ผลของโมโนโซเดียมฟอสเฟตในอาหารที่มีปลาป่นระดับต่ำต่อการเจริญเติบโต และประสิทธิภาพการใช้ประโยชน์จากฟอสฟอรัสในปลานิลแดงแปลงเพศ (*Oreochromis niloticus* x *O. mossambicus*)

Effects of monosodium phosphate in low fish meal-based diet on growth performance and phosphorus utilization for sex-reversed red tilapia (*Oreochromis niloticus* x *O. mossambicus*)

วุฒิพร พรหมขุนทอง และ อนุรักษ์ เขียวขจรเขต

Wutiporn Phromkunthong and Anurak Kheiokhajonkhet

รายงานฉบับเต็มนี้ได้รับการสนับสนุนการวิจัยจากทุนอุดหนุนการวิจัยจากกองทุนวิจัย มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตหาดใหญ่ ประจำปี 2550 ประเภททั่วไป

ผลของโมโนโซเดียมฟอสเฟตในอาหารที่มีปลาป่นระดับต่ำต่อการเจริญเติบโต และประสิทธิภาพการใช้ประโยชน์จากฟอสฟอรัสในปลานิลแดงแปลงเพศ (*Oreochromis niloticus* x *O. mossambicus*)

วุฒิพร พรหมขุนทอง[1*] และ อนุรักษ์ เขียวขจรเขต[2]

บทคัดย่อ

การศึกษาการใช้โมโนโซเดียมฟอสเฟต $Na(H_2PO_4)_2.2(H_2O)$ ในปลานิลแดงแปลงเพศ โดยแบ่งการทดลองเป็น 7 ชุดการทดลองๆ ละ 3 ซ้ำ โดยใช้ปลาขนาดน้ำหนักเฉลี่ยเริ่มต้นประมาณ 12 กรัม/ตัว จำนวน 20 ตัว/ซ้ำ ให้อาหารทดลองวันละ 2 มื้อ ระยะเวลาในการทดลอง 10 สัปดาห์ กำหนดให้อาหารทุกสูตรมีระดับโปรตีน และพลังงานใกล้เคียงกันดังต่อไปนี้ สูตรที่ 1 มีปลาป่น 20 เปอร์เซ็นต์และมีฟอสฟอรัสรวม (Total Phosphorus: TP) 0.99 เปอร์เซ็นต์ และฟอสฟอรัสที่นำไปใช้ประโยชน์ได้ (available Phosphorus: AvP) 0.62 เปอร์เซ็นต์ ส่วนในสูตรที่ 2-7 มีปลาป่น 3 เปอร์เซ็นต์ และเสริมอนินทรีย์ฟอสเฟตจาก Monosodium phosphate (MSP) จำนวน 6 ระดับคือ 0, 0.1, 0.2, 0.3, 0.4 และ 0.5 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ (TP มีค่าระหว่าง 0.69-1.19 และ AvP มีค่าระหว่าง 0.32-0.62) จากการทดลองพบว่า เมื่อระดับโมโนโซเดียมฟอสเฟตในอาหารเพิ่มขึ้น มีผลทำให้ระดับของฟอสฟอรัสในกระดูกสันหลัง กระดูกปิดเหงือก และกล้ามเนื้อ เถ้าในกระดูกสันหลัง เถ้าในกระดูกปิดเหงือก และฟอสฟอรัสในซีรัมมีค่าเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) ในขณะที่กิจกรรมเอนไซม์อัลคาไลน์ฟอสฟาเตสไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p>0.05$) ส่วนองค์ประกอบของไขมันในตัวซากปลาทั้งตัว และไขมันในเครื่องในรวมมีค่าลดลงอย่างต่อเนื่อง ในขณะที่โปรตีนในซากปลาทั้งตัวมีปริมาณเพิ่มขึ้น จากการทดลองครั้งนี้พบว่าปลาที่ได้รับโมโนโซเดียมฟอสเฟตที่ระดับ 0.4 เปอร์เซ็นต์ (AvP=0.57% และ TP =1.13%) มีน้ำหนักที่เพิ่มขึ้น (percent weight gain) อัตราการเจริญเติบโตจำเพาะ (specific growth rate) ประสิทธิภาพการใช้โปรตีน (protein efficiency ratio) โปรตีนที่นำไปใช้ประโยชน์ (protein productive value) ไขมันในซากปลาทั้งตัว ฟอสฟอรัสในซากปลาทั้งตัว ฟอสฟอรัสในซีรัม ฟอสฟอรัสในกระดูกสันหลัง และฟอสฟอรัสที่ถูกขับทิ้งทั้งหมดนั้นมีค่าสูง แต่ไม่ความแตกต่างกันทางสถิติ ($p>0.05$) กับที่ระดับ 0.5 เปอร์เซ็นต์ ดังนั้นอาหารที่เสริมด้วยโมโนโซเดียมฟอสเฟตที่ระดับ 0.4 เปอร์เซ็นต์ (AvP=0.57%) จึงเป็นระดับที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโต และเพียงพอสำหรับปลานิลแดงแปลงเพศ

คำสำคัญ : อนินทรีย์ฟอสเฟต, โมโนโซเดียมฟอสเฟต, ประสิทธิภาพการใช้ประโยชน์จากฟอสฟอรัส, ปลานิล

[1]Ph.D. (aquatic Animal Nutrition) รองศาสตราจารย์ [2]วท.ม. (วาริชศาสตร์) ภาควิชาวาริชศาสตร์
คณะทรัพยากรธรรมชาติ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ อำเภอหาดใหญ่ จังหวัดสงขลา 90112
Corresponding e-mail : parinyasom@yahoo.co.th

Effects of monosodium phosphate in low fish meal-based diet on growth performance and phosphorus utilization for sex-reversed red tilapia (*Oreochromis niloticus* x *O. mossambicus*)

Wutiporn Phromkunthong[1] Anurak Kheiokhajonkhet[2]

Abstract

The study of an effect of dietary monosodium phosphate (Na $(H_2PO_4)_2.2(H_2O)$ in sex-reversed red tilapia was conducted in 7 treatments with 3 replications each. Fingerlings with initial weight 12 g are stocked in glass tanks with 20 fish/replication. Feeds were given in 2 rations daily for 10 weeks period. Each feed formula was formulated to contain nearly the same levels of protein and energy as follow: formula 1 was with 20 fish meal and 0.99 % total phosphorus (TP) and 0.62% available phosphorus (AvP). Formulae 2 to 7 were with 3% fish meal and fortified inorganic phosphate from monosodium phosphate (MSP) at 6 levels, i.e.,0, 0.1, 0.2, 0.3, 0.4 and 0.5 %, respectively.(0.69 -1.19 TP and 0.32-0.62 AvP). Result shown that with increase MSP levels contents of phosphorus in vertebrae, operculum and fin let, ash in vertebrae, operculum and serum phosphorus increased significantly, while alkaline phosphatase activity were not different significantly among treatments. Fat composition in whole fish and in viscera were steadily decreased. While protein levels in carcass increased. This experiment indicated that treatment with 0.4% MSP (0.57% AvP and 1.13% TP) shown high percent weight gain, specific growth rate, protein efficiency ratio, protein productive value, fat and phosphorus in fish carcass, phosphorus in serum and vertebrae phosphorus. Hence the feed with 0.4% fortified MSP (0.57%AvP) is optimum and sufficient for the growth of sex-reversed red tilapia.

Key words : inorganic phosphate, monosodium phosphate, phosphorus utilization, tilapia

[1]Ph.D. Associate Professor [2]M.Sc. (Aquatic Science) Department of Aquatic Science
Faculty of Natural Resources Prince of Songkla University Hat Yai Songkhla 90112
Corresponding Email: parinyasom@yahoo.co.th

กิตติกรรมประกาศ

ข้าพเจ้าขอขอบพระคุณมหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตหาดใหญ่ที่ได้ให้การสนับสนุนทุนวิจัยจากกองทุนวิจัย มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตหาดใหญ่ ประจำปี 2550 ประเภททั่วไป

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ	-2-
Abstract	-3-
กิตติกรรมประกาศ	-4-
สารบัญ	-5-
รายการตาราง	-7-
1. บทนำ	1
2. อุปกรณ์ และวิธีการทดลอง	2
2.1 การเตรียมอุปกรณ์ทดลอง	2
2.2 การเตรียมปลาทดลอง	2
2.3 การเตรียมอาหารทดลอง	2
3. การวางแผนการทดลอง	6
4. การเก็บรวบรวมข้อมูล	6
4.1 การตรวจสอบพฤติกรรมและลักษณะภายนอก	6
4.2 การตรวจสอบการเจริญเติบโตของปลา	6
4.3 ศึกษาองค์ประกอบทางเคมีของปลาและประสิทธิภาพของอาหาร	6
4.4 การศึกษาการใช้ประโยชน์จากฟอสฟอรัส	7
4.4.1 การศึกษาสัมประสิทธิ์การย่อยฟอสฟอรัส	7
4.4.2 การวิเคราะห์ฟอสฟอรัส	7
4.4.2.1 การศึกษาปริมาณฟอสฟอรัสในซีรัม และกิจกรรมเอนไซม์ อัลคาร์ไลน์ฟอสฟาเตส	7
4.4.2.2 ฟอสฟอรัสในกระดูก	7
4.5 การวิเคราะห์ข้อมูล	8
5. ผลการทดลอง	8
5.1 พฤติกรรมของปลานิลแดงแปลงเพศที่ได้รับอาหารทดลองสูตรต่างๆ	8
5.2 การเจริญเติบโต	8
5.2.1 น้ำหนักเฉลี่ยปลาต่อตัว	8
5.2.2 น้ำหนักที่เพิ่มขึ้น อัตราการเจริญเติบโตจำเพาะ และอัตราการรอดตาย	10

สารบัญ (ต่อ)

5.2.3 อัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อ ประสิทธิภาพการใช้โปรตีน และโปรตีนที่นำไปใช้ประโยชน์ 12

5.2.4 สัมประสิทธิ์การย่อยสารอาหารของปลานิลแดงแปลงเพศที่ได้รับอาหารเสริมโมโนโซเดียมฟอสเฟตที่ระดับต่างๆ กัน 15

5.2.5 องค์ประกอบของเถ้าในกระดูกปีดเหงือก เถ้าในกระดูกสันหลัง ฟอสฟอรัสในกระดูกสันหลัง ฟอสฟอรัสในมูล และฟอสฟอรัสในกล้ามเนื้อของปลานิลแดงแปลงเพศที่ได้รับอาหารเสริมโมโนโซเดียมฟอสเฟตที่ระดับต่างๆ 17

5.2.6 ปริมาณฟอสฟอรัสในซีรัมและกิจกรรมของเอนไซม์อัลคาไลน์ฟอสฟาเตส 20

5.2.7 องค์ประกอบทางโภชนาการของปลาทั้งตัว 22

5.2.8 ปริมาณการสะสมฟอสฟอรัสในร่างกาย ฟอสฟอรัสที่ถูกขับทิ้ง ฟอสฟอรัสที่ถูกขับทิ้งรวมทั้งหมด ฟอสฟอรัสในรูปของเสียที่เป็นของแข็งทั้งหมด และฟอสฟอรัสที่ถูกขับทิ้งในรูปสารละลายรวมของปลานิลแดงแปลงเพศที่ได้รับอาหารทดลองจำนวน 7 สูตร 26

6. วิจารณ์ผลการทดลอง 29

7. สรุปและข้อเสนอแนะ 36

7.1 สรุป 36

7.2 ข้อเสนอแนะ 36

8. เอกสารอ้างอิง 37

รายการตาราง

ตารางที่	หน้า
1. องค์ประกอบทางโภชนาการของวัตถุดิบอาหารในการทดลอง	3
2. ส่วนประกอบของวัตถุดิบในอาหารทดลองทั้ง 7 สูตร	4
3. คุณค่าทางโภชนาการของอาหารทดลอง	5
4. การเจริญเติบโตของปลานิลแดงแปลงเพศที่ได้รับอาหารที่มีโมโนโซเดียมฟอสเฟตที่ระดับต่างๆ กันตลอดระยะเวลา 10 สัปดาห์	9
5. น้ำหนักที่เพิ่มขึ้น อัตราการเจริญเติบโตจำเพาะ และอัตราการรอดตายของปลานิลแดงแปลงเพศที่ได้รับอาหารที่มีระดับของโมโนโซเดียมฟอสเฟตที่ระดับต่างๆ กันเป็นระยะเวลา 10 สัปดาห์	11
6. อัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อ ประสิทธิภาพการใช้โปรตีน และโปรตีนที่นำไปใช้ของปลานิลแดงแปลงเพศที่ได้รับอาหารที่มีระดับของโมโนโซเดียมฟอสเฟตที่ระดับต่างๆ กัน เป็นระยะเวลา 10 สัปดาห์	14
7. สัมประสิทธิ์การย่อยสารอาหารของปลานิลแดงแปลงเพศที่ได้รับอาหารเสริมโมโนโซเดียมฟอสเฟตที่ระดับต่างๆ กัน	16
8. องค์ประกอบของเถ้าในกระดูกปิดเหงือก เถ้าในกระดูกสันหลัง ฟอสฟอรัสในกระดูกสันหลัง ฟอสฟอรัสในมูล และฟอสฟอรัสในกล้ามเนื้อของปลานิลแดงแปลงเพศที่ได้รับอาหารเสริมโมโนโซเดียมฟอสเฟตที่ระดับต่างๆ จำนวน 7 สูตรเป็นเวลา 10 สัปดาห์	19
9. ฟอสฟอรัสในซีรัม กิจกรรมเอนไซม์อัลคาไลน์ฟอสฟาเตสของปลานิลแดงแปลงเพศที่ได้รับอาหารทดลองจำนวน 7 สูตรเป็นระยะเวลา 10 สัปดาห์	21
10. ส่วนประกอบทางโภชนาการของปลานิลแดงแปลงเพศทั้งตัวที่ได้รับอาหารทดลอง 7 สูตรเป็นระยะเวลา 10 สัปดาห์	25
11. การสะสมฟอสฟอรัส ฟอสฟอรัสที่ขับทิ้ง ฟอสฟอรัสที่ขับทิ้งทั้งหมด ฟอสฟอรัสที่ขับทิ้งในรูปของแข็ง และฟอสฟอรัสที่ขับทิ้งในรูปของสารละลาย ของปลานิลแดงแปลงเพศที่ได้รับอาหารที่มีฟอสฟอรัสแตกต่างกัน 7 ระดับ เป็นระยะเวลา 10 สัปดาห์	28

1. บทนำ

ฟอสฟอรัสจัดเป็นแร่ธาตุที่มีความสำคัญสำหรับปลา เนื่องจากปลาต้องการในปริมาณมากเพื่อนำไปใช้ในการเจริญเติบโต กระบวนการสร้างกระดูก (bone mineralization) นอกจากนี้ยังมีความสำคัญต่อการสร้างพลังงานภายในเซลล์ (energy transformation เช่น ATP, ADP, Pi) การคัดลอกรหัสทางพันธุกรรม (genetic coding) และมีความสำคัญต่อกระบวนการเมตาบอลิซึมของไขมันและคาร์โบไฮเดรต เป็นต้น (Lovell, 1989) ปลาสามารถรับฟอสฟอรัสได้จากอาหารในปริมาณมากกว่าการดูดซึมจากในน้ำ ปลาป่นถือได้ว่าเป็นแหล่งโปรตีนที่มีคุณค่าทางโภชนาการครบถ้วน และยังมีฟอสฟอรัสปริมาณสูง แต่ส่วนใหญ่อยู่ในรูปของไตรแคลเซียมฟอสเฟต ซึ่งปลานำเอาไปใช้ประโยชน์ได้น้อย นอกจากนี้ปลาป่นยังมีราคาแพงขึ้นอีกด้วย จึงมีความพยายามลดการใช้ปลาป่นลง ด้วยการใช้วัตถุดิบที่มีโปรตีนสูงชนิดอื่นๆ เข้ามาทดแทน ดังเช่นการศึกษาของ Watanabe (1993) พบว่าปลาเรนโบว์ เทราท์สามารถใช้โปรตีนที่ได้จากวัตถุดิบพืชหลายชนิดทดแทนโปรตีนในปลาป่นได้มากถึง 90 เปอร์เซ็นต์ อย่างไรก็ตามกลับพบว่าการใช้วัตถุดิบจากพืชในปริมาณมากมีผลต่อการนำแร่ธาตุต่างๆ รวมถึงฟอสฟอรัสไปใช้ประโยชน์ เนื่องจากปลาส่วนใหญ่ขาดเอนไซม์ไฟเตส (phytase) ในการย่อยกรดไฟติก (phytic) ซึ่งมีอยู่ประมาณ 50 - 60 เปอร์เซ็นต์ของปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดในวัตถุดิบจากพืช (Chung, 2002; Ellestad, 2003) ในปัจจุบันจึงให้ความสำคัญในการศึกษาประสิทธิภาพการใช้ประโยชน์จากฟอสฟอรัสในรูปแบบอื่นๆ ซึ่งโดยทั่วไปฟอสฟอรัสที่นำมาใช้ในอาหารสัตว์น้ำมี 3 รูปแบบคือ โมโนเบซิก (monobasic), ไดเบซิก (dibasic) และไตรเบสิก (tribasic) โดยอนินทรีย์ฟอสเฟตในรูปโมโนเบซิกปลาสามารถนำเอาไปใช้ได้ดีที่สุด (Mgbenka, 2005) ความต้องการฟอสฟอรัสของปลาจะแตกต่างกันออกไปตามชนิด ขนาด อายุ และเพศ (Lovell, 1989) ตัวอย่างเช่น ลูกปลาแฮดดอก (haddock: *Melanogrammus aeglefinus* L.) ขนาดปลานิ้วมีความต้องการฟอสฟอรัส 0.72 เปอร์เซ็นต์ (Roy and Lall, 2003) และปลากะพงขาว (seabass, *Lates calcarifer* Bloch) ต้องการฟอสฟอรัส 0.55 เปอร์เซ็นต์ (มะลิ และจูอะดี, 2533)

