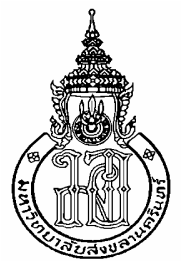


ความต้องการฟอสฟอรัสและการใช้ประโยชน์จากอนินทรีย์ฟอสเฟตใน ปลาไน (*Cyprinus carpio*)

Dietary Phosphorus Requirement and Phosphorus Availability of Inorganic Phosphates in Common Carp (*Cyprinus carpio*)

นิวดี สาหีม

Niwadee Saheem

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญา
วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวาริชศาสตร์
มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements for the Degree of Master of Science in Aquatic Science
Prince of Songkla University
2552

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

ชื่อวิทยานิพนธ์ ความต้องการฟอสฟอรัสและการใช้ประโยชน์จากอนินทรีย์ฟอสเฟตในปลาไน (*Cyprinus carpio*)

ผู้เขียน นางสาวนิวดี สาหีม

สาขาวิชา วาริชศาสตร์

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

.....

(รองศาสตราจารย์ ดร.วุฒิพร พรหมขุนทอง)

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม

.....กิจการ ศุภมาตย์.....

(รองศาสตราจารย์ ดร.กิจการ ศุภมาตย์)

คณะกรรมการสอบ

.....ประธานกรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ชุติมา ตันติกิตติ)

.....กรรมการ

(รองศาสตราจารย์ ดร.วุฒิพร พรหมขุนทอง)

.....กรรมการ

(ดร.สุภฎา คีรีรัฐนิคม)

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา ตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวาริชศาสตร์

.....

(รองศาสตราจารย์ ดร.เกริกชัย ทองหนู)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

ชื่อวิทยานิพนธ์	ความต้องการฟอสฟอรัสและการใช้ประโยชน์จากอนินทรีย์ฟอสเฟตในปลาไน (*Cyprinus carpio*)
ผู้เขียน	นางสาวนิวดี สาหีม
สาขาวิชา	วาริชศาสตร์
ปีการศึกษา	2552

บทคัดย่อ

การทดลองนี้เป็นการศึกษาความต้องการฟอสฟอรัส และการใช้ประโยชน์จากฟอสฟอรัสในอาหารสำหรับปลาไน โดยทำการทดลองเลี้ยงในตู้กระจกขนาด (45 x 91 x 45 ซม) โดยมีชุดการทดลอง 11 ชุดการทดลอง ชุดการทดลองละ 3 ซ้ำ อาหารทุกสูตรมีปริมาณไนโตรเจนเท่ากัน (โปรตีน 35%) มีฟอสฟอรัสที่สามารถใช้ประโยชน์ได้ 3 ระดับ (AvP 0.4%, 0.7% และ 1.5%) ในแต่ละระดับ มีฟอสฟอรัส 3 รูปแบบ (โมโน ได และไตร) โดยใช้สูตรอาหารพื้นฐานที่มีปลาป่นระดับต่ำ และมีปริมาณฟอสฟอรัสรวม 1% ดำเนินการทดลองโดยให้ปลาได้รับอาหารทดลองวันละ 2 ครั้ง (09.00 และ 16.00 น.) เป็นระยะเวลา 8 สัปดาห์ เมื่อสิ้นสุดการทดลอง พบว่าระดับของฟอสฟอรัส และรูปแบบของฟอสฟอรัสส่งผลต่อน้ำหนักที่เพิ่มขึ้น และประสิทธิภาพการใช้อาหาร โดยสรุปได้ว่า โมโนโซเดียมฟอสเฟตที่มีฟอสฟอรัสที่สามารถใช้ประโยชน์ได้ 1.5% เป็นระดับที่เหมาะสม และแนะนำให้เสริมในอาหารสำหรับเลี้ยงปลาไน

Thesis Title	Dietary phosphorus requirement and phosphorus availability of inorganic phosphates in common carp (*Cyprinus carpio*)
Author	Ms. Niwadee Saheem
Major Program	Aquatic Science
Academic Year	2009

ABSTRACT

A feeding trial was conducted to estimate the optimum requirement of dietary phosphorus and phosphorus availability for common carp in glass aquaria (45 x 91 x 45 cm). Feeding trial comprised 11 treatments with 3 replications each. Eleven isonitrogenous (35% crude protein) practical diets containing three graded levels of available phosphorus (AvP 0.4%, 0.7% and 1.5%) for each of three forms of phosphorus (mono, di and tri). A low fishmeal based diet containing 1% total P was used as the basal diet. Test diets were fed trial feeds twice daily (09.00 and 16.00) *ad libitum* for 8 weeks. At the end of the trial, percent weight gain as well as feed efficiency was significantly affected by different levels and P supplement sources. Based on the results of this study it indicates that MSP (1.5% AvP) is recommended to supplement in diet of common carp.

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี เนื่องจากได้รับความอนุเคราะห์จาก รองศาสตราจารย์ ดร.วุฒิพร พรหมขุนทอง ประธานกรรมการที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ที่กรุณาให้ความช่วยเหลือ แนะนำ ตรวจทานแก้ไข ให้ข้อเสนอแนะ และติดตามความก้าวหน้าในการดำเนินการจัดทำวิทยานิพนธ์ ตลอดทั้งได้ให้แนวทาง และข้อคิดต่างๆ ที่เป็นประโยชน์แก่ข้าพเจ้าเป็นอย่างมาก

ขอน้อมรำลึกถึงพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดร.กิจการ ศุภมาตย์ กรรมการที่ปรึกษาร่วม ที่ให้คำแนะนำ และข้อเสนอแนะในการทำวิจัยระหว่างที่ท่านยังมีชีวิตอยู่ ขอขอบคุณผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ชุติมา ตันติกิตติ และ ดร.สุภฎา คีรีรัฐนิคม คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ที่ได้ให้คำแนะนำ ตลอดจนแนวทางในการแก้ไขข้อบกพร่องต่างๆ เพื่อให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จ และสมบูรณ์มากยิ่งขึ้น

ขอขอบพระคุณ อาจารย์นิรุทธ์ สุขเกษม อาจารย์อัจฉริยา มูสโกภาศ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ สุทิพย์ ค้าของ และอาจารย์คุณนิธี ลีลารัศมี อาจารย์ในโปรแกรมวิชาการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ มหาวิทยาลัยราชภัฏภูเก็ต สถาบันที่ข้าพเจ้าสำเร็จการศึกษาระดับปริญญาตรี ท่านทั้งหลายได้ให้ความรู้ และอบรมสั่งสอนให้แง่คิด มุมมองใหม่ๆ ตลอดจนให้คำปรึกษา และแนะนำในหลายๆ เรื่อง ซึ่งเป็นแรงผลักดันทำให้ข้าพเจ้ามีพลัง และกำลังใจในการเดินทางสู่ถนนสายนี้ พร้อมด้วยกันนี้ขอน้อมรำลึกถึงพระคุณครูอาจารย์ ที่ให้การอบรมสั่งสอน สนับสนุนทางการศึกษาแก่ข้าพเจ้า ตั้งแต่อดีตจนถึงปัจจุบัน

ขอขอบคุณเจ้าหน้าที่ศูนย์วิจัยสุขภาพสัตว์น้ำ และภาควิชาวาริชศาสตร์ ที่ให้ความอนุเคราะห์สถานที่ และอุปกรณ์ในการทำวิจัย ขอขอบคุณ คุณจิรวัฒน์ ทัดแก้ว คุณอนุรักษ์ เขียวขจรเขต คุณปวีณา จันทร์เล็ก คุณนัทท์ นันทพงศ์ คุณศิริญญา งามระลึก คุณอัครวิทย์ อิสสะโร คุณอชิรวิทย์ รุ่งเรือง คุณณัฐธิดา มุกดา และคุณมณี ศรีชะนันท์ ที่ได้ให้คำปรึกษา และแนะนำแนวทางต่างๆ ในระหว่างทำการทดลอง ขอขอบคุณและพี่ๆ เพื่อนๆ และน้องๆ นักศึกษาปริญญาโท ที่ไม่ได้กล่าวถึง ซึ่งทุกคนคอยให้ความช่วยเหลือ และเป็นกำลังใจให้การวิจัยครั้งนี้จนสำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

ขอขอบคุณบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ ที่สนับสนุนทุนอุดหนุนในการวิจัย และขอขอบคุณบริษัทโกลด์คอยน์ สเปเชียลลิตี้ (ประเทศไทย) จำกัด ที่อนุเคราะห์วัตถุดิบที่ใช้ทำอาหารปลาในการทดลอง

ท้ายสุดนี้ ข้าพเจ้าขอน้อมรำลึกถึงพระคุณบิดา และมารดา ที่ให้โอกาสในการศึกษา และสนับสนุนด้านการเงิน ตลอดจนญาติพี่น้อง ซึ่งอยู่เบื้องหลังแห่งความสำเร็จของข้าพเจ้า ที่ให้ความรัก ความห่วงใย และเป็นกำลังใจตลอดมา

นิวดี สาหีม

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ	(3)
Abstract	(4)
กิตติกรรมประกาศ	(5)
สารบัญ	(6)
สารบัญตาราง	(9)
สารบัญภาพ	(10)
สัญลักษณ์ และคำย่อ	(11)
บทที่ 1	1
1.1 บทนำต้นเรื่อง	1
1.2 ตรวจเอกสาร และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	3
1.2.1 อนุกรมวิธาน และชีววิทยาของปลาไน	3
1.2.1.1 อนุกรมวิธานของปลาไน	3
1.2.1.2 รูปร่างลักษณะทั่วไป	3
1.2.1.3 แหล่งกำเนิด และการแพร่กระจาย	4
1.2.1.4 พฤติกรรมการกินอาหาร	5
1.2.1.5 ความสัมพันธุ์ระหว่างอายุ และขนาด	5
1.2.2 ความต้องการสารอาหารของปลาไน	7
1.2.3 ความสำคัญของฟอสฟอรัส	9
1.2.4 อนินทรีย์ฟอสเฟต	11
1.2.5 การย่อย และการดูดซึมฟอสฟอรัส	14
1.2.6 ความต้องการแร่ธาตุในปลาไน	15
1.2.7 ปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับความต้องการฟอสฟอรัสในปลา	18
1.2.7.1 ชนิดของสัตว์น้ำ	18
1.2.7.2 วัตถุดิบอาหาร	18
1.2.7.3 ความสัมพันธ์ระหว่างแร่ธาตุกับแร่ธาตุ	18
1.2.7.4 ความสัมพันธ์ระหว่างแร่ธาตุกับสารอาหารอื่นๆ	20
1.3 วัตถุประสงค์ของการวิจัย	21

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 2 วัสดุ อุปกรณ์ และวิธีการทดลอง	22
2.1 วัสดุ และอุปกรณ์	22
2.1.1 อุปกรณ์ที่ใช้ในการเลี้ยงปลาทดลอง	22
2.1.2 อุปกรณ์เตรียมอาหารทดลอง	22
2.1.3 อุปกรณ์สำหรับวิเคราะห์ส่วนประกอบทางโภชนาการของอาหารทดลอง และตัวปลา	22
2.1.4 อุปกรณ์สำหรับการวิเคราะห์ประสิทธิภาพการย่อย	23
2.1.5 อุปกรณ์สำหรับวิเคราะห์องค์ประกอบเลือด	23
2.1.6 อุปกรณ์สำหรับตรวจสอบการเจริญเติบโตของปลา	23
2.2 การเตรียมการทดลอง	23
2.2.1 อุปกรณ์การทดลอง	23
2.2.2 ปลาทดลอง	23
2.2.3 อาหารทดลอง	24
2.3 วิธีการทดลอง	25
2.3.1 ระเบียบวิธีการวิจัย	25
2.3.2 การวางแผนการทดลอง	30
2.3.3. การเก็บรวบรวมข้อมูล	30
2.3.3.1 การตรวจสอบพฤติกรรม และลักษณะภายนอก	30
2.3.3.2 การตรวจสอบการเจริญเติบโต และอัตราการรอดของปลา	30
2.3.3.3 การคำนวณค่าดัชนีตับต่อตัว	32
2.3.3.4 การศึกษาองค์ประกอบทางเคมีของปลา	32
2.3.3.5 การวิเคราะห์ไขมันในตับ	33
2.3.3.6 การวิเคราะห์เถ้าในเกล็ด และกระดูก	33
2.3.3.7 การศึกษาปริมาณฟอสฟอรัส และแคลเซียมในตัวปลา	33
2.3.3.8 การศึกษาประสิทธิภาพการย่อย	35
2.3.4 การวิเคราะห์ข้อมูล	36

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 3 ผลการทดลอง	37
3.1 การตรวจสอบพฤติกรรม และลักษณะภายนอก	37
3.2 การเจริญเติบโต และอัตราการรอดตาย	37
3.2.1 น้ำหนักเฉลี่ยต่อตัวที่เพิ่มขึ้น	37
3.2.2 น้ำหนักที่เพิ่มขึ้น อัตราการเจริญเติบโตจำเพาะ อัตราการกินอาหาร และอัตราการรอดตาย	39
3.2.3 อัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อ ประสิทธิภาพการใช้โปรตีน และการใช้ประโยชน์จากโปรตีนสุทธิ	41
3.3 ดัชนีตับต่อตัว	43
3.4 ส่วนประกอบต่างๆ ของปลาหลังทดลอง	44
3.4.1 ส่วนประกอบทางโภชนาการของตัวปลา	44
3.4.2 ส่วนประกอบทางโภชนาการของเนื้อปลา	48
3.5 การสะสมไขมันในตับ	51
3.6 เถ้าในเกล็ด และกระดูก	52
3.7 ประสิทธิภาพการใช้ฟอสฟอรัส และแคลเซียม และปริมาณฟอสฟอรัสในซีรัม	53
3.7.1 ฟอสฟอรัส และแคลเซียม ในเกล็ด และกระดูก	53
3.7.2 ฟอสฟอรัสในซีรัม	57
3.7.3 การเก็บสะสมฟอสฟอรัสในร่างกาย และฟอสฟอรัสที่ถูกขับทิ้ง	58
3.8 ประสิทธิภาพการย่อย	60
บทที่ 4 วิจารณ์ผลการทดลอง	63
บทที่ 5 สรุป และข้อเสนอแนะ	73
เอกสารอ้างอิง	74
ภาคผนวก	87
ภาคผนวก (ก) การวิเคราะห์คุณค่าทางโภชนาการของวัตถุดิบ อาหารทดลอง ปลาทดลอง และมูลปลาทดลอง	88
ภาคผนวก (ข) การวิเคราะห์สถิติของผลการทดลอง	96
ประวัติผู้เขียน	114

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
1	ความสัมพันธ์ระหว่างอายุ และการเจริญเติบโตของปลาไนที่เลี้ยงในบ่อ	6
2	ผลการวิเคราะห์คุณค่าทางโภชนาการของวัตถุดิบอาหารทดลอง	27
3	ส่วนประกอบของอาหารทดลอง 11 สูตร	28
4	คุณค่าทางโภชนาการของอาหารทดลอง	29
5	น้ำหนักเฉลี่ยต่อตัวของปลาไนที่ได้รับอาหารทดลอง 11 สูตร ระยะเวลา 8 สัปดาห์	38
6	น้ำหนักที่เพิ่มขึ้น อัตราการเจริญเติบโตจำเพาะ อัตราการกินอาหาร และอัตราการรอดตาย ของปลาไนที่ได้รับอาหารทดลอง 11 สูตร ระยะเวลา 8 สัปดาห์	40
7	อัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อ ประสิทธิภาพการใช้โปรตีน และการใช้ประโยชน์จากโปรตีนสุทธิ ของปลาไนที่ได้รับอาหารทดลอง 11 สูตร ระยะเวลา 8 สัปดาห์	42
8	ดัชนีตับต่อตัว ของปลาไนที่ได้รับอาหารทดลอง 11 สูตร	43
9	ส่วนประกอบทางโภชนาการของตัวปลาที่ได้รับอาหารทดลอง 11 สูตร	47
10	ส่วนประกอบทางโภชนาการของเนื้อปลาไนที่ได้รับอาหารทดลอง 11 สูตร	50
11	การสะสมไขมันในตับปลาไนที่ได้รับอาหารทดลอง 11 สูตร	51
12	เถ้าในเกล็ด และกระดูกของปลาไนที่ได้รับอาหารทดลอง 11 สูตร	53
13	ฟอสฟอรัส และแคลเซียมในเกล็ด และกระดูกของปลาไนที่ได้รับอาหารทดลอง 11 สูตร	56
14	ฟอสฟอรัสในซีรัมของปลาไนที่ได้รับอาหารทดลอง 11 สูตร	57
15	การสะสมฟอสฟอรัสในร่างกาย และฟอสฟอรัสที่ถูกขับทิ้งของปลาไนที่ได้รับอาหารทดลอง 11 สูตร	59
16	ประสิทธิภาพการย่อยวัตถุแห้ง ประสิทธิภาพการย่อยโปรตีน และประสิทธิภาพการย่อยฟอสฟอรัส ของปลาไนที่ได้รับอาหารทดลอง 11 สูตร	62

สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
1	กราฟความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณแร่ธาตุที่ปลาได้รับต่อการเจริญเติบโตของปลา	8

สัญลักษณ์ และคำย่อ

%	เปอร์เซ็นต์
ppm	ส่วนในล้าน
P	phosphorus
MSP	monosodium phosphate
DCP	dicalcium phosphate
TCP	tricalcium phosphate
AvP	available phosphorus
NFE	nitrogen free extract

