคมีของอาหารทดลองการทดลองที่ 1 โดยการวิเคราะห์[1] (% as fed basis)

อาหารทดลอง	ความชื้น	โปรตีน	ไขมัน	เถ้า	ฟอสฟอรัส	เยื่อใย	NFE
สูตรที่ 1 อาหารปลาทางการค้า	4.17±0.04	30.91±1.11	5.46±0.09	8.98±0.10	1.02±0.23	8.70±1.06	41.78±0.51
สูตรที่ 2 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
สูตรที่ 3 ปลาป่น 18% + วัตถุดิบจากพืช	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
สูตรที่ 4 ปลาป่น 9% + วัตถุดิบจากพืช	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
สูตรที่ 5 ปลาป่น 0% + วัตถุดิบจากพืช	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

[1]ตัวเลขที่นำเสนอเป็นค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (จากการวิเคราะห์ตัวอย่าง 3 ซ้ำ)

NFE: nitrogen free extract

3.1.4 การเตรียมสัตว์ทดลอง

นำลูกปลานิลแดงแปลงเพศ น้ำหนักเฉลี่ยต่อตัว 5 กรัม จำนวน 1,000 ตัว มาอนุบาลในถังไฟเบอร์กลมขนาดความจุน้ำ 1 ลูกบาศก์เมตรจำนวน 3 ถัง ด้วยอาหารปลานิลในเชิงการค้าที่ใช้เป็นสูตรควบคุม วันละ 2 ครั้ง คือ 9.00 น. และ 16.00 น. จนกระทั่งปลามีน้ำหนักเฉลี่ยประมาณ 8-10 กรัม จากนั้นจึงนำปลามาตรวจโรคและปรสิตภายนอก เมื่อไม่พบเชื้อจึงทำการคัดปลาใส่ตู้ทดลอง จำนวน 20 ตัวต่อตู้ ปรับปริมาตรน้ำทุกตู้ในตู้ทดลอง 180 ลิตร ปรับสภาพปลาให้คุ้นเคยกับสภาพแวดล้อมของตู้ และฝึกให้กินอาหารทดลองสูตรที่ 1 เป็นเวลา 7 วัน หลังจากนั้นจึงเริ่มการทดลอง

3.1.5 แผนการทดลองและการเก็บรวบรวมข้อมูล

3.1.5.1 การวางแผนการทดลอง

การทดลองนี้เป็นการศึกษาการใช้ประโยชน์จากฟอสฟอรัสในปลานิลแดงแปลงเพศ ที่ได้รับอาหารที่มีปลาป่นในระดับต่ำ โดยการใช้วัตถุดิบจากพืชทดแทนปลาป่นในอาหารปลา โดยทำการลดระดับปลาป่นในอาหารปลาซึ่งเป็นแหล่งหลักของโปรตีนและฟอสฟอรัสของอาหารปลาในปัจจุบัน จากนั้นจึงปรับค่าฟอสฟอรัสรวมในอาหารที่มีการทดแทนปลาป่นด้วยวัตถุดิบจากพืชให้ใกล้เคียงกัน คือประมาณ 1.1 เปอร์เซ็นต์ ทำการแบ่งการทดลองเป็น 5 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 ลิตรต่อตู้ ระบบน้ำเป็นแบบปิด มีอัตราน้ำไหลหมุนเวียน 2-3 ลิตรต่อนาที มีถังกรองซึ่งมีวัสดุกรองประกอบด้วยเปลือกหอย ถ่าน และใยกรอง เมื่อเริ่มต้นทดลองสุ่มปลาที่เตรียมไว้ลงเลี้ยงในตู้ทดลอง โดยใช้ปลาเริ่มต้นน้ำหนักประมาณ 12 กรัม/ตัว ตู้ละ 20 ตัว ทำการสุ่มหน่วยทดลองโดยวิธีจับฉลาก โดยจัดหน่วยทดลองทั้งหมด 20 หน่วยทดลอง ให้อาหารวันละ 2 ครั้ง คือ ช่วงเช้าเวลา 9.00 น. และช่วงเย็นเวลา 16.00 น. โดยในแต่ละมื้อให้ปลากินจนอิ่ม บันทึกน้ำหนักอาหารที่ให้ทุก 2 สัปดาห์ตลอดการทดลอง ทำการชั่งปลาทุกๆ 2 สัปดาห์ ก่อนให้อาหารช่วงเย็นจะดูดตะกอนทำความสะอาดตู้ปลาโดยวิธีกาลักน้ำแล้วเติมน้ำจากบ่อพักน้ำให้เท่าเดิมทุกครั้ง เพื่อควบคุมคุณภาพน้ำให้เหมาะสมตลอดการทดลอง

3.1.5.2 การเก็บรวบรวมข้อมูลและวิเคราะห์ข้อมูล

1) การตรวจสอบพฤติกรรมและลักษณะที่แสดงออกภายนอก

ในระหว่างการทดลองสังเกตพฤติกรรมของปลาทุกชุดการทดลอง ได้แก่ การว่ายน้ำ การยอมรับอาหาร และสังเกตลักษณะภายนอก ได้แก่ สีของลำตัว การตกเลือด การคดงอของครีบและกระดูก และการเกิดบาดแผลที่ครีบ ผิวหนัง และอวัยวะภายนอกอื่นๆ ใช้ยาและสารเคมีเพื่อป้องกันโรคตามสภาพของปลา

2) การตรวจสอบการเจริญเติบโตของปลา

ชั่งน้ำหนักปลาทุก 2 สัปดาห์ เพื่อทราบน้ำหนักปลาที่เพิ่มขึ้น และบันทึกอัตรารอดตายของปลาทุกชุดการทดลอง โดยการชั่งน้ำหนักรวมของปลาแต่ละซ้ำด้วยเครื่องชั่งไฟฟ้าทศนิยม 2 ตำแหน่ง (งดอาหารก่อนการชั่งน้ำหนักปลาเป็นเวลา 18 ชั่วโมง) นับจำนวนปลาที่เหลืออยู่ สังเกตลักษณะอาการของปลาตลอดการทดลอง พร้อมจดบันทึก จนสิ้นสุดการทดลอง 12 สัปดาห์นำข้อมูลที่ได้มาคำนวณอัตราการรอดตาย

อัตราการรอดตาย (survival rate) คำนวณอ้างตามวิธีการของ Nankervis และคณะ (2000) จากสมการ

$$\text{อัตราการรอดตาย (\%)} = \frac{\text{จำนวนปลาเมื่อสิ้นสุดการทดลอง}}{\text{จำนวนปลาเมื่อเริ่มต้น}} \times 100$$

การเจริญเติบโต คำนวณอ้างตามวิธีการของ Jantrarotai และคณะ (1994) จากสมการ

น้ำหนักที่เพิ่มขึ้น (% weight gain)

$$= \frac{[\text{น.น.ปลาเมื่อสิ้นสุดการทดลอง (กรัม)} - \text{น.น.ปลาเมื่อเริ่มต้นการทดลอง (กรัม)}]}{\text{น.น. ปลาเมื่อเริ่มต้น (กรัม)}} \times 100$$

อัตราการเจริญเติบโตต่อตัวต่อวัน (average daily gain, ADG) (กรัม/ตัว/วัน)

$$= \frac{(\text{น.น.ปลาเมื่อสิ้นสุดการทดลอง(กรัม)} - \text{น.น.ปลาเมื่อเริ่มต้นการทดลอง(กรัม)})}{\text{เวลา (วัน)}}$$

อัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อ (feed conversion rate) คำนวณตามวิธีการของ Dupree และ Sneed (1966) จากสมการ

$$\text{อัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อ (FCR)} = \frac{\text{น.น.อาหารที่ปลากินทั้งหมด (กรัม)}}{\text{น.น.ปลาที่เพิ่มขึ้นตลอดการทดลอง (กรัม)}}$$

3) การศึกษาองค์ประกอบทางเคมีของปลาทดลอง

สุ่มตัวอย่างปลาก่อนเริ่มการทดลองจำนวน 20 ตัว นำไปวิเคราะห์ความชื้นในซากทันทีและนำตัวอย่างปลาไปวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของตัวปลาได้แก่ ปริมาณโปรตีน ไขมัน เถ้า และฟอสฟอรัส ตามวิธีมาตรฐานของ AOAC (1990) เมื่อสิ้นสุดการทดลองสุ่มตัวอย่างปลาจากแต่ละตู้ทดลองๆ ละ 2 ตัว ไปวิเคราะห์ความชื้น โปรตีน ไขมัน เถ้า ฟอสฟอรัส และโครมิกออกไซด์ ตามวิธีการของ AOAC (1990) เช่นเดียวกับปลาก่อนทดลอง

4) การใช้ประโยชน์จากฟอสฟอรัสของปลา

การศึกษาสัมประสิทธิ์การย่อยฟอสฟอรัส (Apparent digestibility coefficient of phosphorus : ADCP)

การศึกษาสัมประสิทธิ์การย่อยฟอสฟอรัสของปลาจะเริ่มเก็บมูลสำหรับการวิเคราะห์สัมประสิทธิ์การย่อยอาหาร หลังจากเสร็จช่วงเวลาของการศึกษาการเจริญเติบโตในสัปดาห์ที่ 10 จากนั้นจึงให้อาหารที่มีส่วนผสมของโครมิกออกไซด์ (Cr_2O_3) 0.5 เปอร์เซ็นต์ เป็นเวลา 1 สัปดาห์ ทำการเก็บมูลปลาที่มีโครมิกออกไซด์ การเก็บมูลปลาจะทำหลังจากให้อาหารมื้อเช้าทุกๆ วัน ดำเนินการโดยทำความสะอาดตู้ด้วยวิธีกาลักน้ำ หลังจากให้อาหารเสร็จเป็นเวลา 1 ชั่วโมง เพื่อดูดเศษอาหารที่ตกค้าง จากนั้นทิ้งระยะเวลา 1-2 ชั่วโมง จึงเก็บมูลปลา ตามวิธีของ Boonyaratpalin และ Phromkunthong (2000) โดยใช้ถุงกรองตาละเอียดรองรับน้ำจากปลายสายยางข้างหนึ่งโดยวิธีกาลักน้ำ รวบรวมมูลนำไปเก็บไว้ในช่องแช่แข็ง (freezer) และอบมูลปลาให้แห้งด้วยอุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 48 ชั่วโมง เพื่อนำไปวิเคราะห์ฟอสฟอรัส ตามวิธีมาตรฐานของ AOAC (1990) วิเคราะห์ปริมาณโครมิกออกไซด์ในอาหารและมูลตามวิธีของ Furukawa และ Tsukahara (1966)

การศึกษาประสิทธิภาพการย่อยอาหาร โดยทำการเปรียบเทียบปริมาณโครมิกออกไซด์และสารอาหารที่ต้องศึกษาที่มีในอาหารกับที่มีอยู่ในมูลปลา (Forster, 1999) คำนวณได้จากสูตรที่อ้างอิงมาจาก สมการ

สัมประสิทธิ์ในการย่อยฟอสฟอรัส [ADCP (%)](Green *et al*., 2002)

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

ฟอสฟอรัสที่สะสมในตัวปลา (phosphorus retention) (Green *et al*., 2002)

การศึกษาค่าฟอสฟอรัสสะสมในตัวปลาจะทำการเก็บตัวอย่างซากปลาก่อนการทดลองและหลังการทดลองรวมทั้งค่าปริมาณของฟอสฟอรัสที่ใช้ได้ทั้งหมดจากการวิเคราะห์ฟอสฟอรัสในอาหารปลาตามวิธีมาตรฐานของ AOAC (1990)

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

โดยที่

FICP (final carcass phosphorus content) = ปริมาณฟอสฟอรัสที่คงเหลือในซากหลังการทดลอง (g)

INCP (initail carcass phosphorus content) = ปริมาณฟอสฟอรัสที่คงเหลือในซากก่อนการทดลอง (g)

Nutreint intake = ปริมาณของฟอสฟอรัสที่ได้รับทั้งหมด (g)

ฟอสฟอรัสที่ถูกขับทิ้ง (phosphorus load) (Vielma and Ruohone, 2002)

การศึกษาค่าฟอสฟอรัสที่ถูกขับทิ้งจะนำค่าปริมาณฟอสฟอรัสที่ปลาได้รับซึ่งสามารถคำนวณได้จากค่าฟอสฟอรัสที่ปลาสามารถใช้ประโยชน์ได้ในอาหารและน้ำหนักอาหารที่ปลากินปริมาณฟอสฟอรัสที่คงเหลือในซากหลังการทดลอง และน้ำหนักที่เพิ่มขึ้นของปลาทดลอง

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

5) การศึกษาปริมาณฟอสฟอรัสในซีรัม และกิจกรรมอัลคาไลน์ฟอสฟาเตส

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

6) การวิเคราะห์ฟอสฟอรัสในกระดูก

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

7) การศึกษาต้นทุนการผลิต

คำนวณต้นทุนค่าอาหารต่อผลผลิตปลานิล (unit feed cost) จากสมการ

$$= \frac{\text{(น.น.อาหารที่ปลากินทั้งหมด(ก.ก.) x ราคาค่าอาหาร (บาท/ก.ก.อาหาร))}}{\text{น้ำหนักปลาที่เพิ่มขึ้น (ก.ก.)}}$$

8) การวิเคราะห์ข้อมูล

วิเคราะห์ข้อมูลโดยใช้การวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA แบบ CRD) และเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยด้วยวิธี Duncan's Multiple Range Test (Steel and Torrie, 1980) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ โดยทำการวิเคราะห์ด้วยโปรแกรมสำเร็จรูป SPSS (11.0)

3.2 การทดลองที่ 2

3.2.1 การเตรียมอุปกรณ์และปลาทดลอง

การทดลองดำเนินการโดยใช้ตู้กระจกขนาด 45 x 91 x 45 เซนติเมตร ความจุน้ำ 184 ลิตร ปิดด้านข้างและด้านหลังตู้ด้วยแผ่นพลาสติกสีทึบทั้ง 3 ด้าน เพื่อป้องกันการถูกรบกวนจากภายนอก โดยมีความจุของน้ำขณะทำการทดลอง 150 ลิตร นำปลานิลแดงแปลงเพศที่มีน้ำหนักเฉลี่ยตัวละ 5 กรัม จำนวน 1,000 ตัว จากฟาร์มเอกชน ต.ลำปำ อ.เมือง จ.พัทลุง มาอนุบาลในถังไฟเบอร์กลาสกลม ขนาดความจุ 3 ลบ.ม. โดยใช้อาหารเม็ดสำเร็จรูปซึ่งมีคุณค่าทางโภชนาการคือ โปรตีนไม่ต่ำกว่า 30 เปอร์เซ็นต์ ไขมันไม่ต่ำกว่า 5.5 เปอร์เซ็นต์ ความชื้นไม่มากกว่า 4 เปอร์เซ็นต์ และเยื่อใยไม่มากกว่า 8 เปอร์เซ็นต์ โดยให้อาหารวันละ 2 ครั้ง ช่วงเช้า เวลา 9.00 น. และเย็นเวลา 16.00 น. สังเกตพฤติกรรมการยอมรับอาหาร อนุบาลจนกระทั่งปลามีน้ำหนักเฉลี่ยตัวละประมาณ 100-120 กรัม ตรวจสอบเชื้อแบคทีเรีย และปรสิตภายนอก ทั้งนี้ปลาที่ใช้ทดลองต้องสุขภาพดีไม่มีโรคใดๆ ชั่งน้ำหนักเริ่มต้นของปลาทดลองใส่ตู้ทดลองจำนวน 15 ตัวต่อตู้ ปรับสภาพให้ปลาคุ้นเคยกับสภาพแวดล้อมของตู้และอาหารทดลองเป็นเวลา 7 วัน ก่อนเริ่มทำการทดลอง