ทั้งนี้ฟอสฟอรัสที่เหลือในรูปของอาหารจากการกินหรือที่เหลือจากกระบวนการย่อย (phosphorus waste หรือ unretained phosphorus) ก็จะถูกขับออกในรูปของมูลลงสู่แหล่งน้ำ (Eya and Lovell, 1997; Weerasinghe *et al.*, 2001) เป็นสาเหตุสำคัญของการเกิด ปรากฏการณ์ยูโทรฟิเคชัน (eutrophication) ซึ่งส่งผลกระทบอย่างรุนแรงต่อระบบนิเวศและการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ (Ketola and Harlan, 1993)

ดังนั้นการศึกษาในครั้งนี้จึงเป็นการศึกษาถึงระดับที่เหมาะสมของอนินทรีย์ฟอสเฟตในรูปโมโนโซเดียมในอาหารที่มีปลาป่นระดับต่ำ โดยสามารถบอกถึงระดับความต้องการฟอสฟอรัสในปลานิลแดงแปลงเพศ และช่วยลดสภาวะการขับถ่ายฟอสฟอรัสส่วนเกินลงสู่แหล่งน้ำได้

2. อุปกรณ์และวิธีการทดลอง

2.1 การเตรียมอุปกรณ์ทดลอง

ใช้ตู้กระจกขนาด 100 x 50 x 47 เซนติเมตร ความจุน้ำ 180 ลิตร (ต่อ 1 หน่วยทดลอง) ทำความสะอาด และติดตั้งอุปกรณ์ให้อากาศ เติมน้ำประปาที่ปราศจากคลอรีน ให้ได้ปริมาตร 180 ลิตร ปิดตู้ด้วยผ้าพลาสติกสีทึบ 3 ด้านเพื่อป้องกันการรบกวนจากสิ่งแวดล้อมภายนอก เปลี่ยนถ่ายน้ำในช่วง 13.00 น. ของทุกวัน โดยใช้น้ำประปาที่ผ่านการพักน้ำเป็นเวลา 2 วัน

2.2 การเตรียมปลาทดลอง

นำปลานิลแดงแปลงเพศที่ได้จากฟาร์มเอกชนในจังหวัดพัทลุง ซึ่งมีขนาดเริ่มต้นเฉลี่ย 5 กรัมต่อตัว มาอนุบาลในถังไฟเบอร์กลาสขนาดความจุ 1 ลูกบาศก์เมตร เพื่อให้ได้ลูกปลาในน้ำหนักที่มีน้ำหนักเริ่มต้นประมาณ 12 กรัมต่อตัว โดยให้ปลากินอาหารเม็ดสำเร็จรูปวันละ 2 ครั้ง คือ เวลา 9.00 และ 16.00 น. จากนั้นนำปลาไปตรวจสุขภาพ ก่อนทำการคัดเลือกปลาที่มีสุขภาพแข็งแรงใส่ตู้ทดลอง จำนวน 20 ตัวต่อตู้ และปรับสภาพปลาให้คุ้นเคยกับสภาพแวดล้อมของตู้ โดยฝึกให้กินอาหารทดลอง เป็นเวลา 7 วัน (สูตรควบคุม) เมื่อปลาคุ้นเคยกับสภาพตู้และอาหารทดลองดีแล้ว ทำการชั่งน้ำหนักเริ่มต้นของปลาและบันทึกผลการทดลอง

2.3 การเตรียมอาหารทดลอง

อาหารทดสอบมีจำนวนทั้งหมด 7 สูตร คือ อาหารสูตรควบคุม (สูตรที่1) เป็นสูตรอาหารที่ไม่มีการเสริมด้วยโมโนโซเดียมฟอสเฟต โดยให้มีแหล่งของฟอสฟอรัสจากปลาป่นเป็นจำนวน 20 กรัมต่ออาหาร 100 กรัม ส่วนอาหารในสูตรที่ 2 เป็นอาหารที่มีปลาป่นระดับ 3 เปอร์เซ็นต์และไม่เสริมโมโนโซเดียมฟอสเฟต ส่วนสูตรที่ 3 ถึง 7 เป็นสูตรที่มีปลาป่นในระดับต่ำ จำนวน 3 เปอร์เซ็นต์ และมีการเสริมอนินทรีย์ฟอสเฟตชนิดโมโนโซเดียมฟอสเฟต (monosodium phosphate; MSP หรือ $Na(H_2PO_4)_2.2(H_2O)$) ที่ระดับ 0.48, 0.97, 1.45, 1.93 และ 2.41 กรัมต่ออาหาร 100 กรัม ฟอสฟอรัสทั้งหมดในอาหาร โดยในสูตรอาหารทุกสูตรอาหารให้มีส่วนประกอบของวัตถุดิบชนิดเดียวกัน ซึ่งประกอบด้วย ถั่วเหลือง ปลาป่น ปลายข้าว รำ น้ำมันปลา วิตามิน และแร่ธาตุผสม อาหารทดลองที่ใช้เป็นอาหารเม็ดแบบจมที่มีเส้นผ่านศูนย์กลาง 3 มิลลิเมตร มีคุณค่าทางโภชนาการที่ใกล้เคียงกันคือ มีระดับโปรตีน 30 เปอร์เซ็นต์ ระดับไขมัน 7 เปอร์เซ็นต์ และระดับพลังงาน 3,400 กิโลคาลอรี/อาหาร 1 กิโลกรัม ตามลำดับ

ตารางที่ 1 องค์ประกอบทางโภชนาการของวัตถุดิบอาหารในการทดลอง (% บนฐานน้ำหนักแห้ง)[1]

วัตถุดิบอาหาร	ความชื้น	โปรตีน	ไขมัน	เถ้า	เยื่อใย	ฟอสฟอรัส	NFE[2]
ปลาป่น	8.69±0.08	67.56±1.72	7.54±0.48	20.60±0.05	0.16±0.13	2.18±0.07	0.45±0.08
ถั่วเหลืองป่น	6.21±0.04	45.69±1.57	0.73±0.09	6.23±0.04	5.51±0.08	0.56±0.12	35.63±0.12
รำ	6.17±0.03	12.52±0.96	15.71±0.68	8.59±0.16	2.67±0.37	1.78±0.01	54.34±0.45
ปลายข้าวหัก	8.67±0.06	10.39±1.45	1.63±0.02	1.82±0.02	0.42±0.06	0.20	77.07±0.44
monosodium phosphate[3]	-	-	-	-	-	20.67±2.54	-

[1]ตัวเลขที่นำเสนอเป็นค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (จากการวิเคราะห์ตัวอย่าง 3 ซ้ำ)

[2]NEF คือ Nitrogen free extract

[3]สัญลักษณ์ (-) หมายถึงไม่ได้วิเคราะห์

ตารางที่ 2 ส่วนประกอบของวัตถุดิบในอาหารทดลองทั้ง 7 สูตร

วัตถุดิบ/อาหารทดลอง	อาหารทดลอง/ฟอสฟอรัสที่นำไปใช้ประโยชน์ได้ (%)						
	T1/0.21	**T2/0.14**	**T3/0.30**	**T4/0.42**	**T5/0.48**	**T6/0.57**	**T7/0.62**
ปลาป่น	20	3	3	3	3	3	3
ถั่วเหลืองป่น	24	53	53	53	53	53	53
ปลายข้าวหัก	29.8	19.1	18.62	18.13	17.65	17.17	16.69
รำ	20	16	16	16	16	16	16
เมทไทโอนิน	0	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7
น้ำมันปลา	1.7	3.7	3.7	3.7	3.7	3.7	3.7
วิตามินผสม[1]	1	1	1	1	1	1	1
แร่ธาตุผสม[2]	3	3	3	3	3	3	3
$Na(H_2PO_4)_2.2(H_2O)$	0	0	0.48	0.97	1.45	1.93	2.41
โครมิกออกไซด์	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
องค์ประกอบของฟอสฟอรัส							
ฟอสฟอรัสทั้งหมด (TP)	0.98	0.70	0.83	0.91	1.01	1.13	1.20
AvP[3]	0.21	0.14	0.30	0.42	0.48	0.57	0.62

[1]วิตามินผสม (ปริมาณ/อาหาร1 กก)ประกอบด้วย Thiamine (B_1) 10 มิลลิกรัม; Riboflavin (B_2) 20 มิลลิกรัม; Pyridoxine (B_6) 10 มิลลิกรัม; Cobalamine (B_{12}) 2 มิลลิกรัม; Retinol (A) 4,000 IU; Cholecalciferol (D_3) 2,000 IU; Menadione sodium bisulfite (K_3) 80 มิลลิกรัม; 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]แร่ธาตุรวม (ปริมาณ/แร่ธาตุผสม1 กิโลกรัม) ประกอบด้วย Na 3.278 มิลลิกรัม; Mg 25.25 มิลลิกรัม; K 76.612 มิลลิกรัม; Ca 49.096 มิลลิกรัม; Fe 4.821 มิลลิกรัม; Zn 0.667 มิลลิกรัม; Mn 0.433 มิลลิกรัม; Cu 0.069 มิลลิกรัม และ I 0.015 มิลลิกรัม

[3]ฟอสฟอรัสนำมาใช้ประโยชน์ได้ = ค่าที่ได้จากการคำนวณซึ่งอยู่บนฐานของประสิทธิภาพการย่อยฟอสฟอรัส (ตารางที่ 8)

ตารางที่ 3 คุณค่าทางโภชนาการของอาหารทดลอง (% บนฐานน้ำหนักแห้ง[1])

ชุดทดลอง	MSP/AvP[2]	คุณค่าทางโภชนาการของอาหารทดลองที่เสริมโมโนโซเดียมฟอสเฟต						
		ความชื้น	โปรตีน	ไขมัน	เถ้า	เยื่อใย	ฟอสฟอรัส	NFE[3]
1	HFM[4]/0.21	7.57±0.05	30.84±0.1	7.85	10.60±0.03	4.19±0.15	0.98±0.00	38.95±0.05
2	0/0.14	7.35±0.06	30.81±0.35	7.39±0.02	8.44±0.11	5.34±0.14	0.70±0.00	40.67±0.12
3	0.1/0.30	7.00±0.15	30.34±0.1	7.57±0.1	8.72±0.08	5.31±5.31	0.83±0.02	41.06±0.87
4	0.2/0.42	7.42±0.09	30.57±0.45	7.61±0.06	8.92±0.07	6.06±0.20	0.91±0.05	39.42±0.03
5	0.3/0.48	8.74±0.12	30.47±0.17	7.55±0.04	9.25±0.13	6.19±0.24	1.01±0.04	37.80±0.23
6	0.4/0.57	7.10±0.02	30.32±0.47	7.63±0.16	9.33±0.01	6.35±0.19	1.13±0.05	39.27±0.01
7	0.5/0.62	7.68±0.82	30.13±0.37	7.27±0.78	9.68±0.10	6.50±0.01	1.20±0.07	38.74±0.03

[1]ตัวเลขที่นำเสนอเป็นค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (จากการวิเคราะห์ตัวอย่าง 3 ซ้ำ)

[2] ค่าที่ได้จากการคำนวณซึ่งอยู่บนฐานของประสิทธิภาพการย่อยฟอสฟอรัส (ตารางที่ 8)

[3]NEF คือ Nitrogen free extract

[4]HFM = high fish meal based diet

3. การวางแผนการทดลอง

วางแผนการทดลองแบบสุ่มตลอด (Completely Randomized Design: CRD) ในการทดลองนี้ใช้ระยะเวลาในการทดลองทั้งสิ้น 10 สัปดาห์ จัดให้แต่ละชุดการทดลองมีจำนวน 3 ซ้ำ จึงมีหน่วยทดลองทั้งหมด 21 หน่วยทดลอง จากนั้นเก็บปลาตัวอย่างก่อนการทดลองนำไปวิเคราะห์องค์ประกอบทางโภชนาการ ได้แก่ ความชื้น โปรตีน ไขมัน เถ้า เยื่อใย และฟอสฟอรัส ตามวิธีมาตรฐานของ AOAC (1990) จากนั้นคัดเลือกปลานิลแดงแปลงเพศที่มีขนาดเฉลี่ยประมาณ 12 กรัมต่อตัวปล่อยลงในตู้ทดลองตู้ละ 20 ตัว รวมจำนวนทั้งหมด 420 ตัว และกำหนดให้อาหารวันละ 2 เวลา คือ 9.00น. และ 16.00น. ให้ปลากินจนกระทั่งอิ่ม ซึ่งในทุกวันก่อนให้อาหาร ในช่วง 13.00 น. ของทุกวันมีการดูดตะกอนและเปลี่ยนถ่ายน้ำโดยวิธีกาลักน้ำ แล้วเติมน้ำที่พักทิ้งไว้เป็นเวลา 2 วัน หรือปราศจากคลอรีนแล้วให้ถึงระดับเดิมทุกครั้ง

4. การเก็บรวบรวมข้อมูล

4.1 การตรวจสอบพฤติกรรมและลักษณะภายนอก

ในระหว่างการทดลองสังเกตพฤติกรรมของปลานิลแปลงเพศในทุกชุดการทดลองได้แก่ การว่ายน้ำ การยอมรับอาหาร และการสังเกตลักษณะภายนอก ได้แก่ สีของลำตัว การคดงอของครีบและกระดูก การตกเลือด การเกิดบาดแผลที่ครีบ ผิวหนัง และอวัยวะภายนอกอื่นๆ

4.2 การตรวจสอบการเจริญเติบโตของปลา

ชั่งน้ำหนักปลาทุก 2 สัปดาห์ เพื่อทราบน้ำหนักปลาที่เพิ่มขึ้นโดยการชั่งน้ำหนักรวมของปลาแต่ละซ้ำด้วยเครื่องชั่งไฟฟ้าทศนิยม 2 ตำแหน่ง นับจำนวนปลาที่เหลืออยู่จนสิ้นสุดการทดลอง นำข้อมูลที่ได้มาคำนวณการเจริญเติบโต คำนวณอ้างตามวิธีการของ Jantrarotai และคณะ (1994)

4.3 ศึกษาองค์ประกอบทางเคมีของปลาและประสิทธิภาพของอาหาร

สุ่มตัวอย่างปลาก่อนการทดลองจำนวน 20 ตัว นำไปวิเคราะห์หาความชื้นในตัวปลา และนำตัวอย่างปลาไปวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของตัวปลาได้แก่ ปริมาณโปรตีน ไขมัน และเถ้า ตามวิธีการของ AOAC (1990) บันทึกเป็นองค์ประกอบทางเคมีของตัวปลาเริ่มต้น เมื่อสิ้นสุดการทดลองสุ่มตัวอย่างปลาจากแต่ละตู้ทดลองๆ ละ 2 ตัว ไปวิเคราะห์หาความชื้น โปรตีน และไขมัน แล้วบันทึกเป็นองค์ประกอบทางเคมีของตัวปลาเมื่อสิ้นสุดการทดลอง และนำค่าโปรตีนที่ได้ไปคำนวณประสิทธิภาพการใช้โปรตีน (protein efficiency ratio, PER) คำนวณตามวิธีการของ Zeitoun และคณะ (1973) โปรตีนที่นำไปใช้ประโยชน์ (productive protein value) ตามวิธีการของ Robinson

และ Wilson (1985) อัตราการเปลี่ยนเนื้อเป็นอาหาร (feed conversion rate) คำนวณตามวิธีการของ Dupree และ Sneed (1966)

4.4 การศึกษาการใช้ประโยชน์จากฟอสฟอรัส

4.4.1 การศึกษาสัมประสิทธิ์การย่อยฟอสฟอรัส

การศึกษาสัมประสิทธิ์การย่อยอาหารทำได้โดยเติมโครมิคออกไซด์ (Cr_2O_3) 0.5 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักอาหาร จากนั้นเริ่มเก็บมูลที่มีโครมิคออกไซด์หลังจากให้อาหารแล้วเป็นเวลา 4 วัน ด้วยวิธีการรีด (strip) บริเวณท้องจนถึงทวารหนัก นำมูลที่ได้มารวบรวม (pool) และเก็บไว้ที่อุณหภูมิ 0 องศาเซลเซียส หลังจากนั้นนำไปอบให้แห้งสนิทที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 48 ชั่วโมง และนำตัวอย่างไปวิเคราะห์เพื่อหาปริมาณฟอสฟอรัส ตามวิธีการของ AOAC (1990) สำหรับการวิเคราะห์ปริมาณโครมิคออกไซด์ในอาหารและในมูลตามวิธีการของ Furakawa และ Tsukahara (1966) คำนวณสัมประสิทธิ์การย่อยวัตถุแห้ง (ADC dry matter) และสัมประสิทธิ์ในการย่อยฟอสฟอรัส (ADC P) ตามวิธีการของ Lee และคณะ (2002)

4.4.2 การวิเคราะห์ฟอสฟอรัส

4.4.2.1 การศึกษาปริมาณฟอสฟอรัสในซีรัม และกิจกรรมเอนไซม์อัลคาร์ไลน์ฟอสฟาเตส

เมื่อสิ้นสุดการทดลองสุ่มปลาตู้ละ 5 ตัว เจาะเลือดจากบริเวณโคนหางประมาณ 1 มิลลิลิตร นำไปหมุนเหวี่ยงที่ 3,000 รอบต่อนาที เป็นเวลา 5 นาที เก็บเฉพาะส่วนใส (serum) แบ่งออกเป็น 2 ส่วน โดยส่วนแรกนำไปวิเคราะห์ปริมาณฟอสฟอรัสด้วยวิธี molybdate UV และวิเคราะห์ค่ากิจกรรมเอนไซม์อัลคาไลน์ฟอสฟาเตสด้วยเครื่อง automated analyzer (Boehringer Mannheim Automated Analysis, Hitachi System 704) โดยการวิเคราะห์ปริมาณของฟอสฟอรัสในซีรัม และกิจกรรมเอนไซม์เอนไซม์อัลคาร์ไลน์ฟอสฟาเตสได้ส่งตัวอย่างวิเคราะห์ที่ภาควิชาพยาธิวิทยา คณะแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตหาดใหญ่ ด้วยวิธีการวิเคราะห์ของ Chen และคณะ (1956)