บทที่ 1

1.1 บทนำต้นเรื่อง

ฟอสฟอรัส (phosphorus) เป็นแร่ธาตุหลักที่สำคัญสำหรับปลา ซึ่งปลาต้องการในปริมาณมาก โดยมีบทบาทสำคัญ คือช่วยในการทำให้เมทาบอลิซึมของคาร์โบไฮเดรต ลิพิด และกรดอะมิโน รวมทั้งกระบวนการแมทาบอลิคบัฟเฟอร์ต่างๆ ภายในร่างกายดำเนินไปอย่างปกติ (Lall, 2002) อีกทั้งยังทำหน้าที่ร่วมกับแคลเซียมโดยเป็นองค์ประกอบของกระดูก และเกล็ดของปลา (Zhang *et al*., 2006) ปลาได้รับฟอสฟอรัสจาก 2 แหล่ง คือ น้ำ และอาหาร ซึ่งในแหล่งน้ำธรรมชาติพบว่ามีปริมาณฟอสฟอรัสต่ำกว่า 0.1 ppm ทำให้ปลาสามารถดูดซึมฟอสฟอรัสจากแหล่งน้ำในธรรมชาติได้ในปริมาณน้อย (Boyd, 1971; NRC, 1983) ดังนั้นปลาต้องได้รับฟอสฟอรัสจากอาหารอย่างเพียงพอ Li และ Mathias (1994) รายงานว่า การได้รับแคลเซียม และฟอสฟอรัสเริ่มต้นจากการดูดซึมบริเวณกระเพาะ และลำไส้ ซึ่งการดูดซึมแคลเซียมก็เพื่อสะสมเกลือแคลเซียมในโครงกระดูก 80 เปอร์เซ็นต์ และผิวหนัง 10 เปอร์เซ็นต์ ส่วนการดูดซึมฟอสฟอรัสเพื่อสะสมในโครงกระดูก 50-60 เปอร์เซ็นต์ และส่วนที่เหลือจะกระจายอยู่ในอวัยวะภายใน ผิวหนัง และกล้ามเนื้อ ปลาแต่ละชนิดจะมีความสามารถในการดูดซึมฟอสฟอรัสแตกต่างกัน โดยพบว่าปลาที่มีกระเพาะเช่น ปลาดุก (*Clarias macrocephalus*) ปลากะพง (*Lates calcarifer*) ปลาเรนโบว์เทร้าท์ (*Oncorhynchus mykiss*) และปลาแซลมอน (*Salmo salar*) เป็นต้น มีความสามารถในการดูดซึมฟอสฟอรัสได้ดีกว่าปลาที่ไม่มีกระเพาะ เช่น ปลาไน (*Cyprinus carpio*) ทั้งนี้เนื่องจากปลาที่มีกระเพาะจะมีกรดเกลือที่หลั่งออกมาจากกระเพาะช่วยในการทำให้ฟอสฟอรัสแตกตัวเป็นอิสระและสามารถดูดซึมไปใช้ประโยชน์ได้ ในขณะที่ปลาไนไม่มีกรดเกลือที่ช่วยในการย่อยฟอสฟอรัส (Watanabe *et al*., 1988) จากรายงานของ Nakamura (1985) พบว่าการดูดซึมอนินทรีย์ฟอสเฟตในลำไส้ของปลาไนเกิดขึ้นบริเวณลำไส้ส่วนกลางมากกว่าบริเวณส่วนหน้า และส่วนท้าย นอกจากนี้แหล่งที่มาของฟอสฟอรัสยังส่งผลต่อความสามารถของปลาในการนำฟอสฟอรัสไปใช้ประโยชน์ กล่าวคือในการผลิตอาหารสำหรับปลามักนิยมใช้ปลาป่นเป็นแหล่งของโปรตีนในอาหาร แต่ในขณะเดียวกันปลาป่นมีฟอสฟอรัสบางส่วนอยู่ในรูปสารประกอบไฮดรอกซีอะพาไทต์ (hydroxyapatite) หรือไตรแคลเซียมฟอสเฟต (tricalcium phosphate) (Jobling, 1994) ซึ่งปลาสามารถนำมาใช้ประโยชน์ได้น้อย ดังรายงานของ Li และ Mathias (1994) พบว่าปลาเรนโบว์เทร้าท์มีความสามารถในการนำฟอสฟอรัสจากปลาป่นมาใช้ประโยชน์ได้ดีกว่าปลาไน และการดูดซึมฟอสฟอรัสในรูปโมโนแคลเซียมฟอสเฟต (monocalcium phosphate) มีประสิทธิภาพมากกว่า

ไตรแคลเซียมฟอสเฟต ส่วนฟอสฟอรัสที่มีอยู่ในวัตถุดิบพืชนั้น ส่วนใหญ่จะอยู่ในรูปของกรดไฟติก ซึ่งปลาไม่สามารถดูดซึมนำมาใช้ประโยชน์ได้ (NRC, 1993) โดยทั่วไปแล้วภาวะการขาดแคลนแร่ธาตุในปลามักจะเกิดจากสาเหตุการขาดฟอสฟอรัส แมงกานีส เหล็ก และไอโอดีน (Li and Mathias, 1994) ประกอบกับฟอสฟอรัสเป็นแร่ธาตุหลัก และปลาต้องการในปริมาณมาก ดังนั้นการเสริมอนินทรีย์ฟอสเฟตก็เป็นอีกทางเลือกหนึ่งเพื่อช่วยลดภาวะการขาดแคลนฟอสฟอรัสในอาหารปลา แต่รูปแบบของอนินทรีย์ฟอสเฟตที่เสริมลงในอาหารนั้น ปลาสามารถนำมาใช้ประโยชน์ได้ไม่เท่ากัน จากรายงานของ NRC (1993) พบว่าปลากดหลวง (*Ictalurus punctatus*) ปลาไน และปลาเรนโบว์เทร้าท์ สามารถย่อย และดูดซึมฟอสฟอรัสในรูปของโมโนฟอสเฟตได้ถึง 94 เปอร์เซ็นต์ และ Watanabe และคณะ (1988) รายงานว่า ปลาไนสามารถย่อย และดูดซึมฟอสฟอรัสในรูปของไดแคลเซียมฟอสเฟตได้ 46 เปอร์เซ็นต์ และดูดซึมฟอสฟอรัสในรูปของไตรแคลเซียมฟอสเฟตได้ 13 เปอร์เซ็นต์เท่านั้น แต่ในขณะที่ปลากะพงยุโรป (*Dicentrarchus labrax* L.) สามารถใช้อนินทรีย์ฟอสเฟตในรูปของไดแคลเซียมฟอสเฟตได้ 68 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งมากกว่าโมโนแคลเซียมฟอสเฟต และไตรแคลเซียมฟอสเฟตที่ระดับ 56 และ 50 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ (Pimentel-Rodrigues and Oliva-Teles, 2007)

ดังที่ได้กล่าวในข้างต้นจะเห็นได้ว่าความต้องการฟอสฟอรัสในปลาแต่ละชนิดมีความแตกต่างกัน ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับชนิดของปลา ที่มาของฟอสฟอรัสไม่ว่าจะเป็นฟอสฟอรัสที่มีอยู่ในวัตถุดิบพืช และวัตถุดิบสัตว์ หรือรูปแบบอนินทรีย์ฟอสเฟตที่เสริมลงในอาหารเพื่อเพิ่มปริมาณการใช้ประโยชน์จากฟอสฟอรัส ซึ่งปลาสามารถนำมาใช้ประโยชน์ได้ในปริมาณที่ไม่เท่ากัน ดังนั้นการศึกษาครั้งนี้จึงมุ่งเน้นถึงความต้องการฟอสฟอรัส และการใช้ประโยชน์จากอนินทรีย์ฟอสเฟตในรูปแบบ และระดับที่เหมาะสมสำหรับปลาไน เพื่อทราบระดับความต้องการฟอสฟอรัสที่ส่งผลทำให้การเจริญเติบโตของปลาไนดีที่สุด และรูปแบบอนินทรีย์ฟอสเฟตที่ใช้ประโยชน์ได้ เหมาะสมต่อการเสริมลงในอาหารสำหรับปลาไน และเพื่อลดระดับปริมาณของเสียที่เกิดขึ้นจากระบบการเลี้ยงที่ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม อันเป็นการตอบสนองต่อการเพาะเลี้ยงที่จะเกิดขึ้นในอนาคตอันใกล้นี้

1.2 ตรวจเอกสาร และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

1.2.1 อนุกรมวิธาน และชีววิทยาของปลาไน

1.2.1.1 อนุกรมวิธานของปลาไน

ปลาไนเป็นปลาน้ำจืดชนิดหนึ่ง โดยมีชื่อสามัญว่า common carp มีชื่อวิทยาศาสตร์ว่า *Cyprinus carpio* ซึ่ง Berg (1974) จัดเรียงอนุกรมวิธานไว้ ดังนี้

Phylum Vertebrata

Class Teleostomi

Subclass Actinopterygii

Order Cypriniformes

Suborder Cyprinoidei

Family Cyprinidae

Genus *Cyprinus*

Species *carpio*

1.2.1.2 รูปร่างลักษณะทั่วไป

ปลาไนเป็นปลาน้ำจืดชนิดหนึ่ง อยู่ในจำพวกปลาตะเพียน (*Puntius gonionotus*) มีร่างกายแข็งแรง และมีรูปร่างลักษณะคล้ายปลาตะเพียน มีเกล็ดค่อนข้างกลมใหญ่ทั่วตัว แต่บริเวณส่วนหัวสั้น และไม่มีเกล็ด ปากเล็ก ไม่มีฟัน ริมฝีปากหนา และมีหนวดสี่เส้นตรงบริเวณข้างปาก มีก้านครีบแข็งที่มีขอบคล้ายฟันเลื่อย บริเวณข้างหน้าของครีบหลัง และครีบก้น (Schultz, 2004) ครีบหลังเป็นครีบเดี่ยวยาวติดกันเป็นพืด สีของลำตัวจะมีลักษณะเป็นสีเงินปนเทา บางทีก็เหลืองอ่อน หรือบางตัวก็เป็นสีทองตลอดตัว (สันต์, 2548)

ปลาไนอาศัยอยู่ตามแม่น้ำ ลำคลอง หนองบึง ที่มีพื้นเป็นดินโคลน กระแสน้ำไหลอ่อนเกือบนิ่ง ชอบอยู่ในน้ำอุ่นมากกว่าน้ำเย็น ไม่ชอบน้ำใสจนเกินไป ปกติชอบวางไข่ในที่ตื้น เป็นปลาที่อดทนต่อดินฟ้าอากาศ ปรับตัวเข้ากับธรรมชาติได้รวดเร็ว ปกติปลาไนมีนิสัยตื่นตกใจง่าย แต่ก็สามารถฝึกให้เชื่องได้โดยวิธีการให้อาหาร กล่าวคือ ต้องระวังอย่าให้ปลาตกใจหรือกลัวจนเกินไป หากว่ากลัวหรือตกใจเสียครั้งหนึ่งแล้วกว่าจะทำให้คุ้นเคยหรือเชื่องได้อีกก็กินเวลานาน (Li and Mathias, 1994; Pillay, 2002; Schultz, 2004)

ลักษณะเพศ รูปร่างลักษณะภายนอกของปลาไนตัวผู้ และตัวเมียจะมีลักษณะคล้ายคลึงกันมาก การสังเกตลักษณะของเพศ ต้องอาศัยความชำนาญ ตัวเมียมีลำตัวป้อม

ช่วงท้องตอนล่างอวบใหญ่แบน ส่วนตัวผู้มีลำตัวเรียวยาว โดยเฉพาะในฤดูวางไข่ ตัวเมียท้องจะอูมเป่งออกมาทั้งสองข้าง พื้นท้องนิ่ม หากเอามือบีบท้องเบาๆ ไข่จะไหลออกมาทางช่องเพศ ส่วนปลาตัวผู้ พื้นท้องไม่อูมเป่งแต่พื้นท้องจะมีลักษณะตึงค่อนไปทางแข็ง ถ้าเอามือบีบท้องไล่มือไปทางช่องทวารเบาๆ จะมีน้ำสีขาวๆ คล้ายน้ำนมไหลออกมาจากช่องเพศ และถ้าเอามือลูบที่แก้มหรือเกล็ดตามตัวจะรู้สึกสาก ส่วนของตัวเมียจะมีลักษณะลื่นกว่า (Schultz, 2004)

ฤดูวางไข่ของปลาไนย่อมแตกต่างกันบ้างตามแต่อากาศ และฤดูกาลของแต่ละประเทศ เช่น ปลาไนที่เลี้ยงอยู่ในบ่อเมืองกวางตุ้ง ประเทศจีน จะวางไข่ในเดือนธันวาคม ในฮ่องกง ปลาไนจะวางไข่ในเดือนมกราคม และในแถบแยงซี ปลาไนจะวางไข่ตั้งแต่เดือนเมษายนถึงเดือนมิถุนายน ในญี่ปุ่น ฤดูวางไข่ของปลาไนเริ่มตั้งแต่เดือนเมษายนถึงเดือนพฤษภาคม สำหรับในประเทศไทย ปลาไนสามารถที่จะวางไข่ได้ในทุกฤดู แต่ก็มีระยะหนึ่งซึ่งปลาไนสามารถไข่ได้มากที่สุด ตั้งแต่เดือนมกราคมถึงเดือนเมษายน ปลาไนจะเติบโตพอที่จะสืบพันธุ์ได้เมื่อมีอายุประมาณ 6 เดือน ความยาวประมาณ 25 เซนติเมตร ในฤดูหนึ่ง แม่ปลาตัวหนึ่งอาจวางไข่ได้ถึง 2 ครั้ง (สถาบันประมงน้ำจืดแห่งชาติ, 2524)

ลักษณะไข่ของปลาไนจะมีลักษณะกลม สีเทาอ่อน มีเมือกเหนียว ไข่จะติดกับพันธุ์ไม้น้ำหรือหญ้าที่อยู่ในน้ำ ถ้าไม่มีที่ติดไข่ก็จะจมลงก้นบ่อ และเป็นไข่ที่เสียไม่สามารถฟักเป็นตัวได้ (สถาบันประมงน้ำจืดแห่งชาติ, 2524)

1.2.1.3 แหล่งกำเนิด และการแพร่กระจาย

ปลาไนเป็นปลาชนิดหนึ่งที่มีการนำเข้ามาเลี้ยงในประเทศต่างๆ (Schultz, 2004) มีถิ่นกำเนิดอยู่ในภาคตะวันออกของทวีปเอเชียตามประวัติ จีนเป็นผู้นำปลาไนมาเลี้ยงก่อน เริ่มต้นราว พ.ศ.68 หรือก่อนคริสต์ศักราช 475 ปี ในปี ค.ศ. 1367 ชาวออสเตรียได้นำไปยังดินแดนยุโรปเป็นครั้งแรก และในปี ค.ศ. 1496 ก็มีผู้นำเข้าไปเลี้ยงในอังกฤษ และในปี ค.ศ. 1830 กัปตันโรบินสันได้นำปลาไนจากประเทศฝรั่งเศสเข้าไปเลี้ยงยังทวีปอเมริกา จนกระทั่งในศตวรรษที่ 18 ปลาไนจึงเป็นที่นิยมเลี้ยงกันอย่างแพร่หลาย โดยการนำพันธุ์ปลาจากประเทศหนึ่งไปยังอีกประเทศหนึ่ง สำหรับในประเทศไทยชาวจีนได้นำปลานี้จากประเทศจีนมาเลี้ยงในกรุงเทพฯ เมื่อประมาณ 70 ปีมานี้ ซึ่งในระยะนั้นคนทั่วไปรู้กันเพียงเผินๆ ว่าเป็นปลาเมืองจีนเท่านั้น (ปรีดา, 2522)

จำนง (2523) กล่าวว่าปลาไนเป็นปลาที่ชาวจีนนำมาเลี้ยงเป็นชนิดแรกตั้งแต่สมัยราชวงศ์ยิน (Yin Dynasty) ประมาณ 3,000 ปีมาแล้ว และหลังจากนั้นชาวจีนก็ได้ใช้ปลาไนสำหรับการบริโภค และเป็นการค้าเรื่อยมา

ปลาไนมีอยู่หลายพันธุ์ ซึ่งแต่ละพันธุ์เกิดจากการผสมคัดพันธุ์กันเอง เช่น ปลาไนเกล็ด ปลาไนหนัง และปลาไนกระจก สำหรับปลาไนหนัง และปลาไนกระจกนั้นเป็นที่นิยมมากที่สุดในยุโรป และต่อมาก็แพร่พันธุ์มาทางอิสราเอล และอินโดนีเซีย สำหรับประเทศไทย จีน และญี่ปุ่น นิยมเลี้ยงปลาไนเกล็ด (อำพล, 2506; Li and Mathias, 1994; Pillay, 2002; Schultz, 2004)

วิทย์ (2515) ได้รวบรวมชื่อเรียกท้องถิ่น (vernacular name) ของปลาไนที่เรียกกันในประเทศต่างๆ ดังนี้

ไทย	Pla nai
จีน	Lei yu, Li yu
ญี่ปุ่น	Koi
อินโดนีเซีย	Green verieties: Tambra, Tombro
	Orange – colored verieties: Ikan mass, Masmassan, Lauk mas, Rajo Emeh
มาเลเซีย	Lei Koh
เวียดนาม	Ca chep, Ca gay, Pa nev

1.2.1.4 พฤติกรรมการกินอาหาร

ปลาไนเป็นปลาจำพวกที่กินอาหารได้ทั้งพวกพืช และสัตว์ (omnivorous) (Schultz, 2004) อาหารของปลาไนส่วนมากเป็นพวกตัวอ่อนแมลง หนอนแดงประเภทต่างๆ ตัวอ่อนของสัตว์จำพวกครัสเตเซียน และมอลลัส รวมทั้งเศษพืช สาหร่ายที่มีลักษณะเป็นเส้น และสัตว์ที่เน่าเปื่อย (ปรีดา, 2522; Schultz, 2004) นิสัยการกินอาหารของปลาไนมักจะหากินตามพื้นก้นบ่อโดยการใช้ปากชอนไชไปตามพื้น และขอบบ่อจึงมักจะทำให้น้ำในบ่อขุ่น และขอบบ่อพังได้ (สันต์, 2548)