3.2.2 การเตรียมอาหารทดลอง

อาหารทดลองสูตรที่ 1 เป็นอาหารปลาทางการค้า ชนิดเม็ดลอยน้ำ มีคุณค่าทางโภชนาการคือ โปรตีน 30 เปอร์เซ็นต์ ไขมัน 7 เปอร์เซ็นต์ ความชื้น 4 เปอร์เซ็นต์ และเถ้า 11 เปอร์เซ็นต์ ขนาดเม็ดอาหาร 3 มิลลิเมตร อาหารทดลองสูตรที่ 2 เป็นอาหารทดลองสูตรที่มีปริมาณปลาป่น 9 เปอร์เซ็นต์และเสริมวัตถุดิบจากพืชซึ่งเป็นอาหารสูตรที่ให้ผลดีที่สุดจากการทดลองที่ 1 มีส่วนประกอบของวัตถุดิบคือ ปลาป่น กากถั่วเหลือง หวีทกลูเต้น รำละเอียด ปลายข้าว และแป้งข้าวจ้าว นำวัตถุดิบดังกล่าวไปบดให้ละเอียดแล้วร่อนด้วยตะแกรงขนาดช่องตา 30 ไมโครเมตร จากนั้นนำไปวิเคราะห์คุณค่าทางโภชนาการ ได้แก่ ความชื้น โปรตีน ไขมัน เยื่อใย เถ้า และฟอสฟอรัส ตามวิธีมาตรฐานของ AOAC (1990) (ตารางที่ 5) จากนั้นชั่งวัตถุดิบอาหารตามสูตรอาหารทดลอง และทำการผสมส่วนประกอบวัตถุดิบอาหารให้เข้ากันดี โดยใช้เครื่องผสมอาหาร (Hobart mixer รุ่น A200T) (สูตรอาหารแสดงในตารางที่ 6) เติมน้ำลงไป 40 เปอร์เซ็นต์ จากนั้นเข้าเครื่องอัดเม็ดอาหารผ่านหน้าแว่นขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 3 มิลลิเมตร ตัดเม็ดอาหารให้มีขนาดใกล้เคียงกัน นำอาหารที่ได้ไปอบในตู้อบที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส นาน 24 ชั่วโมง จากนั้นจึงบรรจุในถุงพลาสติก แล้วเก็บรักษาไว้ในตู้เย็นที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส สุ่มเก็บอาหารทดลองประมาณ 200 กรัมสำหรับวิเคราะห์คุณค่าทางโภชนาการของอาหาร ตามวิธีมาตรฐานของ AOAC (1990) ส่วนปริมาณคาร์โบไฮเดรต (ไนโตรเจนฟรีเอกซ์แทรกซ์, Nitrogen free extract, NFE) ได้จากการคำนวณตามสูตร 100 - (%โปรตีน + %ไขมัน + %เถ้า + %เยื่อใย + %ความชื้น) (ตารางที่ 7)

ตารางที่ 5 องค์ประกอบทางเคมีของวัตถุดิบอาหารทดลองการทดลองที่ 2 โดยการวิเคราะห์[1] (% as fed basis)

วัตถุดิบ	ความชื้น	โปรตีน	ไขมัน	เถ้า	เยื่อใย	ฟอสฟอรัส	NFE
ปลาป่น	10.06±0.05	64.45±0.08	6.57±0.07	20.27±0.50	-	2.43±0.02	0.32±0.65
กากถั่วเหลือง	12.68±0.89	44.04±0.02	1.24±0.03	7.12±0.45	7.00±0.28	0.64±0.00	27.68±0.35
หวีทกลูเต้น[2]	6.39±0.19	76.46±0.80	2.94±0.05	0.84±0.13	0.52±0.07	0.27±0.03	12.83±0.31
รำข้าว	9.50±0.22	12.48±0.13	16.64±0.32	10.96±0.15	7.32±0.19	1.44±0.07	42.75±0.11
ปลายข้าว	7.75±0.87	7.51±0.44	2.44±0.93	1.34±0.20	0.42±0.06	0.22±0.02	79.78±0.13
แป้งข้าวจ้าว	7.83±0.14	7.24±0.06	1.33±0.09	0.29±0.12	0.41±0.05	0.16±0.01	82.88±0.11
ไดแคลเซียมฟอสเฟต	-	-	-	-	-	18.30±0.55	-

[1]ตัวเลขที่นำเสนอเป็นค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (จากการวิเคราะห์ตัวอย่าง 3 ซ้ำ)

[2]เปลี่ยนแปลงวัตถุดิบที่ใช้เตรียมอาหารในการทดลองที่ 1 จากคอร์นกลูเต้น เป็นหวีทกลูเต้นในการทดลองที่ 2

- หมายถึงไม่ได้ทำการวิเคราะห์

ตารางที่ 6 สูตรอาหารทดลองสำหรับการทดลองที่ 2

วัตถุดิบอาหาร(%)	สูตรที่ 1	สูตรที่ 2
ปลาป่น	-	9
กากถั่วเหลือง	-	20.50
หวีทกลูเต้น	-	14.50
รำข้าว	-	18
ปลายข้าว	-	8
น้ำมันปลา + น้ำมันถั่วเหลือง	-	1
ไดแคลเซียมฟอสเฟต	-	1
วิตามินผสม[1]	-	1
โคลีน คลอไรด์	-	0.6
แร่ธาตุผสม[2]	-	3
แป้งข้าวเจ้า	-	22.90
โครมิกออกไซด์	-	0.5
รวม	-	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 7 องค์ประกอบทางเคมีของอาหารทดลองการทดลองที่ 2 โดยการวิเคราะห์[1] (% as fed basis)

อาหารทดลอง	ความชื้น	โปรตีน	ไขมัน	เถ้า	ฟอสฟอรัส	เยื่อใย	NFE
สูตรที่ 1 อาหารปลาทางการค้า	4.26±0.60	30.44±0.13	7.02±0.01	11.22±0.02	1.38±0.04	4.11±0.57	43.02±0.13
สูตรที่ 2 ปลาป่น 9% + วัตถุดิบจากพืช	2.96±0.14	31.71±0.22	7.39±0.11	8.17±0.07	1.03±0.03	3.23±0.34	45.97±0.21

[1]ตัวเลขที่นำเสนอเป็นค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (จากการวิเคราะห์ตัวอย่าง 3 ซ้ำ)

[2]NFE: nitrogen free extract เป็นค่าจากการคำนวณ

32

3.2.3 แผนการทดลอง

การทดลองนี้เป็นการทดลองต่อเนื่องเพื่อศึกษาเปรียบเทียบการใช้ประโยชน์จากฟอสฟอรัสในปลานิลแดงแปลงเพศ ระหว่างสูตรอาหารที่ให้ผลดีที่สุดจากการทดลองที่ 1 กับอาหารปลาทางการค้า วางแผนการทดลองแบบสุ่มตลอด (Completely Randomized Design : CRD)โดยแบ่งการทดลองออกเป็น 2 ชุดการทดลอง (treatment) แต่ละชุดการทดลองประกอบด้วย 3 ซ้ำ (replication) ระยะเวลาในการเลี้ยง 8 สัปดาห์ ให้อาหารปลาทดลองวันละ 2 ครั้ง คือ ช่วงเช้าเวลา 9.00 น. และช่วงเย็นเวลา 16.00 น. โดยในแต่ละมื้อให้ปลากินจนอิ่ม บันทึกน้ำหนักอาหารที่ให้และเปลี่ยนถ่ายน้ำวันละ 60 เปอร์เซ็นต์ทุกวัน

3.2.4 การเก็บข้อมูลและวิเคราะห์ข้อมูล

1) การตรวจสอบพฤติกรรมและลักษณะภายนอก

ในระหว่างการทดลองสังเกตพฤติกรรมของปลาทุกชุดการทดลอง ได้แก่ การว่ายน้ำ การยอมรับอาหาร และสังเกตลักษณะภายนอก ได้แก่ สีของลำตัว การตกเลือด การคดงอของครีบและกระดูก และการเกิดบาดแผลที่ครีบ ผิวหนัง และอวัยวะภายนอกอื่นๆ ใช้ยาและสารเคมีเพื่อป้องกันโรค ตามสภาพของปลา

2) การตรวจสอบการเจริญเติบโตของปลา

ชั่งน้ำหนักรวมของปลาแต่ละตู้ด้วยเครื่องชั่งไฟฟ้าทศนิยม 2 ตำแหน่ง (ก่อนวันที่ชั่งปลา งดให้อาหารปลาในมื้อเย็น เป็นเวลา 1 มื้อ) และนับจำนวนปลาที่เหลืออยู่พร้อมทั้งบันทึกเมื่อสิ้นสุดการทดลอง นำข้อมูลที่ได้มาคำนวณน้ำหนักเฉลี่ยของปลาแต่ละตัว และอัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อ ตามวิธีการของ Dupree และ Sneed (1966) การเจริญเติบโต และอัตราการเจริญเติบโตต่อตัวต่อวัน (average daily gain, ADG) (กรัม/ตัว/วัน) ตามวิธีการของ Jantrarotai และคณะ (1994)

3) การศึกษาองค์ประกอบทางเคมี

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

4) การใช้ประโยชน์จากฟอสฟอรัสของปลา

การศึกษาสัมประสิทธิ์การย่อยฟอสฟอรัส ฟอสฟอรัสสะสมในตัวปลา และฟอสฟอรัสที่ถูกขับทิ้ง

เมื่อสิ้นสุดการทดลองในสัปดาห์ที่ 8 จะเริ่มศึกษาสัมประสิทธิ์การย่อยสารอาหาร โดยเตรียมอาหารที่มีส่วนผสมของโครมิกออกไซด์ (Cr_2O_3) สำหรับอาหารสูตรที่ 1 ซึ่งเป็นอาหารปลาทางการค้าที่ไม่มีส่วนผสมโครมิกออกไซด์ เตรียมโดยอ้างอิงวิธีการของ Jahan และคณะ (2003) โดยนำอาหารปลาทางการค้าไปบดให้ละเอียด ผสมโครมิกออกไซด์ 0.5 เปอร์เซ็นต์และแอลฟา-สตาร์ช 5 เปอร์เซ็นต์ นำไปอัดเม็ดอาหารขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 3 มิลลิเมตร อบแห้งที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 24 ชั่วโมงเหมือนกับอาหารสูตรที่ 2 ให้อาหารที่มีส่วนผสมของโครมิกออกไซด์ 0.5 เปอร์เซ็นต์ เป็นเวลา 1 สัปดาห์เพื่อให้ปลาคุ้นเคยกับอาหารทดลอง ทำการเก็บรวบรวมมูลปลาสำหรับการวิเคราะห์สัมประสิทธิ์การย่อยอาหาร หลังจากให้อาหารมื้อเย็นทุกๆ วัน โดยการเก็บมูลปลาจะทำหลังจากทำความสะอาดตู้ด้วยวิธีกาลักน้ำเป็นเวลาประมาณ 1/2-1 ชั่วโมง ตามวิธีของ Boonyaratpalin และ Phromkunthong (2000) โดยใช้ถุงกรองตาละเอียดรองรับน้ำจากปลายสายยางข้างหนึ่งโดยวิธีกาลักน้ำ รวบรวมมูลนำไปเก็บไว้ในช่องแช่แข็ง (freezer) และอบมูลปลาให้แห้งด้วยอุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 48 ชั่วโมง เก็บรวบรวมมูลปลาให้ได้น้ำหนักแห้งประมาณ 3-5 กรัมเพื่อให้เพียงพอต่อการวิเคราะห์ นำไปวิเคราะห์ฟอสฟอรัสตามวิธีมาตรฐานของ AOAC (1990) วิเคราะห์ปริมาณโครมิกออกไซด์ในอาหารและมูลตามวิธีของ Furukawa และ Tsukahara (1966) และทำการคำนวณสัมประสิทธิ์การย่อยฟอสฟอรัสและฟอสฟอรัสสะสมในตัวปลาโดยวิธีของ Green และคณะ (2002) ฟอสฟอรัสที่ถูกขับทิ้ง คำนวณโดยวิธีของ Vielma และ Ruohone (2002)

การวิเคราะห์ปริมาณฟอสฟอรัสในซีรัม และกิจกรรมอัลคาไลน์ฟอสฟาเตส

เมื่อสิ้นสุดการทดลองสุ่มปลาจากทุกชุดการทดลองๆ ละ 3 ตัว มาสลบด้วยน้ำมันกานพลูความเข้มข้น 50 ppm เจาะเลือดจากบริเวณโคนหางประมาณ 1-2 มิลลิลิตร ใส่หลอดไมโครทิวป์ ทิ้งไว้ 30 นาที จากนั้นนำไปหมุนเหวี่ยงที่ความเร็ว 4,500 รอบ/นาที เป็นเวลา 15 นาที แล้วนำตัวอย่างซีรัมจากเลือดปลาทดลองส่งวิเคราะห์ที่ภาควิชาพยาธิวิทยา คณะแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ โดยวิเคราะห์ปริมาณฟอสฟอรัสด้วยวิธี molypdate UV ตามวิธีการของ AOAC (1990) และวิเคราะห์ค่าอัลคาไลน์ฟอสฟาเตสด้วยเครื่อง automated analyzer (Boerhinger Mannheim Automated Analysis, Hitachi 717)

การวิเคราะห์ฟอสฟอรัสในกระดูก

เมื่อสิ้นสุดการทดลองสุ่มปลาชุดการทดลองละ 6 ตัว (ตู้ละ 2 ตัว) แล่เอาเฉพาะกระดูกบริเวณ ลำตัว กระดูกสันหลัง นำไปต้มในน้ำกลั่น 10 นาที เพื่อเลาะเอาเนื้อที่ติดกระดูกออกให้หมด จากนั้นนำไปแช่ในแอลกอฮอล์ 95 เปอร์เซ็นต์เป็นเวลา 1 สัปดาห์เพื่อสกัดไขมันออกตามวิธีการของ Pandey และ Satoh (2008) จากนั้นทำให้แห้งโดยอบที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส นาน 48 ชั่วโมง นำตัวอย่างนั้นไปวิเคราะห์ปริมาณฟอสฟอรัส ตามวิธีการของ AOAC (1990)

5) การศึกษาต้นทุนการผลิต

คำนวณต้นทุนค่าอาหารต่อผลผลิตปลานิล (unit feed cost) จากสมการ

$$= \frac{(\text{น.น.อาหารที่ปลากินทั้งหมด(ก.ก.)} \times \text{ราคาค่าอาหาร (บาท/ก.ก.อาหาร)})}{\text{น้ำหนักปลาที่เพิ่มขึ้น (ก.ก.)}}$$

6) การวิเคราะห์ข้อมูล

วิเคราะห์ข้อมูลโดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป SPSS Version 11.0 นำข้อมูลตรวจสอบการแจกแจงแบบปกติ (Kolmogorov-Smirnov normality test) และเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยด้วยวิธี T-Test ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์

ผลการทดลอง

การทดลองที่ 1

1. ลักษณะภายนอกและพฤติกรรมของปลาที่ได้รับอาหารทดลองสูตรต่างๆ

จากการสังเกตลักษณะภายนอกและพฤติกรรมระหว่างการทดลอง พบว่าปลานิลแดงแปลงเพศที่ได้รับอาหารทดลองทั้ง 5 สูตร ไม่พบความผิดปกติของลักษณะภายนอกและปลาทุกตัวมีสุขภาพสมบูรณ์แข็งแรง