4.4.2.2 ฟอสฟอรัสในกระดูก

เมื่อสิ้นสุดการทดลองสุ่มปลาตู้ละ 5 ตัว แยกเครื่องในรวมทั้งหมด เพื่อวิเคราะห์หาปริมาณไขมันทั้งหมด ส่วนอวัยวะสำหรับการศึกษาองค์ประกอบของฟอสฟอรัสและเถ้านั้น นำปลาไปต้มด้วยน้ำปราศจากไอออน แล้วล้างด้วยน้ำกลั่นเพื่อแยกเอาส่วนต่างๆ คือ กระดูกสันหลัง กล้ามเนื้อ และซากรวม จากนั้นจึงนำไปทำให้แห้งโดย อบที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส นาน 48 ชั่วโมง นำตัวอย่างที่ได้ไปวิเคราะห์หาองค์ประกอบเถ้าในกระดูกสันหลังและกระดูกปิดเหงือก

สำหรับการวิเคราะห์ฟอสฟอรัสในกระดูกสันหลัง ฟอสฟอรัสในมูล และฟอสฟอรัสในกล้ามเนื้อ ปฏิบัติตามวิธีการของ AOAC (1990) เพื่อคำนวณหาค่าการเก็บสะสมฟอสฟอรัสในร่างกาย (Green *et al*., 2002)

4.5 การวิเคราะห์ข้อมูล

การวิเคราะห์ข้อมูล โดยการใช้การวิเคราะห์ค่าความแปรปรวน ANOVA ด้วย CRD และเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยด้วยวิธี Duncan's Multiple range test ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ โดยทำการวิเคราะห์ด้วยโปรแกรมสำเร็จรูป SPSS (version 11.5)

5. ผลการทดลอง

5.1 พฤติกรรมของปลานิลแดงแปลงเพศที่ได้รับอาหารทดลองสูตรต่างๆ

ผลจากการทดลองตลอดระยะเวลา 10 สัปดาห์ ไม่พบความผิดปกติของรูปร่างลักษณะภายนอก พฤติกรรม สีของลำตัว ความผิดปกติหรือการคดงอของกระดูก และครีบปลา การตกเลือด การเกิดบาดแผลที่ครีบ ผิวหนัง และอวัยวะภายนอก ของปลาที่ได้รับอาหารทดลองทุกสูตร

5.2 การเจริญเติบโต

5.2.1 น้ำหนักเฉลี่ยปลาต่อตัว

การเจริญเติบโตของปลาที่ได้รับอาหารที่มีอนินทรีย์ฟอสเฟตที่ระดับต่างๆ แสดงไว้ในตารางที่ 4 เมื่อเริ่มต้นการทดลองปลานิลแดงแปลงเพศมีน้ำหนักเฉลี่ยเริ่มต้นอยู่ระหว่าง 11.95±0.01 ถึง 11.98±0.02 กรัมต่อตัว น้ำหนักเฉลี่ยเริ่มมีความแตกต่างกันทางสถิติในสัปดาห์ที่ 2 โดยปลาที่ได้รับอาหารที่มีปลาป่นเป็นหลัก (AvP=0.21) มีน้ำหนักเฉลี่ยที่สูงที่สุด ส่วนปลาที่ได้รับอาหารที่ไม่เสริมโมโนโซเดียมและมีปลาป่นระดับต่ำ (AvP=0.14) มีน้ำหนักเฉลี่ยต่อตัวต่ำที่สุดอย่างมีนัยสำคัญ (p<0.05) สำหรับปลาที่ได้รับอาหารที่มีโมโนโซเดียมฟอสเฟตที่ระดับ 0.5 เปอร์เซ็นต์ (AvP=0.62) มีการเจริญเติบโตสูงที่สุด เมื่อสิ้นสุดการทดลองที่สัปดาห์ที่ 10 น้ำหนักเฉลี่ยของปลาที่ได้รับอาหารที่มีโมโนโซเดียมฟอสเฟตที่ 0.5 เปอร์เซ็นต์ (AvP= 0.62) มีค่า 63.48±3.89 กรัมต่อตัวรองลงมาคือที่ระดับ 0.4 เปอร์เซ็นต์ (AvP=0.57) และอาหารที่มีปลาป่นเป็นหลัก (AvP=0.21) มีค่า 63.02±2.97 และ 57.02±3.96 กรัมต่อตัว ตามลำดับ โดยมีความแตกต่างกันทางสถิติ (p<0.05) กับปลาที่ได้รับอาหารที่เสริมที่ระดับ 0.3 กับ 0.2 และที่ระดับ 0. 1 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ ปลาที่ได้รับอาหารที่ไม่มีอนินทรีย์ฟอสเฟตและมีปลาป่นระดับต่ำพบว่ามีเปอร์เซ็นต์น้ำหนักตัวที่ต่ำที่สุด

ตารางที่ 4 การเจริญเติบโตของปลานิลแดงแปลงเพศที่ได้รับอาหารที่มีโมโนโซเดียมฟอสเฟตที่ระดับต่างๆ กันตลอดระยะเวลา 10 สัปดาห์[1] (กรัมต่อตัว)

ชุดการทดลอง	MSP/AvP[2]	สัปดาห์ (กรัมต่อตัว)					
		0	2	4	6	8	10
1	HFM[3]/0.21	11.98±0.02	16.72±0.37^{a}	23.04±0.06^{a}	32.21±1.83^{ab}	42.92±2.57^{abc}	57.02±3.96^{ab}
2	0/0.14	11.97ก0.02	15.49±0.34^{d}	20.48±0.90^{c}	27.52±1.42^{c}	33.49±0.89^{c}	37.85±2.39^{c}
3	0.1/0.30	11.95±0.01	15.54±0.35^{d}	20.65±1.07^{c}	27.10±1.24^{c}	32.91±2.70^{c}	41.35±2.38^{c}
4	0.2/0.42	11.95±0.04	16.1±0.08^{bc}	22.28±0.58^{ab}	31.63±1.12^{ab}	40.96±2.03^{bc}	52.67±4.83^{b}
5	0.3/0.48	11.96±0.03	15.68±0.31^{cd}	21.22±1.12^{bc}	28.9±2.75^{bc}	39.93±3.67^{c}	53.40±5.87^{b}
6	0.4/0.57	11.96±0.04	15.93±0.30^{bcd}	22.39±0.39^{ab}	32.10±0.59^{ab}	44.68±2.31^{ab}	63.02±2.97^{a}
7	0.5/0.62	11.97±0.04	16.25±0.16^{ab}	23.08±0.86^{a}	33.33±2.65^{a}	46.96±2.05^{a}	63.48±3.89^{a}

[1]ตัวเลขที่นำเสนอเป็นค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (จากการวิเคราะห์ตัวอย่าง 3 ซ้ำ)

[2] ค่าที่ได้จากการคำนวณซึ่งอยู่บนฐานของประสิทธิภาพการย่อยฟอสฟอรัส (ตารางที่ 8)

[3]HFM = high fish meal based diet

ค่าเฉลี่ยในสดมภ์ที่มีตัวอักษรเหมือนกันกำกับ ไม่มีความแตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ (p>0.05)

5.2.2 น้ำหนักที่เพิ่มขึ้น อัตราการเจริญเติบโตจำเพาะ และอัตราการรอดตาย

น้ำหนักที่เพิ่มขึ้น อัตราการเจริญเติบโตจำเพาะ และอัตราการรอดตายของปลานิลแดงแปลงเพศที่ได้รับอาหารที่มีฟอสฟอรัสที่ระดับต่างๆ กัน แสดงไว้ในตารางที่ 5

น้ำหนักที่เพิ่มขึ้นของปลานิลแดงแปลงเพศที่ได้รับอาหารทดลองทั้ง 7 สูตร พบว่า เมื่อระดับของโมโนโซเดียมฟอสเฟตในอาหารเพิ่มขึ้นจาก 0-0.4 เปอร์เซ็นต์ มีผลทำให้มีน้ำหนักที่เพิ่มขึ้นมีค่าเพิ่มสูงขึ้นอย่างต่อเนื่อง น้ำหนักที่เพิ่มขึ้นมีค่าอยู่ระหว่าง 210.53±15.06 ถึง 427.11±25.34 เปอร์เซ็นต์ โดยพบว่าอาหารที่เสริมโมโนโซเดียมฟอสเฟตที่ระดับ 0.4 เปอร์เซ็นต์ (AvP=0.56) (อาหารสูตรที่ 6) มีน้ำหนักที่เพิ่มขึ้นมากกว่าปลาที่ได้รับอาหารสูตรอื่นๆ แต่ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ (P>0.05) กับอาหารสูตรที่เติมโมโนโซเดียมฟอสเฟตที่ระดับ 0.5 เปอร์เซ็นต์ (AvP=0.62) (อาหารสูตรที่ 7) และอาหารสูตรที่มีปลาป่นเป็นหลัก (อาหารสูตรที่ 1) สำหรับปลาที่ได้รับอาหารทดลองที่ไม่เสริมโมโนโซเดียมฟอสเฟต พบว่ามีการเจริญเติบโตต่ำที่สุด แต่ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติกับปลาที่ได้รับอาหารที่ระดับ 0.1 เปอร์เซ็นต์ (AvP=0.30)

อัตราการเจริญเติบโตจำเพาะของปลานิลแดงแปลงเพศที่ได้รับอาหารทดลองทั้ง 7 สูตร พบว่า เมื่อระดับของโมโนโซเดียมฟอสเฟตในอาหารเพิ่มขึ้นจาก 0-0.4 เปอร์เซ็นต์ มีผลทำให้อัตราการเจริญเติบโตจำเพาะเพิ่มสูงขึ้นอย่างต่อเนื่องซึ่งสอดคล้องกับค่าน้ำหนักที่เพิ่มขึ้น อัตราการเจริญเติบโตจำเพาะมีค่าอยู่ระหว่าง 2.02±0.09 ถึง 2.97±0.09 เปอร์เซ็นต์ ปลาที่ได้รับอาหารที่มีโมโนโซเดียมฟอสเฟตที่ระดับ 0.4 เปอร์เซ็นต์ (AvP=0.57) มีอัตราการเจริญเติบโตจำเพาะสูงที่สุด รองลงมาคือที่ระดับ 0.5 และอาหารสูตรที่มีปลาป่นเป็นหลัก ทั้งนี้ปลาที่ได้รับอาหารทั้ง 3 สูตรนี้มีอัตราการเจริญเติบโตจำเพาะที่ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ (p>0.05)

อัตราการรอดตายของปลานิลแดงแปลงเพศ เมื่อสิ้นสุดการทดลองเป็นระยะเวลา 10 สัปดาห์ พบว่าปลามีอัตราการรอดตายไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ (p>0.05) โดยมีค่าอยู่ระหว่าง 98.33±2.89 ถึง 100 เปอร์เซ็นต์

ตารางที่ 5 น้ำหนักที่เพิ่มขึ้น อัตราการเจริญเติบโตจำเพาะ และอัตราการรอดตายของปลานิลแดงแปลงเพศที่ได้รับอาหารที่มีระดับของโมโนโซเดียมฟอสเฟตที่ระดับต่างๆ กัน เป็นระยะเวลา 10 สัปดาห์[1]

ชุดการทดลอง	MSP/AvP[2]	การเจริญเติบโตของปลานิลแดงแปลงเพศที่ได้รับฟอสฟอรัสในระดับต่างๆ กัน		
		น้ำหนักที่เพิ่มขึ้น [4] (%)	อัตราการเจริญเติบโตจำเพาะ (%) [5]	อัตราการรอดตาย [6] (%)
1	HFM[3]/0.21	376.2±33.92^{ab}	2.78±0.13^{ab}	100
2	0/0.14	210.53±15.06^{c}	2.02±0.09^{c}	98.33±2.89
3	0.1/0.30	245.92±20.29^{c}	2.21±0.1^{c}	100
4	0.2/0.42	340.77±40.33^{b}	2.64±0.16^{b}	100
5	0.3/0.48	346.52±47.76^{b}	2.67±0.19^{b}	100
6	0.4/0.57	427.11±25.34^{a}	2.97±0.09^{a}	100
7	0.5/0.62	422.22±47.98^{a}	2.95±0.17^{a}	98.33±2.89

[1]ตัวเลขที่นำเสนอเป็นค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (จากการวิเคราะห์ตัวอย่าง 3 ซ้ำ)

[2]ค่าที่ได้จากการคำนวณซึ่งอยู่บนฐานของประสิทธิภาพการย่อยฟอสฟอรัส (ตารางที่ 8)

[3]HFM = high fish meal based diet

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

[5]อัตราการเจริญเติบโตจำเพาะ = (ln น้ำหนักสุดท้าย – ln น้ำหนักเริ่มต้น)/ วัน x จำนวนตัว

[6]อัตราการรอดตาย(%) = (จน.ปลาสุดท้าย – จน.ปลาเริ่มต้น) x100/ จน.ปลาเริ่มต้น

ค่าเฉลี่ยในสดมภ์ที่มีตัวอักษรเหมือนกันกำกับ ไม่มีความแตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ (p>0.05)

5.2.3 อัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อ ประสิทธิภาพการใช้โปรตีน และโปรตีนที่นำไปใช้ประโยชน์

อัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อ ประสิทธิภาพการใช้โปรตีน และการใช้ประโยชน์จากโปรตีนสุทธิของปลานิลแดงแปลงเพศที่ได้รับอาหารที่มีฟอสฟอรัสที่ระดับต่างๆ กันจำนวน 7 สูตร แสดงในตารางที่ 6

อัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อของปลานิลแดงแปลงเพศที่ได้รับอาหารทดลองทั้ง 7 สูตร พบว่า เมื่อระดับของโมโนโซเดียมฟอสเฟตในอาหารเพิ่มขึ้นจาก 0-0.4 เปอร์เซ็นต์ มีผลทำให้อัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อลดลงอย่างต่อเนื่อง โดยปลาที่ได้รับโมโนโซเดียมฟอสเฟตในอาหารที่ระดับ 0.4 และ 0.5 เปอร์เซ็นต์ (AvP=0.56, 0.62) มีอัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อที่ดีกว่าปลาที่ได้รับอาหารที่มีปลาป่นเป็นหลัก (AvP=0.21) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p<0.05) อัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อมีค่าอยู่ระหว่าง 1.24±0.02 ถึง 1.64±0.11 ปลาที่ได้รับอาหารที่มีปลาป่นระดับต่ำและไม่เสริมโมโนโซเดียมฟอสเฟต มีอัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อสูงที่สุด (1.64±0.11) และไม่แตกต่างกับอาหารที่มีโมโนโซเดียมฟอสเฟตที่ระดับ 0. 1 เปอร์เซ็นต์ (AvP=0.30) (p>0.05) ซึ่งมีค่า 1.58±0.09 รองลงมาคือปลาที่ได้รับอาหารที่มีโมโนโซเดียมฟอสเฟตระดับ 0.2 เปอร์เซ็นต์ (AvP=0.42) อาหารที่มีปลาป่นเป็นหลัก (AvP=0.21) และอาหารที่มีโมโนโซเดียมฟอสเฟตที่ระดับ 0.3 เปอร์เซ็นต์ (AvP= 0.48) มีค่า 1.41±0.08, 1.40±0.05 และ 1.36±0.11 ตามลำดับ

ประสิทธิภาพการใช้โปรตีนของปลานิลแดงแปลงเพศที่ได้รับอาหารทดลองทั้ง 7 สูตร พบว่า เมื่อระดับของโมโนโซเดียมฟอสเฟตในอาหารเพิ่มขึ้น มีผลทำให้ประสิทธิภาพการใช้โปรตีนมีค่าเพิ่มมากขึ้นอย่างต่อเนื่อง โดยปลาที่ได้รับโมโนโซเดียมฟอสเฟตในอาหารที่ระดับ 0.4 และ 0.5 เปอร์เซ็นต์ (AvP=0.57, 0.62) มีประสิทธิภาพการใช้โปรตีนไม่แตกต่างกันทางสถิติและดีกว่าปลาที่ได้รับอาหารที่มีปลาป่นเป็นหลักอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p<0.05) ปลาที่ได้รับอาหารทดลองทั้ง 7 สูตรมีประสิทธิภาพการใช้โปรตีนอยู่ระหว่าง 1.99±0.13 ถึง 2.68±0.11 ปลาที่ได้รับอาหารที่มีปลาป่นระดับต่ำไม่เสริมโมโนโซเดียมฟอสเฟต มีประสิทธิภาพการใช้โปรตีนต่ำที่สุด แต่ไม่แตกต่างกับอาหารที่มีโมโนโซเดียมฟอสเฟตที่ระดับ 0.1 เปอร์เซ็นต์ (AvP=0.30) (p>0.05) ซึ่งมีค่า 2.09±0.11 ทั้งนี้ประสิทธิภาพการใช้โปรตีนในอาหารที่มีปลาป่นเป็นหลัก (สูตรที่ 1) ไม่มีความแตกต่างกับอาหารที่มีโมโนโซเดียมฟอสเฟตที่ระดับ 0.2 และ 0.3 เปอร์เซ็นต์อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

โปรตีนที่นำไปใช้ประโยชน์ของปลานิลแดงแปลงเพศที่ได้รับอาหารทดลองทั้ง 7 สูตร พบว่า มีค่าการใช้ประโยชน์จากโปรตีนสุทธิอยู่ระหว่าง 22.17±1.66 ถึง 35.48±1.56 เปอร์เซ็นต์ เมื่อระดับของโมโนโซเดียมฟอสเฟตในอาหารเพิ่มขึ้น มีผลต่อโปรตีนที่นำไปใช้ประโยชน์มีค่าเพิ่มมาก