วิทย์ (2515) ปรีดา (2520) และ Schultz (2004) รายงานถึงนิสัยการกินอาหารซึ่งโดยทั่วไปปลาไนจะกินระดับผิวน้ำ (surface feeders) กลางน้ำ (column feeders) จนถึงหน้าดิน (bottom feeders) อาหารที่กิน หากเป็นพวกพืชผักจะส่งเข้าลำคอโดยตรง แต่ถ้าเป็นพวกชีวอินทรีย์ขนาดเล็กที่ผ่านไปกับน้ำ และถูกกรองด้วยซี่เหงือกแล้วส่งเข้าลำคออีกทอดหนึ่ง ปลาไนจะกินอาหารทั้งกลางวัน และกลางคืน โดยจะหากินอาหารอย่างสม่ำเสมอตลอดปี

1.2.1.5 ความสัมพันธุ์ระหว่างอายุ และขนาด

ในแถบอากาศอบอุ่น และอากาศร้อน ปลาไนจะมีการเจริญเติบโตเร็ว อุณหภูมิที่เหมาะสมคือ 25-28 องศาเซลเซียส หากคุณภาพน้ำ และสิ่งแวดล้อมเหมาะสมจะมีอัตรา

การเจริญเติบโต 2.5-5 เซนติเมตรต่อเดือน เลี้ยงครบ 1 ปี จะมีน้ำหนัก 1 กิโลกรัม และจะได้น้ำหนัก 2 กิโลกรัม เมื่อเลี้ยงครบ 2 ปี อย่างไรก็ดี ถ้าปล่อยปลาลงเลี้ยงด้วยอัตราน้อยปลาจะเจริญเติบโตเร็วขึ้น (กำธร, 2513)

สำราญ (2509) กล่าวว่า ปลาไนที่เลี้ยงในบ่อ และร่องสวนผักระยะเวลา 6 เดือน ถึง 1 ปี ปลาจะมีน้ำหนักตั้งแต่ 600 กรัม – 1 กิโลกรัม ซึ่งผลของการเจริญเติบโตของปลาไนที่เลี้ยงในบ่อตามที่ ปรีดา (2522) รวบรวมไว้คือ

ตารางที่ 1: ความสัมพันธ์ระหว่างอายุ และการเจริญเติบโตของปลาไนที่เลี้ยงในบ่อ

อายุ	ความยาว (เซนติเมตร)	น้ำหนัก (กิโลกรัม)
3 เดือน	19	0.1
6 เดือน	30	0.6
1 ปี	39	1
2 ปี	44	1.8
3 ปี	51	7.2

ที่มา : ปรีดา (2522)

ถ้าหากปลาไนที่เลี้ยงในบ่อใส่ปุ๋ยคอก และให้อาหารสมทบรำข้าว ปลาป่น และปลายข้าว พบว่าใน 6 เดือน ปลาไนจะมีน้ำหนักเฉลี่ยเพิ่มขึ้นจาก 0.72 กรัม เป็น 415 กรัมต่อตัว

พินิจ และสุอินทร์ (2511) พบว่า อัตราการเจริญเติบโตของปลาไนในนาข้าวโดยไม่ได้ให้อาหารสมทบระยะเวลา 4 เดือน ปลาจะเจริญเติบโตจากความยาว 8.5 เซนติเมตร เป็น 12.9 เซนติเมตร โดยมีอัตราการปล่อยอยู่ที่ 400 ตัวต่อไร่

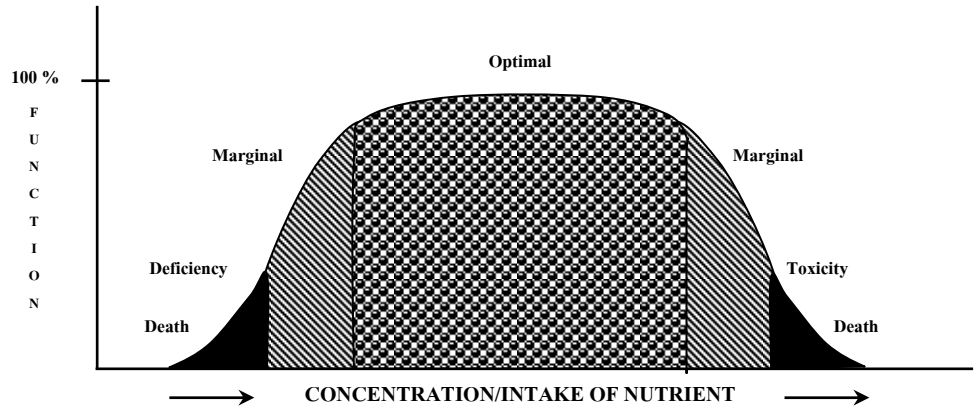
วิทย์ (2515) อ้าง Laventer and Perah (1966) และ Sukumaran (1969) ได้รายงานว่าปลาไนจะเติบโตถึงขั้นสืบพันธุ์ได้ภายในปีเดียว ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับสภาพดินฟ้าอากาศที่ปลาไนอาศัยอยู่ เช่น ในอินโดนีเซียต้องมีอายุ 1-1.5 ปี ในรัสเซียต้องมีอายุ 2-5 ปี แต่ในยุโรปตอนกลางจะต้องมีอายุ 4 ปี เป็นต้น ซึ่งเรื่องนี้ กำธร (2513) กล่าวว่า ในภูมิภาคแถบเขตร้อนอย่างประเทศไทย ปลาไนอายุ 6-8 เดือน ก็เป็นปลาเต็มวัย โดยสามารถสืบพันธุ์ และวางไข่ได้

1.2.2 ความต้องการสารอาหารของปลาไน

ความต้องการสารอาหารของปลาไนเหมือนกับสัตว์น้ำทั่วไป โดยจะมีความต้องการโปรตีน ไขมัน และคาร์โบไฮเดรต เพื่อใช้เป็นพลังงานช่วยในการเจริญเติบโต และต้องการพวกวิตามิน และแร่ธาตุ เพื่อทำให้การเจริญเติบโตของปลาเป็นปกติ จากรายงานความต้องการโปรตีนของปลาไนซึ่งพบว่ามีหลายระดับด้วยกัน Kaushik (1995) รายงานว่าความต้องการโปรตีนในปลาไนที่ทำให้การเจริญเติบโตของปลาเป็นปกติ อยู่ในช่วง 25-50 เปอร์เซ็นต์ ส่วน NRC (1993) ได้รายงานว่า ความต้องการโปรตีนของปลาไนนั้นอาจสูงถึง 40 เปอร์เซ็นต์ แต่ก็ไม่ได้ทำให้การเจริญเติบโตแตกต่างจากปลาไนที่ได้รับอาหารที่มีโปรตีน 30 เปอร์เซ็นต์ นอกจากนี้ยังมีรายงานระดับของโปรตีนที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของปลาไนอยู่ในช่วงระหว่าง 31-38 เปอร์เซ็นต์ (Ogino and Saito, 1970) ดังนั้นจะเห็นได้ว่าความต้องการโปรตีนมีความแตกต่างกันมากพอสมควร ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากอุณหภูมิของน้ำก็มีความสัมพันธ์โดยตรงกับความต้องการโปรตีนของปลา ซึ่งปลาเมืองหนาว และปลาเมืองร้อนใช้ประโยชน์จากอาหารที่มีระดับโปรตีนสูงได้ดีในน้ำที่มีอุณหภูมิสูง ปลาที่เลี้ยงในน้ำที่มีอุณหภูมิต่ำกว่า 23.8 องศาเซลเซียส และเลี้ยงด้วยอาหารที่มีโปรตีน 35 เปอร์เซ็นต์ มีการเจริญเติบโตต่ำกว่าปลาที่เลี้ยงด้วยอาหารที่มีโปรตีน 25 เปอร์เซ็นต์ แต่เมื่อเลี้ยงในน้ำที่มีอุณหภูมิสูงขึ้น ปลาเจริญเติบโตดีเมื่อได้รับอาหารที่มีโปรตีน 30 และ 35 เปอร์เซ็นต์ (Hastings, 1969) นอกจากโปรตีนแล้วระดับไขมันก็เป็นส่วนที่จะต้องพิจารณา โดยไขมันเป็นส่วนประกอบของเยื่อหุ้มเซลล์ และฮอร์โมน รวมทั้งยังเกี่ยวข้องกับการดูดซึมอาหารโดยทำหน้าที่เป็นตัวนำพาสารอาหารที่ละลายในไขมัน เช่น วิตามิน และสเตอรอล (เวียง, 2542) จากรายงานของ Geurden และคณะ (1998) ได้ทำการเปรียบเทียบความแตกต่างของฟอสโฟลิพิดที่เสริมลงในอาหารของปลาไนระยะวัยอ่อน พบว่าปลาที่ได้รับอาหารที่มีการเสริมน้ำมันถั่วลิสงซึ่งเป็นที่มาของฟอสโฟลิพิดมีอัตราการรอดต่ำกว่าสูตรอาหารที่มีการเสริมฟอสโฟลิพิด ที่มาจากหลายแหล่งรวมกันในสูตรอาหาร ซึ่งมีไขมันรวมเท่ากับ 6 เปอร์เซ็นต์ ส่วนการรายงานระดับความต้องการไขมันในอาหารที่เหมาะสมสำหรับปลาไน คือ 5-15 เปอร์เซ็นต์ จะส่งผลทำให้การเจริญเติบโตของปลาไนดีที่สุด (Takeuchi *et al*., 2002) คาร์โบไฮเดรตก็จัดเป็นสารอาหารที่ให้พลังงานเช่นเดียวกัน ถึงแม้ว่าระดับการให้พลังงานจะไม่มากเท่ากับโปรตีน และไขมัน (Cowey and Sargent, 1979) โดยทั่วไปปลากินพืชสามารถย่อยแป้งได้ดีกว่าปลากินทั้งพืช และสัตว์ และปลากินสัตว์ตามลำดับ ความแตกต่างในการย่อยก็ขึ้นอยู่กับปริมาณของน้ำย่อยในปลาแต่ละกลุ่ม โดยปลาที่กินทั้งพืช และสัตว์ เช่น ปลาไน จะมีเอนไซม์ย่อยแป้งได้ดีกว่าประมาณ 1,000 เท่าของปลากินเนื้อ เช่น ปลาแซลมอน (Brett and Groves, 1979) จากรายงานความต้องการคาร์โบไฮเดรตในปลาไนที่มีค่าอยู่ระหว่าง 30-40 เปอร์เซ็นต์ จึงจะเพียงพอแก่ความต้องการของร่างกาย (Shimeno *et al*., 1981)

ส่วนความต้องการวิตามิน และแร่ธาตุถึงแม้ว่าจะต้องการในปริมาณที่น้อย แต่ก็จำเป็นที่จะต้องเสริมลงในอาหาร เพื่อให้การเจริญเติบโตของปลาเป็นไปอย่างปกติ (เวียง, 2542) แต่จากการรายงานของ Lall (2002) พบว่าระดับความต้องการแร่ธาตุในปลาซึ่งมีความสัมพันธ์กับปริมาณแร่ธาตุที่ปลาได้รับ ถ้าปลาได้รับในปริมาณที่น้อยเกินไปก็จะทำให้ร่างกายอยู่ในภาวะที่ขาดแคลนแร่ธาตุ (deficiency) แต่ถ้าได้รับในปริมาณมากเกินไป ทำให้เกิดภาวะเป็นพิษต่อปลา (toxicity) และส่งผลต่อร่างกายของปลาตามบทบาทหน้าที่ของแร่ธาตุแต่ละชนิด ดังนั้นระดับความต้องการแร่ธาตุของปลาจะต้องอยู่ในช่วงที่เหมาะสม เพื่อให้การทำงานของระบบต่างๆ ภายในร่างกายดำเนินไปอย่างปกติ ดังแสดงในภาพที่ 1 ปลาได้รับแร่ธาตุจากน้ำ และอาหาร ซึ่งปลาน้ำเค็มได้รับเกลือแร่จากน้ำโดยการกินน้ำแล้วดูดซึมแร่ธาตุดังกล่าวตรงบริเวณทางเดินอาหาร (Smith, 1930 อ้างโดย เวียง, 2542) ส่วนปลาน้ำจืดดูดซึมแร่ธาตุจากน้ำโดยตรงทางเหงือก และทางผิวหนัง (Reid *et al*., 1959 อ้างโดย เวียง, 2542) ปริมาณแร่ธาตุที่ปลาได้รับจากน้ำจะมากหรือน้อยก็ขึ้นอยู่กับปริมาณแร่ธาตุในน้ำ และอาหาร โดยทั่วไปแล้วในการผลิตอาหารสำหรับสัตว์น้ำ การเสริมวิตามิน และแร่ธาตุจะเสริมในรูปของวิตามิน และแร่ธาตุรวม เนื่องจากการเสริมวิตามิน และแร่ธาตุรวมนั้น จะผสมวิตามิน และแร่ธาตุที่สัตว์น้ำมักจะขาด และต้องการไว้ให้เรียบร้อยแล้ว ดังนั้นในการสร้างสูตรอาหารสำหรับเลี้ยงปลา มักจะนิยมเสริมวิตามิน และแร่ธาตุรวมลงไปเป็นส่วนผสมในอาหาร

ภาพที่ 1: กราฟความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณแร่ธาตุที่ปลาได้รับต่อการเจริญเติบโตของปลา



ที่มา: Lall (2002)

1.2.3 ความสำคัญของฟอสฟอรัส

ฟอสฟอรัสเป็นธาตุลำดับที่ 15 สัญลักษณ์ P เป็นอโลหะ ลักษณะเป็นของแข็ง มีหลายอัญรูป อัญรูปที่สำคัญคือ ฟอสฟอรัสขาว (บางทีเรียกว่าฟอสฟอรัสเหลือง) ลักษณะอ่อนคล้ายขี้ผึ้ง หลอมละลายที่ 44 องศาเซลเซียส ติดไฟง่าย เมื่อกระทบกับอากาศจะให้แสงเรือง เป็นพิษรุนแรง ฟอสฟอรัสแดงลักษณะเป็นผงสีแดงแกมม่วง เมื่อกระทบอากาศไม่ให้แสงเรือง ติดไฟยาก ไม่เป็นพิษเหมือนฟอสฟอรัสขาว (ราชบัณฑิตยสถาน, 2525 อ้างโดย พุ่มพวง, 2542) ในแหล่งน้ำธรรมชาติจะพบฟอสฟอรัสหรือฟอสเฟต ซึ่งจัดว่ามีความสำคัญต่อการประมง เนื่องจากมีความสำคัญ และจำเป็นต่อการดำรงชีพของพืช และสัตว์ โดยเฉพาะพืชชั้นต่ำซึ่งจะใช้ในการสังเคราะห์แสง โดยในน้ำธรรมชาติจะพบฟอสฟอรัสอยู่ในรูปของสารละลายน้ำหรืออยู่ในรูปของซากพืชซากสัตว์ ซึ่งปกติฟอสฟอรัสจะสะสมอยู่ในดิน หิน แร่หรือแหล่งสะสมอื่นๆ จะปลดปล่อยออกมาในรูปที่ละลายน้ำได้โดยการชะล้าง พืช และสัตว์น้ำจะนำไปใช้ในการเจริญเติบโต และสร้าง protoplasm เนื่องจากฟอสฟอรัสเป็นธาตุอาหารที่มีความจำเป็นต่อพืช โดยเฉพาะแพลงค์ตอนพืชสามารถเจริญเติบโตได้อย่างรวดเร็ว ซึ่งจะเป็นการสร้างความสมบูรณ์ให้แก่แหล่งน้ำ แต่ถ้ามีมากเกินไปจะทำให้เกิดภาวะเสื่อมโทรมแก่แหล่งน้ำ และส่งผลกระทบต่อสัตว์น้ำที่อาศัยอยู่ในแหล่งน้ำนั้น มีรายงานว่า หากแหล่งน้ำธรรมชาติมีปริมาณฟอสฟอรัสสูงกว่า 0.1 มิลลิกรัมต่อลิตร จัดว่าแหล่งน้ำนั้นมีอาหารธรรมชาติมากเกินไป และแหล่งน้ำที่มีปัญหามลภาวะจะมีฟอสฟอรัสสูงถึง 0.6 มิลลิกรัมต่อลิตร อย่างไรก็ตาม ฟอสฟอรัสในน้ำไม่ควรมีปริมาณเกินกว่า 0.03 มิลลิกรัมต่อลิตร (ประเทือง, 2534)

เมื่อกล่าวถึงความสำคัญของฟอสฟอรัสต่อสัตว์น้ำ จะเห็นได้ว่าฟอสฟอรัสเป็นแร่ธาตุชนิดหนึ่งที่ร่างกายของสัตว์น้ำต้องการในปริมาณมาก เนื่องจากมีความสำคัญต่อการเจริญเติบโต และการดำรงชีวิตของปลา กล่าวคือเป็นองค์ประกอบของกระดูก และฟัน กรดนิวคลีอิก และสารประกอบฟอสโฟลิพิดที่สำคัญของร่างกาย เช่น เป็นโคเอนไซม์ NADP และ ATP เป็นต้น (เวียง, 2542) ฟอสฟอรัสที่ปลาได้รับส่วนใหญ่ถูกนำไปทำหน้าที่เป็นส่วนประกอบของกระดูก และเกล็ดของปลา รวมกันประมาณ 85–90 เปอร์เซ็นต์ ของฟอสฟอรัสทั้งหมดที่มีในร่างกาย โดยทำหน้าที่ร่วมกับแคลเซียมในการสร้างกระดูก และเกล็ดของปลา สำหรับฟอสฟอรัสที่เหลือประมาณ 10–15 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งพบในเลือด และเนื้อเยื่อ จะถูกนำมาใช้ในกระบวนการเมทาบอลิซึมที่สำคัญของร่างกายดังนี้ คือ เป็นองค์ประกอบของฟอสโฟลิพิดทำให้เยื่อหุ้มเซลล์คงตัว เป็นองค์ประกอบของเอนไซม์ที่จำเป็นในร่างกาย เป็นสารอิเล็กโทรไลต์ หรือสารบัฟเฟอร์ภายในเซลล์ ทำหน้าที่ควบคุมสมดุลของกรดด่าง ทำให้มีสภาพเป็นกลาง เป็นองค์ประกอบของเอทีพี (ATP) ซึ่งมีหน้าที่ในการถ่ายทอดพลังงานที่ได้จากการย่อยสลายโปรตีน ไขมัน และคาร์โบไฮเดรต และ