2. การเจริญเติบโต

น้ำหนักเฉลี่ยต่อตัวของปลานิลแดงแปลงเพศที่ได้รับอาหารทดลองทั้ง 5 สูตรตลอดระยะเวลาการทดลอง 12 สัปดาห์ ซึ่งน้ำหนักปลาเริ่มต้นอยู่ในช่วง 12.05±0.33–12.06±0.45 กรัม น้ำหนักของปลาเพิ่มขึ้นตามเวลาที่เลี้ยง และเริ่มมีความแตกต่างทางสถิติตั้งแต่สัปดาห์ที่ 2 (p<0.05) ในสัปดาห์ที่ 12 ปลาที่ได้รับอาหารสูตรที่ 1 (อาหารปลาทางการค้า) มีน้ำหนักเฉลี่ยต่อตัวสูงสุด ส่วนปลาที่ได้รับอาหารสูตรที่ 5 (วัตถุดิบจากพืชอย่างเดียว) มีน้ำหนักเฉลี่ยต่อตัวต่ำที่สุด (p<0.05) (ตารางที่ 8)

ตารางที่ 8 น้ำหนักเฉลี่ยต่อตัวของปลานิลแดงแปลงเพศที่ได้รับอาหารทดลองสูตรต่างๆ เป็นเวลา 12 สัปดาห์[1] (หน่วยเป็นกรัม)

อาหารทดลอง	สัปดาห์ที่1	สัปดาห์ที่2	สัปดาห์ที่4	สัปดาห์ที่6	สัปดาห์ที่8	สัปดาห์ที่10	สัปดาห์ที่12
สูตรที่ 1 อาหารปลาทางการค้า	12.05 ± 0.41^{a}	18.00 ± 0.78^{c}	25.34 ± 1.02^{d}	36.04 ± 1.76^{d}	44.10 ± 1.54^{d}	52.31 ± 1.53^{c}	63.28 ± 2.07^{c}
สูตรที่ 2 ปลาป่น 36.5%	12.05 ± 0.33^{a}	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 3 ปลาป่น 18% + วัตถุดิบจากพืช	12.06 ± 0.45^{a}	16.99 ± 0.37^{bc}	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 4 ปลาป่น 9% + วัตถุดิบจากพืช	12.05 ± 0.54^{a}	16.59 ± 0.57^{b}	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 5 ปลาป่น 0% + วัตถุดิบจากพืช	12.06 ± 0.42^{a}	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 (จากการวิเคราะห์ตัวอย่าง 4 ซ้ำ)

ค่าเฉลี่ยในสดมภ์ที่มีตัวอักษรเหมือนกันกำกับ ไม่มีความแตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ ($p>0.05$)

3. น้ำหนักที่เพิ่มขึ้น อัตราการเจริญเติบโตต่อวัน อัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อ และอัตราการรอดตาย

น้ำหนักที่เพิ่มขึ้น อัตราการเจริญเติบโตต่อวัน อัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อ และอัตราการรอดตายของปลานิลแดงแปลงเพศ ที่ได้รับอาหารทดลองทั้ง 5 สูตรเป็นระยะเวลา 12 สัปดาห์ แสดงในไว้ตารางที่ 9

น้ำหนักที่เพิ่มขึ้นและอัตราการเจริญเติบโตของปลาที่ได้รับอาหารทดลองแต่ละสูตรมีแนวโน้มเช่นเดียวกันกับน้ำหนักเฉลี่ยของปลาในสัปดาห์ที่ 12 โดยพบว่าปลาที่ได้รับอาหารสูตรที่ 1 (อาหารปลาทางการค้า) มีการเจริญเติบโตดีที่สุด ปลาที่ได้รับอาหารเสริมวัตถุดิบจากพืชในสูตรที่ 3 และ 4 มีน้ำหนักที่เพิ่มขึ้นและอัตราการเจริญเติบโตไม่ต่างจากปลาที่ได้รับอาหารสูตรที่ 2 (ปลาป่น 36.5 เปอร์เซ็นต์) (p>0.05) ในขณะที่ปลาที่ได้รับอาหารสูตรที่ 5 (วัตถุดิบจากพืชทั้งหมด) มีการเจริญเติบโตต่ำที่สุด (p<0.05)

อัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อของปลาที่ได้รับอาหารสูตรที่ 2 และ 5 ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ (p>0.05) และมีค่าสูงกว่าปลาที่ได้รับอาหารสูตรที่ 3 และ 4 ส่วนปลาที่ได้รับอาหารสูตรที่ 1 (อาหารปลาทางการค้า) มีอัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อต่ำที่สุด (ตารางที่ 9)

อัตราการรอดตายของปลาที่ได้รับอาหารทดลองทั้ง 5 สูตรพบว่าไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติระหว่างชุดการทดลอง (p>0.05) (ตารางที่ 9)

ตารางที่ 9 น้ำหนักที่เพิ่มขึ้น อัตราการเจริญเติบโตต่อวัน อัตราการเปลี่ยนอาหารเนื้อ และอัตราการรอดตาย ของปลานิลแดงแปลงเพศที่ได้รับอาหารทดลองสูตรต่างๆ เป็นเวลา 12 สัปดาห์[1]

อาหารทดลอง	น้ำหนักที่เพิ่มขึ้น (เปอร์เซ็นต์)	อัตราการเจริญเติบโตต่อวัน(กรัม/ตัว/วัน)	อัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อ	อัตราการรอดตาย (เปอร์เซ็นต์)
สูตรที่ 1 อาหารปลาทางการค้า	383.59±9.32^{c}	0.61±0.13^{c}	1.23±0.14^{a}	98.94±0.51^{a}
สูตรที่ 2 ปลาป่น 36.5%	293.10±9.84^{b}	0.43±0.06^{ab}	1.69±0.17^{b}	99.57±0.66^{a}
สูตรที่ 3 ปลาป่น 18% + วัตถุดิบจากพืช	305.76±11.54^{b}	0.50±0.11^{bc}	1.36±0.10^{a}	99.37±1.04^{a}
สูตรที่ 4 ปลาป่น 9% + วัตถุดิบจากพืช	290.46±28.50^{b}	0.42±0.09^{ab}	1.38±0.05^{a}	99.79±0.51^{a}
สูตรที่ 5 ปลาป่น 0% + วัตถุดิบจากพืช	213.28±33.24^{a}	0.31±0.07^{a}	1.57±0.14^{b}	99.58±0.64^{a}

[1]ตัวเลขที่นำเสนอเป็นค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (จากการวิเคราะห์ตัวอย่าง 4 ซ้ำ)

ค่าเฉลี่ยในสดมภ์ที่มีตัวอักษรเหมือนกันกำกับ ไม่มีความแตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ (p>0.05)

4. องค์ประกอบทางโภชนาการของปลาทั้งตัว

องค์ประกอบทางโภชนาการของซากปลานิลแดงแปลงเพศก่อนทดลองและปลาที่ได้รับอาหารทดลองทั้ง 5 สูตรเมื่อสิ้นสุดการทดลองแสดงไว้ในตารางที่ 10

ความชื้นในตัวปลาที่ได้รับอาหารทดลองสูตรที่ 1-5 มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติระหว่างชุดการทดลอง (p<0.05) โดยความชื้นในตัวปลามีค่าอยู่ในช่วง 70.64±0.68 - 74.08 ± 0.15 เปอร์เซ็นต์

โปรตีนในตัวปลาที่ได้รับอาหารทดลองทั้ง 5 สูตรมีความแตกต่างทางสถิติระหว่างชุดการทดลอง (p<0.05) โดยโปรตีนในตัวปลามีค่าอยู่ในช่วง 54.06±0.12 – 56.90±0.41 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักแห้ง ปลาที่ได้รับอาหารสูตรที่ 1 (อาหารปลาทางการค้า) มีโปรตีนในตัวสูงที่สุด และปลาที่ได้รับอาหารสูตรที่ 5 (วัตถุดิบจากพืชทั้งหมด) มีโปรตีนในตัวต่ำที่สุด (p<0.05)

ไขมันในตัวปลาที่ได้รับอาหารทดลองทั้ง 5 สูตรมีความแตกต่างอย่างทางสถิติระหว่างชุดการทดลอง (p<0.05) โดยไขมันในตัวปลามีค่าอยู่ในช่วง 21.71 ± 0.20- 30.12±0.26 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักแห้ง ปลาที่ได้รับอาหารสูตรที่ 1 (อาหารปลาทางการค้า) มีไขมันในตัวต่ำที่สุด

เถ้าในตัวปลาที่ได้รับอาหารทดลองทั้ง 5 สูตรมีความแตกต่างกันทางสถิติระหว่างชุดการทดลอง (p<0.05) โดยมีค่าอยู่ในช่วง 12.43 ± 0.20-15.70 ± 0.19เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักแห้ง โดยปลาที่ได้รับอาหารสูตรที่ 2 (ปลาป่น 36.5 เปอร์เซ็นต์) มีปริมาณเถ้าในตัวสูงที่สุด และปลาที่ได้รับอาหารสูตรที่ 1 (อาหารปลาทางการค้า) มีปริมาณเถ้าในตัวต่ำที่สุด

ฟอสฟอรัสในตัวปลาที่ได้รับอาหารทดลองทั้ง 5 สูตรมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติระหว่างชุดการทดลอง (p<0.05) โดยปลาที่ได้รับอาหารสูตรที่ 2 และ 3 (ปลาป่น 36.5 เปอร์เซ็นต์และ 18 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ) มีฟอสฟอรัสในตัวสูงที่สุด ส่วนปลาที่ได้รับอาหารสูตรที่ 5 (วัตถุดิบจากพืชทั้งหมด) มีฟอสฟอรัสในตัวต่ำที่สุด (ตารางที่ 10)

ตารางที่ 10 ส่วนประกอบทางโภชนาการของปลาทั้งตัวที่ได้รับอาหารทดลองสูตรต่างๆ เป็นเวลา 12 สัปดาห์[1] (%บนฐานน้ำหนักแห้ง)

อาหารทดลอง	ความชื้น	โปรตีน	ไขมัน	เถ้า	ฟอสฟอรัส
ปลาก่อนทดลอง	71.26 ± 2.18	53.43 ± 0.88	28.22 ± 0.08	15.36 ± 0.41	2.25 ± 0.07
สูตรที่ 1 อาหารปลาทางการค้า	74.08 ± 0.15 ^{c}	56.90 ± 0.41 ^{c}	21.71 ± 0.20 ^{a}	12.43 ± 0.20 ^{a}	3.21 ± 0.19 ^{ab}
สูตรที่ 2 ปลาป่น 36.5%	70.64 ± 0.68 ^{a}	54.34 ± 0.40 ^{ab}	25.71 ± 0.70 ^{c}	15.70 ± 0.19 ^{d}	4.16 ± 0.39 ^{b}
สูตรที่ 3 ปลาป่น 18% + วัตถุดิบจากพืช	72.12 ± 0.90 ^{bc}	54.74 ± 0.21 ^{b}	24.81 ± 0.44 ^{b}	13.61 ± 0.37 ^{b}	4.06 ± 0.25 ^{b}
สูตรที่ 4 ปลาป่น 9% + วัตถุดิบจากพืช	71.33 ± 0.18 ^{b}	54.18 ± 0.21 ^{a}	30.12 ± 0.26 ^{d}	14.57 ± 0.22 ^{c}	3.77 ± 0.97 ^{ab}
สูตรที่ 5 ปลาป่น 0% + วัตถุดิบจากพืช	72.32 ± 0.21 ^{bc}	54.06 ± 0.12 ^{a}	28.64 ± 0.14 ^{e}	15.23 ± 0.12 ^{cd}	2.98 ± 0.14 ^{a}

[1]ตัวเลขที่นำเสนอเป็นค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (จากการวิเคราะห์ตัวอย่าง 4 ซ้ำ)

ค่าเฉลี่ยในสดมภ์ที่มีตัวอักษรเหมือนกันกำกับ ไม่มีความแตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ (p>0.05)

5. ฟอสฟอรัสในซีรัมและกิจกรรมอัลคาไลน์ฟอสฟาเตส

ฟอสฟอรัสในซีรัมและกิจกรรมอัลคาไลน์ฟอสฟาเตสในปลาที่ได้รับอาหารทดลองทั้ง 5 สูตรแสดงไว้ในตารางที่ 11

ฟอสฟอรัสในซีรัมในปลาที่ได้รับอาหารทดลองทั้ง 5 สูตรพบว่ามีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติระหว่างชุดการทดลอง (p<0.05) ซึ่งปลาที่ได้รับอาหารสูตรที่ 1 (อาหารปลาทางการค้า) มีค่าฟอสฟอรัสในซีรัมสูงที่สุด (26.25 ± 0.91 มก.%) รองลงมาคือปลาที่ได้รับอาหารสูตรที่ 3 (ปลาป่น 18 เปอร์เซ็นต์และเสริมวัตถุดิบจากพืช) (23.30±0.98 มก.%) และชุดการทดลองที่ 5 (วัตถุดิบจากพืชทั้งหมด) มีฟอสฟอรัสในซีรัมต่ำที่สุด (18.25±2.33 มก.%)

กิจกรรมอัลคาไลน์ฟอสฟาเตสของปลาที่ได้รับอาหารทดลองมีค่าอยู่ในช่วง 20.50±2.12 - 26.00±0.00 ยูนิต/ลิตร ซึ่งชุดการทดลองที่ 2 (ปลาป่น 36.5 เปอร์เซ็นต์) มีค่าอัลคาไลน์ฟอสฟาเตสสูงที่สุด (26.00±0.00 ยูนิต/ลิตร) และชุดการทดลองที่ 5 (วัตถุดิบจากพืช) มีค่าอัลคาไลน์ฟอสฟาเตสต่ำที่สุด (20.50±2.12 ยูนิต/ลิตร)

ตารางที่ 11 ฟอสฟอรัสในซีรัมและกิจกรรมอัลคาไลน์ฟอสฟาเตสของปลานิลแดงแปลงเพศที่ได้รับอาหารทดลองสูตรต่างๆ เป็นเวลา 12 สัปดาห์[1]

อาหารทดลอง	ฟอสฟอรัสในซีรัม (มก.%)	อัลคาไลน์ฟอสฟาเตส (U/L)
สูตรที่ 1 อาหารปลาทางการค้า	26.25 ± 0.91^{c}	23.50 ± 4.94^{bc}
สูตรที่ 2 ปลาป่น 36.5%	23.20 ± 1.69^{bc}	26.00 ± 0.00^{c}
สูตรที่ 3 ปลาป่น 18% + วัตถุดิบจากพืช	23.30 ± 0.98^{bc}	24.50 ± 0.70^{c}
สูตรที่ 4 ปลาป่น 9% + วัตถุดิบจากพืช	21.5 ± 0.00^{ab}	23.00 ± 1.41^{b}
สูตรที่ 5 ปลาป่น 0% + วัตถุดิบจากพืช	18.25 ± 2.33^{a}	20.50 ± 2.12^{a}

[1]ตัวเลขที่นำเสนอเป็นค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (จากการวิเคราะห์ตัวอย่าง 4 ซ้ำ)
ค่าเฉลี่ยในสดมภ์ที่มีตัวอักษรเหมือนกันกำกับ ไม่มีความแตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ (p>0.05)

6. ฟอสฟอรัสในมูลปลา และกระดูกปลา เมื่อสิ้นสุดการทดลอง

ค่าฟอสฟอรัสในมูลปลาและกระดูกปลาเมื่อสิ้นสุดการทดลอง ในปลาที่ได้รับอาหารทดลองทั้ง 5 สูตร แสดงไว้ในตารางที่ 12

ค่าฟอสฟอรัสในมูลปลาในปลาที่ได้รับอาหารทดลองทั้ง 5 สูตรพบว่ามีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติระหว่างชุดการทดลอง (p<0.05) ซึ่งชุดการทดลองที่ 2 (ปลาป่น 36.5 เปอร์เซ็นต์) มีค่าฟอสฟอรัสในมูลสูงที่สุด (3.37±0.09 เปอร์เซ็นต์) และชุดการทดลองที่ 1 (อาหารปลาทางการค้า) มีค่าฟอสฟอรัสในมูลต่ำที่สุด (2.26 ± 0.08เปอร์เซ็นต์)