ขึ้นอย่างต่อเนื่อง ปลาที่ได้รับโมโนโซเดียมฟอสเฟตในอาหารที่ระดับ 0.5 (AvP=0.62) มีโปรตีนที่นำไปใช้ประโยชน์สูงที่สุด แต่ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติกับปลาที่ได้รับอาหารที่ระดับ 0.4 เปอร์เซ็นต์ (AvP=0.57) ซึ่งมีค่า35.48±1.56และ35.43±0.72 ตามลำดับ รองลงมาเป็นปลาที่ได้รับโมโนโซเดียมฟอสเฟตในอาหารที่ระดับ 0.3 , 0.2 และ อาหารที่มีปลาป่นเป็นหลัก (AvP =0.48, 0.42 และ 0.21ตามลำดับ) ส่วนปลาที่ได้รับอาหารที่มีปลาป่นระดับต่ำและไม่เสริมโมโนโซเดียมฟอสเฟต มีการนำโปรตีนไปใช้ประโยชน์ต่ำที่สุดมีค่า 22.17±1.66 แต่ไม่แตกต่างกันทางสถิติกับปลาที่ได้รับที่ระดับ 0.1 เปอร์เซ็นต์ (AvP=0.30)

ตารางที่ 6 อัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อ ประสิทธิภาพการใช้โปรตีน และโปรตีนที่นำไปใช้ประโยชน์ ของปลานิลแดงแปลงเพศที่ได้รับอาหารที่มีระดับของโมโนโซเดียมฟอสเฟตที่ระดับต่างๆ กัน เป็นระยะเวลา 10 สัปดาห์[1]

ชุดการทดลอง	MSP/AvP[2]	ประสิทธิภาพการใช้อาหารของปลานิลแดงแปลงเพศที่ได้รับอาหารทดลองสูตรต่างๆ		
		อัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อ (FCR)[4]	ประสิทธิภาพการใช้โปรตีน (PER)[5]	โปรตีนที่นำไปใช้ประโยชน์ (PPV)[6]
1	HFM[3]/0.21	1.40±0.05^{b}	2.31±0.08^{b}	28.55±1.03^{b}
2	0/0.14	1.64±0.11^{a}	1.99±0.13^{c}	22.17±1.66^{c}
3	0.1/0.30	1.58±0.09^{a}	2.09±0.11^{c}	23.87±1.49^{c}
4	0.2/0.42	1.41±0.08^{b}	2.33±0.13^{b}	29.37±1.12^{b}
5	0.3/0.48	1.36±0.11^{bc}	2.41±0.19^{b}	30±0.41^{b}
6	0.4/0.57	1.24±0.02^{c}	2.67±0.05^{a}	35.43±0.72^{a}
7	0.5/0.62	1.25±0.06^{c}	2.68±0.11^{a}	35.48±1.56^{a}

[1]ตัวเลขที่นำเสนอเป็นค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (จากการวิเคราะห์ตัวอย่าง 3 ซ้ำ)

[2]ค่าที่ได้จากการคำนวณซึ่งอยู่บนฐานของประสิทธิภาพการย่อยฟอสฟอรัส (ตารางที่ 8)

[3]HFM = high fish meal based diet

[4]อัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อ=อาหารที่ปลากิน / น้ำหนักที่เพิ่มขึ้น

[5]ประสิทธิภาพการใช้โปรตีน = น้ำหนักปลาที่เพิ่มขึ้น / น้ำหนักโปรตีนที่ปลากิน

[6]โปรตีนที่นำไปใช้ประโยชน์ = (โปรตีนสุดท้าย – โปรตีนเริ่มต้น) x 100/ น้ำหนักโปรตีนที่ปลากินตลอดการทดลอง

ค่าเฉลี่ยในสดมภ์ที่มีตัวอักษรเหมือนกันกำกับ ไม่มีความแตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ (p>0.05)

5.2.4 สัมประสิทธิ์การย่อยสารอาหารของปลานิลแดงแปลงเพศที่ได้รับอาหารเสริมโมโนโซเดียมฟอสเฟตที่ระดับต่างๆ กัน

ค่าสัมประสิทธิ์ย่อยอาหารวัตถุแห้ง และฟอสฟอรัส ของปลานิลแดงแปลงเพศที่ได้รับอาหารที่เสริมโมโนโซเดียมฟอสเฟตทั้ง 7 สูตร แสดงในตารางที่ 7

สัมประสิทธิ์การย่อยวัตถุแห้งของปลานิลแดงแปลงเพศที่ได้รับอาหารทดลองทั้ง 7 สูตร พบว่า เมื่อระดับของโมโนโซเดียมฟอสเฟตในอาหารเพิ่มขึ้น มีผลให้ประสิทธิภาพการย่อยวัตถุแห้งมีค่าเพิ่มมากขึ้น ปลาที่ได้รับโมโนโซเดียมฟอสเฟตในอาหารที่ทุกระดับมีสัมประสิทธิ์การย่อยวัตถุแห้งที่ดีกว่า ปลาที่ได้รับอาหารที่มีปลาป่นเป็นหลัก (AvP=0.21) ค่าสัมประสิทธิ์การย่อยวัตถุแห้งในชุดการทดลองที่ 1 ถึง 7 มีค่าอยู่ระหว่าง 54.65±2.55 ถึง 64.55±1.35 เปอร์เซ็นต์ อาหารที่มีโมโนโซเดียมฟอสเฟตที่ระดับ 0.5 เปอร์เซ็นต์ (AvP=0.62) มีค่าสูงที่สุด และไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติกับที่ระดับ 0.2 , 0.3 และ 0.4 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งมีค่าเท่ากับ 63.54±1.34, 62.45±1.31 และ 63.78±0.44 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ โดยค่าสัมประสิทธิการย่อยวัตถุแห้งในปลาที่ได้รับอาหารที่มีปลาป่นระดับต่ำและไม่เสริมโมโนโซเดียมฟอสเฟต มีค่าต่ำที่สุดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

สัมประสิทธิ์การย่อยฟอสฟอรัสของปลานิลแดงแปลงเพศที่ได้รับอาหารทดลองทั้ง 7 สูตร พบว่าอาหารทุกชุดการทดลองมีสัมประสิทธิ์การย่อยฟอสฟอรัสที่ดีกว่า อาหารที่มีปลาป่นเป็นหลัก ยกเว้นปลาที่ได้รับอาหารที่ไม่เสริมโมโนโซเดียมฟอสเฟต และมีปลาป่นระดับต่ำ ค่าสัมประสิทธิ์การย่อยฟอสฟอรัสอยู่ระหว่าง 20.48±1.74 ถึง 52.87±3.98 เปอร์เซ็นต์ ปลาที่ได้รับอาหารทดลองที่มีโมโนโซเดียมฟอสเฟตที่ 0.5 เปอร์เซ็นต์(AvP=0.62) มีสัมประสิทธิ์การย่อยดีที่สุด รองลงมาคืออาหารที่มีโมโนโซเดียมฟอสเฟตที่ระดับ 0.4, 0.3 และ 0.2 เปอร์เซ็นต์ (AvP=0.57, 0.48 และ 0.42) ซึ่งมีค่าประสิทธิภาพการย่อยฟอสฟอรัสอยู่ระหว่าง45.87±6.57 และ 50.43±0.42 เปอร์เซ็นต์ แต่ไม่มีความแตกต่างทางสถิติ ($p>0.05$) กับที่ระดับ 0.5 เปอร์เซ็นต์ (AvP=0.62) ส่วนปลาที่ได้รับอาหารที่ระดับโมโนโซเดียมฟอสเฟต 0.1 เปอร์เซ็นต์ (AvP=0.30) มีประสิทธิภาพการย่อยฟอสฟอรัส 35.96±24.76 เปอร์เซ็นต์

ตารางที่ 7 สัมประสิทธิ์การย่อยฟอสฟอรัสของปลานิลแดงแปลงเพศที่ได้รับอาหารเสริมโมโนโซเดียมฟอสเฟตที่ระดับต่างๆ กัน[1]

ชุดการทดลอง	MSP/AvP[2]	สัมประสิทธิ์การย่อยสารอาหาร (%)	
		วัตถุแห้ง	ฟอสฟอรัส
1	HFM[3]/0.21	59.44±0.82[c]	21.33±0.1[c]
2	0/0.14	54.65±2.55[d]	20.48±1.74[c]
3	0.1/0.30	60.05±1.49[bc]	35.96±24.76[b]
4	0.2/0.42	63.54±1.34[ab]	45.87±6.57[a]
5	0.3/0.48	62.45±1.31[abc]	47.32±5.04[a]
6	0.4/0.57	63.78±0.44[a]	50.43±0.42[a]
7	0.5/0.62	64.55±1.35[a]	52.87±3.98[a]

[1]ตัวเลขที่นำเสนอเป็นค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (จากการวิเคราะห์ตัวอย่าง 3 ซ้ำ)

[2] ค่าที่ได้จากการคำนวณซึ่งอยู่บนฐานของประสิทธิภาพการย่อยฟอสฟอรัส (ตารางที่ 8)

[3]HFM = high fish meal based diet

ค่าเฉลี่ยในสดมภ์ที่มีตัวอักษรเหมือนกันกำกับ ไม่มีความแตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ (p>0.05)

5.2.5 องค์ประกอบของเถ้าในกระดูกปิดเหงือก เถ้าในกระดูกสันหลัง ฟอสฟอรัสในกระดูกสันหลัง ฟอสฟอรัสในมูล และฟอสฟอรัสในกล้ามเนื้อของปลานิลแดงแปลงเพศที่ได้รับอาหารเสริมโมโนโซเดียมฟอสเฟตที่ระดับต่างๆ

องค์ประกอบของเถ้าในกระดูกปิดเหงือก เถ้าในกระดูกสันหลัง ฟอสฟอรัสในกระดูกสันหลัง ฟอสฟอรัสในมูล และฟอสฟอรัสในกล้ามเนื้อ ของปลานิลแดงแปลงเพศที่ได้รับโมโนโซเดียมฟอสเฟตที่ระดับต่างๆ จำนวน 7 ระดับ แสดงในตารางที่ 8

ปลานิลแดงแปลงเพศที่ได้รับอาหารที่มีโมโนโซเดียมฟอสเฟตที่ระดับต่างๆ กัน พบว่ามีเถ้าเป็นองค์ประกอบในกระดูกปิดเหงือกเพิ่มขึ้นเป็นลำดับ เมื่อปริมาณของโมโนโซเดียมฟอสเฟตในอาหารเพิ่มขึ้น สำหรับปริมาณการสะสมเถ้าในกระดูกปิดเหงือกของปลาที่ได้รับอาหารทดลองมีค่าอยู่ระหว่าง 52.35±0.04 ถึง 60.71±0.33 เปอร์เซ็นต์ ปลาที่ได้รับโมโนโซเดียมที่ระดับ 0.5 เปอร์เซ็นต์ (AvP=0.62) มีเถ้าเป็นองค์ประกอบในกระดูกปิดเหงือกในปริมาณมากที่สุด และมีค่ามากกว่าปลาที่ได้รับปลาป่นเป็นหลัก (AvP=0.21) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ รองลงมาคือที่ระดับ 0.4, 0.3 และ อาหารที่มีปลาป่นเป็นหลัก มีค่าเท่ากับ 58.67±0.2 58.52±0.09 และ 58.19±0.33 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ โดยปลาที่ได้รับอาหารที่ไม่เสริมโมโนโซเดียมฟอสเฟต และมีปลาป่นระดับต่ำมีเถ้าเป็นองค์ประกอบในกระดูกปิดเหงือกต่ำที่สุดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

ปริมาณเถ้าในกระดูกของปลานิลแดงแปลงเพศที่ได้รับโมโนโซเดียมที่ระดับต่างๆ พบว่ามีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อโมโนโซเดียมฟอสเฟตในอาหารเพิ่มขึ้น จากการทดลองปลาที่ได้รับอาหารทั้ง 7 สูตร พบว่าเถ้าที่เป็นองค์ประกอบในกระดูกมีค่าอยู่ระหว่าง 49.15±0.17 ถึง 55.54±0.40 เปอร์เซ็นต์ โดยปลาที่ได้รับที่มีโมโนโซเดียมฟอสเฟตที่ระดับ 0.5 เปอร์เซ็นต์ (AvP=0.62) มีปริมาณเถ้าเป็นองค์ประกอบในกระดูกมากกว่าปลาที่ได้รับอาหารที่มีฟอสฟอรัสจากปลาป่นเป็นหลัก และมีมากที่สุดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) รองลงมาเป็นปลาที่ได้รับโมโนโซเดียมฟอสเฟตที่ระดับ 0.4 เปอร์เซ็นต์ (AvP=0.57) มีเถ้าเป็นองค์ประกอบ 53.91±0.57 เปอร์เซ็นต์ ส่วนกลุ่มที่ให้ค่าต่ำคือปลาที่ได้รับอาหารที่ระดับ 0.2, 0.1 และ 0 เปอร์เซ็นต์ซึ่งมีค่าเท่ากับ 49.99±0.25, 49.54±0.04 และ 49.15±0.17 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ

องค์ประกอบฟอสฟอรัสในกระดูกสันหลังในปลานิลแดงแปลงเพศที่ได้รับอาหารทดลองทั้ง 7 สูตรพบว่าเมื่อระดับของโมโนโซเดียมฟอสเฟตในอาหารเพิ่มขึ้นมีผลทำให้องค์ประกอบของฟอสฟอรัสในกระดูกสันหลังมีค่าเพิ่มขึ้น องค์ประกอบของฟอสฟอรัสในกระดูกสันหลังของปลาที่ได้รับอาหารโมโนโซเดียมฟอสเฟตมีค่าอยู่ระหว่าง 8.01±0.02 ถึง 11.94±0.59 เปอร์เซ็นต์ โดยปลาที่ได้รับโมโนโซเดียมฟอสเฟตที่ระดับ 0.5 และ 0.4 เปอร์เซ็นต์ (AvP= 0.62 และ 0.57) มีฟอสฟอรัสเป็นองค์ประกอบในกระดูกสูงกว่า ปลาที่ได้รับอาหารที่มีฟอสฟอรัสจากปลาป่นเป็นหลัก

(AvP=0.21) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) แต่ไม่แตกต่างกับปลาที่ได้รับอาหารที่ไม่มีโมโนโซเดียมฟอสเฟตและปลาป่นระดับต่ำและที่ระดับตั้งแต่ 0.1 - 0.3 เปอร์เซ็นต์ (AvP ระหว่าง 0.14 – 0.48)

ปลานิลแดงแปลงเพศที่ได้รับอาหารที่โมโนโซเดียมฟอสเฟตระดับต่างๆ จำนวน 7 สูตร พบว่าเมื่อระดับของโมโนโซเดียมฟอสเฟตในอาหารเพิ่มขึ้นมีผลทำให้ปริมาณของฟอสฟอรัสในมูลเพิ่มขึ้น โดยมีค่าอยู่ระหว่าง 1.27±0.03 ถึง 2.12±0.26 เปอร์เซ็นต์ ปลาที่ได้รับอาหารทดลองที่มีฟอสฟอรัสจากปลาป่นเป็นหลัก (AvP=0.21) พบว่ามีปริมาณของฟอสฟอรัสในมูลปริมาณสูงกว่าปลาที่ไม่เสริม และเสริมโมโนโซเดียมฟอสเฟตที่ระดับต่างๆ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) รองลงมาคือปลาที่ได้รับอาหารที่มีโมโนโซเดียมฟอสเฟตที่ระดับ 0.5 เปอร์เซ็นต์ (AvP=0.62) ส่วนปลาที่ได้รับอาหารที่ไม่เสริมโมโนโซเดียมฟอสเฟต และมีปลาป่นระดับต่ำมีฟอสฟอรัสในมูลต่ำที่สุด แต่ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติกับปลาที่ได้รับอาหารที่มีโมโนโซเดียมฟอสเฟตที่ระดับ 0.1, 0.2, 0.3 และ 0.4 เปอร์เซ็นต์

องค์ประกอบของฟอสฟอรัสในกล้ามเนื้อของปลานิลแดงแปลงเพศที่ได้รับอาหารทดลองจำนวน 7 สูตรพบว่า เมื่อระดับของโมโนโซเดียมฟอสเฟตเพิ่มขึ้น มีผลต่อการสะสมของฟอสฟอรัสในกล้ามเนื้อเพิ่มขึ้น สำหรับปริมาณฟอสฟอรัสที่สะสมในปลาที่ได้รับอาหารที่มีอนินทรีย์ฟอสเฟตทั้ง 7 ระดับ มีค่าระหว่าง 0.36±0.07 ถึง 0.89 เปอร์เซ็นต์ ปลาที่ได้รับอาหารที่มีโมโนโซเดียมฟอสเฟตที่ระดับ 0.5 เปอร์เซ็นต์มีระดับของฟอสฟอรัสสะสมในกล้ามเนื้อมากที่สุด องค์ประกอบของฟอสฟอรัสในกล้ามเนื้อที่น้อยที่สุดคือปลาที่ได้รับอาหารที่เสริมฟอสฟอรัสที่ระดับ 0 และ 0.1 เปอร์เซ็นต์มีค่าเท่ากับ 0.36±0.07 และ 0.40±0.03 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ

ตารางที่ 8 องค์ประกอบของเถ้าในกระดูกปิดเหงือก เถ้าในกระดูกสันหลัง ฟอสฟอรัสในกระดูกสันหลัง ฟอสฟอรัสในมูล และฟอสฟอรัสในกล้ามเนื้อของปลานิลแดงแปลงเพศที่ได้รับอาหารเสริมโมโนโซเดียมฟอสเฟตที่ระดับต่างๆ จำนวน 7 สูตรเป็นเวลา 10 สัปดาห์[1]