เป็นองค์ประกอบของดีเอ็นเอ (DNA) และอาร์เอ็นเอ (RNA) ซึ่งมีหน้าที่ควบคุมการถ่ายทอดพันธุกรรม การสังเคราะห์โปรตีน และการสืบพันธุ์ให้เป็นปกติ (Lall, 2002) ปลาสามารถได้รับฟอสฟอรัสจาก 2 แหล่งด้วยกัน คือจากแหล่งน้ำ และอาหาร ถึงแม้ว่าปลาจะสามารถดูดซึมฟอสฟอรัสจากแหล่งน้ำได้ (NRC, 1993) แต่ความเข้มข้นของฟอสฟอรัสทั้งในน้ำจืด และในน้ำเค็มมีอยู่ในระดับที่ต่ำ (Lall, 1991) ดังนั้นปลาจำเป็นต้องได้รับฟอสฟอรัสจากอาหารเพื่อให้เพียงพอต่อความต้องการ และเพื่อป้องกันไม่ให้ปลาแสดงอาการขาดแร่ธาตุฟอสฟอรัส ซึ่งจากรายงานพบว่าปลาที่ได้รับฟอสฟอรัสในปริมาณที่ไม่เพียงพอแก่ความต้องการจะส่งผลทำให้การเจริญเติบโตช้า ประสิทธิภาพการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อสูง และปริมาณเถ้าในกระดูกและเกล็ดต่ำ ปริมาณฮีมาโตคริต ฟอสเฟตในเลือดลดลง มีไขมันสะสมในตับ และกล้ามเนื้อมากขึ้น และกระดูกพัฒนาผิดปกติ โดยเฉพาะกระดูกบริเวณหัว และก้านครีบอ่อนบริเวณครีบอก ในขณะที่ปลาบางชนิดจะมีระดับอัลคาไลน์ฟอสเฟตในซีรัมสูง และไกลโคเจนสะสมในตับน้อยลง ซึ่งอาการดังกล่าวพบได้ในปลากดหลวง (Anderws *et al*., 1973; Lovell, 1978; Wilson *et al*., 1982) ปลาไน ปลาเรนโบว์เทร้าท์ (Ogino and Takeda, 1978) ปลานิล (Watanabe *et al*., 1980a) และปลาแซลมอน (Watanabe *et al*., 1980b) ฟอสฟอรัสส่วนใหญ่ในอาหารจะได้มาจากวัตถุดิบที่มาจากสัตว์ และพืช โดยเฉพาะปลาป่นที่ใช้เป็นแหล่งโปรตีนที่มีคุณภาพดี เนื่องจากมีกรดอะมิโนจำเป็นครบถ้วน อย่างไรก็ตามพบว่าปลาป่นมีปริมาณฟอสฟอรัสในระดับสูง แต่ฟอสฟอรัสที่อยู่ในปลาป่นนั้นสามารถนำมาใช้ประโยชน์ได้ไม่ดีนัก (Kim and Woo, 1994) ทั้งนี้เนื่องจากในปลาป่นมีฟอสฟอรัสที่อยู่ในรูปของสารประกอบไฮดรอกซีอะพาไทต์ (hydroxyapatite) หรือไตรแคลเซียมฟอสเฟต ซึ่งเป็นโครงสร้างของกระดูก และเกล็ดของปลา (Jobling, 1994) โดยเฉพาะปลาไน เป็นปลาที่ไม่มีกระเพาะ จึงขาดกรดเกลือที่หลั่งออกมาจากกระเพาะ (Yone and Toshima, 1979) ซึ่งกรดเกลือดังกล่าวจะช่วยทำให้ฟอสฟอรัสแตกตัวได้ง่าย และทำให้ปลาสามารถดูดซึมฟอสฟอรัสไปใช้ประโยชน์ได้ดีขึ้น ส่วนฟอสฟอรัสที่อยู่ในรูปของวัตถุดิบพืชนั้น ส่วนใหญ่จะอยู่ในรูปของกรดไฟติก (phytic) (NRC, 1993) ซึ่งมีการรวมตัวกับเกลือแคลเซียม แมกนีเซียม โพแตสเซียม (Dey and Harborne, 1990) เรียกว่าไฟติน (phytin) ส่วนเกลือของกรดไฟติกประกอบด้วย อินโนซิทอล กับฟอสเฟต จะเรียกว่าไฟเตท (phytate) (Uhlig, 1998) กรดไฟติก ดังกล่าวเป็นพิษชนิดหนึ่งที่เกิดจากพืช ปลาไม่สามารถดูดซึมมาใช้ประโยชน์ได้เนื่องจากปลาขาดเอนไซม์ไฟเตส (Vielma *et al*., 2000) นอกจากนี้ฟอสฟอรัสยังเป็นสารอาหารหลักที่เป็นสาเหตุก่อให้เกิดยูโทรฟิเคชันในแหล่งน้ำ (eutrophication) (Lee, 1973; Ketola and Harlan, 1993; Arlinghaus and Mehner, 2003; Frei and Becker, 2005) ซึ่งเกิดจากการขับถ่ายของเสียที่มีปริมาณฟอสฟอรัสทั้งที่อยู่ในรูปของของแข็ง และสารละลายรวมในมูลของปลาลงในแหล่งน้ำ (Cho *et al*., 1991; 1994 and Bureau and Cho, 1999) และจากการรายงานของ

Avila และคณะ (2000); Coloso และคณะ (2001a) และ Coloso และคณะ (2001b) พบว่า การขับถ่ายฟอสฟอรัสในรูปที่สามารถละลายน้ำได้จะเพิ่มมากขึ้นอย่างต่อเนื่องตามระดับของฟอสฟอรัสในอาหาร ดังนั้นในอาหารควรมีปริมาณฟอสฟอรัสในปริมาณที่พอเหมาะ และไม่มากเกินความต้องการของปริมาณฟอสฟอรัสที่จะส่งผลทำให้การเจริญเติบของปลาสูงสุด เพื่อป้องกันการสูญเสียของคุณภาพน้ำ (Lall, 1991; Oliva *et al*., 1998; Bureau and Cho, 1999)

สารประกอบของฟอสฟอรัสที่พบในน้ำมี 3 รูปแบบคือ

1. สารประกอบออโธฟอสเฟต (orthophosphates) ที่พบมากคือ trisodium phosphate (Na_3PO_4) disodium phosphate (Na_3HPO_4) monosodium phosphate (NaH_4PO_4) และ diammonium phosphate $(NH_4)_2HPO_4$ สารประกอบเหล่านี้ละลายน้ำได้ดี แพลงค์ตอนพืชสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ สารประกอบพวกออโธฟอสเฟตนี้ บางทีเรียกว่า soluble reactive phosphorus ซึ่งมีความสำคัญทางด้านการประมง และการเพาะเลี้ยง

2. สารประกอบโพลีฟอสเฟต (polyphosphates) เช่น sodium hexametaphosphate $Na_3(PO_4)_6$, sodium tripoly phosphate ($Na_5P_3O_{10}$) และ tetrasodium pyrophosphate ($Na_4P_2O_7$) สารประกอบเหล่านี้มักพบในน้ำทิ้งจากบ้านเรือนที่อยู่อาศัย เนื่องจากเป็นองค์ประกอบของผงซักฟอก (detergent) แต่สารพวกนี้เป็น dehydrated phosphate ดังนั้นจึงถูกไฮโดรไลส์ในน้ำกลับเป็น orthophosphate ตามเดิมและถ้าอุณหภูมิเพิ่มขึ้น pH ลดลงจะช่วยเร่งปฏิกิริยาดังกล่าวให้เกิดเร็วขึ้น

3. สารประกอบอินทรีย์ฟอสเฟต (organic phosphates) คือสารประกอบฟอสฟอรัสที่เกิดจากขบวนการทางชีวะ เป็นฟอสเฟตที่รวมอยู่กับอินทรีย์ต่างๆ เช่น nucleic acid, phospholipids, sugar phosphate รวมทั้งฟอสฟอรัสที่อยู่ในซากพืชและซากสัตว์ (ประเทือง, 2534)

1.2.4 อนินทรีย์ฟอสเฟต (inorganic phosphate)

อนินทรีย์ฟอสเฟตเป็นรูปแบบของฟอสฟอรัสในรูปของสารอนินทรีย์ ซึ่งจะมีคุณสมบัติแตกตัวได้ง่าย และอยู่ในรูปอิสระ จึงนิยมใส่สมทบเป็นพรีมิกซ์ (premix) ในอาหารปลาหรืออาหารสัตว์น้ำ เนื่องจากปลา และสัตว์น้ำสามารถย่อย และดูดซึมไปใช้ประโยชน์ได้มาก รูปแบบของอนินทรีย์ฟอสเฟตที่นิยมใส่สมทบลงในอาหารปลานั้น มี 3 รูปแบบด้วยกัน คือ โมโนเบสิค (monobasic) ไดเบสิค (dibasic) และไตรเบสิค (tribasic) (Watanabe *et al*., 1988; NRC, 1993) โดยความสามารถในการใช้ฟอสฟอรัสในรูปของสารอนินทรีย์ดังกล่าวจะมีความแตกต่างกัน ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับรูปแบบของสารอนินทรีย์ และชนิดของปลา ดังรายงานของ Eya และ Lovell (1997) ที่

ได้ทำการทดลองความสามารถในการดูดซึมสารอนินทรีย์ฟอสเฟตรูปแบบต่างๆ ในปลากดหลวง พบว่าปลาสามารถดูดซึมโมโนโซเดียมฟอสเฟตได้ดีที่สุด คือ 88.6 เปอร์เซ็นต์ รองลงมาได้แก่ โมโนแอมโมเนียฟอสเฟต 85.4 เปอร์เซ็นต์ โมโนแคลเซียมฟอสเฟต 81.2 เปอร์เซ็นต์ ไดแคลเซียมฟอสเฟต 74.8 เปอร์เซ็นต์ และไตรแคลเซียมฟอสเฟต 54.8 เปอร์เซ็นต์ และมีการศึกษาเปรียบเทียบการใช้ประโยชน์จากฟอสฟอรัสในรูปของอนินทรีย์ฟอสเฟตกับปลาป่น ในปลากะพงยุโรประยะวัยอ่อน โดยการเสริมอนินทรีย์ฟอสเฟต 0.3 เปอร์เซ็นต์ ลงในอาหารเพื่อประเมินผลของระดับความต้องการฟอสฟอรัสที่สามารถใช้ประโยชน์ได้ พบว่าประสิทธิภาพการย่อยฟอสฟอรัสจากปลาป่นมีค่าเท่ากับ 49–63 เปอร์เซ็นต์ ส่วนความสามารถในการย่อยฟอสฟอรัสในรูปของไดแคลเซียมฟอสเฟตดีที่สุด โดยมีค่าเท่ากับ 68 เปอร์เซ็นต์ รองลงมาคือโมโนแคลเซียมฟอสเฟตเท่ากับ 56 เปอร์เซ็นต์ และไตรแคลเซียมฟอสเฟต 50 เปอร์เซ็นต์ (Pimentel-Rodrigues and Oliva-Teles, 2007) และมีรายงานจาก Hepher และ Sandbank (2003) ที่ทำการศึกษาผลของการเสริมฟอสฟอรัสในรูปของสารอนินทรีย์ในอาหารปลาไน พบว่าปลาไนที่ได้รับโมโนแคลเซียมฟอสเฟต จะมีอัตราการเจริญเติบโตดีกว่าปลาที่ได้รับอาหารที่มีการเสริมไดแคลเซียมฟอสเฟต

นอกจากนี้ยังมีการทดลองถึงระดับความต้องการฟอสฟอรัสที่สามารถใช้ประโยชน์ได้ในรูปแบบต่างๆ อีกด้วย ซึ่งจากการศึกษาของ Zhang และคณะ (2006) ที่ทำการศึกษาความต้องการฟอสฟอรัสของปลากะพงญี่ปุ่นระยะวัยอ่อน (*Lateolabrax japonicus*) โดยการเสริมอนินทรีย์ฟอสเฟตในรูปของโมโนแคลเซียมฟอสเฟต 5 ระดับ เมื่อสิ้นสุดการทดลองพบว่า ความต้องการฟอสฟอรัสมีค่าเท่ากับ 0.86–0.9 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งเป็นระดับที่ส่งผลทำให้การเจริญเติบโตดีที่สุด และจากรายงานการศึกษาระดับที่เหมาะสม ในการเสริมโมโนแคลเซียมฟอสเฟต ที่ส่งผลต่อการเจริญเติบโต และการขับถ่ายฟอสฟอรัสในปลาไน โดยการทดสอบอาหารที่มีระดับของโมโนแคลเซียมฟอสเฟต แตกต่างกัน 5 ระดับ (1, 2, 3, 4 และ 5 เปอร์เซ็นต์) ผสมลงในอาหารสูตรควบคุมที่ไม่มีการเสริมอนินทรีย์ฟอสเฟต พบว่า ปลาที่ได้รับอาหารที่มีส่วนผสมของโมโนแคลเซียมฟอสเฟต 2 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งมีปริมาณฟอสฟอรัสที่ใช้ประโยชน์ได้ 0.67 เปอร์เซ็นต์ มีการเจริญเติบโตสูงสุด และปริมาณขับถ่ายฟอสฟอรัสน้อยที่สุด ส่วนปลาที่ได้รับอาหารที่ไม่มีการเสริมโมโนแคลเซียมฟอสเฟตมีอัตราการเจริญเติบโตต่ำที่สุด (Kim *et al*., 1998) และมีการรายงานระดับของฟอสฟอรัสที่สามารถใช้ประโยชน์ได้ 0.7 เปอร์เซ็นต์ ส่งผลทำให้การเจริญเติบโตของปลาไนระยะวัยอ่อนดีที่สุด และการขับถ่ายปริมาณฟอสฟอรัสน้อยที่สุด ส่วนการศึกษาสารอนินทรีย์ในรูปของไดเบสิค มีการทำการศึกษาประสิทธิภาพของไดแคลเซียมฟอสเฟต และ defluorinated rock phosphates ที่ส่งผลต่อปลากดหลวง ซึ่งการทดลองดังกล่าวแบ่งออกเป็น 2 การทดลอง โดยการทดลองที่ 1 ทดสอบประสิทธิภาพของไดแคลเซียมฟอสเฟต และ defluorinated rock phosphates

ที่ส่งผลต่อการเจริญเติบโตของปลา ส่วนการทดลองที่ 2 ทดสอบประสิทธิภาพในการละลายไดแคลเซียมฟอสเฟต และ defluorinated rock phosphates ใน neutral ammonium citrate (NAC) พบว่า ปลาที่ได้รับอาหารที่มี defluorinated rock phosphates ที่ผสมลงในอาหาร มีการเจริญเติบโตสูงสุด ทั้งด้านน้ำหนักที่เพิ่มขึ้น ปริมาณเถ้าในกระดูก และอัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อ ส่วนความสามารถในการละลาย defluorinated rock phosphates มีความสามารถละลายใน neutral ammonium citrate ได้ดีกว่าไดแคลเซียมฟอสเฟต และยังพบอีกว่าเมื่อใส่ defluorinated rock phosphates ลงในสูตรอาหารจะช่วยลดการขับถ่ายฟอสฟอรัสได้อีกด้วย (Li *et al*., 1996) นอกจากนี้มีการแนะนำให้เสริมฟอสฟอรัสในรูปของไดโซเดียมฟอสเฟต 5.6 กรัมต่อกิโลกรัมอาหารแห้ง จึงจะเพียงพอแก่ความต้องการ และทำให้การเจริญเติบโตของปลาเรนโบว์เทร้าท์สูงสุด (Rodehutscord, 1996) ส่วนการเสริมอนินทรีย์ฟอสเฟตในรูปของไตรเบสิค มีรายงานจาก Apines และคณะ (2003) ได้ทำการศึกษาการใช้ประโยชน์จากการเสริมไตรแคลเซียมฟอสเฟต และไฟเตทในอาหารที่มี amino acid – chelated ซึ่งเป็นแร่ธาตุที่ต้องการในปริมาณน้อย (trace element) ในปลาเรนโบว์เทร้าท์ โดยการทดลองมีการสร้างสูตรอาหารทั้งหมด 6 สูตร โดยสูตรที่ 1 มี sulfate ผสมลงในสูตรอาหารควบคุม สูตรที่ 2 sulfate เป็นส่วนผสม และมีการเสริมไตรแคลเซียมฟอสเฟต และไฟเตท สูตรที่ 3 มี amino acid – chelated เป็นส่วนผสมในสูตรอาหารควบคุม สูตรที่ 4 มี amino acid – chelated เป็นส่วนผสม และมีการเสริมไตรแคลเซียมฟอสเฟต สูตรที่ 5 มี amino acid – chelated เป็นส่วนผสม และมีการเสริมไฟเตท และสูตรที่ 6 มี amino acid – chelated เป็นส่วนผสม และมีการเสริมไตรแคลเซียมฟอสเฟต และไฟเตท เมื่อสิ้นสุดการทดลอง พบว่า ปลาที่ได้รับอาหารสูตรที่ 2 มีการเจริญเติบโตต่ำกว่าชุดการทดลองอื่นๆ ส่วนปลาที่ได้รับอาหารสูตรที่ 3 มีทองแดง (Cu) และสังกะสี (Zn) สะสมในร่างกาย และกระดูกสูงสุด และมีการแนะนำให้ใช้ amino acid – chelated ร่วมกับไตรแคลเซียมฟอสเฟต และไฟเตทจึงจะเหมาะสมและเป็นประโยชน์สำหรับปลาเรนโบว์เทร้าท์