ค่าฟอสฟอรัสในกระดูกของปลาทดลองได้รับอาหารทดลองทั้ง 5 สูตรพบว่ามีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติระหว่างชุดการทดลอง (p<0.05) ซึ่งชุดการทดลองที่ 2 (ปลาป่น 36.5 เปอร์เซ็นต์) มีค่าฟอสฟอรัสในกระดูกสูงที่สุด แต่ไม่มีความแตกต่างทางสถิติกับปลาที่ได้รับอาหารสูตรที่ 1 (อาหารปลาทางการค้า) และสูตรที่ 3 (ปลาป่น 18 เปอร์เซ็นต์) และชุดการทดลองที่ 5 (วัตถุดิบจากพืชทั้งหมด) มีค่าฟอสฟอรัสในกระดูกต่ำที่สุด (10.96±0.09 เปอร์เซ็นต์)

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

อาหารทดลอง	ฟอสฟอรัสในมูลปลา	ฟอสฟอรัสในกระดูกปลา
สูตรที่ 1 อาหารปลาทางการค้า	2.26 ± 0.08^{a}	12.28 ± 0.69^{b}
สูตรที่ 2 ปลาป่น 36.5%	3.37 ± 0.09^{b}	12.63 ± 0.15^{b}
สูตรที่ 3 ปลาป่น 18% + วัตถุดิบจากพืช	3.31 ± 0.18^{b}	12.06 ± 0.78^{b}
สูตรที่ 4 ปลาป่น 9% + วัตถุดิบจากพืช	2.60 ± 0.13^{c}	11.63 ± 0.60^{ab}
สูตรที่ 5 ปลาป่น 0% + วัตถุดิบจากพืช	2.44 ± 0.16^{ab}	10.96 ± 0.09^{a}

[1]ตัวเลขที่นำเสนอเป็นค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (จากการวิเคราะห์ตัวอย่าง 4 ซ้ำ)
ค่าเฉลี่ยในสดมภ์ที่มีตัวอักษรเหมือนกันกำกับ ไม่มีความแตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ (p>0.05)

7. สัมประสิทธิ์การย่อยฟอสฟอรัส, ฟอสฟอรัสที่สะสมในตัวปลา และฟอสฟอรัสที่ถูกขับทิ้ง เมื่อสิ้นสุดการทดลอง

ค่าสัมประสิทธิ์การย่อยฟอสฟอรัส, ฟอสฟอรัสที่สะสมในตัวปลา และฟอสฟอรัสที่ถูกขับทิ้ง ในปลาที่ได้รับอาหารทดลองทั้ง 5 สูตร แสดงไว้ในตารางที่ 13

ค่าสัมประสิทธิ์การย่อยฟอสฟอรัสในปลาที่ได้รับอาหารทดลองทั้ง 5 สูตร พบว่ามีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติระหว่างชุดการทดลอง (p<0.05) ซึ่งปลาที่ได้รับอาหารสูตรที่ 2 (ปลาป่น 36.5 เปอร์เซ็นต์) มีค่าสัมประสิทธิ์การย่อยฟอสฟอรัสสูงที่สุด (42.85±1.38 เปอร์เซ็นต์) และสูตรที่ 5 (วัตถุดิบจากพืชทั้งหมด) มีค่าสัมประสิทธิ์การย่อยฟอสฟอรัสต่ำที่สุด (31.88 ± 1.09 เปอร์เซ็นต์)

ฟอสฟอรัสที่สะสมในตัวปลาที่ได้รับอาหารทดลองทั้ง 5 สูตร พบว่ามีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติระหว่างชุดการทดลอง (p<0.05) ซึ่งปลาที่ได้รับอาหารสูตรที่ 1 (อาหารปลาทางการค้า) มีฟอสฟอรัสที่สะสมในตัวปลาสูงที่สุด รองลงมาคือปลาที่ได้รับอาหารสูตรที่ 3 (ปลาป่น 9 เปอร์เซ็นต์และเสริมวัตถุดิบจากพืช) (41.49±1.66 เปอร์เซ็นต์) และปลาที่ได้รับอาหารสูตรที่ 5 (วัตถุดิบจากพืชทั้งหมด) มีค่าฟอสฟอรัสสะสมในตัวปลาต่ำที่สุด (37.84±1.32 เปอร์เซ็นต์)

ฟอสฟอรัสที่ถูกขับทิ้งในปลาที่ได้รับอาหารทดลองทั้ง 5 สูตร พบว่ามีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติระหว่างชุดการทดลอง (p<0.05) ซึ่งปลาที่ได้รับอาหารสูตรที่ 5 (วัตถุดิบจากพืชทั้งหมด) มีค่าฟอสฟอรัสที่ถูกขับทิ้งสูงที่สุด (5.09±0.95 ก.ฟอสฟอรัส/กก.น้ำหนักที่เพิ่มขึ้น) และปลาที่ได้รับอาหารสูตรที่ 1 (อาหารปลาทางการค้า) มีค่าฟอสฟอรัสที่ถูกขับทิ้งต่ำที่สุด (1.56 ± 0.15 ก.ฟอสฟอรัส/กก.น้ำหนักที่เพิ่มขึ้น) (ตารางที่ 13)

ตารางที่ 13 สัมประสิทธิ์การย่อยฟอสฟอรัส, ฟอสฟอรัสที่สะสมในตัวปลา และฟอสฟอรัสที่ถูกขับทิ้ง เมื่อสิ้นสุดการทดลองของปลานิลแดงแปลงเพศที่ได้รับอาหารทดลองสูตรต่างๆ เป็นเวลา 12 สัปดาห์[1]

อาหารทดลอง	สัมประสิทธิ์การย่อยฟอสฟอรัส	ฟอสฟอรัสที่สะสมในตัวปลา (เปอร์เซ็นต์)	ฟอสฟอรัสที่ถูกขับทิ้ง (ก.ฟอสฟอรัส/กก.น้ำหนักที่เพิ่มขึ้น)
สูตรที่ 1 อาหารปลาทางการค้า	-	53.95 ± 1.48^{c}	1.56 ± 0.15^{a}
สูตรที่ 2 ปลาป่น 36.5%	42.85 ± 1.38^{d}	40.12 ± 3.04^{b}	4.09 ± 0.66^{bc}
สูตรที่ 3 ปลาป่น 18% + วัตถุดิบจากพืช	37.04 ± 1.85^{c}	41.48 ± 2.83^{b}	3.50 ± 0.38^{b}
สูตรที่ 4 ปลาป่น 9% + วัตถุดิบจากพืช	34.93 ± 0.95^{b}	41.49 ± 1.66^{b}	3.46 ± 0.47^{b}
สูตรที่ 5 ปลาป่น 0% + วัตถุดิบจากพืช	31.88 ± 1.09^{a}	37.84 ± 1.32^{a}	5.09 ± 0.95^{c}

[1]ตัวเลขที่นำเสนอเป็นค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (จากการวิเคราะห์ตัวอย่าง 4 ซ้ำ)

ค่าเฉลี่ยในสดมภ์ที่มีตัวอักษรเหมือนกันกำกับ ไม่มีความแตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ ($p>0.05$)

- ไม่มีการคำนวณค่าสัมประสิทธิ์การย่อยฟอสฟอรัส

8. ต้นทุนค่าอาหารต่อผลผลิตปลานิลแดงแปลงเพศ(unit feed cost) เมื่อสิ้นสุดการทดลอง

จากการคำนวณต้นทุนค่าอาหารที่นำมาใช้เป็นส่วนประกอบในวัตถุดิบทั้ง 5 สูตรพบว่าราคาอาหารทดสอบมีแนวโน้มลดลงตามปริมาณปลาป่นที่ใช้ในสูตรและอาหารทดสอบทุกสูตรมีราคาต่ำกว่าอาหารปลาทางการค้า และเมื่อคำนวณต้นทุนค่าอาหารต่อผลผลิตปลาพบมีความแตกต่างทางสถิติระหว่างชุดการทดลองโดยปลาที่ได้รับอาหารสูตรที่ 4 (ปลาป่น 9% + วัตถุดิบจากพืช) มีต้นทุนในการผลิตปลาต่ำที่สุด (p<0.05) และปลาที่ได้รับอาหารสูตรที่ 2 (ปลาป่น 36.5%) มีต้นทุนในการผลิตปลาสูงที่สุดและมีค่าสูงกว่าอาหารปลาทางการค้าอีกด้วย (p<0.05)

ตารางที่ 14 ต้นทุนค่าอาหารต่อผลผลิตปลานิลแดงแปลงเพศ(unit feed cost) ที่ได้รับอาหารทดลองสูตรต่างๆ เป็นเวลา 12 สัปดาห์[1]

อาหารทดลอง	ราคาอาหาร (บาท/กิโลกรัม)	ต้นทุนค่าอาหารต่อผลผลิตปลา (บาท/กก.น้ำหนักที่เพิ่มขึ้น)
สูตรที่ 1 อาหารปลาทางการค้า	35.00	35.72±1.57^{b}
สูตรที่ 2 ปลาป่น 36.5%	29.81	49.58±2.35^{c}
สูตรที่ 3 ปลาป่น 18% + วัตถุดิบจากพืช	26.84	36.63±2.32^{ab}
สูตรที่ 4 ปลาป่น 9% + วัตถุดิบจากพืช	25.99	35.21±1.50^{a}
สูตรที่ 5 ปลาป่น 0% + วัตถุดิบจากพืช	25.71	38.65±2.22^{ab}

[1]ตัวเลขที่นำเสนอเป็นค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (จากการวิเคราะห์ตัวอย่าง 4 ซ้ำ)
ค่าเฉลี่ยในสดมภ์ที่มีตัวอักษรเหมือนกันกำกับ ไม่มีความแตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ (p>0.05)

การทดลองที่ 2

จากการทดลองเลี้ยงปลานิลแดงแปลงเพศน้ำหนักเริ่มต้นประมาณ 120 กรัมต่อตัว ด้วยอาหารปลาทางการค้าและอาหารทดลองที่มีปลาป่น 9 เปอร์เซ็นต์และเสริมวัตถุดิบจากพืช ซึ่งเป็นสูตรอาหารที่ให้ผลการทดลองดีที่สุดจากการทดลองที่ 1 ผลการทดลอง มีดังนี้

1. ความผิดปกติและพฤติกรรมของปลานิลแดงแปลงเพศ

ผลการศึกษาในครั้งนี้ พบว่าปลานิลแดงแปลงเพศที่ได้รับอาหารทั้ง 2 สูตร ไม่พบความผิดปกติของลักษณะภายนอก และปลาทุกตัวมีพฤติกรรมปกติ สุขภาพแข็งแรงตลอดการทดลอง

2. การเจริญเติบโต ประสิทธิภาพการใช้อาหาร และอัตรารอดตาย

ข้อมูลการเจริญเติบโตและประสิทธิภาพการใช้อาหารแสดงไว้ในตารางที่ 15 เมื่อเริ่มต้นทดลองน้ำหนักเฉลี่ยของปลานิลแดงแปลงเพศอยู่ในช่วง 118-120 กรัม เมื่อสิ้นสุดการทดลองน้ำหนักเฉลี่ยสุดท้ายของปลานิลแดงแปลงเพศที่ได้รับอาหารทั้ง 2 สูตรมีค่าเท่ากับ 281.08±18.25 และ 341.72±3.13 กรัมต่อตัวตามลำดับ (p<0.05) ส่วนเปอร์เซ็นต์น้ำหนักที่เพิ่มขึ้นและอัตราการเจริญเติบโตต่อตัวต่อวันมีแนวโน้มเช่นเดียวกับน้ำหนักเฉลี่ยสุดท้ายโดยมีค่าเท่ากับ 136.47±12.33, 184.17±2.25 เปอร์เซ็นต์และ 2.90±0.30, 3.95±0.05 กรัมต่อตัวต่อวันตามลำดับ (p<0.05)

อัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อของปลาที่ได้รับอาหารทั้ง 2 สูตรไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ (p>0.05) แต่อัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อของปลาที่ได้รับอาหารทางการค้ามีแนวโน้มสูงกว่าปลาที่ได้รับอาหารทดลองที่มีปลาป่น 9 เปอร์เซ็นต์ โดยมีค่าเท่ากับ 1.57±0.08 และ 1.40±0.17 ตามลำดับ

อัตราการรอดตายของปลาที่ได้รับอาหารทดลองทั้ง 2 สูตรไม่พบว่ามีความแตกต่างกันทางสถิติระหว่างชุดการทดลอง (p>0.05) โดยมีค่าอยู่ในช่วง 64.44-66.67 เปอร์เซ็นต์

ตารางที่ 15 การเจริญเติบโต ประสิทธิภาพการใช้อาหาร และอัตรารอดตายของปลานิลแดงแปลงเพศที่ได้รับอาหารทดลองทั้ง 2 สูตร เป็นเวลา 8 สัปดาห์[1]

อาหารทดลอง	น้ำหนักปลาเริ่มต้น (กรัม)	น้ำหนักปลาสุดท้าย (กรัม)	น้ำหนักที่เพิ่มขึ้น (เปอร์เซ็นต์)	อัตราการเจริญเติบโตต่อวัน (กรัม/ตัว/วัน)	อัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อ	อัตรารอดตาย (เปอร์เซ็นต์)
สูตรที่ 1 อาหารปลาทางการค้า	118.82±1.79[a]	281.08±18.25[a]	136.47±12.33[a]	2.90±0.30[a]	1.57±0.08[a]	64.44±10.18[a]
สูตรที่ 2 ปลาป่น 9% + วัตถุดิบจากพืช	120.25±0.17[a]	341.72±3.13[b]	184.17±2.25[b]	3.95±0.05[b]	1.40±0.17[a]	66.67±6.67[a]

[1]ตัวเลขที่นำเสนอเป็นค่าเฉลี่ย±ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (จากการวิเคราะห์ตัวอย่าง 3 ซ้ำ)

ค่าเฉลี่ยในสดมภ์ที่มีตัวอักษรเหมือนกันกำกับ ไม่มีความแตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ ($p>0.05$)

3. องค์ประกอบทางเคมีของซากปลานิลแดงแปลงเพศก่อนและหลังทดลอง

องค์ประกอบทางเคมีของซากปลานิลแดงแปลงเพศก่อนทดลอง และปลาที่ได้รับอาหารทดลองทั้ง 2 สูตร เมื่อสิ้นสุดการทดลอง แสดงไว้ในตารางที่ 16

ความชื้นของปลาทั้งตัวที่ได้รับอาหารทดลองทั้ง 2 สูตรไม่พบความแตกต่างทางสถิติระหว่างชุดการทดลอง (p>0.05) โดยความชื้นในตัวปลามีค่าอยู่ในช่วง 69.54 - 72.47 เปอร์เซ็นต์

โปรตีนและไขมันในตัวปลาที่ได้รับอาหารทดลองทั้ง 2 สูตรไม่พบความแตกต่างทางสถิติระหว่างชุดการทดลอง (p>0.05) โดยโปรตีนและไขมันในตัวปลามีค่าอยู่ในช่วง 51.86 - 53.24 เปอร์เซ็นต์ และ 24.22 - 26.10 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ

เถ้าในตัวปลาในปลาที่ได้รับอาหารสูตรที่ 1มีค่าสูงกว่าปลาที่ได้รับอาหารสูตรที่ 2 (ปลาป่น 9 เปอร์เซ็นต์และเสริมวัตถุดิบจากพืช) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p<0.05) โดยมีค่าเท่ากับ 12.95 - 17.31 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ

ฟอสฟอรัสในตัวปลาที่ได้รับอาหารทดลองทั้ง 2 สูตรมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติระหว่างชุดการทดลอง (p<0.05) โดยฟอสฟอรัสในตัวปลามีค่าอยู่ในช่วง 1.56 – 2.45 เปอร์เซ็นต์