ชุดการทดลอง	MSP/AvP[2]	องค์ประกอบของเถ้า และฟอสฟอรัสในอวัยวะต่างๆ ของปลานิลแดงแปลงเพศ (%)				
		เถ้าในกระดูกปิดเหงือก	เถ้าในกระดูกสันหลัง	ฟอสฟอรัสในกระดูกสันหลัง	ฟอสฟอรัสในมูล	ฟอสฟอรัสในกล้ามเนื้อ
1	HFM[3] **/0.21**	58.19±0.33^{b}	53.55±0.82^{b}	8.12±1.61^{c}	2.12±0.26^{a}	0.77±0.01^{a}
2	**0/0.14**	52.35±0.04^{d}	49.15±0.17^{d}	8.01±0.02^{c}	1.27±0.03^{c}	0.36±0.07^{c}
3	**0.1/0.30**	56.77±0.31^{c}	49.54±0.04^{d}	9.02±0.12^{bc}	1.31±0.06^{c}	0.40±0.03^{c}
4	**0.2/0.42**	57.07±0.4^{c}	49.99±0.25^{d}	9.11±0.17^{bc}	1.38±0.09^{bc}	0.48±0.09^{bc}
5	**0.3/0.48**	58.52±0.09^{b}	52.45±0.19^{c}	9.15±0.57^{bc}	1.43±0.09^{bc}	0.65±0.14^{ab}
6	**0.4/0.57**	58.67±0.2^{b}	53.91±0.57^{b}	10.57±0.45^{ab}	1.56±0.05^{bc}	0.72±0.18^{ab}
7	**0.5/0.62**	60.71±0.33^{a}	55.54±0.40^{a}	11.94±0.59^{a}	1.64±0.05^{b}	0.89^{a}

[1]ตัวเลขที่นำเสนอเป็นค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (จากการวิเคราะห์ตัวอย่าง 3 ซ้ำ)

[2]ค่าที่ได้จากการคำนวณซึ่งอยู่บนฐานของประสิทธิภาพการย่อยฟอสฟอรัส (ตารางที่ 8)

[3]HFM = high fish meal based diet

ค่าเฉลี่ยในสดมภ์ที่มีตัวอักษรเหมือนกันกำกับ ไม่มีความแตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ (p>0.05)

5.2.6 ปริมาณฟอสฟอรัสในซีรัมและกิจกรรมของเอนไซม์อัลคาไลน์ฟอสฟาเตส

ปริมาณฟอสฟอรัสในซีรัมและกิจกรรมของเอนไซม์อัลคาไลน์ฟอสฟาเตสของปลานิลแดงแปลงเพศที่ได้รับอาหารที่เสริมโมโนโซเดียมฟอสเฟตเป็นเวลา 10 สัปดาห์แสดงดังตารางที่ 9

ปริมาณฟอสฟอรัสในซีรัมของปลานิลแดงแปลงเพศที่ได้รับอาหารที่มีโมโนโซเดียมฟอสเฟตที่ระดับต่างๆ เป็นระยะเวลา 10 สัปดาห์พบว่าเมื่อระดับของอนินทรีย์ฟอสเฟตเพิ่มขึ้นมีผลทำให้ปริมาณของฟอสฟอรัสในซีรัมมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง ปริมาณของฟอสฟอรัสในซีรัมของอาหารทดลองจำนวน 7 สูตร มีค่าอยู่ระหว่าง 9.77±1.72 ถึง 24.67±1.42 มิลลิกรัมต่อลิตร ปลาที่ได้รับอาหารไม่เสริมโมโนโซเดียมฟอสเฟตและปลาป่นระดับต่ำที่ระดับ 0.1, 0.2 เปอร์เซ็นต์ มีปริมาณฟอสฟอรัสในซีรัมน้อยกว่าปลาที่ได้รับฟอสฟอรัสจากปลาป่นเป็นหลัก อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p<0.05) ส่วนปลาที่ได้รับอาหารที่มีอนินทรีย์ฟอสเฟตที่ระดับ 0.4 เปอร์เซ็นต์ (AvP=0.57) มีปริมาณของฟอสฟอรัสในซีรัมสูงที่สุด ส่วนปลาที่ไม่ได้รับอนินทรีย์ฟอสเฟตในอาหารมีปริมาณของฟอสฟอรัสในซีรัมปริมาณน้อยที่สุด

กิจกรรมเอนไซม์อัลคาไลน์ฟอสฟาเตสของปลานิลแดงแปลงเพศที่ได้รับอาหารทดลองครั้งนี้พบว่ามีค่าอยู่ระหว่าง 19.33±6.66 ถึง 23.67±5.51 ยูนิตต่อลิตร โดยในระหว่างชุดการทดลองทั้ง 7 ชุดไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ (p>0.05)

ตารางที่ 9 ฟอสฟอรัสในซีรัม กิจกรรมเอนไซม์อัลคาไลน์ฟอสฟาเตสของปลานิลแดงแปลงเพศที่ได้รับอาหารทดลองจำนวน 7 สูตรเป็นระยะเวลา 10 สัปดาห์[1]

ชุดการทดลอง	MSP/AvP[2]	ซีรัมฟอสฟอรัส (mg/l)	เอนไซม์อัลคาไลน์ฟอสฟาเตส (IU/l)
1	HFM[3] /0.21	21.13±3.99[ab]	19.33±6.66
2	0/0.14	9.77±1.72[e]	21.33±3.21
3	0.1/0.30	12.83±1.33[de]	25±3.00
4	0.2/0.42	16.53±2.47[cd]	21.67±1.53
5	0.3/0.48	17.53±1.40[bc]	23.67±5.51
6	0.4/0.57	24.67±1.42[a]	21±2.00
7	0.5/0.62	23.62±1.91[a]	23±6.24

[1]ตัวเลขที่นำเสนอเป็นค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (จากการวิเคราะห์ตัวอย่าง 3 ซ้ำ)

[2] ค่าที่ได้จากการคำนวณซึ่งอยู่บนฐานของประสิทธิภาพการย่อยฟอสฟอรัส (ตารางที่ 8)

[3]HFM = high fish meal based diet

ค่าเฉลี่ยในสดมภ์ที่มีตัวอักษรเหมือนกันกำกับ ไม่มีความแตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ (p>0.05)

5.2.7 องค์ประกอบทางโภชนาการของปลาทั้งตัว

ผลการวิเคราะห์ส่วนประกอบทางโภชนาการของปลานิลแดงแปลงเพศทั้งตัวที่ได้รับอาหารเสริมด้วยอนินทรีย์ฟอสเฟตที่ระดับต่างๆ จำนวน 7 สูตรแสดงดังในตารางที่ 10

ปลานิลแดงแปลงเพศทั้งตัวเมื่อเริ่มต้นการทดลองมีความชื้น71.9±1.66 เปอร์เซ็นต์ หลังจากที่ปลาได้รับอาหารทดลองทั้ง 7 สูตรเป็นระยะเวลา 10 สัปดาห์พบว่ามีค่าอยู่ระหว่าง 76.39±1.99 ถึง 77.64±0.1 เปอร์เซ็นต์และในระหว่างชุดการทดลองทั้ง 7 ชุดการทดลองนั้นไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ (p>0.05)

ปริมาณโปรตีนของปลานิลแดงแปลงเพศทั้งตัวเมื่อเริ่มต้นการทดลองมีโปรตีนเป็นองค์ประกอบ 52.24±1.39 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักแห้ง หลังจากที่ปลาได้รับอาหารทดลองเป็นเวลา 10 สัปดาห์ พบว่าโปรตีนมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเล็กน้อย เมื่อปริมาณอนินทรีย์ฟอสเฟตในอาหารเพิ่มขึ้น โดยโปรตีนมีค่าระหว่าง 50.97±0.50 ถึง 55.49±1.47 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักแห้ง ทั้งนี้ปริมาณโปรตีนของปลานิลแดงไม่มีความแตกต่างกันสถิติ (p >0.05) เมื่ออาหารมีโมโนโซเดียมฟอสเฟตที่ระดับ 0.2 ถึง 0.5 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักแห้ง และโมโนโซเดียมฟอสเฟตที่ระดับ 0.2 ถึง 0.5 เปอร์เซ็นต์มีระดับโปรตีนที่สูงกว่าปลาที่ได้รับอาหารที่มีฟอสฟอรัสจากปลาป่นเป็นหลัก ส่วนปลาที่ได้รับอาหารที่ไม่มีโมโนโซเดียมฟอสเฟต และมีปลาป่นระดับต่ำ (AvP=0.14) มีองค์ประกอบของโปรตีนในตัวทั้งหมดต่ำที่สุด และไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติกับปลาที่ได้รับอาหารที่ระดับ 0.1 เปอร์เซ็นต์ และอาหารที่มีปลาป่นเป็นหลัก

องค์ประกอบไขมันของปลานิลแดงแปลงเพศทั้งตัว เมื่อเริ่มต้นการทดลองมีไขมันเป็นองค์ประกอบ 25.56±.011 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักแห้ง หลังจากปลาได้รับอาหารทดลองทั้ง 7 สูตร พบว่าปริมาณไขมันในปลาทั้งตัวมีแนวโน้มลดลง เมื่อปริมาณอนินทรีย์ฟอสฟอรัสในอาหารเพิ่มขึ้น ปลาที่ได้รับอาหารที่มีฟอสฟอรัสจากปลาป่นเป็นหลักพบว่ามีไขมันในซากปลาทั้งตัวน้อยกว่าปลาที่ได้รับอาหารที่ไม่มีโมโนโซเดียมฟอสเฟตและปลาป่นระดับต่ำ และที่ระดับ 0.1 เปอร์เซ็นต์ (AvP= 0.12 และ 0.30) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p<0.05) แต่ไม่แตกต่างกับอาหารที่มีโมโนโซเดียมฟอสเฟตที่ระดับ 0.2 และ 0.3 เปอร์เซ็นต์ และมากกว่าปลาที่ได้รับโมโนโซเดียมฟอสเฟตที่ระดับ 0.4 และ 0.5 เปอร์เซ็นต์ (AvP=0.57, 0.62) ระดับของไขมันในซากปลาทั้งตัวมีค่าอยู่ระหว่าง 21.80±0.31 ถึง 28.72±0.34 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักแห้ง โดยปลาที่ได้รับอาหารที่ระดับ 0.5 เปอร์เซ็นต์ (AvP=0.62) มีไขมันเป็นองค์ประกอบน้อยที่สุดรองลงมาคือ 0.4 เปอร์เซ็นต์ (AvP=0.42) มีค่า 22.41±0.14 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักแห้งซึ่งไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ (p>0.05) กับที่ระดับ 0.5 เปอร์เซ็นต์ (AvP=0.62) ส่วนปลาที่ไม่ได้รับโมโนโซเดียมฟอสเฟตและมี

ปลาป่นระดับต่ำมีไขมันเป็นองค์ประกอบมากที่สุด ตามด้วยที่ระดับ 0.1 เปอร์เซ็นต์ (AvP=0.30) ซึ่งมีค่า 28.65±0.36 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักแห้ง

ปลานิลแดงแปลงเพศเมื่อเริ่มต้นการทดลองพบว่ามีเถ้าเป็นองค์ประกอบ 15.84±0.09 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักแห้ง หลังจากที่ปลาได้รับอาหารทดลองเป็นระยะเวลา 10 สัปดาห์พบว่าเมื่อปริมาณของโมโนโซเดียมในอาหารเพิ่มขึ้นมีผลทำให้เถ้าในตัวปลาทั้งหมดมีค่าเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง ปริมาณเถ้าที่เป็นองค์ประกอบมีค่าอยู่ระหว่าง 9.71±0.01 และ 14.15±0.66 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักแห้ง ปลาที่ได้รับอาหารที่มีโมโนโซเดียมฟอสเฟตระดับ 0.5 เปอร์เซ็นต์ (AvP=0.62) มีเถ้าเป็นองค์ประกอบสูงสุด และองค์ประกอบเถ้าที่ระดับต่ำสุดคือปลาที่ได้รับอาหารที่มีปลาป่นระดับต่ำและไม่มีโมโนโซเดียมเป็นองค์ประกอบ (AvP=0.14)

ปริมาณของฟอสฟอรัสที่เป็นองค์ประกอบในปลาทั้งตัวของปลานิลแดงแปลงเพศที่ได้รับอาหารทดลองจำนวน 7 สูตร พบว่า เมื่อปริมาณของอนินทรีย์ฟอสฟอรัสในอาหารทดลองเพิ่มมากขึ้นมีผลทำให้ปริมาณของฟอสฟอรัสที่สะสมในร่างกายปลามีปริมาณเพิ่มขึ้นตามกันอย่างต่อเนื่อง เมื่อเริ่มต้นการทดลองพบว่าปลามีฟอสฟอรัสเป็นองค์ประกอบ 1.17±0.03 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักแห้ง ปลาที่ได้รับอาหารที่มีฟอสฟอรัสจากปลาป่นเป็นหลัก (AvP=0.21) มีปริมาณฟอสฟอรัสที่ต่ำกว่าปลาที่ได้รับอาหารที่มีโมโนโซเดียมฟอสเฟตที่ระดับ 0.5 เปอร์เซ็นต์ (AvP=0.62) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แต่ไม่แตกต่างกับที่ระดับ 0 - 0.4 เปอร์เซ็นต์ ปลาที่ได้รับอาหารทดลองที่มีโมโนโซเดียมฟอสเฟตระดับ 0.5 เปอร์เซ็นต์ (2.66±0.54 เปอร์เซ็นต์) มีองค์ประกอบของฟอสฟอรัสในร่างกายทั้งหมดสูงที่สุด แต่ไม่แตกต่างกับที่ระดับ 0.4 เปอร์เซ็นต์ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) และ สำหรับปลาที่ไม่ได้รับโมโนโซเดียมฟอสเฟต และมีปลาป่นระดับต่ำ (AvP=0.14) และที่ระดับ 0.1 เปอร์เซ็นต์ (AvP=0.30) มีองค์ประกอบของฟอสฟอรัสในปลาทั้งตัวน้อยที่สุด คือ 1.42±0.25 และ 1.54±0.01 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักแห้งตามลำดับ

ปริมาณไขมันในอวัยวะภายรวมในของปลานิลแดงแปลงเพศที่ได้รับอาหารทดลองจำนวน 7 สูตรพบว่า ปลาที่ได้รับอาหารที่มีปลาป่นเป็นองค์ประกอบหลัก (AvP=0.21) พบว่ามีปริมาณไขมันในอวัยวะภายในสูงที่สุด และสูงกว่าปลาที่ได้รับอาหารทดลองในสูตรอื่นๆ ส่วนปลาที่ได้โมโนโซเดียมฟอสเฟตที่ระดับ 0 – 0.5 เปอร์เซ็นต์มีปริมาณไขมันในอวัยวะภายในไม่แตกต่างกันทางสถิติซึ่งมีค่า 40.21±0.01, 39.12±1.08, 39.74±0.77, 39.54±0.12, 35.87±4.88 และ 33.69±4.22 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักแห้งตามลำดับ

ตารางที่ 10 ส่วนประกอบทางโภชนาการของปลานิลแดงแปลงเพศทั้งตัวที่ได้รับอาหารทดลอง 7 สูตรเป็นระยะเวลา 10 สัปดาห์ (เปอร์เซ็นต์) [1]

ชุดทดลอง	MSP/AvP[2]	คุณค่าทางโภชนาการของปลานิลแดงแปลงเพศทั้งตัว					
		ความชื้น	โปรตีน	ไขมัน	เถ้า	ฟอสฟอรัส	ไขมันในอวัยวะภายในรวม
ปลาเริ่มต้น	-	71.9±1.66	52.24±1.39	25.56±.011	15.84±0.09	1.17±0.03	-
1	HFM[3] /0.21	77.46±0.14	52.52±0.49^{b}	25.93±0.87^{b}	13.44±0.3^{b}	1.73±0.25^{bc}	47.15±2.23^{a}
2	0/0.14	77.28±0.31	50.97±0.50^{b}	28.72±0.34^{a}	9.71±0.01^{e}	1.42±0.01^{c}	39.74±0.01^{ab}
3	0.1/0.30	76.98±0.01	51.16±0.11^{b}	28.65±0.36^{a}	10.03±0.1^{e}	1.54±0.01^{c}	40.21±1.08^{ab}
4	0.2/0.42	76.96±0.06	55.49±1.47^{a}	26.56±0.85^{b}	11.61±0.43^{d}	1.88±0.13^{bc}	39.12±0.77^{ab}
5	0.3/0.48	77.64±0.1	54.06±2.44^{a}	25.32±0.14^{b}	11.87±0.12^{d}	1.96±0.04^{bc}	39.54±0.12^{ab}
6	0.4/0.57	76.86±1.03	55.19±0.65^{a}	22.41±0.14^{c}	12.56±0.43^{c}	2.22±0.03^{ab}	35.87±4.88^{b}
7	0.5/0.62	76.39±1.99	54.10±0.9^{a}	21.80±0.31^{c}	14.15±0.66^{a}	2.66±0.54^{a}	33.69±4.22^{b}

[1]ตัวเลขที่นำเสนอเป็นค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (จากการวิเคราะห์ตัวอย่าง 3 ซ้ำ)

[2]HFM based diet = high fish meal based diet

[3]ค่าที่ได้จากการคำนวณซึ่งอยู่บนฐานของประสิทธิภาพการย่อยฟอสฟอรัส (ตารางที่ 8)

ค่าเฉลี่ยในสดมภ์ที่มีตัวอักษรเหมือนกันกำกับ ไม่มีความแตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ (p>0.05)

5.2.8 ปริมาณการสะสมฟอสฟอรัสในร่างกาย ฟอสฟอรัสที่ถูกขับทิ้ง ฟอสฟอรัสที่ถูกขับทิ้งรวมทั้งหมด ฟอสฟอรัสในรูปของเสียที่เป็นของแข็งทั้งหมด และฟอสฟอรัสที่ถูกขับทิ้งในรูปสารละลายรวม ของปลานิลแดงแปลงเพศที่ได้รับอาหารทดลองจำนวน 7 สูตร

จากการคำนวณปริมาณการสะสมฟอสฟอรัสในร่างกาย ฟอสฟอรัสที่ถูกขับทิ้ง ฟอสฟอรัสที่ถูกขับทิ้งรวมทั้งหมด ฟอสฟอรัสในรูปของเสียที่เป็นของแข็งทั้งหมด และฟอสฟอรัสที่ถูกขับทิ้งในรูปสารละลายรวม ของปลานิลแดงแปลงเพศที่ได้รับอาหารทั้ง 7 สูตร แสดงดังในตารางที่ 11