จะเห็นได้ว่าการเสริมอนินทรีย์ฟอสเฟตลงในอาหารนั้นขึ้นอยู่กับรูปแบบของสารอนินทรีย์ที่เสริมลงไป และชนิดของปลา แต่โดยทั่วไปแล้วปลา และสัตว์น้ำจะสามารถใช้ประโยชน์จากอนินทรีย์ฟอสเฟตในรูปของโมโนเบสิค และไดเบสิคได้ดีกว่าไตรเบสิค ทั้งนี้เนื่องมาจากฟอสฟอรัสในรูปของโมโนเบสิค และไดเบสิค อยู่ในรูปที่สามารถแตกตัวได้ง่าย และละลายน้ำได้ดีกว่าฟอสฟอรัสในรูปของไตรเบสิค อีกทั้งฟอสฟอรัสในรูปของไตรเบสิค สามารถละลายได้ในกรดแก่เท่านั้น (NRC, 1993)

1.2.5 การย่อย และการดูดซึมฟอสฟอรัส

ปลาได้รับแร่ธาตุโดยการดูดซึมจากน้ำและอาหาร (Li and Mathias, 1994) แคลเซียม และฟอสฟอรัสเป็นแร่ธาตุที่มีความสำคัญ และปลาแต่ละชนิดมีความสามารถในการดูดซึมแคลเซียม และฟอสฟอรัสได้แตกต่างกัน โดยปลาสามารถดูดซึมแคลเซียมจากน้ำได้อย่างรวดเร็ว เนื่องจากในแหล่งน้ำมีปริมาณแคลเซียมมาก (Nose and Arai, 1979) มีการรายงานจาก Hepher (1988) ว่าในแหล่งน้ำมีปริมาณแคลเซียมประมาณ 5 ppm และปลากดหลวงสามารถดูดซึมแคลเซียมในแหล่งน้ำได้ถึง 94 เปอร์เซ็นต์ ของปริมาณความต้องการทั้งหมด โดยการดูดซึมจะมีเหงือกทำหน้าที่ในการดึงแคลเซียม 88 เปอร์เซ็นต์ ของปริมาณแคลเซียมที่ได้รับ ส่วนที่เหลือจะถูกดูดซึมผ่านทางผิวหนัง (You and Hoang, 1987) และในปลาไนสามารถดูดซึมแคลเซียมอิออน (Ca^{++}) ได้อย่างรวดเร็วโดยผ่านทางเหงือก และผิวหนัง ส่วนความสามารถในการดูดซึมฟอสฟอรัสจากแหล่งน้ำ พบว่า สามารถดูดซึมผ่านทางเหงือกได้เพียง 2-3 เปอร์เซ็นต์ เท่านั้น ดังนั้นความต้องการฟอสฟอรัสส่วนใหญ่จึงได้มาจากอาหาร

ความสามารถในการย่อย และดูดซึมฟอสฟอรัสจากอาหารของปลามีความแตกต่างกัน ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับชนิดของปลา และแหล่งที่มาของฟอสฟอรัส ดังมีรายงาน การย่อยฟอสฟอรัสจะเกิดขึ้นโดยฟอสเฟตอิออนจะถูกดูดซึมเข้าสู่ตัวปลาบริเวณลำไส้ โดยอาศัยกระบวนการแอคทิฟทรานสปอร์ต (active transport) (Withers, 1992) และความแตกต่างระหว่างปลามีกระเพาะกับปลาไม่มีกระเพาะ จะส่งผลทำให้การย่อย และการดูดซึมฟอสฟอรัสแตกต่างกัน กล่าวคือ ปลามีกระเพาะ ซึ่งได้แก่ ปลาดุก ปลากะพง ปลาเรนโบว์เทร้าท์ ปลาแซลมอน เป็นต้น จะมีความสามารถในการย่อย และดูดซึมฟอสฟอรัสได้ดีกว่าปลาไม่มีกระเพาะ เช่น ปลาไน เนื่องจากปลามีกระเพาะจะมีกรดเกลือที่หลั่งออกจากกระเพาะแล้วทำให้ฟอสฟอรัสแตกตัวอยู่ในรูปอิสระ ทำให้ปลาสามารถดูดซึมฟอสฟอรัสไปใช้ประโยชน์ได้ดีกว่าปลาไม่มีกระเพาะ ซึ่งไม่มีกรดเกลือหลั่งออกมาจากกระเพาะ (Watanabe *et al*,. 1988) เช่นเดียวกันกับรายงานของ Li และ Mathias (1994) ซึ่งรายงานว่า ปลาไนเป็นปลาไม่มีกระเพาะ การดูดซึมสารละลายโมโนแคลเซียมฟอสเฟตจะมีประสิทธิภาพมากกว่าไตรแคลเซียมฟอสเฟต ในขณะเดียวกันการดูดซึมฟอสฟอรัสของปลาไนจะสามารถดูดซึมได้น้อยกว่าปลาเรนโบว์เทร้าท์ และความสามารถในการใช้ฟอสฟอรัสจากปลาป่นในปลาไนก็น้อยกว่าปลาเรนโบว์เทร้าท์เช่นเดียวกัน และยังพบอีกว่าทั้งปลาไน และปลาเรนโบว์เทร้าท์สามารถใช้ประโยชน์จากฟอสฟอรัสในรำข้าวได้น้อย ทั้งนี้เนื่องมาจากในรำข้าวมีไฟตินในปริมาณสูง ส่งผลทำให้การใช้ประโยชน์จากสารอาหารชนิดดังกล่าวต่ำลง (Rich and Bown, 1996; Francis *et al*., 2001; Chung, 2002) จากผลการศึกษาของ Debnath และคณะ (2005) พบว่าถ้า

เพิ่มปริมาณของแร่ธาตุบางตัว เช่น แคลเซียม และแมกนีเซียมลงในอาหาร จะสามารถเพิ่มการใช้ประโยชน์จากแร่ธาตุ เช่น สังกะสี เหล็ก และทองแดงได้

1.2.6 ความต้องการแร่ธาตุในปลาไน

ความต้องการแร่ธาตุของสัตว์น้ำสามารถแบ่งได้เป็นความต้องการแร่ธาตุทางคุณภาพ และความต้องการแร่ธาตุทางปริมาณ เช่นเดียวกับธาตุอาหารประเภทอื่นๆ (วีรพงศ์, 2536)

ความต้องการแร่ธาตุทางคุณภาพ (qualitative requirement)

การศึกษาด้านนี้มีข้อจำกัด ในด้านการผลิตอาหารทดสอบ เพื่อไม่ให้มีแร่ธาตุตัวที่ต้องการทดสอบ (mineral free diet) ในการทดสอบอาการขาดแร่ธาตุทำได้ยากมาก เนื่องจากแม้ว่าจะทำการผลิตอาหารทดสอบบริสุทธิ์ (purified diet) โดยใช้วัตถุดิบเช่น เคซีน เด็กซตริน อัลบูมิน น้ำมันตับปลา น้ำมันพืช วิตามิน และแร่ธาตุมาเป็นส่วนผสมในสูตรอาหารแล้วก็ตาม แต่อาหารทดสอบเหล่านี้ ก็อาจมีแร่ธาตุตัวที่ต้องการทดสอบปนอยู่บางส่วน ซึ่งสัตว์น้ำอาจนำมาใช้ได้ นอกจากนี้ สัตว์น้ำมีความสามารถในการนำเอาแร่ธาตุที่สะสมในเนื้อเยื่อออกมาใช้ได้ อีกทั้งยังสามารถดูดซึมแร่ธาตุจากแหล่งน้ำมาใช้ได้อีกด้วย จึงทำให้สัตว์น้ำไม่สามารถแสดงอาการขาดแร่ธาตุออกมา แต่สัตว์น้ำบางชนิดจะแสดงอาการขาดแร่ธาตุชัดเจน เนื่องจากมีความต้องการแร่ธาตุในปริมาณมาก การศึกษาความต้องการแร่ธาตุทางด้านคุณภาพ ทำให้ทราบว่าสัตว์น้ำมีความต้องการแร่ธาตุหลัก และแร่ธาตุรอง เพื่อทำให้การเจริญเติบโตเป็นไปอย่างปกติ (วีรพงศ์, 2536)

ความต้องการแร่ธาตุทางปริมาณ (quantitative requirement)

การศึกษาด้านนี้ยังมีอยู่จำกัด เนื่องจากต้องควบคุมปริมาณแร่ธาตุในน้ำให้คงที่หรือไม่ให้มีแร่ธาตุตัวที่ต้องการทดสอบเหลืออยู่ในน้ำ การผลิตอาหารทดสอบบริสุทธิ์ให้มีแร่ธาตุในระดับที่ต่างกัน ซึ่งทำได้ยาก เพราะสัตว์น้ำต้องการแร่ธาตุในปริมาณไม่มากนัก โดยเฉพาะแร่ธาตุรอง ซึ่งจะต้องการในปริมาณที่น้อย (มิลลิกรัม หรือไมโครกรัมต่อกิโลกรัมอาหาร)

แม้ว่าสัตว์น้ำต้องการแร่ธาตุน้อยมาก เมื่อเปรียบเทียบกับสารอาหารตัวอื่นๆ แต่อย่างไรก็ตาม การใส่แร่ธาตุสมทบในรูปของพรีมิกซ์ในอาหารสำหรับสัตว์น้ำนั้น ก็มีความจำเป็นมาก เนื่องจากสาเหตุหลายประการด้วยกัน คือ แร่ธาตุบางชนิดอาจทำงานเสริมฤทธิ์กัน เช่น เหล็กกับทองแดง หรือบางชนิดอาจทำงานยับยั้งกัน เช่น ซิลิเนียมช่วยลดความเป็นพิษของปรอท และเงิน หรืออาจมีปฏิกิริยาร่วมกับสารอาหารชนิดอื่น เช่น ซิลิเนียมกับวิตามินอี และสังกะสีกับวิตามินเอ นอกจากนั้น ปริมาณแร่ธาตุที่มีในวัตถุดิบอาหารมีปริมาณที่ไม่แน่นอน และอาจอยู่ในรูปที่รวมกับสารอื่น ทำให้สัตว์น้ำสามารถย่อย และดูดซึมไปใช้ประโยชน์ได้ต่ำ จึงควรใส่แร่ธาตุให้ครบทั้ง

คุณภาพ และปริมาณ เพื่อให้สัตว์น้ำเจริญเติบโตได้ตามปกติ (วีรพงศ์, 2536) อย่างไรก็ตาม ปัญหาที่มักประสบในทางปฏิบัติก็คือ ควรใส่แร่ธาตุปริมาณเท่าใดให้สัตว์น้ำแต่ละชนิด ซึ่งยังไม่ทราบความต้องการที่แท้จริง โดยแนวทางแก้ไขปัญหาดังกล่าว ก็อาจใช้ข้อมูลความต้องการแร่ธาตุของสัตว์น้ำที่อยู่ในกลุ่มที่ใกล้เคียงกันมาใช้แทนกับชนิดของสัตว์น้ำที่เราต้องการศึกษา

การประเมินความต้องการแร่ธาตุปกติจะใช้ความเข้มข้นของแร่ธาตุผสมกับอาหารอย่างเหมาะสม (Lall, 1989; NRC, 1993) อย่างไรก็ตาม ความต้องการแร่ธาตุจะส่งผลต่ออัตราการเจริญเติบโต ประสิทธิภาพของอาหาร และการใช้ประโยชน์จากอาหารของสัตว์น้ำ (Shearer, 1995) ประสิทธิภาพอาหารจะส่งผลต่อการได้รับอาหาร (Brett and Groves, 1979) และ Vielma (1998) แนะนำว่าความต้องการแร่ธาตุที่สมบูรณ์มีความสัมพันธ์กับพลังงานที่ได้รับ หรือน้ำหนักของร่างกายที่เพิ่มขึ้น

ความต้องการแร่ธาตุในอาหารปลาส่วนใหญ่มีความสำคัญต่อเมทาบอลิซึมของปลา โดยเฉพาะอย่างยิ่งความต้องการแร่ธาตุที่เกี่ยวข้องกับการรักษาสมดุลของของเหลว (osmoregulation) ซึ่งแร่ธาตุที่ได้รับการพิจารณาว่าเป็นปัจจัยสำคัญสำหรับโครงสร้างร่างกายของปลามี 16 ชนิด ด้วยกัน (Chow and Schell, 1980) โดยทั่วไปแล้วภาวะการขาดแคลนแร่ธาตุในปลามักจะเกิดจากสาเหตุการขาดฟอสฟอรัส แมกนีเซียม เหล็ก และไอโอดีน (Li and Mathias, 1994) ดังนั้นจึงมีการศึกษาความต้องการแร่ธาตุในปลา เพื่อช่วยให้ร่างกายของปลาเจริญเติบโตอย่างเป็นปกติ แต่ในที่นี้จะกล่าวถึงความต้องการฟอสฟอรัส ซึ่งส่วนใหญ่ฟอสฟอรัสที่ได้รับจะใช้เป็นโครงสร้างของกระดูกประมาณ 0.7–0.8 เปอร์เซ็นต์ ของอาหารทั้งหมด (Ogino and Takeda, 1978) โดยพบว่าปลาไน มีความต้องการฟอสฟอรัสที่ใช้ประโยชน์ได้ 0.7 เปอร์เซ็นต์ โดยมีโมโนแคลเซียมฟอสเฟตเป็นแหล่งที่มาของฟอสฟอรัส และค่าดังกล่าวทำให้การเจริญเติบโตของปลาไนสูงสุดและปริมาณของฟอสฟอรัสที่ถูกขับทิ้งน้อยที่สุด (Kim *et al*., 1998) นอกจากนี้ยังมีการรายงานความต้องการฟอสฟอรัสในอาหารปลาชนิดต่างๆ ดังต่อไปนี้ ปลาแฮดดอก (*Melangrammus aeglefinus* L.) ต้องการฟอสฟอรัส 0.72 เปอร์เซ็นต์ (Roy and Lall, 2003) ปลานิลแดงแปลงเพศ (*Oreochromis niloticus Linn.*) มีความต้องการฟอสฟอรัสที่ใช้ประโยชน์ได้ 0.76 เปอร์เซ็นต์ (Phromkunthong and Udom, 2006) ปลานิลแดง (*O. aureus*) ต้องการฟอสฟอรัสปริมาณ 0.5 เปอร์เซ็นต์ (Robinson *et al*., 1987) ปลานิลต้องการฟอสฟอรัสปริมาณ 0.4 – 0.9 เปอร์เซ็นต์ (Watanabe *et al*., 1980a; Viola and Arieli, 1983; Robinson *et al*., 1987; Haylor *et al*., 1988; Lovell, 1998) ปลากดหลวง มีความต้องการฟอสฟอรัส 0.8 เปอร์เซ็นต์ (Andrews *et al*., 1973) และปลากะพงขาวมีความต้องการฟอสฟอรัส 0.55 เปอร์เซ็นต์ (มะลิ และจูอะดี, 2533) จะเห็นได้ว่าความต้องการฟอสฟอรัสในอาหารปลาแต่ละชนิดเพื่อใช้ในการเจริญเติบโตของปลาให้เป็นไป

อย่างปกติจะมีความแตกต่างกัน และปลาแต่ละชนิดก็มีความสามารถในการดูดซึมฟอสฟอรัสมาใช้ประโยชน์ได้ไม่เท่ากัน โดยขึ้นอยู่กับชนิด และลักษณะของปลาดังที่กล่าวไปแล้วข้างต้น

มีรายงานเกี่ยวกับภาวการณ์ขาดแคลนแร่ธาตุที่จำเป็นอาจทำให้การเจริญเติบโตและสุขภาพของสัตว์น้ำลดลง (Lall, 1989) ถึงแม้ว่าปลาจะได้รับแคลเซียม แมกนีเซียม โซเดียม และโพแตสเซียม จากแหล่งน้ำแตกต่างกัน อาหารก็เป็นที่มาหลักของแร่ธาตุ ดังเช่น ฟอสฟอรัส เหล็ก สังกะสี แมงกานิส และคอปเปอร์ ซึ่งแร่ธาตุเหล่านี้มีปริมาณที่ต่ำในแหล่งน้ำ ภาวการณ์ขาดแคลนแร่ธาตุก็จะเกิดขึ้นแน่นอน ซึ่งบางครั้งจะไม่ส่งผลต่อการเจริญเติบโตในระยะสั้น เนื่องจากร่างกายมีสำรองไว้อยู่ในเกณฑ์ที่ต้องการ (Magge and Julshamn, 1993; Asgard and Shearer, 1997; Baeverfjord *et al*., 1998) แต่ถ้าความสมดุลของแร่ธาตุได้ผลลบ จากการสังเกตแล้วจะมีการเจริญเติบโตที่ลดลง (Baeverfjord *et al*., 1998)

ลักษณะเฉพาะของการขาดแคลนแร่ธาตุแคลเซียม คือ ทำให้การเจริญเติบโตลดลง การกลายเป็นกระดูกผิดปกติ ส่วนในปลาจะทำให้เกิดรูปร่างของส่วนหัว และหางผิดปกติ การพัฒนากระดูกในส่วนของกะโหลก และ operculum ลดลง (Lall, 2002)

การขาดแคลนฟอสฟอรัส แสดงให้เห็นถึงการแทรกซึมของไขมันในตับ และเนื้อเยื่อของกล้ามเนื้อ และทำให้กระดูกสันหลังคดงอ (Lall, 2002) และ Helland และคณะ (2005) พบว่าปลาแซลมอนวัยอ่อนที่ได้รับอาหารที่มีฟอสฟอรัสไม่เพียงพอจะมีการสะสมของมวลกระดูกต่ำ