ตารางที่ 16 องค์ประกอบทางเคมีของปลาทั้งตัวที่ได้รับอาหารทดลองสูตรต่างๆ เป็นเวลา 8 สัปดาห์[1] (%บนฐานน้ำหนักแห้ง)

อาหารทดลอง	ความชื้น	โปรตีน	ไขมัน	เถ้า	ฟอสฟอรัส
ปลาเริ่มต้น	70.58±0.50	52.31±0.40	33.65±0.80	15.99±1.20	1.78±0.14
สูตรที่ 1 อาหารปลาทางการค้า	69.54±0.23[a]	51.86±0.36[a]	24.22±0.92[a]	17.31±0.01[b]	2.45±0.10[b]
สูตรที่ 2 ปลาป่น 9% + วัตถุดิบจากพืช	72.47±1.59[a]	53.24±0.25[a]	26.10±0.27[a]	12.95±0.34[a]	1.56±0.04[a]

[1]ตัวเลขที่นำเสนอเป็นค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (จากการวิเคราะห์ตัวอย่าง 3 ซ้ำ)

ค่าเฉลี่ยในสดมภ์ที่มีตัวอักษรเหมือนกันกำกับ ไม่มีความแตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ ($p>0.05$)

4. ฟอสฟอรัสในซีรัมและกิจกรรมอัลคาไลน์ฟอสฟาเตส

ฟอสฟอรัสในซีรัมและกิจกรรมอัลคาไลน์ฟอสฟาเตสในปลาที่ได้รับอาหารทดลองทั้ง 2 สูตร แสดงไว้ในตารางที่ 17

ฟอสฟอรัสในซีรัมในปลาที่ได้รับอาหารทดลองทั้ง 2 สูตร ไม่พบความแตกต่างทางสถิติระหว่างปลาที่ได้รับอาหารสูตรที่ 2 (ปลาป่น 9 เปอร์เซ็นต์และเสริมวัตถุดิบจากพืช) (p>0.05)

กิจกรรมอัลคาไลน์ฟอสฟาเตสของปลาที่ได้รับอาหารทดลอง สูตรที่ 1 (อาหารปลาทางการค้า) มีกิจกรรมอัลคาไลน์ฟอสฟาเตสสูงกว่าปลาที่ได้รับอาหารสูตรที่ 2 (ปลาป่น 9 เปอร์เซ็นต์และเสริมวัตถุดิบจากพืช) (p<0.05) โดยมีค่าเท่ากับ 28.67±8.74 และ 13.33±2.08 ยูนิต/ลิตร ตามลำดับ

ตารางที่ 17 ฟอสฟอรัสในซีรัมและอัลคาไลน์ฟอสฟาเตสของปลานิลแดงแปลงเพศที่ได้รับอาหารทดลองสูตรต่างๆ เป็นเวลา 8 สัปดาห์[1]

อาหารทดลอง	ฟอสฟอรัสในซีรัม (มก./ล.)	กิจกรรมอัลคาไลน์ฟอสฟาเตส (ยูนิต/ล.)
สูตรที่ 1 อาหารปลาทางการค้า	18.13±1.98[a]	28.67±8.74[a]
สูตรที่ 2 ปลาป่น 9% + วัตถุดิบจากพืช	15.90±1.97[a]	13.33±2.08[a]

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

5. ฟอสฟอรัสและเถ้าในกระดูกปลา และฟอสฟอรัสในมูลปลา ของปลานิลแดงแปลงเพศที่ได้รับอาหารทดลองทั้ง 2 สูตรเป็นเวลา 8 สัปดาห์

ค่าฟอสฟอรัสและเถ้าในกระดูกปลา และฟอสฟอรัสในมูลปลาเมื่อสิ้นสุดการทดลอง ในปลาที่ได้รับอาหารทดลองทั้ง 2 สูตร แสดงไว้ในตารางที่ 18

ค่าฟอสฟอรัสและเถ้าในกระดูกของปลาทดลองได้รับอาหารทดลองทั้ง 2 สูตร พบว่าในปลาที่ได้รับอาหารสูตรที่ 1 จะมีค่าสูงกว่าสูตรที่ 2 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p<0.05) โดยฟอสฟอรัสในกระดูกปลามีค่าเท่ากับ 8.23±0.22 และ 7.52±0.06 เปอร์เซ็นต์ ส่วนเถ้าในกระดูกมีค่าเท่ากับ 50.13±0.66 และ 47.70±0.99 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ

ค่าฟอสฟอรัสในมูลปลาของปลาที่ได้รับอาหารทดลองสูตรที่ 2 มีค่าสูงกว่าสูตรที่ 1 (p<0.05) โดยมีค่าเท่ากับ 3.02±0.13 เปอร์เซ็นต์ และ 2.73±0.08 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ

ตารางที่ 18 ฟอสฟอรัสและเถ้าในกระดูกปลา และฟอสฟอรัสในมูลปลา ของปลานิลแดงแปลงเพศที่ได้รับอาหารทดลองทั้ง 2 สูตรเป็นเวลา 8 สัปดาห์[1]

อาหารทดลอง	ฟอสฟอรัสในกระดูก (เปอร์เซ็นต์)	เถ้าในกระดูก (เปอร์เซ็นต์)	ฟอสฟอรัสในมูล (เปอร์เซ็นต์)
สูตรที่ 1 อาหารปลาทางการค้า	8.23±0.22[b]	50.13±0.66[b]	2.73±0.08[a]
สูตรที่ 2 ปลาป่น 9% + วัตถุดิบจากพืช	7.52±0.06[a]	47.70±0.99[a]	3.02±0.13[b]

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

6. สัมประสิทธิ์การย่อยวัตถุแห้ง สัมประสิทธิ์การย่อยฟอสฟอรัส ฟอสฟอรัสที่สะสมในตัวปลา และฟอสฟอรัสที่ถูกขับทิ้ง เมื่อสิ้นสุดการทดลอง

ค่าสัมประสิทธิ์การย่อยวัตถุแห้ง สัมประสิทธิ์การย่อยฟอสฟอรัส ฟอสฟอรัสที่สะสมในตัวปลา และฟอสฟอรัสที่ถูกขับทิ้ง ในปลาที่ได้รับอาหารทดลองทั้ง 2 สูตร แสดงไว้ในตารางที่ 19

ค่าสัมประสิทธิ์การย่อยวัตถุแห้งในปลาที่ได้รับอาหารทดลองทั้ง 2 สูตร ไม่พบว่ามีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติระหว่างชุดการทดลอง (p>0.05) โดยมีค่าอยู่ระหว่าง 76.02 - 81.95 เปอร์เซ็นต์ ส่วนค่าสัมประสิทธิ์การย่อยฟอสฟอรัสพบว่าปลาที่รับอาหารทั้ง 2 สูตรมีค่าสัมประสิทธิ์การย่อยฟอสฟอรัสของอาหารแตกต่างกันทางสถิติ (p<0.05) โดยปลาที่ได้รับอาหารสูตรที่ 1 มีค่าสัมประสิทธิ์การย่อยฟอสฟอรัสสูงกว่าปลาที่ได้รับอาหารสูตรที่ 2 มีค่าเท่ากับ 52.69±1.38 และ 47.36±0.77 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ

ค่าฟอสฟอรัสสะสมในตัวปลาที่ได้รับอาหารทดลองทั้ง 2 สูตร มีแนวโน้มเดียวกับค่าสัมประสิทธิ์การย่อยฟอสฟอรัส ปลาที่ได้รับอาหารสูตรที่ 1 มีค่าฟอสฟอรัสสะสมในตัวปลาสูงกว่าปลาที่ได้รับอาหารสูตรที่ 2 (p<0.05) มีค่าเท่ากับ 42.29±2.50 และ 28.07±0.31 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ค่าฟอสฟอรัสที่ถูกขับทิ้งในปลาที่ได้รับอาหารทดลองทั้ง 2 สูตร ไม่พบว่ามีความแตกต่างทางสถิติระหว่างปลาที่ได้รับอาหารทดลองทั้ง 2 สูตร (p>0.05) ฟอสฟอรัสที่ถูกขับทิ้งมีค่าเท่ากับ 10.51±3.12 และ 12.93±0.55 กรัมฟอสฟอรัส/กิโลกรัมของน้ำหนักที่เพิ่มขึ้นตามลำดับ

ตารางที่ 19 สัมประสิทธิ์การย่อยวัตถุแห้ง, สัมประสิทธิ์การย่อยฟอสฟอรัส, ฟอสฟอรัสที่สะสมในตัวปลา และฟอสฟอรัสที่ถูกขับทิ้ง ของปลานิลแดงแปลงเพศที่ได้รับอาหารทดลองทั้ง 2 สูตรเป็นเวลา 8 สัปดาห์[1]

อาหารทดลอง	**สัมประสิทธิ์การย่อย** วัตถุแห้ง	**สัมประสิทธิ์การย่อย** ฟอสฟอรัส	ฟอสฟอรัสที่สะสมในตัวปลา (เปอร์เซ็นต์)	ฟอสฟอรัสที่ถูกขับทิ้ง (ก.ฟอสฟอรัส/กก. น้ำหนักที่เพิ่มขึ้น)
สูตรที่ 1 อาหารปลาทางการค้า	76.02±2.61[a]	52.69±1.38[b]	42.29±2.50[b]	10.51±3.12[a]
สูตรที่ 2 ปลาป่น 9% + วัตถุดิบจากพืช	81.95±3.11[a]	47.36±0.77[a]	28.07±0.31[a]	12.93±0.55[a]

[1]ตัวเลขที่นำเสนอเป็นค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (จากการวิเคราะห์ตัวอย่าง 3 ซ้ำ)

ค่าเฉลี่ยในสดมภ์ที่มีตัวอักษรเหมือนกันกำกับ ไม่มีความแตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ ($p>0.05$)

* ไม่มีการคำนวณค่าสัมประสิทธิ์การย่อยฟอสฟอรัส

7. ต้นทุนค่าอาหารต่อผลผลิตปลานิลแดงแปลงเพศ(unit feed cost) เมื่อสิ้นสุดการทดลอง

จากการเปรียบเทียบต้นทุนค่าอาหารที่นำมาใช้เป็นส่วนประกอบในวัตถุดิบทั้ง 2 สูตรพบว่าราคาอาหารทดสอบมีต้นทุนต่ำกว่าอาหารปลาทางการค้า และเมื่อคำนวณต้นทุนค่าอาหารต่อผลผลิตปลาพบมีความแตกต่างทางสถิติระหว่างชุดการทดลองโดยปลาที่ได้รับอาหารสูตรที่ 2 (ปลาป่น 9% + วัตถุดิบจากพืช) มีต้นทุนในการผลิตต่ำกว่าอาหารปลาทางการค้า (p<0.05)

ตารางที่ 20 ต้นทุนค่าอาหารต่อผลผลิตปลานิลแดงแปลงเพศ(unit feed cost) ที่ได้รับอาหารทดลองสูตรต่างๆ เป็นเวลา 8 สัปดาห์[1]

อาหารทดลอง	ราคาอาหาร (บาท/กิโลกรัม)	ต้นทุนค่าอาหารต่อผลผลิตปลา (บาท/กก.น้ำหนักที่เพิ่มขึ้น)
สูตรที่ 1 อาหารปลาทางการค้า	30.00	48.58±0.07[b]
สูตรที่ 2 ปลาป่น 9% + วัตถุดิบจากพืช	27.43	35.80±0.06[a]

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

วิจารณ์ผลการทดลอง

การทดลองที่ 1

ในอุตสาหกรรมการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำมีความพยายามที่จะลดต้นทุนการผลิตอาหารสัตว์น้ำ โดยการลดปริมาณปลาป่นซึ่งเป็นวัตถุดิบที่มีราคาสูง และใช้วัตถุดิบชนิดอื่นทดแทน โดยเฉพาะวัตถุดิบจากพืช จากการทดลองโดยวุฒิพร และ อัจฉริยา (2548) พบว่า เมื่อมีการเพิ่มวัตถุดิบจากพืชในอาหารให้สูงขึ้น จะทำให้การเจริญเติบโตและประสิทธิภาพของอาหารลดลง สอดคล้องกับการทดลองของ Rumsey และคณะ (1993, 1994); Stickney และคณะ(1996); Kim และคณะ (1998) แสดงว่าปลาสามารถใช้วัตถุดิบจากพืชแทนที่ปลาป่นได้ในปริมาณจำกัด ทั้งนี้พบว่าสัตว์น้ำแต่ละชนิดมีความสามารถในการใช้ประโยชน์โปรตีนจากวัตถุดิบจากพืชได้แตกต่างกัน ขึ้นกับคุณค่าทางอาหารและสารต้านโภชนาการ (antinutritional factor) ที่มีในวัตถุดิบจากพืชแต่ละชนิด (NRC, 1993) ได้แก่สารยับยั้งทริพซิน (trypsin inhibitor) โกสสิโพล (gossypol) กรดไขมันไซโคโพรพีน (cyclopropene fatty acid) และไมโมซีน (mimosine) (Francis *et al*.,2001) นอกจากนี้ในอาหารที่เสริมวัตถุดิบจากพืชในปริมาณสูงจะส่งผลให้ระดับเยื่อใยในอาหารสูงขึ้น ซึ่งปลาไม่สามารถย่อยได้ นอกจากมีการพัฒนาถึงสารอาหารที่มีโมเลกุลใหญ่ที่ให้พลังงานแก่ปลาได้แก่ โปรตีน ไขมัน และคาร์โบไฮเดรตแล้ว สารอาหารจำพวกแร่ธาตุก็มีความสำคัญทางกระบวนการทางชีวเคมีของร่างกายปลา โดยเฉพาะฟอสฟอรัส ซึ่งจะมีส่วนเกี่ยวข้องกับกระบวนการในการสร้างพลังงาน (oxidative phosphorylation) โดยพบว่าปลาสามารถนำฟอสฟอรัสจากพืชมาใช้ได้เพียง 1 ใน 3 เท่านั้น ส่วนที่เหลือจะอยู่ในรูปของกรดไฟติก หรือสารประกอบไฟเตทที่ปลาไม่สามารถย่อยและนำมาใช้ประโยชน์ได้ จากผลการทดลองครั้งนี้จะเห็นได้ว่าเมื่อเปรียบเทียบการเจริญเติบโตของปลาที่ได้รับอาหารที่มีปลาป่นสูงและปลาที่ได้รับอาหารที่ลดปริมาณปลาป่นลงเหลือ 18 และ 9 เปอร์เซ็นต์ และใช้วัตถุดิบจากพืชแทนในอาหาร จะให้การเจริญเติบโตที่ไม่แตกต่างกัน ทั้งนี้เนื่องจากมีการปรับปริมาณฟอสฟอรัสรวมในอาหารสูตรที่ใช้วัตถุดิบจากพืชสูงให้มีความใกล้เคียงกัน ส่วนปลาที่ได้รับอาหารสูตรที่ใช้วัตถุดิบจากพืชเพียงอย่างเดียว แม้จะเสริมฟอสฟอรัสสังเคราะห์ลงไป แต่ก็ยังไม่เพียงพอต่อการนำไปใช้ประโยชน์ ทำให้การเจริญเติบโตต่ำกว่าปลาในชุดการทดลองอื่นๆ สอดคล้องกับการทดลองของ Phromkunthong และ Udom (2008) ที่พบว่าการเจริญเติบโตของปลานิลแดงแปลงเพศที่เพิ่มขึ้นมีผลโดยตรงจากปริมาณฟอสฟอรัสที่ปลาสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ (available phosphorus) โดยปลาที่ได้รับอาหารที่มีปริมาณฟอสฟอรัสที่ปลาสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ต่ำกว่าระดับที่ปลาต้องการ ทำให้ปลามีการเจริญเติบโตต่ำด้วย ซึ่งสอดคล้องกับการ