ปลานิลแดงแปลงเพศที่ได้รับโมโนโซเดียมฟอสเฟตที่ระดับต่างๆ กัน พบว่าเมื่อระดับของฟอสฟอรัสในอาหารเพิ่มขึ้นทำให้การนำฟอสฟอรัสไปใช้เพื่อการสะสมเพิ่มขึ้นจากการทดลองตลอดเวลา 10 สัปดาห์พบว่าการสะสมฟอสฟอรัสมีค่าอยู่ระหว่าง 30.76±2.02 ถึง 48.93±3.23 เปอร์เซ็นต์ ปลาที่ได้รับโมโนโซเดียมฟอสเฟตที่ระดับ 0.5 เปอร์เซ็นต์ (AvP=0.62) มีปริมาณการสะสมฟอสฟอรัสในร่างกายสูงที่สุด นอกจากการสะสมฟอสฟอรัสในตัวปลาที่ได้รับอาหารที่มีปลาป่นเป็นหลัก (AvP=0.21) ไม่มีความแตกต่างทางสถิติ (p>0.05) กับปลาที่ได้รับอาหารที่มีโมโนโซเดียมฟอสเฟตที่ระดับ 0.1 ถึง 0.3 เปอร์เซ็นต์ ส่วนปลาที่ได้รับอาหารที่ไม่มีโมโนโซเดียมฟอสเฟต และปลาป่นระดับต่ำ (AvP=0.14) มีการสะสมฟอสฟอรัสในตัวต่ำที่สุด มีค่า 30.76±2.02 เปอร์เซ็นต์

ปลานิลแดงแปลงเพศที่ได้รับอาหารทั้ง 7 สูตรมีการขับฟอสฟอรัสอยู่ระหว่าง 3.14±0.58 ถึง 6.40±0.57 กรัมต่อน้ำหนักปลาที่เพิ่มขึ้น โดยปลาที่ได้รับอาหารที่ฟอสฟอรัสจากปลาป่นเป็นหลักมีการขับฟอสฟอรัสทิ้งสูงกว่าปลาที่ได้รับอาหารอื่นๆ แต่ไม่แตกต่างกับปลาที่ได้รับอาหารที่มีโมโนโซเดียมฟอสเฟตที่ระดับ 0.3, 0.4 และ 0.5 เปอร์เซ็นต์ ปลาที่ได้รับอาหารที่ไม่มีโมโนโซเดียมฟอสเฟต และมีปลาป่นระดับต่ำมีปริมาณฟอสฟอรัสที่ขับออกน้อยที่สุดคือ 3.14±0.58 กรัมต่อน้ำหนักปลาที่เพิ่มขึ้นตามลำดับ

ปริมาณฟอสฟอรัสที่ปลาขับทิ้งทั้งหมดพบว่าปลาที่ได้รับอาหารทดลองทั้ง 7 สูตรมีปริมาณฟอสฟอรัสขับทิ้งทั้งหมดมีค่าอยู่ระหว่าง 4.81±0.14 ถึง 6.54±0.19 กรัมต่ออาหาร 1 กิโลกรัม ปลาที่ได้รับอาหารที่มีอนินทรีย์ฟอสเฟตที่ระดับ 0.5 เปอร์เซ็นต์ (AvP=0.62, 0.57) มีการขับฟอสฟอรัสทั้งหมดสูงกว่าปลาที่ได้รับฟอสฟอรัสจากปลาป่นเป็นหลัก และมีค่าสูงที่สุด รองลงมาคือที่ระดับ 0.4 และ 0.3 เปอร์เซ็นต์ (AvP=0.57, 0.48) ส่วนที่ระดับต่ำสุดคือปลาที่ได้รับอาหารที่ไม่เสริมโมโนโซเดียมฟอสเฟตมีค่าเท่ากับ 4.81±0.14 กรัมต่ออาหาร 1 กิโลกรัม

ฟอสฟอรัสที่ถูกขับทิ้งในรูปของแข็งทั้งหมดของปลานิลแดงแปลงเพศพบว่าในอาหารทุกสูตรมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p<0.05) ปริมาณฟอสฟอรัสที่ถูกขับทิ้งในรูป

ของแข็งในอาหารทดลองทั้ง 7 สูตรมีค่าอยู่ระหว่าง 4.80 ถึง 5.67 กรัมต่อกิโลกรัมอาหาร ปลาที่ได้รับอาหารในสูตรที่ 7 (AvP=0.21) มีปริมาณการขับฟอสฟอรัสในรูปของแข็งทิ้งมากที่สุด รองลงมาเป็นปลาที่ได้รับโมโนโซเดียมฟอสเฟตที่ระดับ 0.4 0.3 อาหารทีมีปลาป่นเป็นหลัก 0.2 และ 0 เปอร์เซ็นต์ซึ่งมีค่าต่ำสุดคือเท่ากับ 4.80 กรัมต่อกิโลกรัมอาหาร

ปริมาณฟอสฟอรัสที่ปลานิลแดงแปลงเพศขับออกมาในรูปสารละลายพบว่ามีแนวโน้มเพิ่มมากขึ้นเมื่อระดับของโมโนโซเดียมฟอสเฟตในอาหารเพิ่มมากขึ้น สำหรับปลาที่ได้รับอาหารที่มีปลาป่นเป็นหลัก (AvP=0.21) มีปริมาณการขับฟอสฟอรัสในรูปสารละลายมากที่สุด ส่วนปลาที่ได้รับอาหารที่ไม่เสริมโมโนโซเดียมฟอสเฟต และปลาป่นระดับต่ำ (AvP=0.14) นั้นพบว่ามีปริมาณของฟอสฟอรัสที่ขับทิ้งในรูปสารละลายได้น้อยที่สุด รองลงมาคือปลาที่ได้รับอาหารที่มีโมโนโซเดียมที่ระดับ 0.1 เปอร์เซ็นต์ ส่วนปลาที่ได้รับอาหารที่มีโมโนโซเดียมฟอสเฟตที่ระดับ 0.5 เปอร์เซ็นต์มีปริมาณการขับฟอสฟอรัสทิ้งในรูปสารละลายที่ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p>0.05$) กับปลาที่ได้รับอาหารที่มีโมโนโซเดียมฟอสเฟตที่ระดับ 0.2 ถึง 0.4 เปอร์เซ็นต์

Table 11. การสะสมฟอสฟอรัส ฟอสฟอรัสที่ขับทิ้ง ฟอสฟอรัสที่ขับทิ้งทั้งหมด ฟอสฟอรัสที่ขับทิ้งในรูปของแข็ง และฟอสฟอรัสที่ขับทิ้งในรูปของสารละลาย ของปลานิลแดงแปลงเพศที่ได้รับอาหารที่มีฟอสฟอรัสแตกต่างกัน 7 ระดับ เป็นระยะเวลา 10 สัปดาห์

ชุดการทดลอง	MSP (%)	การสะสมฟอสฟอรัส[4] (%)	ฟอสฟอรัสขับทิ้ง[5] (g/kg fish gain)	ฟอสฟอรัสขับทิ้ง[6] ทั้งหมด (g/kg diet)	ฟอสฟอรัสขับทิ้งในรูปของแข็ง [7](g/kg diet)	ฟอสฟอรัสขับทิ้งในรูปสารละลาย[8] (g/kg diet)
T1	HFM[3] /0.21	37.19±1.74 [cd]	6.40±0.57 [a]	6.20±0.16 [bc]	5.20±0.03 [a]	1.00±0.17 [e]
T2	0/0.14	30.76±2.02 [e]	3.14±0.58 [c]	4.81±0.14 [e]	4.80 [d]	0.01±0.14 [d]
T3	0.1/0.30	35.43±1.72 [D]	3.23±0.53 [c]	5.35±0.14 [d]	5.3±0.00 [a]	0.09±0.10 [c]
T4	0.2/0.42	39.8-±1.85 [BC]	5.26±0.39 [b]	5.49±0.17 [d]	4.94 [f]	0.55±0.17 [b]
T5	0.3/0.48	40.08±2.90 [BC]	5.78±0.91 [ab]	6.05±0.29 [c]	5.32 [a]	0.73±0.29 [ab]
T6	0.4/0.57	42.57±4.07 [B]	5.92±0.31 [ab]	6.50±0.06 [ab]	5.61 [a]	0.89±0.06 [a]
T7	0.5/0.62	48.93±3.23 [A]	5.56±0.35 [ab]	6.54±0.19 [a]	5.67 [a]	0.87±0.19 [ab]

6. วิจารณ์ผลการทดลอง

จากการศึกษาการเสริมอนินทรีย์ฟอสเฟตที่ระดับต่างๆ ในอาหารปลานิลแดงแปลงเพศ พบว่าปลาที่ได้รับอาหารเสริมโมโนโซเดียมฟอสเฟตที่ระดับ 0.4 เปอร์เซ็นต์ (AvP เท่ากับ 0.57 เปอร์เซ็นต์) เป็นระดับที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตสำหรับปลานิลแดงแปลงเพศมากที่สุด ทั้งนี้โดยพิจารณาจากการศึกษาค่าต่างๆ ดังนี้คือ การเจริญเติบโตตั้งแต่สัปดาห์ที่ 8 จนกระทั่งสิ้นสุดการทดลอง, น้ำหนักที่เพิ่มขึ้น (percent weight gain), อัตราการเจริญเติบโตจำเพาะ (specific growth rate), ประสิทธิภาพการใช้โปรตีน (protein efficiency ratio), โปรตีนที่นำไปใช้ประโยชน์ (protein productive value), ไขมันในซากปลาทั้งตัว, ฟอสฟอรัสในซากปลาทั้งตัว, ฟอสฟอรัสในซีรัม, ฟอสฟอรัสในกระดูกสันหลัง และฟอสฟอรัสที่ขับทิ้งทั้งหมดมีค่าสูง

ปลานิลแดงแปลงเพศที่ได้รับอาหารที่มีโมโนโซเดียมที่ระดับต่างๆ กันพบความสัมพันธ์ของระดับฟอสฟอรัสที่สามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ในอาหารไปในแนวทางเดียวกับการเจริญเติบโต น้ำหนักที่เพิ่มขึ้น และอัตราการเจริญเติบโตจำเพาะ กล่าวคือเมื่อระดับของโมโนโซเดียมฟอสเฟตในอาหารเพิ่มขึ้นมีผลทำให้การเจริญเติบโตในปลานิลแดงแปลงเพศเพิ่มขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาในปลาเฮดดอก (Roy and Lall, 2003) ในขณะที่ปลาที่ได้รับอาหารทดลองที่ระดับ 0.4 เปอร์เซ็นต์ (AvP=0.57) เป็นระดับที่ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ (p>0.05) กับปลาที่รับฟอสฟอรัสที่ระดับ 0.5 เปอร์เซ็นต์ (AvP=0.62) ดังนั้นระดับของฟอสฟอรัสที่สามารถนำมาใช้ประโยชน์ได้อย่างเพียงพอต่อความความต้องการของปลาคือที่ระดับ 0.57 ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ Viola และ Arieli (1983) พบว่าปลานิลมีความต้องการฟอสฟอรัสในรูปที่สามารถนำมาใช้ประโยชน์ได้มีค่าอยู่ระหว่าง 0.45-0.6 เปอร์เซ็นต์ สำหรับปลาที่ได้รับอาหารที่ไม่เสริมโมโนโซเดียมฟอสเฟตให้น้ำหนักเพิ่มขึ้นต่ำที่สุด โดยปลาที่ได้รับโมโนโซเดียมฟอสเฟตในระดับที่ไม่เพียงพอต่อความต้องการ และมีปลาป่นระดับต่ำ (AvP=0.14) และที่ระดับ 0.1 เปอร์เซ็นต์ (AvP=0.30) เป็นระดับที่มีปริมาณฟอสฟอรัสที่ไม่เพียงพอต่อความต้องการในปลานิลแดงแปลงเพศอย่างชัดเจน พบว่าปลามีน้ำหนักลดลง ประสิทธิภาพการใช้อาหารลดลง อัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อสูง และการสะสมฟอสฟอรัสในกระดูกต่ำกว่าปลาที่ได้รับฟอสฟอรัสในระดับที่สูงกว่า โดยเฉพาะปลาที่ได้รับอาหารทดลองที่ไม่เสริมโมโนโซเดียมฟอสเฟต ซึ่งสอดคล้องกับ Yang และคณะ (2006) ทั้งนี้เนื่องจากฟอสฟอรัสเป็นแร่ธาตุที่มีความจำเป็นสำหรับการเจริญเติบโต และสำคัญต่อกลไกลการทำงานในระบบต่างๆ ของร่างกาย กล่าวคือเมื่อปลาได้รับฟอสฟอรัสที่ไม่เพียงพอต่อความต้องการก็จะมีผลกระทบต่อระบบการทำงานต่างๆ ดังเช่นที่มีการศึกษาในปลา haddock วัยอ่อน (*Melanogrammus aeglefinus* L.) (Roy and Lall, 2003) โดยลักษณะอาการของปลาที่ขาดฟอสฟอรัสจะเห็นได้อย่างชัดเจน ก็ต่อเมื่อปลาได้รับอาหารที่มีฟอสฟอรัสทั้งหมดในอาหารต่ำกว่า

20 – 30 เปอร์เซ็นต์ของปริมาณความต้องการฟอสฟอรัสในปลาแต่ละชนิด (Hardy and Shearer 1985)

จากการศึกษาอัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อพบว่าปลาที่ได้รับอาหารที่ไม่เสริมโมโนโซเดียมฟอสเฟตและปลาป่นระดับต่ำ (AvP=0.14) และที่ระดับ 0.1 เปอร์เซ็นต์ (AvP=0.30) มีอัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อต่ำกว่าที่ระดับอื่นๆ อย่างมีนัยสำคัญ ส่วนปลาที่ได้รับอาหารที่ระดับ 0.4 เปอร์เซ็นต์ (AvP=0.57) มีอัตราแลกเนื้อต่ำกว่าอาหารสูตรอื่นๆ แต่ไม่แตกต่างกับสูตรที่มีฟอสฟอรัส 0.5 เปอร์เซ็นต์ (AvP = 0.64 เปอร์เซ็นต์) อัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อของปลาที่ได้รับฟอสฟอรัสในระดับที่ไม่เพียงพอต่อความต้องการ (AvP=0.14, 0.30, 0.42) มีผลทำให้ปลาเพิ่มปริมาณการกินอาหารมากขึ้นเพื่อสนองต่อความต้องการฟอสฟอรัสในร่างกาย (Vielma *et al.*, 2000) สำหรับในปลาชนิดต่างๆ พบว่ามีความต้องการฟอสฟอรัสในระดับแตกต่างกัน (Mgbenka and Ugwu, 2005) ปลานิลแดงแปลงเพศที่ได้รับอาหารที่มีวัตถุดิบพืชทั้งหมด มีความต้องการฟอสฟอรัส 0.76 เปอร์เซ็นต์ (Phromkonthong and Udom, 2008) จากตัวอย่างข้างต้นพบว่าระดับความต้องการฟอสฟอรัสในปลาแต่ละชนิดมีความต้องการที่แตกต่างกัน ทั้งนี้เกิดจากสาเหตุต่างๆ ดังนี้คือ ความแตกต่างของสายพันธุ์ รวมถึงความสามารถในการดูดซึมฟอสฟอรัส (Avila *et al.,* 2000) รูปแบบของฟอสฟอรัสและอิทธิพลระหว่างสารอาหาร (Lall, 2002) ระบบการเลี้ยง (Roy and Lall, 2003) และ อายุสัตว์น้ำที่แตกต่างกัน (Shearer, 1984) ซึ่งโดยปกติแล้วสัตว์ทดลองที่มีขนาดเล็กมีความตอบสนองต่อปริมาณสารอาหารที่ไม่เพียงพอได้ดีกว่าสัตว์ที่มีขนาดใหญ่ Hernandez และคณะ (2004) พบว่าปลาที่มีขนาดแตกต่างกันมีผลต่อประสิทธิภาพการสะสมฟอสฟอรัสในร่างกาย ซึ่งปลาที่มีขนาดเล็กมีความสามารถในเผาผลาญสารอาหารได้ดีกว่าปลาขนาดใหญ่ จึงสามารถนำฟอสฟอรัสไปใช้เพื่อการสะสมในร่างกายได้ดีกว่า ทำให้ปลาที่มีขนาดเล็กมีความต้องการฟอสฟอรัสในปริมาณที่มากกว่าปลาขนาดใหญ่ นอกจากนี้ปลาที่ได้รับอาหารที่มีฟอสฟอรัสสูงพบว่ามีผลต่อการนำ สังกะสี และแมกนีเซียมในกระดูกไปใช้ประโยชน์ซึ่งพบในปลาแอทแลนติก แซลมอน (Vielma and Lall, 1998) สำหรับอาหารที่มีปริมาณฟอสฟอรัสสูงพบว่าฟอสฟอรัสสามารถจับ (chelate) กับธาตุสังกะสี และแร่ธาตุชนิดอื่นที่ปลามีความต้องการในปริมาณน้อย นอกจากนี้ยังพบว่าฟอสฟอรัสที่เกินระดับความต้องการของปลา จะเกิดการยับยั้งการดูดซึมสารอาหารอื่นๆ แบบแย่งจับ หรือยับยั้งแบบแข่งขัน (competitive inhibitor) จึงทำให้ปลาดูดซึม และเผาผลาญสารอาหารชนิดอื่นๆ เหล่านี้ได้ลดลง เป็นต้น

ทางด้านประสิทธิภาพการใช้สารอาหารพบว่ามีความสัมพันธ์กับปริมาณของฟอสฟอรัสในอาหารในแนวทางเดียวกับการเจริญเติบโต กล่าวคือเมื่อปริมาณของฟอสฟอรัสในอาหารเพิ่มมากขึ้น ก็มีผลทำให้ประสิทธิภาพการใช้โปรตีนและการนำโปรตีนไปใช้ประโยชน์มีค่าเพิ่มสูงขึ้นตาม