อาการขาดแมกนีเซียมในปลากดหลวง ทำให้การเจริญเติบโตลดลง การผ่อนคลายกล้ามเนื้อเฉื่อยชา และอัตราการตายสูง แมกนีเซียมจะมีอยู่ในร่างกายของปลา ซีรัม และตรวจพบว่ามีเล็กน้อยในโครงกระดูก ในปลาไนถ้าขาดแมกนีเซียมจะส่งผลทำให้การเจริญเติบโตลดลง เบื่ออาหาร เฉื่อยชา เกิดการเกร็งตัวของกล้ามเนื้อ เนื่องมาจาก ภาวะกล้ามเนื้อไวต่อสิ่งกระตุ้นมากเกินผิดปกติ และอัตราการตายสูงเมื่อมีการขาดแมกนีเซียม (Cho *et al*., 1985)

อาการขาดเหล็กในปลาเรนโบว์เทร้าท์ ปลาหางเหลือง (*Pangasius pangasius*) ปลากะพง ปลาไน และปลาไหล (*Monopterusalbus*) ส่งผลทำให้เม็ดเลือดแดงผิดปกติ โลหิตจาง และอาการขาดไอโอดีน พบว่า ก่อให้เกิดโรคคอพอก และเนื้อเยื่อผิดปกติในปลาเรนโบว์เทร้าท์ อาการขาดสังกะสี ทำให้อัตราการตายสูง นัยน์ตาขุ่นมัว ผิวหนังและครีบหางกร่อน เบื่ออาหาร และปริมาณสังกะสีในเลือด และโครงกระดูกลดลง ในปลาเรนโบว์เทร้าท์ และปลานิล มักจะมีผลตรงกันข้าม ซึ่งอาการขาดจะส่งผลต่อเมทาบอลิซึมของ DNA RNA โปรตีน และ polysaccharides และจะส่งผลทำให้การนำไนโตรเจน และซัลเฟตไปใช้ประโยชน์ได้น้อยลง อัตราการเจริญเติบโตลดลง (Cho *et al*., 1985)

1.2.7 ปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับความต้องการฟอสฟอรัสในปลา

1.2.7.1 ชนิดของสัตว์น้ำ

ความต้องการแร่ธาตุในสัตว์น้ำแต่ละชนิดมีความแตกต่างกัน ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับชนิดของสัตว์น้ำ เช่นปลาที่อาศัยอยู่ในทะเลกับปลาที่อาศัยอยู่ในน้ำจืดมีความต้องการแร่ธาตุที่แตกต่างกัน ทั้งนี้เนื่องจากปริมาณแร่ธาตุในน้ำทะเล และน้ำจืดมีความแตกต่างกัน อีกทั้งลักษณะทางกายภาพของสัตว์น้ำแต่ละชนิดมีการปรับสมดุลแร่ธาตุในสัตว์น้ำที่อาศัยอยู่ในน้ำจืด และน้ำทะเลมีความแตกต่างกันด้วย (เวียง, 2542) เช่น การดูดซึมฟอสฟอรัสปลาแต่ละชนิดจะมีความสามารถในการดูดซึมแตกต่างกัน (Watanabe *et al*., 1988)

1.2.7.2 วัตถุดิบอาหาร

วัตถุดิบอาหารส่วนใหญ่ไม่ว่าจะเป็นวัตถุดิบสัตว์ หรือวัตถุดิบพืช ซึ่งเป็นที่มาของแร่ธาตุต่างๆ อีกหนึ่งแหล่ง แต่ในขณะเดียวกัน วัตถุดิบต่างๆ เหล่านี้ต่างมีข้อจำกัดต่อการนำไปใช้ประโยชน์ของสัตว์น้ำ เช่นในวัตถุดิบสัตว์ ได้แก่ ปลาป่น เลือดป่น ซึ่งเป็นแหล่งที่มาหลักของโปรตีนในอาหารสำหรับสัตว์น้ำ มีปริมาณฟอสฟอรัสสูง แต่อยู่ในรูปของไฮดรอกซีอะพาไทต์หรือไตรแคลเซียมฟอสเฟต ซึ่งฟอสฟอรัสในรูปดังกล่าวสัตว์น้ำไม่สามารถนำมาใช้ประโยชน์ได้ (Jobling, 1994) ส่วนในวัตถุดิบพืช ได้แก่ กากถั่วเหลือง ข้าวโพด ปลายข้าว และรำ เป็นต้น ซึ่งฟอสฟอรัสที่อยู่ในรูปของวัตถุดิบพืช โดยทั่วไปจะมีกรดไฟติก (phytic) ซึ่งไม่สามารถนำมาใช้ประโยชน์ได้เช่นเดียวกัน และถ้ามีปริมาณมากเกินไปจะส่งผลทำให้การดูดซึมแคลเซียมผ่านกระเพาะอาหารหรือลำไส้ได้น้อยลง (Papatryphon *et al*., 1999)

1.2.7.3 ความสัมพันธ์ระหว่างแร่ธาตุกับแร่ธาตุ

ความสัมพันธ์ระหว่างแร่ธาตุกับแร่ธาตุก็เป็นอีกปัจจัยหนึ่งที่สำคัญต่อความต้องการแร่ธาตุของสัตว์น้ำ เช่นแคลเซียม และฟอสฟอรัส ซึ่งแร่ธาตุทั้ง 2 ชนิดนี้เป็นองค์ประกอบที่สำคัญของไฮดร๊อกซีอะพาไทต์ ในการตกผลึกของกระดูก ความต้องการแคลเซียมในปลาขึ้นอยู่กับปัจจัยต่างๆ ได้แก่ คุณสมบัติทางเคมีของน้ำ ระดับของฟอสฟอรัสในอาหาร และความแตกต่างของชนิดของสัตว์น้ำ หรือกล่าวอีกนัยหนึ่งคือ สัดส่วนของแคลเซียมกับฟอสฟอรัสมีความสำคัญต่อการดูดซึมฟอสฟอรัส โดยถ้าสัดส่วนดังกล่าวเพิ่มขึ้นจะทำให้การดูดซึมฟอสฟอรัสลดลง (Lall, 2002) เช่นเดียวกับการรายงานในปลาดุก (Andrews *et al*., 1973) ปลาแซลมอน (Lall and Bishop, 1977) ปลาเรนโบว์เทร้าท์ (Ogino and Takeda, 1978) ปลาไน (Nakamura, 1982) ปลาหมอเทศ (*O. mossambicus*) (Flik *et al*., 1986) และในปลากดหลวง (Gatlin and Phillips, 1989) จากการศึกษาของ Chao-xia Ye และคณะ (2006) ศึกษาผลของแคลเซียม และฟอสฟอรัสในปลา

กะรังระยะวัยรุ่น (*Epinephelus coioides*) มีอาหาร 6 สูตร กำหนดให้มีระดับฟอสฟอรัส 2 ระดับ คือ การเสริม และไม่เสริมฟอสฟอรัส โดยใช้ casein และ gelatin เป็นแหล่งของโปรตีน ในปลากะรังที่มีน้ำหนักเริ่มต้น 29.8 กรัม ให้อาหารจนอิ่ม และเลี้ยงเป็นเวลา 10 สัปดาห์ ปลาที่ได้รับอาหารที่ไม่มีการเสริมฟอสฟอรัสจะแสดงการเจริญเติบโต ประสิทธิภาพการใช้อาหาร ความอยากกินอาหาร และปริมาณเถ้าลดลง การสะสมของแร่ธาตุ Ca, P และ Mg ในเกล็ด และกระดูกเพิ่มขึ้น และมีไขมันสะสมในร่างกายเพิ่มขึ้น ขณะที่สูตรอาหารที่ไม่มีการเสริมฟอสฟอรัส และมีการเสริมแคลเซียมที่ 6 กรัม ต่ออาหาร 1 กิโลกรัม ไม่มีผลต่อการเจริญเติบโต ปริมาณเถ้าในเกล็ด และกระดูกปีดเหงือกมีการสะสมของแร่ธาตุ Ca, P, Mg และ Zn ในเกล็ดเพิ่มขึ้น ขณะที่ประสิทธิภาพการใช้อาหารก็เพิ่มขึ้นด้วยเช่นกัน และการสะสมของแร่ธาตุ Ca และ P บริเวณกระดูกปิดเหงือกมีค่าต่ำ ขณะที่การเสริม Ca และ P ในอาหารที่ 6 กรัม ต่ออาหาร 1 กิโลกรัม พบว่าไม่มีผลต่อการเจริญเติบโต ปริมาณเถ้า และการสะสมแร่ธาตุ Ca, P และ Mg ในเกล็ด และกระดูกปิดเหงือก แต่การเสริมแคลเซียมมากกว่า 12 กรัม ต่ออาหาร 1 กิโลกรัม ให้ผลในทางลบต่อการสะสมแร่ธาตุ Ca, P, Mg และ Zn โดยมีผลทำให้การสะสมแร่ธาตุดังกล่าวในเกล็ดมีค่าน้อยลง และทำให้การเจริญเติบโตของปลาลดลง

Chavez-Sanchez และคณะ (2000) ศึกษาความต้องการฟอสฟอรัส และแคลเซียมของปลา American cichlid (*Cichlasoma urophthalmus*) มีน้ำหนักปลาเริ่มต้น 0.4 กรัม ให้อาหารจนอิ่ม และใช้ระยะเวลาในการเลี้ยง 10 สัปดาห์ โดยอัตราส่วนระหว่าง Ca และ P อยู่ที่ระดับ 1:1, 1.33:1, 1.5:1, 1.6:1 และ 2.0:1 และเมื่อสิ้นสุดการทดลองพบว่าสัดส่วนที่เหมาะสมของ Ca และ P อยู่ที่ระดับ 1.33:1 ดังนั้นสภาวะการขาดฟอสฟอรัสอาจส่งผลให้มีการเจริญเติบโตลดลง การสะสมของไขมันในตัว และปริมาณแร่ธาตุที่สะสมในกระดูกลดลง การเพิ่มขึ้นของระดับแคลเซียม และฟอสฟอรัสช่วยให้การเจริญเติบโตและการสะสมของแร่ธาตุเพิ่มขึ้น

Paul และคณะ (2004) ศึกษาความต้องการฟอสฟอรัส และความเหมาะสมของสัดส่วนของแคลเซียมและฟอสฟอรัสระยะปลานิ้วในปลา mrigal (*Cirrhinus mrigala*) โดยมีน้ำหนักเฉลี่ยเริ่มต้น 6 กรัม ให้อาหารจนอิ่มและใช้ระยะเวลาในการเลี้ยง 12 สัปดาห์ ในอาหารบริสุทธิ์จำนวน 5 สูตร คือ มีอัตราส่วนของแคลเซียมต่อฟอสฟอรัสในสัดส่วน 1:0(0.35:0), 1:1(0.35:0.35), 1:2(0.31:0.63), 1:3(0.24:0.71) และ 1:4(0.19:0.75) ตามลำดับ จากการทดลองพบว่าอัตราการเจริญเติบโต และอัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อที่มีความเหมาะสมมีสัดส่วนของแคลเซียมต่อฟอสฟอรัสมีค่าเท่ากับ 1:4(0.19:0.75) นอกจากนี้มีผลให้ระดับโปรตีน ไขมัน และเปอร์เซ็นต์ของฟอสฟอรัสมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อมีระดับของฟอสฟอรัสสูงขึ้น

1.2.7.4 ความสัมพันธ์ระหว่างแร่ธาตุกับสารอาหารอื่นๆ

นอกจากความสัมพันธ์ระหว่างแร่ธาตุกับแร่ธาตุแล้ว ความสัมพันธ์ระหว่างแร่ธาตุกับสารอาหารตัวอื่นๆ ก็เป็นอีกปัจจัยหนึ่งที่ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงระดับของแร่ธาตุ หรือการนำแร่ธาตุมาใช้ประโยชน์ เช่น การขาดวิตามินเคในอาหารซึ่งส่งผลต่อการยับยั้งการเปลี่ยนเป็นแร่ธาตุในตัวสัตว์น้ำ ดังมีการรายงานของ Roy และ Lall (2007) ที่ทำการศึกษาผลของการขาดวิตามินเคต่อการยับยั้งการเปลี่ยนเป็นแร่ธาตุ และการพัฒนากระดูกที่ผิดปกติในปลาแฮดดอก ซึ่งเป็นที่รู้กันว่า วิตามินเคเป็นตัวหนึ่งที่ควบคุมการสร้างกระดูก และการสังเคราะห์เซลล์กระดูก โดยมีความสำคัญต่อโครงสร้างของกระดูก และการเปลี่ยนเป็นแร่ธาตุในกระดูก นอกจากนี้ วิตามินเคยังเกี่ยวข้องกับการเปลี่ยนแปลงด้านจุลกายวิภาควิทยา โดยทำการเปรียบเทียบระหว่างปลาที่ได้รับอาหารกึ่งบริสุทธิ์ที่ปราศจากวิตามินเค (0.00 มิลลิกรัม/อาหาร 1 กิโลกรัม) กับปลาที่ได้รับอาหารที่มีปริมาณวิตามินเคที่เพียงพอ (40 มิลลิกรัม/อาหาร 1 กิโลกรัม มีปริมาณวิตามินเค 20.8 มิลลิกรัม/อาหาร 1 กิโลกรัม) โดยใช้ menadione sodium bisulphate เป็นแหล่งที่มาของวิตามินเค และทดลองเลี้ยงเป็นระยะเวลา 20 สัปดาห์ เมื่อสิ้นสุดการทดลอง นำปลามาทดสอบและเอ็กซเรย์ เพื่อหาปริมาณแร่ธาตุที่มีในกระดูก โดยการทดสอบทางเนื้อเยื่อวิทยา ลักษณะกายภาพของเนื้อเยื่อ และเอนไซม์ในเนื้อเยื่อ เพื่อใช้ในการกำหนดการสร้าง และการดูดซึมของกระดูก พบว่าการขาดวิตามินเคส่วนใหญ่จะทำให้ปริมาณแร่ธาตุในกระดูก และขนาดของกระดูกลดลง ส่งผลทำให้กระดูกมีความผิดปกติ หรือมีรูปร่างเปลี่ยนไป

1.3 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. เพื่อศึกษาเปรียบเทียบรูปแบบของอนินทรีย์ฟอสเฟตรูปแบบต่างๆ คือ โมโนโซเดียมฟอสเฟต ไดแคลเซียมฟอสเฟต และไตรแคลเซียมฟอสเฟต ที่ส่งผลต่อการเจริญเติบโตและการใช้ประโยชน์จากฟอสฟอรัสของปลาไน

2. เพื่อศึกษาการเสริมชนิดของอนินทรีย์ฟอสเฟต และระดับที่เหมาะสม โดยปลาไนสามารถใช้ประโยชน์ได้สูงสุด และส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมน้อยที่สุด

บทที่ 2
วัสดุ อุปกรณ์ และวิธีการทดลอง

2.1 วัสดุ และอุปกรณ์

2.1.1 อุปกรณ์ที่ใช้ในการเลี้ยงปลาทดลอง

- ตู้กระจกขนาด 45 x 91 x 45 เซนติเมตร ความจุน้ำ 185 ลิตร จำนวน 33 ตู้ ปิดด้านข้าง และด้านหลังตู้ด้วยแผ่นพลาสติกสีทึบ เพื่อป้องกันการถูกรบกวน
- ถังไฟเบอร์กลาสขนาดความจุ 1 ตัน
- อุปกรณ์ระบบให้อากาศ ประกอบด้วย เครื่องให้อากาศ สายยาง หัวทราย
- อุปกรณ์ถ่ายน้ำ ประกอบด้วย สายยาง
- อุปกรณ์ขนย้ายปลา ประกอบด้วย สายยาง สวิงตักปลา ถังพลาสติก

2.1.2 อุปกรณ์เตรียมอาหารทดลอง

- เครื่องมือเตรียมอาหาร (Hobart Model A 200 T) ประกอบด้วย ชุดเครื่องผสมอาหารแบบมีใบพัด ชุดเครื่องอัดเม็ดอาหาร
- เครื่องอบอาหาร
- อุปกรณ์ชั่งตวงวัสดุอาหาร ได้แก่ เครื่องชั่งทศนิยม 2 ตำแหน่ง (Satorius รุ่น Basic) เครื่องชั่งทศนิยม 4 ตำแหน่ง (Satorius รุ่น Research) กระบอกตวง บีกเกอร์ ถาดเตรียมอาหาร
- ตู้แช่แข็ง เพื่อเก็บรักษาอาหารทดลองระหว่างรอนำไปใช้

2.1.3 อุปกรณ์สำหรับวิเคราะห์ส่วนประกอบทางโภชนาการของอาหารทดลอง และตัวปลา

- อุปกรณ์วิเคราะห์ความชื้น ได้แก่ ถ้วยกระเบื้องเคลือบ (crucible) ฟอยล์ (foil) ตู้อบ (hot air oven ของ Memmert) โถดูดความชื้น (desiccator) เครื่องชั่งไฟฟ้า 4 ตำแหน่ง
- อุปกรณ์วิเคราะห์โปรตีน ได้แก่ เครื่องย่อย (digestion apparatus ของ Gerhardt รุ่น Kjeldatherm) เครื่องกลั่น (distillation apparatus ของ Gerhardt รุ่น Vapodest l) หลอดย่อยโปรตีน (digestion tube) กระบอกตวง บีกเกอร์ บิวเรต ขวดรูปชมพู่
- อุปกรณ์วิเคราะห์เถ้า ได้แก่ ถ้วยกระเบื้องเคลือบ เตาเผา (muffle furnace ของ Gallenkamp) โถดูดความชื้น เครื่องชั่งไฟฟ้า 4 ตำแหน่ง
- อุปกรณ์วิเคราะห์ไขมัน ได้แก่ ชุดเครื่องมือวิเคราะห์ไขมัน (Soxtec System HT6) ไส้กรองสาร ถ้วยสกัดสาร ตู้อบ โถดูดความชื้น เครื่องชั่งไฟฟ้า 4 ตำแหน่ง