ทดลองนี้ที่พบว่า ปลาที่ได้รับอาหารสูตรที่เสริมวัตถุดิบจากพืชเพียงอย่างเดียว แม้จะมีการเสริมอนินทรีย์ฟอสเฟตลงไป แต่ปริมาณฟอสฟอรัสรวมในอาหาร ที่ปลาสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ (0.341 เปอร์เซ็นต์ ในอาหาร) เป็นปริมาณที่ต่ำกว่าระดับความต้องการฟอสฟอรัสของปลานิล (0.5 เปอร์เซ็นต์ ในอาหาร) (NRC, 1993) ดังนั้นจึงไม่ช่วยให้การเจริญเติบโตดีขึ้น การทดลองนี้ยังสอดคล้องกับการทดลองของวุฒิพร (2550) ที่พบว่า แม้จะมีการเพิ่มสัดส่วนวัตถุดิบจากพืชในอาหารสูงขึ้น (ปลาป่น:วัตถุดิบจากพืช ในสัดส่วน 1:5) แต่หากทำการเสริม อนินทรีย์ฟอสเฟตในรูปไดแคลเซียมฟอสเฟต โดยทำให้ระดับของฟอสฟอรัสที่ใช้ประโยชน์ได้อยู่ในระดับที่เพียงพอกับปลานิลแดงแปลงเพศ พบว่า การเจริญเติบโตของปลาอยู่ในเกณฑ์ดี และไม่แตกต่างจากปลาที่ได้รับอาหารที่มีสัดส่วนของปลาป่นกับวัตถุดิบจากพืชที่สูงกว่า (ปลาป่น:วัตถุดิบจากพืช ในสัดส่วน 1:1) ในขณะที่ปลากลุ่มที่เพิ่มสัดส่วนของวัตถุดิบจากพืชสูงขึ้น แต่ไม่มีการเสริมอนินทรีย์ฟอสเฟต พบว่าการเจริญเติบโตแตกต่างกันกับกลุ่มแรกอย่างมีนัยสำคัญ ในทำนองเดียวกัน จูอะดี และคณะ (2549) ที่พบว่าอาหารที่มีระดับฟอสฟอรัสที่มาจากปลาป่นในระดับที่เพียงพอกับระดับความต้องการของปลากะพงแดง ไม่พบการเจริญเติบโตที่ลดลง และไม่จำเป็นต้องเสริมอนินทรีย์ฟอสเฟตและแคลเซียมในอาหาร นอกจากนี้ยังพบว่าปริมาณฟอสฟอรัสและแคลเซียมในกระดูกปลาทดลองมีอัตราส่วนของแคลเซียมต่อฟอสฟอรัสโดยประมาณ 2:1 โดยปริมาณแคลเซียมและฟอสฟอรัสในอาหารไม่มีผลต่อสัดส่วนแคลเซียมและฟอสฟอรัสในกระดูกปลา (จูอะดี และคณะ 2549) การเจริญเติบโตที่ลดลงจัดว่าเป็นลักษณะที่พบในปลาเกือบทุกชนิดที่ได้รับอาหารขาดฟอสฟอรัส การเจริญเติบโตช้าและค่าอัตราแลกเนื้อที่สูงที่เกิดจากปลาได้รับฟอสฟอรัสในปริมาณที่ไม่เพียงพอ มีรายงานในปลาแฮดด็อก (haddock) (Roy and Lall, 2003), เรนโบว์เทราท์ (rainbow trout) (Ketola and Richmond, 1994), ซันไชน์ แบส (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

ค่าสัมประสิทธิ์การย่อยฟอสฟอรัส พบว่าในปลาที่ได้รับอาหารสูตรที่ใช้ปลาป่น 36.5 เปอร์เซ็นต์มีค่าสัมประสิทธิ์การย่อยฟอสฟอรัสสูงสุดคือ 42.85 เปอร์เซ็นต์ ส่วนปลาที่ได้รับอาหารสูตรที่ใช้วัตถุดิบจากพืชเพียงอย่างเดียวมีค่าสัมประสิทธิ์การย่อยฟอสฟอรัสต่ำที่สุด สาเหตุที่ค่าสัมประสิทธิ์การย่อยฟอสฟอรัสของอาหารที่ใช้ปลาป่นเพียงอย่างเดียวมีค่าสูงกว่าสูตรอาหารอื่นๆ เนื่องจากฟอสฟอรัสที่มีในวัตถุดิบจากพืชส่วนใหญ่อยู่ในรูปของไฟเตทและกรดไฟติก ซึ่งเป็นโครงสร้างที่มีความแข็งแรง ปลาไม่สามารถย่อยและนำไปใช้ประโยชน์ได้ ทั้งยังต้านการดูดซึมและ

การใช้ประโยชน์จากฟอสฟอรัสในอาหารของปลาอีกด้วย (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 ปลาเรนโบว์ เทร้าท์ที่กินอาหารซึ่งมีแหล่งโปรตีนจากกากถั่วลิสงมีประสิทธิภาพการดูดซึมฟอสฟอรัส 22.1 เปอร์เซ็นต์ กากถั่วเหลืองสกัดน้ำมันมีประสิทธิภาพการดูดซึมฟอสฟอรัส 13.4 เปอร์เซ็นต์ และคอร์นกลูเต้นมีประสิทธิภาพการดูดซึมฟอสฟอรัส 30.7 เปอร์เซ็นต์ และเมื่อเสริมเอนไซม์ไฟเตส 3,750 ยูนิตต่ออาหาร 1 กิโลกรัม ในวัตถุดิบเหล่านี้ก่อนผสมอาหาร พบว่า ปลาเรนโบว์เทราท์ที่กินอาหารซึ่งมีแหล่งโปรตีนจากกากถั่วลิสงมีประสิทธิภาพการดูดซึมฟอสฟอรัสเพิ่มขึ้นเป็น 75.6 เปอร์เซ็นต์ จากกากถั่วเหลืองสกัดน้ำมันเพิ่มเป็น 46.6 เปอร์เซ็นต์ และจากคอร์นกลูเต้นเพิ่มเป็น 76.8 เปอร์เซ็นต์ แสดงให้เห็นว่าถ้าสามารถย่อยสลายกรดไฟติกหรือไฟเตทในอาหารได้จะส่งผลให้มีค่าการใช้ประโยชน์จากฟอสฟอรัสในวัตถุดิบจากพืชเพิ่มมากขึ้น และส่งผลให้ค่าสัมประสิทธิ์การย่อยฟอสฟอรัสของวัตถุดิบเพิ่มสูงขึ้นได้ ซึ่งสอดคล้องกับค่าปริมาณอัลคาไลน์ฟอสฟาเตสในซีรัมของปลา ซึ่งพบว่า ปลาที่ได้รับอาหารสูตรที่ใช้ปลาป่นอย่างเดียว มีค่าอัลคาไลน์ฟอสฟาเตสสูงที่สุด และปลาที่ได้รับอาหารสูตรที่ใช้วัตถุดิบจากพืชอย่างเดียว มีค่าอัลคาไลน์ฟอสฟาเตสต่ำที่สุด ซึ่งสอดคล้องกับค่าฟอสฟอรัสในซีรัม โดยในปลาที่ได้รับอาหารสูตรที่มีปลาป่นอย่างเดียว มีค่าฟอสฟอรัสในซีรัมสูงที่สุด และปลาที่ได้รับอาหารสูตรที่ใช้วัตถุดิบจากพืชอย่างเดียว มีค่าฟอสฟอรัสในซีรัมต่ำที่สุด Lall (2002) พบว่า การดูดซึมฟอสเฟตในอาหารของปลาจะมีผลกับระดับฟอสเฟตในเลือดและพบว่าการขาดฟอสฟอรัสทำให้ฟอสเฟตในยูรีน (urine) และในพลาสมาต่ำโดย Eya และ Lovell (1997) ซึ่งรายงานว่าระดับอัลคาไลน์ฟอสฟาเตสในซีรัมจะเป็นตัวบ่งชี้ถึงระดับฟอสฟอรัสที่ต้องการในปลากดอเมริกันขนาดใหญ่

ส่วนประกอบทางโภชนาการของตัวปลา พบว่าปริมาณโปรตีนในตัวปลา หลังจากที่ได้รับอาหารทดลองเป็นระยะเวลา 12 สัปดาห์ พบว่าปลาที่ได้รับอาหารอาหารที่มีระดับปลาป่น 18 เปอร์เซ็นต์ และเสริมวัตถุดิบจากพืช อาหารที่มีระดับปลาป่น 9 เปอร์เซ็นต์ และเสริมวัตถุดิบจากพืช และอาหารที่ใช้วัตถุดิบจากพืชทั้งหมด ไม่มีความแตกต่างทางสถิติกับ ปลาที่ได้รับอาหารที่ใช้ปลาป่นเพียงอย่างเดียว ซึ่งการที่ไม่มีความแตกต่างระหว่างชุดการทดลองนี้ อาจเนื่องมาจากวิธีการเตรียมตัวอย่างในการวิเคราะห์โปรตีนในเนื้อปลา ซึ่งเป็นการรวมตัวอย่างในแต่ละซ้ำ (pool sample) ส่วนปริมาณไขมันในตัวปลาพบว่า ปลาที่ได้รับอาหารที่มีระดับปลาป่น 18 เปอร์เซ็นต์ และเสริมวัตถุดิบจากพืช มีปริมาณไขมันในซากต่ำที่สุด ซึ่งมีรายงานว่าการขาดฟอสฟอรัสจะส่งผลต่อการ

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

จากผลการศึกษาปริมาณฟอสฟอรัสในตัวปลาหลังการทดลองพบว่า ปลาที่ได้รับอาหารที่ใช้ปลาป่น 36.5 เปอร์เซ็นต์อาหารที่มีระดับปลาป่น 18 เปอร์เซ็นต์ และเสริมวัตถุดิบจากพืช และที่มีระดับปลาป่น 9 เปอร์เซ็นต์ และเสริมวัตถุดิบจากพืช มีปริมาณฟอสฟอรัสในตัวไม่แตกต่างทางสถิติ และสูงกว่าปลาที่ได้รับอาหารที่ใช้วัตถุดิบจากพืชทั้งหมด ทั้งนี้เนื่องจากอาหารสูตรนี้มีปริมาณฟอสฟอรัสที่นำไปใช้ประโยชน์ได้ต่ำกว่าระดับความต้องการฟอสฟอรัสของปลานิล ส่งผลให้การเจริญเติบโตและประสิทธิภาพการใช้อาหารลดลง และมีการสะสมแร่ธาตุน้อยลงด้วย (Lall, 2002) ซึ่งสอดคล้องกับปริมาณการสะสมของฟอสฟอรัสในกระดูกปลาและการสะสมของฟอสฟอรัสในตัวปลา (phosphorus retention) ซึ่งพบว่า ปลาที่ได้รับอาหารสูตรที่ 4 มีการสะสมของฟอสฟอรัสในกระดูกปลา 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 อาหารที่มีระดับปลาป่น 18 เปอร์เซ็นต์ และเสริมวัตถุดิบจากพืช และอาหารที่มีระดับปลาป่น 9 เปอร์เซ็นต์ และเสริมวัตถุจากดิบพืช มีน้ำหนักที่เพิ่มขึ้นไม่แตกต่างกัน ซึ่งอาจส่งผลให้ปริมาณฟอสฟอรัสที่ถูกดูดซึมและเก็บสะสมในตัวปลามีปริมาณใกล้เคียงกันด้วย

ค่าฟอสฟอรัสที่สะสมในตัวปลาจากการศึกษาครั้งนี้ พบว่ามีแนวโน้มเช่นเดียวกันกับค่าฟอสฟอรัสที่ถูกขับทิ้ง (phosphorus load) ซึ่งพบว่าเมื่อมีปริมาณฟอสฟอรัสที่สะสมในตัวปลาสูง ค่าปริมาณฟอสฟอรัสที่ถูกขับทิ้งก็จะต่ำลง โดยปลาที่ได้รับอาหารที่ใช้ปลาป่น 36.5 เปอร์เซ็นต์ และปลาที่ได้รับอาหารทดลองที่มีระดับปลาป่น 18 เปอร์เซ็นต์ และเสริมวัตถุดิบจากพืชและที่มีระดับปลาป่น 9 เปอร์เซ็นต์ และเสริมวัตถุดิบจากพืช ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ซึ่งจากการศึกษาพบว่า ชุดการทดลองที่ 4 ซึ่งใช้วัตถุดิบจากพืชเป็นส่วนประกอบของทั้งหมด มีค่าฟอสฟอรัสที่ถูกขับทิ้งสูงที่สุด คือ 5.09±0.95 เปอร์เซ็นต์ ทั้งนี้จากการศึกษาของ Hernandez และคณะ (2004) ที่ทำการศึกษาค่าฟอสฟอรัสที่สะสมในตัวปลา ในปลาเรนโบว์ เทร้าท์ 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) ซึ่งมีความสัมพันธ์กับค่าฟอสฟอรัสที่ถูกขับทิ้ง

จากข้อมูลค่าสัมประสิทธิ์การย่อยฟอสฟอรัสของวัตถุดิบอาหาร ทั้งปลาป่น กากถั่วเหลือง รำข้าว ปลายข้าว คอร์นกลูเต้น และอนินทรีย์ฟอสเฟต พบว่ามีความแตกต่างกัน เนื่องจากฟอสฟอรัสที่มีอยู่ในวัตถุดิบแต่ละชนิดมีรูปแบบและโครงสร้างที่แตกต่างกัน คุณสมบัติทางเคมีของฟอสฟอรัสที่มีอยู่ในวัตถุดิบอาหารชนิดต่างๆเมื่อนำมารวมกันแล้วอาจเกิดผลกระทบ (dynamics) ต่อการย่อยและดูดซึมฟอสฟอรัสในทางเดินอาหารของปลา (Hua and Bureau, 2006) ซึ่งอาจส่งผลทั้งในด้านบวกหรือด้านลบต่อการใช้ประโยชน์จากฟอสฟอรัสในอาหารของปลา ซึ่งจาการศึกษาของ Hua และ Bureau (2006) พบว่า ปริมาณฟอสฟอรัสในกระดูกปลาป่น มีปฏิสัมพันธ์เชิงลบกับอนินทรีย์ฟอสเฟตที่เสริมลงในอาหาร ส่งผลให้การใช้ประโยชน์จากฟอสฟอรัสในอาหารลดลง การปรับชนิดของวัตถุดิบและแหล่งของฟอสฟอรัสในสูตรอาหาร โดยการใช้วัตถุดิบโปรตีนที่มีปริมาณฟอสฟอรัสต่ำกว่าวัตถุดิบจากพืช มีผลทำให้ปริมาณฟอสฟอรัสในสูตรอาหารลดลง และเมื่อสูตรอาหารมีความสมดุลกับความต้องการของปลาจะทำให้ปลามีการใช้ประโยชน์จากฟอสฟอรัสได้อย่างมีประสิทธิภาพสูงสุด และมีปริมาณฟอสฟอรัสที่ถูกขับออกสู่สภาพแวดล้อมในรูปแบบต่างๆ น้อยที่สุด (Cho and Bureau, 2001)