กันด้วย สำหรับค่าประสิทธิภาพการใช้โปรตีน (PER) และโปรตีนที่นำไปใช้ประโยชน์ (PPV) จากการทดลองพบว่าปลานิลแดงแปลงเพศที่ได้รับอาหารที่มีโมโนโซเดียมฟอสเฟตในระดับเพิ่มขึ้น มีผลทำให้ประสิทธิภาพการใช้โปรตีน หรือการนำโปรตีนไปใช้เพื่อการเจริญเติบโตมีค่าเพิ่มสูงขึ้น สอดคล้องกับการศึกษาของ Murakami (1970) อ้างโดย Sugiura และคณะ (2004) ทำการศึกษาที่ระดับต่างๆ ของโมโนโซเดียมฟอสเฟต จากการทดลองพบว่าปลาที่ระดับอาหารที่มีโมโนโซเดียมฟอสเฟตในระดับที่เพียงพอต่อความต้องการมีผลให้ประสิทธิภาพการใช้โปรตีนเพิ่มจาก 39 เปอร์เซ็นต์เป็น 48 เปอร์เซ็นต์ นอกจากนี้องค์ประกอบของปลาทั้งตัวยังมีฟอสฟอรัสในระดับที่สูงขึ้นด้วย Roy และ Lall (2003) พบว่าในอาหารที่ขาดฟอสฟอรัส หรือมีฟอสฟอรัสในระดับที่ไม่เพียงพอต่อความต้องการ มีผลทำให้ระดับโปรตีนในร่างกายมีค่าต่ำลง ทั้งนี้เนื่องจากปลานำเอาโปรตีนที่ได้จากอาหารเปลี่ยนรูปไปเป็นพลังงานแทนการสะสมในร่างกาย จึงทำให้ระดับของโปรตีนในซากปลารวมมีระดับต่ำกว่าปลาที่ได้รับฟอสฟอรัสอย่างเพียงพอต่อความต้องการ

จากการทดลองที่เสริมโมโนโซเดียมฟอสเฟตในระดับที่เพิ่มขึ้นในอาหาร พบว่ามีผลทำให้ค่าสัมประสิทธิ์การย่อยวัตถุแห้งและฟอสฟอรัสในปลานิลแดงแปลงเพศเพิ่มขึ้น เมื่อเปรียบเทียบกับค่าสัมประสิทธิ์การย่อยของอาหารทดลองสูตรที่มีปลาป่นเป็นหลัก (AvP=0.21) พบว่ามีค่าต่ำกว่าปลาที่ได้รับอาหารที่มีการเสริมโมโนโซเดียมฟอสเฟต โดยปริมาณฟอสฟอรัสในปลาที่ได้รับอาหารที่มีปลาป่นเป็นหลัก ปลาไม่สามารถย่อยได้ทั้งหมดเนื่องจากฟอสฟอรัสที่เป็นองค์ประกอบหลักในปลาป่นอยู่ในรูปไตรแคลเซียมฟอสเฟต (tricalcium phosphate) ที่มีความสามารถในการแตกตัว และละลายน้ำได้ต่ำ ดังนั้นประสิทธิภาพการย่อยฟอสฟอรัส และการนำฟอสฟอรัสไปใช้ประโยชน์จึงต่ำกว่าปลาที่ได้รับโมโนโซเดียมฟอสเฟตที่มีความสามารถในการแตกตัว และละลายได้สูงกว่าฟอสฟอรัสในรูปแบบอื่นๆ

จากการทดลองนี้พบว่า ปลานิลแดงแปลงเพศที่ได้รับโมโนโซเดียมฟอสเฟตที่มีระดับเพิ่มมากขึ้น มีผลทำให้องค์ประกอบของเถ้าในกระดูกปิดเหงือก เถ้าในกระดูกสันหลัง ฟอสฟอรัสในกระดูกสันหลังฟอสฟอรัสในมูล และฟอสฟอรัสในกล้ามเนื้อมีระดับที่เพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง ซึ่งจากการทดลองนั้นแสดงให้เห็นว่า ระดับของฟอสฟอรัสในอาหารมีอิทธิพลต่อประสิทธิภาพการใช้ฟอสฟอรัสในปลานิลแดงแปลงเพศ โดยจากการทดลองพบว่าปลาที่ได้รับอาหารที่เสริมด้วยโมโนโซเดียมฟอสเฟตที่ระดับ 0.5 เปอร์เซ็นต์ (AvP=0.62) มีองค์ประกอบของเถ้าและฟอสฟอรัสในระดับสูงที่สุดนั้น สอดคล้องกับการศึกษาของ Eya และ Lovell (1997) ซึ่งได้รายงานว่า การเสริมฟอสฟอรัสในรูปโมโนโซเดียมฟอสเฟตในอาหารปลากดอเมริกันช่วยให้มีการสะสมฟอสฟอรัสในกระดูกเพิ่มขึ้น จากการทดลองในครั้งนี้จึงทำให้ทราบว่าปลานิลแดงแปลงเพศที่ได้รับอาหารที่มีโมโนโซเดียมฟอสเฟตที่ 0.4 เปอร์เซ็นต์ (AvP=0.57) จึงเป็นระดับที่มีความเหมาะสมที่สุดต่อการ

เจริญเติบโต ทั้งนี้เนื่องจากว่าเป็นระดับที่มีความสามารถในการสะสมฟอสฟอรัสในกระดูกสันหลังและการเจริญเติบโตได้ดีที่สุด แต่ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ (p>0.05) กับปลาที่ได้รับโมโนโซเดียมฟอสเฟตที่ระดับ 0.5 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งแตกต่างกับการศึกษาในปลาดุกขนาดใหญ่ ที่พบว่าระดับของฟอสฟอรัสที่สามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ไม่มีความสัมพันธ์ต่อปริมาณฟอสฟอรัสในกระดูก เมื่อปริมาณฟอสฟอรัสในอาหารเพิ่มขึ้นมากกว่า 0.35 เปอร์เซ็นต์ของฟอสฟอรัสทั้งหมดในอาหาร สำหรับปริมาณฟอสฟอรัสในมูลพบว่า เมื่อระดับของโมโนโซเดียมฟอสเฟตในอาหารเพิ่มมีผลทำให้ปริมาณของฟอสฟอรัสในมูลเพิ่มมากขึ้น สอดคล้องกับ Eya และ Lovell, (1997) และ Weerasinghe และคณะ (2001) ในขณะที่ปลาที่ได้รับอาหารทดลองที่มีปลาป่นเป็นหลักนั้น (AvP=0.21) พบว่ามีปริมาณของฟอสฟอรัสในมูลสูงที่สุด ทั้งนี้เนื่องจากว่าแหล่งของฟอสฟอรัสในอาหารสูตรนี้เป็นปลาป่นที่อยู่ในรูปไตรแคลเซียมฟอสเฟตซึ่งปลานำไปใช้ประโยชน์ได้ค่อนข้างต่ำ จึงทำให้ปลานิลแดงแปลงเพศขับฟอสฟอรัสออกในปริมาณมากกว่า (NRC, 1993)

จากการศึกษาปริมาณฟอสฟอรัสในซีรัมพบว่า เมื่อระดับโมโนโซเดียมฟอสเฟตในอาหารเพิ่มขึ้นมีผลทำให้ระดับของฟอสฟอรัสในซีรัมเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ จาก 9.77 mg/l ถึง 24.67 mg/l (MSP 0 ถึง 0.5 เปอร์เซ็นต์) ตามลำดับ ซึ่งสอดคล้องกับการทดลองของ Roy และ Lall, (2003) Sugiura และคณะ (2000) พบว่าองค์ประกอบของฟอสฟอรัสในเลือดมีส่วนสัมพันธ์กับระดับพลังงาน (ATP) ในเลือดและกล้ามเนื้อ นอกจากนี้ยังพบว่าการเก็บตัวอย่างของฟอสฟอรัสในพลาสมาในแต่ละช่วงของวันนั้นมีความแตกต่างกัน โดยพบว่าระดับของฟอสฟอรัสในพลาสมามีค่าคงที่ที่สุดหลังจากที่ปลาได้รับอาหาร ซึ่งจะเป็นค่าที่เหมาะสมที่สุดสำหรับการศึกษาระดับของฟอสฟอรัสในอาหาร (Rodehutscord, 1996) นอกจากนี้ระดับของฟอสฟอรัสในซีรัมยังขึ้นอยู่กับปัจจัยต่างๆ ทางกายภาพ และทางชีวภาพ ดังตัวอย่างเช่น ความถี่ในการให้อาหารปลา สิ่งรบกวนภายนอก และความเครียดจากการเก็บตัวอย่างเลือด (Bjornsson and Haux, 1985) ดังนั้นการวัดระดับของฟอสฟอรัสในเลือดจึงไม่เหมาะสมสำหรับการศึกษาประสิทธิภาพการใช้ฟอสฟอรัส และความต้องการฟอสฟอรัส (Roy and Lall, 2003) อย่างไรก็ตามยังมีความจำเป็นอย่างยิ่งที่ต้องทำการศึกษาฟอสฟอรัสในซีรัมควบคู่ไปกับการศึกษา การเจริญเติบโต ปริมาณฟอสฟอรัสในกระดูก และองค์ประกอบของฟอสฟอรัสในส่วนต่างๆ ของร่างกาย เป็นต้น (Sugiura *et al.,* 2004)

โดยทั่วไปการวัดกิจกรรมของเอนไซม์อัลคาไลน์ฟอสฟาเตสนั้นมีความสัมพันธ์กับกิจกรรมการเผาผลาญแร่ธาตุเช่น แคลเซียม และฟอสฟอรัส เพื่อนำไปใช้ในกระบวนการสร้างโครงร่างแข็งในร่างกาย เช่นการสร้างกระดูกแข็ง และกระดูกอ่อนซึ่งพบได้ทั้งในสัตว์บก และสัตว์น้ำ จากการทดลองในปลานิลแดงแปลงเพศในครั้งนี้ พบว่าระดับของกิจกรรมของเอนไซม์อัลคาไลน์ฟอสฟาเตสในอาหารทดลองนั้นไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ (p>0.05) จึงแสดงให้เห็นว่าระดับ

ของฟอสฟอรัสในอาหารไม่มีความสัมพันธ์ต่อกิจกรรมของเอนไซม์อัลคาไลน์ฟอสฟาเตส ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ Shearer และ Hardy (1987) โดยไม่พบความแตกต่างของกิจกรรมของเอนไซม์อัลคาไลน์ฟอสฟาเตสในปลาเรนโบว์ เทราท์ที่ได้รับอาหารที่มีฟอสฟอรัสที่ระดับต่างๆ กัน จากการศึกษาในหลายๆ การทดลองยังพบอีกว่าระดับของฟอสฟอรัสที่สามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ในอาหารไม่มีผลต่อค่ากิจกรรมของเอนไซม์อัลคาไลน์ฟอสฟาเตส ทั้งนี้เนื่องจากปัจจัยต่างๆ ดังเช่น เช่น การจัดการคุณภาพน้ำทางด้านเคมี (Bowser *et al*., 1989), ปริมาณอาหารที่ปลากินหรือ feed intake (Sauer and Haider, 1977) ขนาดปลา และอายุ (Johnston *et al.,* 2000) เป็นต้น

องค์ประกอบทางโภชนาการของซากปลาทั้งตัวที่ได้รับฟอสฟอรัสที่ระดับต่างๆ กัน จากการทดลองนี้พบว่าปลาที่ได้รับอาหารที่มีโมโนโซเดียมฟอสเฟตที่ระดับ 0.4 เปอร์เซ็นต์ (AvP=0.56) เป็นระดับที่เหมาะสมสำหรับการทดลองในครั้งนี้ ทั้งนี้เนื่องจากมีระดับของโปรตีนและฟอสฟอรัสในปลาทั้งตัวในระดับที่สูง และมีการเจริญเติบโตที่ดีกว่าชุดการทดลองอื่น แต่ไม่มีความแตกต่างกับปลาที่ได้รับอาหารที่มีฟอสฟอรัสที่ระดับ 0.5 เปอร์เซ็นต์ (AvP=0.62) สำหรับการวิเคราะห์คุณค่าทางโภชนาของซากปลาทั้งตัวพบว่าความชื้นไม่มีผลต่อปริมาณของฟอสฟอรัสในอาหารที่เพิ่มขึ้น และไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ (p>0.05) ในระหว่างชุดการทดลองทั้งหมด ส่วนระดับของไขมันในตัวปลาพบว่ามีปริมาณลดลง เมื่อระดับของฟอสฟอรัสในอาหารเพิ่มขึ้น แสดงให้เห็นว่าระดับของฟอสฟอรัสในอาหารมีความสัมพันธ์ผกผันกับระดับการสะสมไขมันในร่างกาย

Vielma และคณะ (2002) กล่าวว่าเมื่อปลาได้รับอาหารที่มีฟอสฟอรัสในระดับที่ไม่เพียงพอต่อความต้องการ พบว่าองค์ประกอบของไขมันในปลาเพิ่มขึ้น ทั้งนี้เนื่องจากการเปลี่ยนแปลงของกระบวนการเผาผลาญสารอาหาร (intermediate mechanism) ภายในร่างกายมากกว่าการเปลี่ยนแปลงที่เกิดจากการเพิ่มปริมาณการกินอาหาร ซึ่งแต่เดิมเชื่อว่าปลาที่ได้รับอาหารที่มีฟอสฟอรัสไม่เพียงพอต่อความต้องการ ปลาจะพยายามกินอาหารในปริมาณเพิ่มมากขึ้น เพื่อให้ได้ฟอสฟอรัสที่เพียงพอต่อความต้องการของร่างกาย ซึ่งเมื่อพิจารณาจากอัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อที่เพิ่มสูงกว่าปลาที่ได้รับฟอสฟอรัสอย่างเพียงพอต่อความต้องการของร่างกาย ซึ่งจากการทดลองในครั้งนี้ก็พบความสัมพันธ์ของไขมัน ฟอสฟอรัส และอัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อเช่นเดียวกับการศึกษาข้างต้น ซึ่งการศึกษาจำเป็นต้องมีการศึกษาปัจจัยอื่นๆ ที่ได้เก็บจากการรวบรวมข้อมูลอย่างคลอบคลุม ดังเช่นการศึกษาของ Roy และ Lall (2003) ที่ทำการศึกษาปริมาณฟอสฟอรัสในอาหารที่ระดับต่างๆ กัน พบว่าปลาที่ได้รับฟอสฟอรัสในระดับที่ไม่เพียงพอมีผลทำให้ไขมันในซากปลาทั้งตัวเพิ่มขึ้น ทั้งนี้เกิดอันเนื่องมาจากปฏิกิริยาการสลายกรดไขมัน (ß - oxidation) ซึ่งเป็นปฏิกริยาการสลายไขมันเพื่อเกิดพลังงานขึ้นภายในร่างกาย จากการทดลองใน

ปลาที่ได้รับอาหารที่มีฟอสฟอรัสในระดับไม่เพียงพอจะถูกยับยั้งในกระบวนการที่ได้กล่าวข้างต้น จึงมีผลต่อการนำไขมันไปใช้เพื่อผลิตพลังงานลดลง และมีการสะสมไขมันตัวเพิ่มมากขึ้น นอกจากนี้ยังพบว่าฟอสฟอรัสมีผลต่อระดับไขมันในตับ (Yang, 2006) กล้ามเนื้อ และกระดูก (Eya and Lovell, 1997) จากกการศึกษาของ Yang (2006) พบว่าระดับของไตรกรีเซอไรด์ในไขมันตับเพิ่มขึ้นในปลาที่ได้รับอาหารที่มีฟอสฟอรัสไม่เพียงพอต่อความต้องการ แต่กลับพบว่าระดับของฟอสฟาทิดิลโคลีน (Phosphatidyl choline) และ ฟอสฟาทิดิลเอททิโนลามิน (Phosphatidyl ethinolamine) เพิ่มขึ้นในปลาที่ได้รับฟอสฟอรัสในระดับที่เพียงพอต่อความต้องการในปลาซิลเวอร์เพิร์ช (*Bidyanus bidyanus*) Roy และ Lall (2003) ยังพบว่าไม่เพียงแต่ระดับของไขมันที่ลดลงเมื่อระดับของฟอสฟอรัสเพิ่มขึ้นเท่านั้น แต่ยังพบระดับของโปรตีนที่เป็นองค์ประกอบในซากปลารวมทั้งตัวเพิ่มมีค่ามากขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาในปลานิลแดงแปลงเพศในครั้งนี้ โดยพบว่าองค์ประกอบของโปรตีนในซากปลาทั้งตัวมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อระดับโมโนโซเดียมฟอสเฟตในอาหารเพิ่มขึ้น แต่ในสูตรที่ 4 ถึง 7 (AvP=0.42-0.62%) ระดับโปรตีนนั้นไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ (p>0.05) สำหรับโปรตีนโดยปกติแล้วปลาจะนำไปใช้ในการเจริญเติบโต และซ่อมแซมส่วนต่างๆ ของร่างกาย ในขณะที่ปลาที่ได้รับอาหารที่มีฟอสฟอรัสในอาหารระดับต่ำนั้นพบว่าปลาจะนำโปรตีนที่ได้รับนำไปใช้สำหรับการสลายเพื่อก่อให้เกิดพลังงานแทนการใช้ไขมัน (protein sparing effects) จึงทำให้ปลาที่ได้รับอาหารที่มีฟอสฟอรัสที่ไม่เพียงพอต่อความต้องการมีระดับโปรตีนในซากทั้งตัวต่ำกว่าปลาที่ได้รับฟอสฟอรัสอย่างเพียงพอต่อความต้องการของร่างกาย ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ Hanry และคณะ (1979) โดยพบว่าหนูที่ได้รับอาหารที่มีฟอสฟอรัสที่ไม่เพียงพอมีผลต่อการสะสมไนโตรเจน (nitrogen retention) ทำให้การสะสมโปรตีนในร่างกายลดลง เนื่องจากอาหารที่มีฟอสฟอรัสที่ไม่เพียงพอจะมีผลต่อการจำกัดจำนวนของนิวคลิโอไทด์ที่ทำหน้าที่ในการสร้างและสังเคราะห์โปรตีน