- อุปกรณ์วิเคราะห์ฟอสฟอรัส และแคลเซียม ได้แก่ ตู้อบ โถอบแห้ง เครื่องชั่งไฟฟ้า 4 ตำแหน่ง แผ่นให้ความร้อน (0–300 องศาเซลเซียส) ขวดรูปชมพู่ ขวดปรับปริมาตรขนาด 25 มิลลิลิตร หลอดแก้ว ขวดพลาสติก และเครื่องวัดค่าการดูดกลืนแสง

2.1.4 อุปกรณ์สำหรับการวิเคราะห์ประสิทธิภาพการย่อย

- อุปกรณ์เก็บมูลปลา ได้แก่ สายยาง ถุงผ้าขาวบางขาดช่องตา 50 ไมครอน

- อุปกรณ์วิเคราะห์โครมิคออกไซด์ ได้แก่ ตู้อบ โถอบแห้ง โกร่งบดตัวอย่าง เครื่องชั่งไฟฟ้า 4 ตำแหน่ง แผ่นให้ความร้อน (0 – 300 องศาเซลเซียส) ขวดรูปชมพู่ ขวดปรับปริมาตรขนาด 25 มิลลิลิตร และขวดพลาสติก

- เครื่องวัดการดูดกลืนแสง

2.1.5 อุปกรณ์สำหรับวิเคราะห์องค์ประกอบเลือด

- อุปกรณ์เจาะเลือดปลา ได้แก่ เข็มขนาด 25 G และหลอดฉีดยาขนาด 1 มิลลิลิตร

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

2.1.6 อุปกรณ์สำหรับตรวจสอบการเจริญเติบโตของปลา

ประกอบด้วย เครื่องชั่งไฟฟ้าทศนิยม 2 ตำแหน่ง ถังสำหรับบรรจุน้ำ ขันพลาสติก และสวิงช้อนปลา

2.2 การเตรียมการทดลอง

2.2.1 อุปกรณ์การทดลอง

ตู้กระจกขนาด 45 x 91 x 45 เซนติเมตร ความจุน้ำ 185 ลิตร ทำความสะอาดและติดตั้งอุปกรณ์ให้อากาศประกอบด้วย เครื่องให้อากาศ สายออกซิเจน หัวทราย แล้วเติมน้ำประปาที่ปราศจากคลอรีน ให้ได้ปริมาตร 150 ลิตร ปิดพลาสติกสีทึบที่ตู้ทั้ง 3 ด้านเพื่อป้องกันการถูกรบกวนจากภายนอก ในขณะทำการทดลอง เตรียมบ่อคอนกรีตสำหรับพักน้ำเพื่อไว้ใช้ในการเปลี่ยนถ่ายน้ำ

2.2.2 ปลาทดลอง

นำปลาไนมาอนุบาลในถังไฟเบอร์กลาสขนาดความจุ 1,000 ลิตร เพื่อให้ได้ลูกปลามีน้ำหนักเริ่มต้นประมาณ 3-5 กรัมต่อตัว โดยให้อาหารทดลองสูตรควบคุมที่มีปริมาณปลาป่นระดับต่ำ วันละ 2 ครั้ง คือเวลา 09.00 และ 16.00 น. เมื่อปลาได้ขนาดตามที่ต้องการแล้ว ชั่งน้ำหนักปลาเริ่มต้นด้วยเครื่องชั่งไฟฟ้าทศนิยม 2 ตำแหน่งโดยก่อนชั่งงดให้อาหารปลาก่อนเป็นเวลาครึ่งวัน

2.2.3 อาหารทดลอง

อาหารทดลองมีจำนวนทั้งหมด 11 สูตร สูตรที่ 1 เป็นสูตรที่มีปริมาณปลาป่นสูง สูตรที่ 2 เป็นสูตรที่มีปริมาณปลาป่นต่ำ ส่วนสูตร 3-11 เป็นสูตรที่ใช้ปลาป่นต่ำเหมือนสูตรที่ 2 และเสริมอนินทรีย์ฟอสเฟต 3 รูปแบบลงในอาหาร คือ โมโนโซเดียมฟอสเฟต (MSP), ไดแคลเซียมฟอสเฟต (DCP) และ ไตรแคลเซียมฟอสเฟต (TCP) ให้มีปริมาณฟอสฟอรัสที่ใช้ประโยชน์ได้ (Available phosphorus, AvP) 3 ระดับ คือ 0.4, 0.7 และ 1.5% [ค่า AvP ที่ได้มาจากการคำนวณประสิทธิภาพการย่อยวัตถุดิบต่างๆ คือ ปลาป่น กากถั่วเหลือง แป้งมันสำปะหลัง แป้งสาลี น้ำมันถั่วเหลือง และน้ำมันปลา อ้างอิงจาก Li และ Mathias (1994) ส่วนประสิทธิภาพการย่อยอนินทรีย์ฟอสเฟตรูปแบบต่างๆ คือ โมโนโซเดียมฟอสเฟต ไดแคลเซียมฟอสเฟต และไตรแคลเซียมฟอสเฟต อ้างอิงจาก Watanabe และคณะ (1988) และกำหนดให้อาหารทุกสูตรมีสารอาหารในระดับที่ใกล้เคียงกันคือ โปรตีน 35% ไขมัน 7% ดังแสดงในตารางที่ 4

ขั้นตอนในการเตรียมอาหารทดลองมีดังต่อไปนี้

1. วิเคราะห์คุณค่าทางโภชนาการของวัตถุดิบทดลอง คือ วิเคราะห์โปรตีน ไขมัน ความชื้น เถ้า เยื่อใย ฟอสฟอรัส และแคลเซียมจากนั้นสร้างสูตรอาหารโดยคำนวณอาหารทดลองทุกสูตร ให้มีระดับของโปรตีน ไขมัน และไนโตรเจนฟรีเอกซ์แทรกซ์ใกล้เคียงกัน

2. ชั่งวัตถุดิบอาหารที่ผ่านการร่อนจากตะแกรงขนาด 30 เมช ชั่งวัตถุดิบทั้งหมดตามอัตราส่วนที่ต้องการแยกถุงไว้ใช้ในแต่ละชุดการทดลอง (ดังแสดงในตารางที่ 3)

3. นำวัตถุดิบทั้งหมดที่แยกไว้ข้างต้น (ยกเว้นน้ำมันถั่วเหลือง และน้ำมันปลา) มาผสมคลุกเคล้าให้เข้ากันด้วยเครื่องผสมอาหารประมาณ 15 นาที โดยในช่วง 5 นาทีแรกให้ใส่น้ำมันถั่วเหลือง และน้ำมันปลา หลังจากนั้นอีก 5 นาที เติมน้ำสะอาด 35 เปอร์เซ็นต์ จนครบตามเวลาที่กำหนดเพื่อให้วัตถุดิบอาหารเข้าสู่กระบวนการอัดเม็ด

4. นำวัตถุดิบอาหารที่ผสมกันดีแล้วเข้าเครื่องอัดเม็ดอาหาร ผ่านหน้าแว่นที่ผ่านขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 2 มิลลิเมตร โดยอัดเม็ดอาหารให้มีขนาดใกล้เคียงกัน

5. อบอาหารที่อุณหภูมิ 60-80 องศาเซลเซียส นาน 12 ชั่วโมง

6. เก็บอาหารทดลองที่ผ่านกระบวนการอบแล้วบรรจุในถุงพลาสติก เก็บรักษาไว้ในตู้เย็นที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส

7. นำอาหารที่เตรียมแล้วไปวิเคราะห์คุณค่าทางโภชนาการ ได้แก่ ความชื้น โปรตีน ไขมัน เถ้า เยื่อใย ฟอสฟอรัส และแคลเซียม ตามวิธีของ AOAC (1990) ส่วนปริมาณคาร์โบไฮเดรต (ไนโตรเจนฟรีเอกซ์แทรกซ์, nitrogen free extract, NFE) คำนวณได้จากสูตร

nitrogen free extract หรือ NFE = 100 - (ความชื้น + โปรตีน + ไขมัน + เถ้า + เยื่อใย)

2.3 วิธีการทดลอง

2.3.1 ระเบียบวิธีการวิจัย

การศึกษาครั้งนี้เป็นการศึกษารูปแบบ และระดับของฟอสฟอรัสที่เหมาะสมในอาหารปลาไน ซึ่งมีอาหารทดลองทั้งหมด 11 สูตร โดยมีการเปรียบเทียบรูปแบบอนินทรีย์ฟอสเฟต 3 รูปแบบ คือ โมโนโซเดียมฟอสเฟต ไดแคลเซียมฟอสเฟต และไตรแคลเซียมฟอสเฟต ในระดับฟอสฟอรัสที่สามารถใช้ประโยชน์ได้แตกต่างกัน 3 ระดับ คือ 0.4, 0.7 และ1.5 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ซึ่งการเลือกใช้ระดับของฟอสฟอรัสที่สามารถใช้ประโยชน์ได้นั้นได้เลือกใช้ตามรายงานของ Kim และคณะ (1998) และในการกำหนดค่าดังกล่าวนั้นได้กำหนดให้อยู่ในระดับที่ขาด พอดี และเกิน เพื่อต้องการทราบระดับความต้องการฟอสฟอรัสที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของปลาไน และเพื่อลดปริมาณการขับถ่ายฟอสฟอรัสลงสู่แหล่งน้ำ โดยอาหารที่ใช้ในการทดลองทั้งหมด 11 สูตร คือ

สูตรที่ 1 อาหารที่มีปลาป่นระดับสูง ไม่มีการเสริมอนินทรีย์ฟอสเฟต และมีปริมาณปลาป่นในระดับที่สูง

สูตรที่ 2 อาหารที่มีปลาป่นระดับต่ำ ไม่มีการเสริมอนินทรีย์ฟอสเฟต และมีปริมาณปลาป่นในระดับที่ต่ำ

สูตรที่ 3 สูตรที่มีปริมาณปลาป่นในระดับต่ำ และเสริมโมโนโซเดียมฟอสเฟตให้มีปริมาณฟอสฟอรัสที่ใช้ประโยชน์ได้ 0.4 เปอร์เซ็นต์

สูตรที่ 4 สูตรที่มีปริมาณปลาป่นในระดับต่ำ และเสริมโมโนโซเดียมฟอสเฟตให้มีปริมาณฟอสฟอรัสที่ใช้ประโยชน์ได้ 0.7 เปอร์เซ็นต์

สูตรที่ 5 สูตรที่มีปริมาณปลาป่นในระดับต่ำ และเสริมโมโนโซเดียมฟอสเฟตให้มีปริมาณฟอสฟอรัสที่ใช้ประโยชน์ได้ 1.5 เปอร์เซ็นต์

สูตรที่ 6 สูตรที่มีปริมาณปลาป่นในระดับต่ำ และเสริมไดแคลเซียมฟอสเฟตให้มีปริมาณฟอสฟอรัสที่ใช้ประโยชน์ได้ 0.4 เปอร์เซ็นต์

สูตรที่ 7 สูตรที่มีปริมาณปลาป่นในระดับต่ำ และเสริมไดแคลเซียมฟอสเฟตให้มีปริมาณฟอสฟอรัสที่ใช้ประโยชน์ได้ 0.7 เปอร์เซ็นต์

สูตรที่ 8 สูตรที่มีปริมาณปลาป่นในระดับต่ำ และเสริมไดแคลเซียมฟอสเฟตให้มีปริมาณฟอสฟอรัสที่ใช้ประโยชน์ได้ 1.5 เปอร์เซ็นต์

สูตรที่ 9 สูตรที่มีปริมาณปลาป่นในระดับต่ำ และเสริมไตรแคลเซียมฟอสเฟตให้มีปริมาณฟอสฟอรัสที่ใช้ประโยชน์ได้ 0.4 เปอร์เซ็นต์

สูตรที่ 10 สูตรที่มีปริมาณปลาป่นในระดับต่ำ และเสริมไตรแคลเซียมฟอสเฟตให้มีปริมาณฟอสฟอรัสที่ใช้ประโยชน์ได้ 0.7 เปอร์เซ็นต์

สูตรที่ 11 สูตรที่มีปริมาณปลาป่นในระดับต่ำ และเสริมไตรแคลเซียมฟอสเฟตให้มีปริมาณฟอสฟอรัสที่ใช้ประโยชน์ได้ 1.5 เปอร์เซ็นต์

ตารางที่ 2: ผลการวิเคราะห์คุณค่าทางโภชนาการของวัตถุดิบอาหารทดลอง[1]

วัตถุดิบ	ความชื้น (%)	โปรตีน (%)	ไขมัน (%)	เถ้า (%)	เยื่อใย (%)	NFE (%)	ฟอสฟอรัส (%)	แคลเซียม (%)
ปลาป่น	8.68 ± 0.04	60.27 ± 0.74	16.13 ± 0.10	8.81 ± 0.17	0.10	6.012	2.01 ± 0.04	1.6 ± 0.02
กากถั่วเหลือง	10.40 ± 0.04	42.45 ± 0.13	7.28 ± 0.04	2.18 ± 0.04	7.00	30.696	0.63 ± 0.09	0.08 ± 0.01
แป้งมันสำปะหลัง	11.44 ± 0.07	2.25 ± 0.08	4.29 ± 0.04	0.62 ± 0.01	2.92	78.475	0.17 ± 0.01	0.01 ± 0.02
แป้งสาลี	11.16 ± 0.21	9.91 ± 0.26	0.59 ± 0.02	1.06 ± 0.15	0.30	76.976	0.19 ± 0.02	0.08 ± 0.02
โมโนโซเดียมฟอสเฟต[2]	-	-	-	-	-	-	21.16 ± 0.60	-
ไดแคลเซียมฟอสเฟต[3]	-	-	-	-	-	-	17.41 ± 1.18	28.00 ± 0.03
ไตรแคลเซียมฟอสเฟต[4]	-	-	-	-	-	-	19.71 ± 0.22	37.51 ± 0.05

[1] ตัวเลขที่นำเสนอเป็นค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน จากการวิเคราะห์ตัวอย่าง 3 ซ้ำ

[2] โมโนโซเดียมฟอสเฟต [NaH_2PO_4. $2H_2O$] ประเภท analytical grad ยี่ห้อ UNIVAR จากบริษัท Ajax Finechem Pty Ltd

[3] ไดแคลเซียมฟอสเฟต [$CaHPO_4$ H_2O] ประเภท feed grad เป็นผลิตภัณฑ์นำเข้าจากประเทศจีน

[4] ไตรแคลเซียมฟอสเฟต [Ca_3 $(PO_4)_2$] ประเภท food and pharmaceutical grad เป็นผลิตภัณฑ์นำเข้าจากประเทศจีน

ตารางที่ 3: ส่วนประกอบของอาหารทดลอง 11 สูตร (กรัม / อาหาร 100 กรัม)

วัตถุดิบอาหาร	สูตรที่ 1 อาหารที่มีปลาป่นสูง	สูตรที่ 2 อาหารที่มีปลาป่นต่ำ	สูตรที่ 3 MSP AvP 0.4%	สูตรที่ 4 MSP AvP 0.7%	สูตรที่ 5 MSP AvP 1.5%	สูตรที่ 6 DCP AvP 0.4%	สูตรที่ 7 DCP AvP 0.7%	สูตรที่ 8 DCP AvP 1.5%	สูตรที่ 9 TCP AvP 0.4%	สูตรที่ 10 TCP AvP 0.7%	สูตรที่ 11 TCP AvP 1.5%
ปลาป่น	45	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16
กากถั่วเหลือง	14	57	57	57	57	57	57	57	57	57	57
แป้งมันสำปะหลัง	19.5	7.7	7.2	5.45	0.7	6.7	2.9	0	6.45	2.1	0
แป้งสาลี	15	10	10	10	10	10	10	2.8	10	10	0.3
น้ำมันปลา	2	3.8	3.8	3.8	3.8	3.8	3.8	3.8	3.8	3.8	3.8
น้ำมันถั่วเหลือง	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
วิตามิน[1]	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
แร่ธาตุผสม[2]	2	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
โมโนโซเดียมฟอสเฟต (MSP)	-	-	0.5	2.25	7	-	-	-	-	-	-
ไดแคลเซียมฟอสเฟต (DCP)	-	-	-	-	-	1	4.8	14.9	-	-	-
ไตรแคลเซียมฟอสเฟต (TCP)	-	-	-	-	-	-	-	-	1.25	5.6	17.4
โครมิคออกไซด์ (Cr_2O_3)	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5

[1]Vitamin premix (mg/1 kg feed): Thiamine (B_1) 10; Riboflavin (B_2) 20; Pyridoxine (B_6) 10; Cobalamin (B_{12}) 0.05; Retinal (A) 4 (7,000 IU); Cholecalciferol (D_3) 0.1 (4,000 IU); Phylloquinone (K_1) 80; Folic acid 5; Calcium pantothenate 40; Inositol 400; Niacin 150; Tocopherol (E) 60 (66 IU); Ascorbic acid (C) 500; Biotin 3; Vitamin A (vitamin A-palmitate) 1,750 IU/mg; Vitamin D (vitamin D_3; cholecalciferol) 40,000 IU/mg; Vitamin E (vitamin E; DL-α-tocopherol) 1.1 IU/mg

[2]Mineral premix (mg/1 kg feed): Na 3.304; Mg 25; K 76.471; Fe 8.842; Zn 0.664; Mn 0.329; Cu 0.069; Co 0.00199; I 0.0098

ตารางที่ 4: คุณค่าทางโภชนาการของอาหารทดลอง (as fed basis)[1]