การทดลองที่ 2

จากการทดลองเลี้ยงปลานิลแดงแปลงเพศน้ำหนักเริ่มต้น 118-120 กรัมด้วยอาหารปลาทางการค้าเปรียบเทียบกับอาหารสูตรที่มีปลาป่น 9 เปอร์เซ็นต์โดยเสริมวัตถุดิบจากพืชพบว่า การเจริญเติบโต (น้ำหนักเฉลี่ยสุดท้าย น้ำหนักที่เพิ่มขึ้น และอัตราการเจริญเติบโตต่อตัวต่อวัน) มีความแตกต่างกันโดยปลาที่ได้รับอาหารสูตรที่มีปลาป่น 9 เปอร์เซ็นต์มีการเจริญเติบโตที่ดีกว่าปลาที่ได้รับอาหารทางการค้า ทั้งนี้ในอาหารปลาทางการค้าจะทราบเพียงชนิดของวัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตแต่ไม่ทราบถึงปริมาณหรือระดับของวัตถุดิบแต่ละตัวที่ใช้ซึ่งถือเป็นความลับของทางบริษัท จากการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของอาหารทั้ง 2 สูตรที่ใช้ในการทดลอง พบว่ามีปริมาณโปรตีน ไขมัน และไนโตรเจนฟรีเอกแทรกซ์ใกล้เคียงกัน ซึ่งสารอาหารเหล่านี้เป็นสารอาหารในกลุ่มที่ใช้ในการเจริญเติบโตและให้พลังงาน Takeuchi และคณะ (1993) อธิบายว่าหากโปรตีนและพลังงานในอาหารอยู่ในระดับที่ใกล้เคียงกัน มีความเป็นไปได้สูงที่การเจริญเติบโตจะขึ้นอยู่กับระดับของฟอสฟอรัสที่ใช้ประโยชน์ได้ในอาหาร ในปลาที่มีขนาดใหญ่ความต้องการฟอสฟอรัสจะลดลงเมื่อเปรียบเทียบกับปลาระยะวัยรุ่นที่มีความต้องการฟอสฟอรัสในปริมาณสูงเพื่อนำไปใช้สร้างกระดูกและโครงสร้างต่างๆของร่างกาย (Jahan *et al*., 2003) Rodehutscord และ Pfeffer (1995) ศึกษาความต้องการฟอสฟอรัสในปลาเรนโบว์ เทร้าท์พบว่า เมื่อปลามีอายุเพิ่มมากขึ้นการสะสมฟอสฟอรัสในตัวจะลดลง และฟอสฟอรัสที่ปลาไม่สามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ก็จะถูกขับทิ้งไป จึงมีความ

เป็นไปได้ที่ปลานิลแดงแปลงเพศที่ได้รับอาหารปลาทางการค้าจะได้รับฟอสฟอรัสในปริมาณที่มากเกินความต้องการ ทำให้การเจริญเติบโตลดลง จากรายงานของ Vielma และ Lall (1998) พบว่าปลาที่ได้รับอาหารที่มีฟอสฟอรัสสูงมีผลต่อการนำ สังกะสี และแมกนีเซียมในกระดูกไปใช้ประโยชน์ ซึ่งพบในปลาแอตแลนติก แซลมอน นอกจากนี้ยังพบว่าฟอสฟอรัสสามารถจับ (chelate) กับธาตุสังกะสี และแร่ธาตุชนิดอื่นที่ปลามีความต้องการในปริมาณน้อย ทำให้เกิดการยับยั้งการดูดซึมสารอาหารอื่นๆ แบบแย่งจับ หรือยับยั้งแบบแข่งขัน (competitive inhibitor) จึงทำให้ปลาดูดซึม และเผาผลาญสารอาหารได้ลดลง เป็นต้น

การเลือกใช้วัตถุดิบเพื่อนำมาผลิตอาหารปลาเป็นแนวทางที่ช่วยลดการขับถ่ายฟอสฟอรัสจากการเพาะเลี้ยงออกสู่สิ่งแวดล้อม ตัวอย่างเช่น การลดปริมาณปลาป่นในสูตรอาหารลงให้อยู่ในระดับที่เหมาะสม ทั้งนี้เนื่องจากฟอสฟอรัสในปลาป่นอยู่ในรูปของไฮดรอกซีอะพาไทต์ ($Ca_{10}(PO_4)_6(OH)_2$) ปลาทั่วไปสามารถย่อยปลาป่นได้ประมาณ 60-80 เปอร์เซ็นต์ ขึ้นอยู่กับปลาแต่ละชนิด โดยพบว่าการใช้ประโยชน์ของฟอสฟอรัสจากปลาป่นในปลานิล จะมีค่าต่ำกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับปลาเรนโบว์เทร้า (rainbow trout) และปลาชัม แซลมอน (chum salmon) โดยปลาชัม แซลมอน นำไปใช้ได้ 71 เปอร์เซ็นต์ และในปลานิล นำไปใช้ได้ 65 เปอร์เซ็นต์ (Watanabe *et al*., 1980a,b) จากการทดลองของวุฒิพร และวรากรณ์ (2551) พบว่าการใช้ปลาป่นในอาหารระดับ 36.5, 18 และ 9 เปอร์เซ็นต์ในอาหารสำหรับปลานิลแดงแปลงเพศให้ผลไม่ต่างกันในด้านการเจริญเติบโต แต่ปลาที่ได้รับอาหารสูตรที่มีปลาป่น 9 เปอร์เซ็นต์มีการขับทิ้งของฟอสฟอรัสที่ต่ำกว่า แสดงให้เห็นว่าการเลือกใช้ปลาป่นในระดับที่เหมาะสมเป็นการช่วยลดการขับถ่ายฟอสฟอรัสจากการเพาะเลี้ยงออกสู่สิ่งแวดล้อม

ในส่วนประกอบของวัตถุดิบที่ใช้ผลิตอาหารทางการค้าที่ระบุไว้ข้างกระสอบอาหาร มีส่วนประกอบของเนื้อและกระดูกป่นเป็นองค์ประกอบ ซึ่งวัตถุดิบชนิดนี้มีโปรตีนและฟอสฟอรัสในปริมาณสูง (Hertrampf and Piedad-Pascual, 2000) จากการทดลองของ New (1987) อ้างโดย Hertrampf และ Piedad-Pascual (2000) ศึกษาการใช้เนื้อและกระดูกป่นทดแทนปลาป่นในอาหารปลาหมอเทศ (*O. mossambicus*) พบว่าเมื่อระดับของเนื้อและกระดูกป่นเพิ่มสูงขึ้นจะส่งผลให้การเจริญเติบโต (น้ำหนักที่เพิ่มขึ้นและอัตราการเจริญเติบโตจำเพาะ) ลดลง และอัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อเพิ่มสูงขึ้น ทั้งนี้เนื่องจากเนื้อและกระดูกป่นขาดกรดอะมิโนเมทไธโอนินซึ่งเป็นกรดอะมิโนที่จำเป็นและมีไขมันสูงทำให้ความน่ากินของอาหารลดลง (Robaina *et al*., 1997) นอกจากนี้ Goda และคณะ (2007) รายงานว่าการเพิ่มปริมาณเนื้อและกระดูกป่นลงในอาหารจะส่งผลให้ปริมาณเถ้าในตัวปลาเพิ่มสูงขึ้น Ai และคณะ (2006) รายงานว่าปลา yellow croaker ที่ได้รับเนื้อและกระดูกป่นในอาหารเพิ่มมากขึ้นส่งผลให้การเจริญเติบโตลดลง จากการทดลองในครั้งนี้พบว่าปลาที่ได้รับ

อาหารทางการค้ามีปริมาณเถ้าในตัวปลาและกระดูก ฟอสฟอรัสในตัวปลาและกระดูกสูงกว่าปลาที่ได้รับอาหารที่มีปลาป่น 9 เปอร์เซ็นต์ อย่างไรก็ตามข้อมูลดังกล่าวเป็นเพียงข้อสันนิษฐานขั้นต้น เพราะไม่ทราบถึงปริมาณของเนื้อและกระดูกป่นที่ใส่ลงในอาหารทางการค้า ส่วนองค์ประกอบทางเคมีอื่นๆได้แก่ ความชื้น โปรตีน และไขมันในซากปลาหลังทดลอง มีค่าไม่แตกต่างกันในปลาที่ได้รับอาหารทั้ง 2 สูตร สอดคล้องกับการทดลองของ Mundheim และคณะ (2004) ที่ศึกษาการแทนที่ปลาป่นด้วยวัตถุดิบจากพืช 2 ชนิดคือ กากถั่วเหลืองและคอร์นกลูเต้น ในปลาแซลมอนพบว่าองค์ประกอบทางเคมีในซากปลาหลังทดลองมีค่าไม่แตกต่างกัน

ฟอสฟอรัสในซีรัมและระดับของเอนไซม์อัลคาไลน์ฟอสฟาเตสในปลาที่ได้รับอาหารทางการค้ามีค่าสูงกว่าในปลาที่ได้รับอาหารที่มีปลาป่น 9 เปอร์เซ็นต์ สอดคล้องกับการทดลองของ Skonberg และคณะ (1997) และ Phromkunthong and Udom (2008) ที่พบว่า ระดับของเอนไซม์อัลคาไลน์ฟอสฟาเตสจะเพิ่มสูงขึ้นตามระดับของฟอสฟอรัสที่เพิ่มขึ้นในอาหาร ซึ่งมีความสัมพันธ์กับฟอสฟอรัสในซีรัม โดยพบว่าฟอสฟอรัสในซีรัมมีแนวโน้มไปในทิศทางเดียวกับค่าอัลคาไลน์ฟอสฟาเตส ในอาหารปลาทางการค้ามีฟอสฟอรัสรวมสูงถึง 1.38 เปอร์เซ็นต์ Lall (1991) อธิบายว่าระดับของฟอสฟอรัสในเลือดจะเป็นตัวควบคุมกระบวนการดูดซึมฟอสฟอรัสในอาหาร โดยกลไกการควบคุมการดูดซึมแร่ธาตุมาจากฮอร์โมนจากต่อมพาราไธรอยด์ (Parathyroid hormone: PTH) ซึ่งผลต่อระดับฟอสฟอรัสในเลือด เมื่อฟอสฟอรัสในทางเดินอาหารอยู่ในระดับที่มากเกินไปพาราไธรอยด์ฮอร์โมน จะยับยั้งการดูดซึมแร่ธาตุโดยเพิ่มการขับออกทางปัสสาวะ ทำให้ปลาได้รับฟอสฟอรัสไม่เพียงพอ (Šimpraga *et al*., 2004) อาจเป็นสาเหตุหนึ่งที่ทำให้ปลาที่ได้รับอาหารทางการค้ามีการเจริญเติบโตต่ำกว่า

ค่าสัมประสิทธิ์การย่อยฟอสฟอรัสในปลาที่ได้รับอาหารที่มีปลาป่น 9 เปอร์เซ็นต์มีค่าต่ำกว่าปลาที่ได้รับอาหารทางการค้า ส่วนฟอสฟอรัสใรมูลปลามีค่าสูงกว่าทั้งนี้เนื่องจากในอาหารปลาสูตรนี้มีการเสริมวัตถุดิบจากพืชลงไป ซึ่งฟอสฟอรัสที่มีในวัตถุดิบจากพืชส่วนใหญ่อยู่ในรูปของไฟเตทและกรดไฟติก ซึ่งเป็นโครงสร้างที่มีความแข็งแรง ปลาไม่สามารถย่อยและนำไปใช้ประโยชน์ได้ ทั้งยังต้านการดูดซึมและการใช้ประโยชน์จากฟอสฟอรัสในอาหารของปลาอีกด้วย (Vielma *et al*., 2004) อย่างไรก็ตามในสูตรอาหารนี้ได้มีการเสริมไดแคลเซียมฟอสเฟตลงไปในอาหารเพื่อให้มีฟอสฟอรัสที่ใช้ประโยชน์ได้ในอาหารเพิ่มมากขึ้น ทำให้ปลาไม่แสดงอาการขาดฟอสฟอรัส

จากการคำนวณการสะสมฟอสฟอรัสในตัว และฟอสฟอรัสที่ถูกขับทิ้ง ผลการศึกษานี้แสดงให้เห็นว่าการสะสมฟอสฟอรัสในตัวปลาที่ได้รับอาหารทางการค้ามีค่าสูงกว่าปลาที่ได้รับปลาป่น 9 เปอร์เซ็นต์เนื่องจากปลาที่ได้รับอาหารทางการค้ามีปริมาณฟอสฟอรัสในอาหารสูงกว่า ทำให้

มีการสะสมในตัวสูงกว่า ดังจะเห็นได้จากค่าฟอสฟอรัสในตัว ฟอสฟอรัสในกระดูก เถ้าในตัว และเถ้าในกระดูกซึ่งมีค่าสูงกว่า ส่งผลให้มีการสะสมฟอสฟอรัสในส่วนต่างๆเพิ่มมากขึ้น ส่วนค่าฟอสฟอรัสที่ถูกขับทิ้งซึ่งจะเป็นตัวบอกถึงระดับของฟอสฟอรัสที่ถูกขับออกจากตัวปลาสู่สภาพแวดล้อม หากค่าฟอสฟอรัสที่ถูกขับทิ้งมีปริมาณสูง ก็อาจส่งผลกระทบต่อสภาพแวดล้อมได้ (Jahan *et al*., 2003) พบว่ามีค่าไม่แตกต่างกัน และสอดคล้องกับการศึกษาของ Hernandez และคณะ (2004) ที่ทำการศึกษาค่าฟอสฟอรัสที่สะสมในตัวปลาในปลาเรนโบว์ เทร้าท์ โดยกำหนดสูตรอาหารให้ สูตรที่ 1 ใช้ปลาป่นเป็นวัตถุดิบอาหารโดยไม่ใช้วัตถุดิบจากพืช (ปลาป่น 57 เปอร์เซ็นต์/กก.อาหาร) สูตรที่ 2 ลดระดับปลาป่นลงและใช้วัตถุดิบจากพืชเสริมทดแทน (ปลาป่น 15 เปอร์เซ็นต์/กก.อาหาร) ผลการศึกษาพบว่าฟอสฟอรัสที่สะสมในตัวปลา ในอาหารสูตรที่ 2 (ปลาป่น 36.0 เปอร์เซ็นต์) มีค่าสูงกว่า สูตรที่ 1 (ปลาป่น 22.2 เปอร์เซ็นต์) โดยมีความสัมพันธ์กับค่าฟอสฟอรัสที่ถูกขับทิ้ง

เอกสารอ้างอิง

กรมประมง. 2541. คู่มือการเพาะเลี้ยงปลานิลเพศผู้สายพันธุ์จิตรลดา 2. สถาบันวิจัยและพัฒนาพันธุกรรมสัตว์น้ำ, กระทรวงเกษตรและสหกรณ์.

กรมประมง. 2545. สถิติการประมงแห่งประเทศไทย พ.ศ. 2542. เอกสารฉบับที่ 10/2545. กรุงเทพฯ: กองเศรษฐกิจการประมง กรมประมง, กระทรวงเกษตรและสหกรณ์.

กรมประมง. 2546ก. สรุปสถานการณ์การเลี้ยงสัตว์น้ำที่สำคัญ. กรุงเทพ: ส่วนเศรษฐกิจการประมง สำนักพัฒนาและถ่ายทอดเทคโนโลยี กรมประมง, กระทรวงเกษตรและสหกรณ์.

กรมประมง. 2546ข. การส่งออกปลาน้ำจืดปี 2546 (ม.ค.-ก.ย.). กรุงเทพ: กลุ่มวิเคราะห์การค้าสินค้าระหว่างประเทศ กองประมงต่างประเทศ กรมประมง, กระทรวงเกษตรและสหกรณ์.

จิรวัฒน์ ทัดแก้ว. 2549. ผลของเอนไซม์ไฟเตสต่อประสิทธิภาพการย่อยสารอาหารในวัตถุดิบพืช 5 ชนิดในปลานิลแดงแปลงเพศ (*Oreochromis niloticus* × *O. mossambicus*). สงขลา: วิทยานิพนธ์ วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต ภาควิชาวาริชศาสตร์ 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.