สำหรับปริมาณเถ้า และฟอสฟอรัสในซากปลาทั้งตัวสามารถใช้เป็นตัวบ่งชี้ถึงความต้องการฟอสฟอรัสในปลาได้ (Skonberg *et al*., 1997) เนื่องจากฟอสฟอรัสมีหน้าที่สำคัญในการสร้างโครงร่างแข็งในร่างกาย โดยปริมาณของฟอสฟอรัสในอาหารจะมีผลโดยตรงต่อการสะสมของฟอสฟอรัสในกระดูก เช่นการศึกษาของ Ye และคณะ 2006 พบว่าลูกปลากะพงขาวที่ได้รับอาหารที่ไม่มีการเสริมฟอสฟอรัส มีองค์ประกอบของเถ้า ฟอสฟอรัสในกระดูก และฟอสฟอรัสในกระดูกปิดเหงือกที่ต่ำกว่าในระดับอื่นๆ แสดงให้เห็นว่าฟอสฟอรัสนั้นเป็นแร่ธาตุที่มีความจำเป็นต่อกระบวนการสร้างกระดูกในปลา (mineralization)

การศึกษาปริมาณการสะสมฟอสฟอรัสในปลาถือได้ว่ามีความสำคัญมากสำหรับการประเมินคุณภาพของอาหารที่ใช้สำหรับการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ ซึ่งในหลายๆ การศึกษาทดลองก็ให้

ความสนใจในการศึกษาการเพาะเลี้ยงแบบยั่งยืน และการเพาะเลี้ยงแบบเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมที่เน้นการศึกษาด้านการนำฟอสฟอรัส และไนโตรเจนไปใช้ประโยชน์เป็นสำคัญ เช่นเดียวกับการศึกษาในครั้งนี้ พบว่าปลานิลแดงแปลงเพศที่ได้รับโมโนโซเดียมฟอสเฟตเพิ่มขึ้น มีผลทำให้การสะสมฟอสฟอรัสในร่างกายเพิ่มมากขึ้นตามกัน

จากการทดลองพบว่าปริมาณฟอสฟอรัสที่สะสมในร่างกายในอาหารที่ไม่เสริมด้วยโมโนโซเดียมฟอสเฟต และปลาป่นระดับต่ำ (AvP=0.14) พบว่าระดับฟอสฟอรัสที่สะสมในร่างกายมีค่าต่ำที่สุด ในขณะที่ปลาที่ได้รับฟอสฟอรัสที่ระดับ 0.5 เปอร์เซ็นต์ (AvP=0.62) มีปริมาณการสะสมมากที่สุด จากการทดลองชี้ให้เห็นว่าระดับของฟอสฟอรัสที่สามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้มีความสัมพันธ์ต่อการสะสมฟอสฟอรัสในร่างกาย ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ Johnson และคณะ (2000) พบว่าความสัมพันธ์ระหว่างการปริมาณการสะสมฟอสฟอรัสในร่างกายมีส่วนสัมพันธ์กับระดับของฟอสฟอรัสที่สามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ในอาหาร Jahan และคณะ (2003) กล่าวว่าเมื่อระดับของสารอาหารในอาหารมีระดับสูงเกินกว่าความต้องการของปลา ก็จะส่งผลให้ประสิทธิภาพการนำสารอาหารไปใช้เพื่อการสะสมลดลง

สำหรับการศึกษาปริมาณของฟอสฟอรัสที่ถูกขับทิ้งในรูปสารละลายทั้งหมด Bureau และ Cho (1999) กล่าวว่าเมื่อปลาจะขับฟอสฟอรัสในรูปที่สามารถละลายน้ำได้ในปริมาณน้อยมาก เมื่อได้รับอาหารที่มีฟอสฟอรัสในปริมาณน้อย แสดงให้เห็นว่าปลาสามารถนำฟอสฟอรัสที่สามารถย่อยได้นำเอาไปใช้เพื่อการสะสมได้แทบทั้งหมด อย่างไรก็ตามเมื่อระดับของฟอสฟอรัสที่ย่อยได้ในอาหารมีเพิ่มมากขึ้นก็จะมีผลทำให้การขับฟอสฟอรัสในรูปที่สามารถละลายน้ำได้เพิ่มมากขึ้นด้วย เช่นเดียวกับการศึกษาของ Rodehutscord (1996) ที่กล่าวว่าปริมาณการสะสมฟอสฟอรัสในร่างกาย หรือการนำฟอสฟอรัสไปใช้ประโยชน์ได้อย่างมีประสิทธิภาพก็ต่อเมื่อปริมาณของฟอสฟอรัสที่อยู่ในรูปที่สามารถละลายน้ำได้ในปริมาณมาก ซึ่งปกติแล้วพบว่าฟอสฟอรัสในรูปที่สามารถละลายน้ำได้จะขึ้นอยู่กับปริมาณของฟอสฟอรัสในอาหาร ซึ่งแสดงให้เห็นว่าการขับฟอสฟอรัสในรูปที่สามารถละลายน้ำได้นั้น จะเกิดขึ้นก็ต่อเมื่อปริมาณของฟอสฟอรัสที่สามารถย่อยได้มีระดับที่มากอย่างเพียงพอสำหรับการนำฟอสฟอรัสไปใช้เพื่อการสะสม หรือ เมื่อมีปริมาณการดูดซึมในลำไส้ รวมทั้งกลไกลการดูดซึมของไตอยู่ในระดับที่มากเกินพอ จึงทำให้ปลาต้องมีการขับฟอสฟอรัสส่วนเกินซึ่งอยู่ในรูปของฟอสฟอรัสที่สามารถละลายน้ำได้ออกมาได้นั่นเอง จากการทดลองจึงทำให้เห็นได้ว่าปลาที่ได้รับอาหารที่ไม่มีโมโนโซเดียมฟอสเฟต และปลาป่นระดับต่ำนั้นเป็นระดับที่ไม่มีการขับฟอสฟอรัสในรูปที่สามารถละลายน้ำ ทำให้ทราบว่าปริมาณของฟอสฟอรัสในอาหารนั้นมีระดับที่ไม่เพียงพอต่อความต้องการ และขณะเดียวกันเมื่อระดับของฟอสฟอรัสในอาหารเพิ่มขึ้นก็มีผลทำให้ปริมาณการขับฟอสฟอรัสในรูปที่สามารถละลายน้ำได้นั้นมีค่าเพิ่มขึ้น

และจะเพิ่มมากขึ้นอย่างต่อเนื่องเมื่อระดับของฟอสฟอรัสในอาหารมีในระดับที่มากเกินกว่าความต้องการของปลา (Avila *et al*., 2000; Coloso *et al*., 2001 a,b) โดยกลไกลที่เกิดขึ้นทั้งหมดนี้ถูกควบคุมโดยไต ซึ่งจะทำหน้าที่ในการรักษาสมดุลของธาตุอาหารในร่างกาย เช่นเดียวกับที่มีรายงานในปลาเรนโบว์ เทราท์ และในปลาไหล (Green *et al*., 2002) ตามลำดับ

7. สรุปและข้อเสนอแนะ

7.1 สรุป

จากการศึกษาอาหารที่เสริมด้วยโมโนโซเดียมฟอสเฟตที่ระดับต่างๆ จำนวน 6 ระดับลงในอาหารปลานิลแดงแปลงเพศเป็นระยะเวลาทั้งสิ้น 10 สัปดาห์พบว่า ปลาที่ได้รับอาหารที่มีโมโนโซเดียมฟอสเฟตที่ระดับ 0.4 เปอร์เซ็นต์ในอาหาร หรือที่ระดับที่มีฟอสฟอรัสที่สามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ 0.57 เปอร์เซ็นต์ เป็นระดับที่เหมาะสมที่สุดสำหรับปลานิลแดงแปลงเพศซึ่งพบว่ามีการเจริญเติบโต เช่น น้ำหนักที่เพิ่มขึ้น (percent weight gain) และอัตราการเจริญเติบโตจำเพาะ (specific growth rate) เป็นระดับที่ให้การเจริญเติบโตได้ดีที่สุด สำหรับประสิทธิภาพการนำโปรตีนไปใช้ เช่น ประสิทธิภาพการใช้โปรตีน (protein efficiency ratio)โปรตีนที่นำไปใช้ประโยชน์ (protein productive value) ประสิทธิภาพการใช้ฟอสฟอรัส เช่น ไขมันในซากปลาทั้งตัว ฟอสฟอรัสในซากปลาทั้งตัว ฟอสฟอรัสในซีรัม ฟอสฟอรัสในกระดูกสันหลัง และฟอสฟอรัสที่ขับทิ้งทั้งหมด โดยปลานิลแดงแปลงเพศสามารถนำฟอสฟอรัสนำไปใช้เพื่อการสะสมในร่างกายได้ดีกว่าที่ระดับอื่นๆ แต่ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติกับอาหารที่มีฟอสฟอรัสที่ระดับ 0.5 เปอร์เซ็นต์

7.2 ข้อเสนอแนะ

1. การวางแผนการทดลองถือได้ว่ามีความสำคัญอย่างมากต่อการวิจัย ดังนั้นการวางแผนที่ครอบคลุมถึงระดับฟอสฟอรัสที่ไม่เพียงพอ ระดับที่เพียงพอ และระดับที่มากเกินความต้องการ ซึ่งจะมีผลทำให้ทราบระดับที่เพียงพอต่อความต้องการอย่างแท้จริง

2. ควรมีการศึกษาความเป็นปฏิปักษ์ระหว่างฟอสฟอรัส กับสารอาหารชนิดอื่น เช่น แคลเซียม และวิตามินกลุ่มอื่นๆ

3. ควรจัดให้มีการศึกษาสภาพการเลี้ยงอย่างแท้จริง เช่นการศึกษาการเลี้ยงปลาในบ่อดิน ซึ่งจะเป็นแนวทางหนึ่งในการลดปริมาณฟอสฟอรัสที่ขับส่งสู่แหล่งน้ำธรรมชาติได้อีกทางหนึ่ง

4. ควรให้มีการศึกษาเปรียบเทียบระหว่างการศึกษาประสิทธิภาพการนำฟอสฟอรัสไปใช้ประโยชน์ และการตรวจวัดปริมาณฟอสเฟตที่ถูกขับออกมาในรูปของทั้งของแข็ง และของเหลวด้วยการวัดปริมาณฟอสเฟตในน้ำทั้งก่อนการทดลอง และหลังการทดลอง

8. เอกสารอ้างอิง

มะลิ บุณยรัตผลิน และจูอะดี พงศ์มณีรัตน์. 2533. ความต้องการฟอสฟอรัสในอาหารปลากะพงขาว. เอกสารวิชาการ. สงขลา: สถาบันวิจัยการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำชายฝั่ง กรมประมง กระทรวงเกษตรและสหกรณ์.

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

Availa, E.M., Tu, H., Basantes, S.P. and Ferraris, R.P. 2000. Dietary phosphorus regulates intestinal transport and plasma concentrations of phosphate in rainbow trout. J. Comp. Physiol. 170: 201-209.

Bjornsson, B.T. and Haux, C. 1985. Distribution of calcium, magnesium and inorganic phosphate in plasma of 17 beta - estradiol treated rainbow trout. J. Comp. Physiol. 155: 347-352.

Bowser, P.R., Wooster, G.A., Aluisio, A.L. and Blue, J.T. 1989. Plasma chemistries of nitrite stressed Atlantic salmon *Salmo salar*. J. World Aquac. Soc. 20: 173-180.

Bureau, D.P. and Cho, C.Y. 1999. Phosphorus utilization by rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*): Estimation of dissolved phosphorus waste output. Aquaculture 179: 127-140.

Chung, T.K. 2002. How to get the best out of phytase. Feed Mix 10: 27-29.

Coloso, R.M., Basantes, S.P., King, K., Hendrix, M.A., Fletcher, J.W., Weis, P. and Ferraris, R.P. 2001a. Effect of dietary Phosphorus and vitamin D3 on phosphorus levels in effluent from the experimental culture of rainbow trout. Aquaculture 202: 145-161.

Coloso, R.M., Basantes, S.P., Werner, A. and Ferraris, R.P. 2001b. Effect of dietary phosphorus on sodium phosphate contransporter expression in trout intestine and kidney. FASEB. J. 15: 841.

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

Ellestad, L.E., Dahl, G., Angel, R. and Soares, Jr.J.H. 2003. The Effect of exogenously administered recombinant bovine somatotropin on intestinal phytase activity and in vivo phytate hydrolysis in hybrid striped bass *Morone Chysopa* x *M. saxatilis*. Aquac. Nutr. 9: 327-336.

Eya, J.C. and Lovell, R.T. 1997. Available phosphorus requirements of food-size channel catfish (*Ictalurus punctatus*) fed practical diets in ponds. Aquaculture 154: 283-292.

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

Green, J.A, Brannon, E.L. and Hardy, R.W. 2002. Effects of dietary phosphorus and lipid levels on utilization and excretion of phosphorus and nitrogen by rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). 2. Production-scale study. Aquac. Nutr. 8: 291-298.

Hardy, R.W. and Shearer, K.D. 1985. Effect of dietary calcium phosphate and zinc supplementation on whole body zinc concentration of rainbow trout (*Salmo gairdneri*) Can. J. Fish. Aquat. Sci. 42: 181-184

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.

Jahan, P., Watanabe, T., Kiron, V. and Satoh, S. 2003. Improved Carp diets based on plant protein sources reduce environmental phosphorus loading. Fish. Sci. 69: 219-225.

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

Ketola, H.G. and Harland, B.F. 1993. Influence of phosphorus in rainbow trout diets on phosphorus discharges in effluent water. Trans. Am. Fish. Soc. 122: 1120-1126.

Lall, S.P. 2002. The mineral. *In*: Halver, J.E., Hardy, R.W.(Eds.), Fish Nutrition, 3nd ed. Academic Press, San Diego, CA,

Lee, K-J., Dabrowski, K., Blom, J.H., Bai, S.C. and Stromberg, P.C. 2002. A mixture of cottonseed meal, soybean meal and animal byproduct mixture as a fish meal substitute: Growth and tissue gossypol enantiomer in juvenile rainbow trout. J. Anim. Physiol. Anim. Nutr.Z. Tierphysiol. Tierernaehr. Futtermittelkd. 86: 201-213.

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

Mgbenka, B.O. and Ugwu, L.L.C. 2005. Aspects of mineral composition and growth rate of the hybrid African catfish fry fed inorganic phosphorus-supplemented diets. Aquac. Res. 36: 479-485.

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

Phromkunthong, W. and Udom, U. 2008. Available phosphorus requirement of sex-reversed red tilapia fed all-plant diets. Songklanakarin J. Sci. Technol. 30: 7-16.

Robinson, E.H. and Wilson, R.P. 1985. Nutrition and feeding (channel catfish). Developments in Aquaculture and Fisheries Science. Washington D.C.: Academic Press.

Rodehutscord, M. 1996. Response of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) growing from 50 to 200g to supplements of dibasic sodium phosphate in a semipurified diets. J. Nutr. 126: 324-331.

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

Sauer, D.M. and Haider, G. 1977. Enzyme activities in the serum of rainbow trout, *Salmo gairdneri* Richardson.: the effects of water temperature. J. Fish Biol. 11: 605-612.

Shearer, K.D. 1984. Changes in elemental composition of hatchery-reared rainbow trout, *Salmo gairdneri*. Associated with growth and reproduction. Can. J. Fish. Aquat. Sci. 41: 1592-1600.

Shearer, K.D. and Hardy, R.W. 1987. Phosphorus deficiency in rainbow trout fed a diet containing deboned fillet scrap. Prog. Fish-Cult. 49: 192-197.

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.

Sugiura, S.H., Hardy, R.W. and Roberts, R.J. 2004. The pathology of phosphorus deficiency in fish-a review. J. Fish Dis. 27: 255-265.

Sugiura, S.H., Babbitt, J.K. Dong, F.M. and Hardy, R.W. 2000. Utilization of fish and animal by by-product meals in low-pollution feeds for rainbow trout *Oncorhynchus mykiss* (Walbaum) Aquac. Res. 31: 585-593.

Vielma, J. and Lall, S.P. 1998. Control of phosphorus hemoostasis of Atlantic salmon (*Salmo salar*) in fresh water. Fish Physiol. Biochem. 19 : 83-93.

Vielma, J., Makinen, T., Ekholm, P. and Koskela, J. 2000. Influence of dietary soy and phytase levels on performance and body composition of large rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) and algal availability of phosphorus load. Aquaculture 183: 349-362.

Vielma, J., Ruohonen, K. and Peisker, M. 2002. Dephytinization of two soy proteins increases phosphorus and protein utilisation by rainbow trout, *Oncorhynchus mykiss*. Aquaculture 204: 145-156.

Viola, S. and Arieli, Y. 1983. Evaluation of different grains as basic ingredients in complete feeds for carp and tilapia in intensive culture. Bamidgeh. 35: 38-43.

Watanabe, T., Pongmaneerat, J., Satoh, S. And Takeuchi, T. 1993. Replacement of fish meal by alternative protein sources in rainbow trout diets. Nippon Suisan Gakkaishi 59: 1573-1579.

Weerasinghe, V., Hardy, R.W. and Haard, N.F. 2001. An in *vitro* method to determine phosphorus digestibility of rainbow trout *Oncorhynchus mykiss* (Walbaum) feed ingredients. Aquac. Nutr. 7 : 1-9.

Yang, S.D., Lin, T.S., Liu, F.G. and Liou, C.H. 2006. Influence of dietary phosphorus levels on growth, metabolic response and body composition of juvenile silver perch (*Bidyanus bidyanus*) Aquaculture 253: 592-601.

Ye, C.X., Liu, Y.J., Tian, L.X., Mai, K.S., Du, Z.Y., Yang, H.J. and Niu, J. 2006. Effect of dietary calcium and phosphorus on growth, feed efficiency, mineral content and body composition of juvenile grouper, *Epinephelus coioides*. Aquaculture 255: 263-271.

Zeitoun, I.H., Halver, J.E., Ullrey, D.E. and Tack, P.I. 1973. Influence of salinity on protein requirements of rainbow trout (*Salmo gairdneri*) fingerling. J. Fish. Res. Board Can. 30: 1867-1873.