นวลมณี พงศ์ธนา และพุทธรัตน์ เบ้าประเสริฐกุล. 2538. การทดลองเพาะเลี้ยงปลานิลเพศผู้ GMT. กรุงเทพ: สถาบันวิจัยและพัฒนาพันธุกรรมสัตว์น้ำ กรมประมง, กระทรวงเกษตรและสหกรณ์.

พรรณศรี จริโมภาส. 2531. ปลานิลสีแดงสายพันธุ์ไทย. ว. การประมง 41: 41-43.

มะลิ บุณยรัตผลิน และจูอะดี พงศ์มณีรัตน์. 2533. การศึกษาประสิทธิภาพการย่อยโปรตีนจากวัตถุดิบบางชนิดในอาหารผสมของลูกปลากะพง. เอกสารวิชาการฉบับที่ 6/2533. สถาบันวิจัยการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำชายฝั่งสงขลา.

มานพ ตั้งตรงไพโรจน์, ภาณุ เทวรัตน์มณีกุล, พรรณศรี จริโมภาส, สุจินต์ หนูขวัญ, กำชัย ลาวัณยวุฒิ, วีระ วัชรกรโยธิน และวิมล จันทรโรทัย. 2536. การพัฒนาการเพาะเลี้ยงปลานิล. เอกสารเผยแพร่ฉบับที่ 23. กรุงเทพฯ: สถาบันวิจัยการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำจืด กรมประมง กระทรวงเกษตรและสหกรณ์.

บุญล้อม ชีวะอิสระกุล และสุชน ตั้งทวีพัฒน์. 2540. ไฟเตทสารขัดขวางการใช้ประโยชน์ของฟอสฟอรัสในสัตว์. ว.มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ 7: 23-30.

วิมล จันทรโรทัย, ประเสริฐ สีตะสิทธิ์ และศิริพร ราชภัคดี. 2536. อัตราส่วนสูงสุดของคาร์โบไฮเดรตจากปลายข้าวต่อลิปิดในอาหารปลาดุกลูกผสม. วิทยาสารเกษตรศาสตร์ (วิทยาศาสตร์) 28: 49–57.

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

วุฒิพร พรหมขุนทอง. 2550. การศึกษาสัดส่วนโปรตีนสัตว์ต่อโปรตีนพืชและการทดแทนฟอสฟอรัสจากปลาป่นด้วยวัตถุดิบพืช และอนินทรีย์ฟอสเฟต ในอาหารสำหรับปลานิลแดงแปลงเพศ. สงขลา: ภาควิชาวาริชศาสตร์ คณะทรัพยากรธรรมชาติ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.

วุฒิพร พรหมขุนทอง, วรรณชัย พรหมเกิด, กิจการ ศุภมาตย์, วุฒิกรณ์ จิตติวรรณ และ ดุสิต นาคะชาต. 2547. การแทนที่ปลาป่นในอาหารปลานิลแดงแปลงเพศ (*Oreochromis niloticus* Linn.) ด้วยกากเนื้อเมล็ดในปาล์มน้ำมัน. ว.สงขลานครินทร์ วทท. 26: 167-179.

วุฒิพร พรหมขุนทอง และวรากรณ์ สีจง. 2551. การใช้ประโยชน์จากฟอสฟอรัสในปลานิลแดงแปลงเพศที่ได้รับอาหารที่มีระดับปลาป่นต่ำ. ว.มหาวิทยาลัยทักษิณ 11: 45-63.

วุฒิพร พรหมขุนทอง, วิมล จันทโรทัย, นรินทร์ สงสีจันทร์ และนพพร มานะจิตต์. 2540. ระดับโปรตีนในอาหารที่เหมาะสมต่อปลากดเหลืองขนาดปลานิ้ว. ว.สงขลานครินทร์ วทท. 19 : 327-335.

วุฒิพร พรหมขุนทอง และอัจฉริยา มูสโกภาศ. 2548. ผลของเอนไซม์ไฟเตสต่อการเพิ่มการใช้ฟอสฟอรัสจากวัตถุดิบจากพืช ในปลานิลแดงแปลงเพศ ว.สงขลานครินทร์ วทท. 27: 151-170.

เวียง เชื้อโพธิ์หัก. 2542. โภชนศาสตร์และการให้อาหารสัตว์น้ำ. กรุงเทพฯ: ภาควิชาเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ คณะประมง มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

สมสุข มัจฉาชีพ. 2528. นิเวศวิทยา. ชลบุรี: ภาควิชาชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ.

Ai, Q., Mai, K., Tan, B., Xu, W., Duan, Q., Ma, H. and Zhang, L. 2006. Replacement of fish meal by meat and bone meal in diets for large yellow croaker, *Pseudosciaena crocea*. Aquaculture 260: 255-263.

Andrews, J.W., Muri, T. and Campbell, C. 1973. Effects of dietary calcium and phosphorus on growth, food conversion, bone ash and hematocrit levels of catfish. *Ictalurus punctatus*. J. Nutr. 103: 766-771.

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

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.

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.

Chaimongkol, 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.

Cheng, Z.J. and Hardy, R.W. 2003. Effects of extrusion and expelling processing, and microbial phytase supplementation on apparent digestibility coefficients of nutrients in full-fat soybeans for rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). Aquaculture 218: 501-514.

Cho, C.Y. and Bureau, D.P. 2001. A review of diet formulation strategies and feeding systems to reduce excretory and feed wastes in aquaculture. Aquac. Res. 32: 349-360.

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.

Davis, D.A. 1990. Dietary mineral requirements of *Penaeus vannamei*: evaluation of the essentiality for thirteen minerals and the requirements for calcium, phosphorus, copper, iron, zinc and selenium. Ph.D. Dissertation, Texas A&M University, College station TX, USA.

Davis, D.A. and Gatlin, D.M. 1991. Dietary mineral requirements of fish and shrimp. *In*: Akiyama, D.M. and Tan, R.K.H. (Eds.), Proceedings of the Aquaculture Feed Processing and Nutrition Workshop. Singapore: American Soybean Association.

Davis, D.A. and Robinson, E.H. 1987. Dietary phosphorus requirement of juvenile red drum (*Sciaenops ocellatus*). J. World Aqua. Soc. 18: 129-136.

Dey, P.M. and Harborne, J.B. 1990. Methods in Plant Biochemistry. Vol 2. Carbohydrates. London: Academic Press.

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 Wildlifte Tech. Pap. No.9.

El-Sayed, A.F.M. 1998. Total replacement of fish meal with animal protein sources in Nile Tilapia, *Oreochromis niloticus* (L.) feed. Aquac. Res. 29: 275-280.

Ensminger, A.H., Ensminger, M.R., Knolande, J.E. and Robson, J.R.K. 1994. Food Nutrition Encyclopedia VII. London: CRC Press.

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.

Forster, I., 1999. A note on the method of calculating digestibility coefficients of nutrients provided by single ingredients to feeds of aquatic animals. Aqua. Nutr. 5: 143-145.

Francis, G., Makkar, H.P.S. and 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.

Gabaudan, J. 2003. The use of phytase in aquaculture feeds. The 9th Roche aquaculture conference Asia Pacific. 20 November 2003. Bangkok: Roche.

Gatlin, D.M. and Wilson, R.P. 1983. Dietary zinc requirements of channel catfish. J. Nutr. 113: 630-635.

Goda, A.M., El-Haroun, E.R. and Chowdhury, M.A.K. 2007. Effect of totally or partially replacing fish meal by alternative protein sources on growth of African catfish *Clarias gariepinus* (Burchell, 1822) reared in concrete tanks. Aquac. Res. 38: 279-287.

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.

Hardy, R.W. and Gatlin, D. 2002. Nutritional strategies to reduce nutrient losses in intensive aquaculture. *In*: Cruz-Suarez, L.E., Ricque-Marie, D., Tapia-Salazar, M., Gaxiola-Cortes, M. and Simoses, N. (eds.). Avances en Nutriction Acuicola VI Simposium Internacional de Nutricion Acuicola 3 al 6 de Septiember del 2002. Cancum. Quinta Roo. Mexico.

Haylor, G.S., Beveridge, M.C.M. and Jauncey, K. 1988. Phosphorus nutrition of juvenile

Oreochromis niloticus. In: Pullin, R.S.V., Bhukaswan, T., Tonguthai, K. and Maclean, J.L. (eds.), The Second International Symposium on Tilapia in Aquaculture. ICLARM Conference Proceedings 15, Bangkok: Department of Fisheries, Bangkok and ICLARM.

Hendricks, J.D. and Bailey, G.S. 1989. Adventitious toxins. *In*: Halver, J.E. (Ed). Fish Nutrition 2nd ed, 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.

Hertrampf, J.W. and Piedad-Pascual, F. 2000. Handbook on Ingredients for Aquaculture Feeds. London: Kluwer academic publishers.

Hua, K. and Bureau, D.P. 2006. Modeling digestible phosphorus content of salmonid fish feeds. Aquaculture 254: 455-465.

Jahan, P., Watanabe, T., Kiron, W. and Satoh, S. 2003. Reassessment of phosphorus and nitrogen discharge from commercial carp feeds. Fish. Sci. 69: 117-123.

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.

Jobling, M. 1994. Fish Bioenergetics. New York: Chapman and Hall.

Kanazawa, A., Teshima, S.T., Sakamoto, M. and Awal M.A. 1980. Requirement of *Tilapia zillii* for essential fatty acids. Bull. Jpn. Soc. Sci. Fish. 48: 587-590.

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.

Kevin, F. 1997. Introduction to tilapia nutrition. *In*: Kevin, F. (ed.). Tilapia Aquaculture Vol. I New York: NRAES.

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.

Kornegay, E.T. 2001. Digestion of phosphorus and other nutrients the role of phytase and factors influencing their activity. *In*: Bedford, M.R. and Partridge, G.G. (eds.). Enzymes in

Animal Nutrition. New York: CABI Publishing.

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

Liener, I.E. 1994. Implications of antinutritional components in soybean foods. Crit. Rev. Food Sci. Nutr. 34: 31-67.

Lovell, R.T. 1978. Dietary phosphorus requirement of channel catfish. Trans. Am. Fish. Soc. 107: 617-621.

Lovell, R.T. 1989. Nutrition and Feeding of Fish. New York: van Nostrand Reinhold.

Lovell, R.T. 1998. Nutritional and Feeding of Fish. Alabama: Auburn University.

Mundheim, H., Aksnes, A. and Hope, B. 2004. Growth, feed efficiency and digestibility in salmon (*Salmo salar* L.) fed different dietary proportions of vegetable protein sources in combination with two fish meal qualities. Aquaculture 237: 315-331.

NACA/FAO. 2000. Aquaculture Development Beyond 2000: The Bangkok Declaration and Strategy. Conference on Aquaculture in The Third Millenium, 20-25 February 2000, Bangkok, Thailand. NACA, Bangkok and FAO, Rome. 27 pp.

Nakamura, Y. 1985. Sodium-dependent absorption of inorganic phosphate by the carp intestine. J. Comp. Biochem. Physiol. 80A: 437-439.

Nankervis, L., Matthews, S.J. and Appleford, P. 2000. Effect of dietary non-protein energy source on growth, nutrient and circulating insulin-like growth factor I and triiodothyronine levels in juvenile barramundi, *Lates calcarifer*. Aquaculture 191: 323-335.

NRC (National Research Council). 1993. Nutrient Requirement of Fish. Washington, DC: National Academy of Sciences.

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.

Pandey, A. and Satoh, S. 2008. Effects of organic acids on growth and phosphorus utilization in rainbow trout *Oncorhynchus mykiss*. Fish. Sci. 74: 867-874.

Phromkunthong, W. and Udom, U. 2008. Available phosphorus requirement of sex-reversed red tilapia fed all-plants diets. Songklanakarin J. Sci. Tech. 31: 7-16.

Piumsombun, S. 2003. The Impact of International Fish Trade on Food Security in Thailand. FAO Fisheries Report No. 708. Rome: FAO.

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

Robaina, L., Moyano, F.J., Izquierdo, M.S., Socorro, J.,Vergara, J.M. and Montero, D. 1997. Corn gluten and meat and bone meals as protein sources in diets for gilthead sea bream *Sparus autata*: nutritional and histological implications. Aquaculture157: 347-359.

Rodehutscord, M. and Pfeffer, E. 1995. Requirement of phosphorus in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) growing from 50 to 200 g. Wat. Sci. Techn. 31: 137-141.

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 sources 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.

Santiago, C.B. and Lovell R.T. 1988. Amino acid requirements for growth of Nile tilapia. J. Nutr. 118 : 1540-1546.

Satoh, S., Poe, W.E. and Wilson, R.P. 1989. Effect of supplemental phytate and/or tricalcium phosphate on weight gain, feed efficiency and zinc content in vertebrae of channel catfish. Aquaculture 80: 155-161.

Shiau, S.Y. and Peng, C.Y. 1993. Protein-sparing effect by carbohydrates in diets for tilapia, *Oreochromis niloticus* x *O. aureus*. Aquaculture 117: 327-334.

Šimpraga, M., Raukar, J. and Novak, I.L. 2004. Calcium, phosphorus and magnesium levels and alkaline phosphatase activity in the blood of one-day-old ostriches. Veterinarski. Arhiv. 74: 177-188.

Skonberg, D.I., Yogev, L., Hardy, R.W. and Dong, F.M. 1997. Metabolic response to dietary phosphorus intake in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). Aquaculture 157: 11-24.

Smith, L.S. 1982. Introduction to fish physiology, Nepturn: T.F.H. Publications, Inc.

Smith, L.S. 1989. Digestive functions in teleost fishes. In: Fish Nutrition Second Edition. San Diego: Academic Press, Inc.

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

Stickney, R.R. 1979. Principles of Warmwater Aquaculture. New York: John Wiley & Sons, Inc.

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.

Takeuchi, T., Hoshi, M., Satoh, S., Watanabe, T., Takashima, Y. and Kawamata, T. 1993. Effects of dietary digestible energy and available phosphorus contents on total amount of nitrogen excretion from carp. Suisanzoshoku 41: 359-365.

Takeuchi, T., Satoh, S. and Watanabe, T. 1983a. Requirement of *Tilapia nilotica* for fatty acids. Bull. Jpn. Soc. Sci. Fish. 49: 1127-1134.

Takeuchi, T., Satoh, S. and Watanabe, T. 1983b. Dietary lipids suitable for the practical feed of *Tilapia nilotica*. Bull. Jpn. Soc. Sci. Fish. 49: 1361-1365.

Tudkeaw, J., Phromkunthong, W. and Gabaudan, J. 2008. The supplementation of phytaseRonozyme P on the growth and the utilisation of phosphorus by sex-reversed red tilapia.
Songklanakarin J. Sci. Tech. 31: 17-24.

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

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.

Viola, S., Arieli, Y. and Zohar, G. 1988. Animal protein free feeds for hybrid tilapia (*Oreochromis niloticus* x *O.aureus*) in intensive culture. Aquaculture 75: 115-125.

Wang, H.L., Swain, E.W. and Hesseltine, C.W. 1980. Phytase of molds used in oriental food fermentation. J. Food Sci. 45: 1262-1266.

Watanabe, T., Takeuchi, T., Murakami, A. and Ogino, C. 1980a. The availability to *Tilapia niloticus* of phosphorus in white fishmeal. Bull. Jap. Soc. Sci. Fish. 46: 897-899.

Watanabe, T.,Takeuchi, T., Murakami, A., Nose, T. and Ogino, C. 1980b. Requirement of chum salmon held in freshwater for dietary phosphorus. Bull. Jpn. Soc. Sci. Fish. 46: 361-367.

Watanabe, T., Satoh, S. and Takeuchi, T. 1988. Availability of minerals in fish meal to fish. Asian Fish. Soc. 1: 175-195.

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

Withers, P.C. 1992. Camparative Animal Physiology. Fort Worth: Tax Saunders College.

ภาคผนวก