สูตรอาหาร	รูปแบบ	ระดับ (%)	ความชื้น (%)	โปรตีน (%)	ไขมัน (%)	เถ้า (%)	เยื่อใย (%)[2]	NFE (%)[3]	ฟอสฟอรัส (%)	แคลเซียม (%)
1	อาหารที่มีปลาป่นระดับสูง		6.36 ± 0.81	36.31 ± 0.29	7.67 ± 0.39	11.33 ± 0.12	1.65	36.68 ± 0.59	1.15 ± 0.18	2.35 ± 0.01
2	อาหารที่มีปลาป่นระดับต่ำ		6.28 ± 0.57	35.16 ± 0.71	7.82 ± 0.22	9.52 ± 0.22	4.28	36.94 ± 0.81	0.97 ± 0.04	1.68 ± 0.02
3	MSP	AvP 0.4	6.01 ± 0.16	35.60 ± 0.60	7.03 ± 0.16	9.84 ± 0.11	4.26	37.25 ± 0.51	1.01 ± 0.04	1.51 ± 0.01
4	MSP	AvP 0.7	6.12 ± 0.22	35.55 ± 0.66	7.42 ± 0.57	10.90 ± 0.05	4.21	35.81 ± 0.55	1.35 ± 0.15	1.57 ± 0.01
5	MSP	AvP 1.5	6.00 ± 0.05	35.73 ± 0.79	7.30 ± 0.16	13.47 ± 0.09	4.07	33.42 ± 0.57	1.92 ± 0.08	1.62 ± 0.01
6	DCP	AvP 0.4	6.29 ± 0.43	35.03 ± 0.71	7.49 ± 0.40	10.54 ± 0.13	4.25	36.40 ± 0.96	1.07 ± 0.04	1.67 ± 0.01
7	DCP	AvP 0.7	6.12 ± 0.71	35.58 ± 0.89	7.32 ± 0.35	14.05 ± 0.04	4.14	32.79 ± 1.63	1.51 ± 0.16	3.21 ± 0.02
8	DCP	AvP 1.5	6.02 ± 0.56	35.66 ± 0.57	7.08 ± 0.22	23.63 ± 0.13	4.02	23.58 ± 0.46	2.63 ± 0.05	6.17 ± 0.08
9	TCP	AvP 0.4	6.17 ± 0.69	36.11 ± 0.18	7.39 ± 0.01	10.82 ± 0.13	4.24	35.26 ± 0.63	1.29 ± 0.10	2.26 ± 0.01
10	TCP	AvP 0.7	6.01 ± 0.53	36.33 ± 0.20	7.58 ± 0.35	14.85 ± 0.17	4.11	31.12 ± 0.53	1.65 ± 0.10	3.57 ± 0.02
11	TCP	AvP 1.5	6.01 ± 0.55	36.19 ± 0.84	7.03 ± 0.21	26.34 ± 0.10	4.01	20.43 ± 1.10	3.61 ± 0.02	8.00 ± 0.04

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

[2] ตัวเลขที่นำเสนอเป็นค่าที่ได้จากการคำนวณจากวัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตอาหารทดลองในครั้งนี้

[3] NFE (Nitrogen Free Extract) = 100 – (% ความชื้น - % โปรตีน - % ไขมัน - % เถ้า - % เยื่อใย)

2.3.2 การวางแผนการทดลอง

วางแผนการทดลองแบบแฟกเตอร์เรียล (Factorial design) โดยกำหนดปัจจัย 2 ปัจจัย ซึ่งปัจจัยที่ 1 คือ รูปแบบของอนินทรีย์ฟอสเฟต ปัจจัยที่ 2 คือ ระดับของอนินทรีย์ฟอสเฟต โดยใช้อาหารทดลองจำนวน 11 สูตร จัดให้แต่ละชุดการทดลองมีจำนวน 3 ซ้ำ ระยะเวลาในการทดลองทั้งสิ้นเป็นเวลา 8 สัปดาห์ มีหน่วยทดลองทั้งหมด 33 หน่วยทดลอง โดยอาหารทดลองสูตรที่ 1 และสูตรที่ 2 ไม่มีการเสริมอนินทรีย์ฟอสเฟต และใช้ปลาในปริมาณที่สูง และต่ำ และสูตรอาหารที่ 3-11 มีการเสริมอนินทรีย์ฟอสเฟต 3 รูปแบบ รูปแบบละ 3 ระดับ ตามรายละเอียดในการเตรียมอาหารทดลอง ก่อนเริ่มต้นการทดลอง เก็บตัวอย่างปลาเพื่อนำไปวิเคราะห์ความชื้น และองค์ประกอบทางเคมีของปลา คือ โปรตีน ไขมัน เถ้า ฟอสฟอรัส และแคลเซียม ตามวิธีมาตรฐานของ AOAC (1990) และเมื่อเริ่มต้นการทดลองทำการสุ่มปลาที่มีน้ำหนักเฉลี่ยประมาณ 3-5 กรัมต่อตัว แล้วปล่อยในตู้ทดลอง ตู้ละ 30 ตัว รวมจำนวนทั้งหมด 990 ตัว โดยให้อาหารวันละ 2 เวลา คือ 09.00 และ 16.00 น. ให้ปลากินจนอิ่ม ซึ่งในทุกวันก่อนให้อาหารในช่วงเย็นจะดูดตะกอน และเปลี่ยนถ่ายน้ำด้วยวิธีกาลักน้ำ แล้วเติมน้ำที่ผ่านการพักมาแล้วให้ถึงระดับเดิมทุกครั้ง และในระหว่างการเลี้ยงมีการตรวจสอบการเจริญเติบโตในทุกๆ 2 สัปดาห์ สำหรับการศึกษาสัมประสิทธิ์การย่อยอาหาร (digestibility coefficient) เริ่มเก็บมูลสำหรับการวิเคราะห์สัมประสิทธิ์การย่อยวัตถุแห้ง โปรตีน ฟอสฟอรัส ภายหลังการทดลองด้านการเจริญเติบโตเสร็จสิ้น โดยมีการให้อาหารที่มีการเติมโครมิคออกไซด์ (Cr_2O_3) 0.5 เปอร์เซ็นต์ ลงในอาหาร

2.3.3 การเก็บรวบรวมข้อมูล

2.3.3.1 การตรวจสอบพฤติกรรม และลักษณะภายนอก

ในระหว่างการทดลองสังเกตพฤติกรรมของปลาทุกชุดการทดลอง เช่น การว่ายน้ำ การยอมรับอาหาร และสังเกตลักษณะภายนอก เช่น สีของตัวปลา การตกเลือด การคดงอของครีบ และกระดูก การเกิดบาดแผลบริเวณครีบ ผิวหนัง และอวัยวะภายนอกอื่นๆ การใช้ยา และสารเคมีเพื่อป้องกันโรคตามสภาพของปลา

2.3.3.2 การตรวจสอบการเจริญเติบโต และอัตราการรอดของปลา

ตลอดระยะเวลาการทดลองทำการชั่งน้ำหนักปลาทุกๆ 2 สัปดาห์ ซึ่งทำการชั่งแบบเปียก เพื่อนำมาคำนวณน้ำหนักปลาที่เพิ่มขึ้นโดยการชั่งน้ำหนักรวมของปลาแต่ละซ้ำด้วยเครื่องชั่งทศนิยม 2 ตำแหน่ง (งดให้อาหารครึ่งวันก่อนชั่งน้ำหนัก) นับจำนวนปลาที่เหลือตลอดจนจบการทดลอง นำข้อมูลที่ได้มาคำนวณอัตราการรอด

การเจริญเติบโต คำนวณตามวิธีของ Jantrarotai และคณะ (1994) จากสมการ

น้ำหนักที่เพิ่มขึ้น (weight gain, WG)

$$= \frac{\text{น้ำหนักปลาเมื่อสิ้นสุดการทดลอง (กรัม) - น้ำหนักปลาเมื่อเริ่มต้นการทดลอง (กรัม)}}{\text{น้ำหนักปลาเมื่อเริ่มต้น (กรัม)}} \times 100$$

อัตราการเจริญเติบโตจำเพาะ (specific growth rate, SGR)

$$= \frac{(\ln \text{น้ำหนักปลาเมื่อสิ้นสุดการทดลอง} - \ln \text{น้ำหนักปลาเมื่อเริ่มต้นการทดลอง})}{\text{ระยะเวลา (วัน)}} \times 100$$

อัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อ (feed conversion rate, FCR) คำนวณตามวิธีของ Dupree และ Sneed (1966) จากสมการ

อัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อ

$$= \frac{\text{น้ำหนักอาหารที่ปลากินทั้งหมด (กรัม)}}{\text{น้ำหนักปลาที่เพิ่มขึ้นตลอดการทดลอง (กรัม)}}$$

อัตราการกินอาหาร (rate of feed intake) คำนวณตามวิธีของ Yone และ Fujii (1975) จากสมการ

อัตราการกินอาหาร

$$= \frac{F \times 100}{\frac{W_0 + W_1}{2} \times \frac{N_0 + N_1}{2} \times t}$$

โดยที่

F = น้ำหนักอาหารแห้งที่ปลากิน (กรัม)
W_0 = น้ำหนักปลาเฉลี่ยเริ่มต้น (กรัม)
W_1 = น้ำหนักปลาเฉลี่ยสุดท้าย (กรัม)
N_0 = จำนวนปลาเริ่มต้น (ตัว)
N_1 = จำนวนปลาสุดท้าย (ตัว)
t = ระยะเวลาที่ปลาได้รับอาหารทดลอง (วัน)

อัตรารอดตาย (survival rate)

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

2.3.3.3 การคำนวณค่าดัชนีตับต่อตัว

เมื่อสิ้นสุดการทดลอง สุ่มปลาจากทุกชุดการทดลองๆ ละ 6 ตัว นำปลาแต่ละตัวไปชั่งน้ำหนัก และทำการผ่าตัดเพื่อนำตับไปชั่งน้ำหนัก และนำค่าที่ได้มาคำนวณหาค่าดัชนีตับต่อตัว (hepatosomatic index, HSI) ตามวิธีของ Anwar และ Jafri (1995) โดยสมการ

ดัชนีตับต่อตัว

$$= \frac{\text{น้ำหนักตับปลา (กรัม)}}{\text{น้ำหนักตัวปลา (กรัม)}} \times 100$$

2.3.3.4 การศึกษาองค์ประกอบทางเคมีของปลา

สุ่มตัวอย่างปลาก่อนเริ่มการทดลองจำนวน 9 ตัว นำไปวิเคราะห์ความชื้น และนำตัวอย่างปลาไปวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของตัวปลา ได้แก่ ปริมาณโปรตีน ไขมัน เถ้า ฟอสฟอรัส และแคลเซียม ตามวิธีการของ AOAC (1990) เมื่อสิ้นสุดการทดลองสุ่มตัวอย่างในแต่ละตู้จำนวน 3 ตัวต่อตู้ เพื่อใช้ในการวิเคราะห์หาองค์ประกอบทางเคมีของตัวปลา เนื้อปลา และเก็บตับปลาเพื่อวิเคราะห์หาเปอร์เซ็นต์การสะสมไขมันในตับ โดยนำปลาดังกล่าวไปเก็บในตู้แช่แข็ง (อุณหภูมิ -20 องศาเซลเซียส) จากนั้นนำตัวปลา รวมทั้งส่วนที่แยกไว้ ได้แก่ เนื้อ ไปอบที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส จนกระทั่งตัวปลา และเนื้อปลาแห้ง จึงนำไปใส่โถดูดความชื้นรอจนกว่าตัวปลาเย็น จึงชั่งน้ำหนักตัวปลาเพื่อหาความชื้นของตัวปลา ทำซ้ำจนกระทั่งได้ค่าความชื้นคงที่ แล้วจึงบดตัวปลาและเนื้อปลาให้ละเอียด และนำไปเก็บไว้ในโถดูดความชื้น ก่อนนำไปวิเคราะห์หาส่วนประกอบทางโภชนาการ ได้แก่ปริมาณโปรตีน ไขมัน เถ้า และฟอสฟอรัส และแคลเซียมของตัวปลา และเนื้อปลาตามวิธีการของ AOAC (1990) และนำค่าโปรตีนของตัวปลาก่อน และหลังการทดลองที่ได้ไปคำนวณประสิทธิภาพการใช้โปรตีน และการใช้ประโยชน์จากโปรตีนสุทธิ

คำนวณประสิทธิภาพการใช้โปรตีน และการใช้ประโยชน์จากโปรตีนสุทธิ

ประสิทธิภาพการใช้โปรตีน (protein efficiency ratio, PER) คำนวณตามวิธีของ Zeitoun และคณะ (1973) จากสมการ

ประสิทธิภาพการใช้โปรตีน

$$= \frac{\text{น้ำหนักปลาที่เพิ่มขึ้น (กรัม)}}{\text{น้ำหนักโปรตีนที่ปลากิน (กรัม)}} \times 100$$

การใช้ประโยชน์จากโปรตีนสุทธิ (apparent net protein utilization, ANPU) ตามวิธีของ Robinson และ Wilson (1985) จากสมการ

การใช้ประโยชน์จากโปรตีนสุทธิ

$$= \frac{(\%\text{โปรตีนเมื่อสิ้นสุดการทดลอง} - \%\ \text{โปรตีนเมื่อเริ่มต้นการทดลอง})}{\text{น้ำหนักโปรตีนที่ปลากินตลอดการทดลอง (กรัม)}} \times 100$$

2.3.3.5 การวิเคราะห์ไขมันในตับปลา

เมื่อสิ้นสุดการทดลองนำตับปลาที่ได้หลังจากการผ่าตัดไปอบที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส นาน 48 ชั่วโมง บดตัวอย่างแห้งด้วยโกร่งบดให้เป็นเนื้อเดียวกัน จากนั้นนำตัวอย่างไปวิเคราะห์ปริมาณไขมัน ตามวิธีการของ AOAC (1990)

2.3.3.6 การวิเคราะห์เถ้าในเกล็ด และกระดูก

เมื่อสิ้นสุดการทดลองสุ่มปลาตู้ละ 9 ตัวเอาเกล็ด และเลาะเอากระดูกบริเวณกะโหลก กระดูกสันหลัง และหาง ไปผ่านกระบวนการทำให้แห้ง โดยอบที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส นาน 48 ชั่วโมง นำตัวอย่างดังกล่าวบดด้วยโกร่งบดให้ละเอียด และนำไปวิเคราะห์หาปริมาณเถ้าที่สะสมใน เกล็ด และกระดูกของปลาตามวิธีการของ AOAC (1990)

2.3.3.7 การศึกษาปริมาณฟอสฟอรัส และแคลเซียมในตัวปลา

การวิเคราะห์ฟอสฟอรัส และแคลเซียมในตัวปลา

นำปลาที่ได้จากการสุ่มเก็บตัวอย่าง (ปลาชุดเดียวกันกับปลาในข้อ 2.3.3.4) ไปวิเคราะห์หาองค์ประกอบฟอสฟอรัส และแคลเซียม และนำค่าฟอสฟอรัสที่ได้คำนวณหาปริมาณการเก็บสะสมฟอสฟอรัสในร่างกาย (P retention, %) และ ฟอสฟอรัสที่ถูกขับทิ้ง (Phosphorus load)

คำนวณฟอสฟอรัสที่ใช้ประโยชน์ได้

ประสิทธิภาพการสะสมฟอสฟอรัส (phosphorus retention efficiency) คำนวณตามวิธีของ Green และคณะ (2002) จากสมการ

ประสิทธิภาพการสะสมฟอสฟอรัส

$$= 100 \times \left(\frac{\text{FICP} - \text{INCP}}{\text{Phosphorus intake}} \right)$$

โดยที่

FICP = ปริมาณของฟอสฟอรัสที่คงเหลือในซากหลังการทดลอง (กรัม)

INCP = ปริมาณของฟอสฟอรัสที่คงเหลือในซากก่อนการทดลอง (กรัม)

Phosphorus intake = ปริมาณของฟอสฟอรัสที่ใช้ได้ทั้งหมด (กรัม)

ฟอสฟอรัสที่ถูกขับทิ้ง (Phosphorus load) คำนวณตามวิธีของ Vielma และคณะ (2002) จากสมการ

ฟอสฟอรัสที่ถูกขับทิ้ง

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

การวิเคราะห์ฟอสฟอรัส และแคลเซียมในเกล็ดและกระดูก

เมื่อสิ้นสุดการทดลอง (ปลาชุดเดียวกันกับปลาในข้อ 2.3.3.6) ดึงเกล็ดออก และเลาะเอากระดูกบริเวณกะโหลก กระดูกสันหลัง และหาง ไปผ่านกระบวนการทำให้แห้งโดยอบที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส นาน 48 ชั่วโมง นำตัวอย่างดังกล่าวบดด้วยโกร่งบดให้ละเอียด และนำไปวิเคราะห์ปริมาณฟอสฟอรัส และแคลเซียม เพื่อหาปริมาณฟอสฟอรัส และแคลเซียมที่สะสมในเกล็ด และกระดูก ตามวิธีการของ AOAC (1990)

การวิเคราะห์ฟอสฟอรัส และแคลเซียมในเนื้อ

เมื่อสิ้นสุดการทดลอง (ใช้ปลาชุดเดียวกันกับปลาในข้อ 2.3.3.6) โดยนำเนื้อบริเวณลำตัวที่ได้หลังจากการเลาะกระดูกไปอบที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส นาน 48 ชั่วโมง บดตัวอย่างแห้งด้วยโกร่งบดให้เป็นเนื้อเดียวกัน จากนั้นนำตัวอย่างไปวิเคราะห์ปริมาณฟอสฟอรัส และแคลเซียมในเนื้อปลาตามวิธีการของ AOAC (1990)

การวิเคราะห์ปริมาณฟอสฟอรัสในซีรัม

เมื่อสิ้นสุดการทดลองสุ่มปลาในตู้ละ 2 ตัว เจาะเลือดจากบริเวณโคนหางประมาณ 3 มิลลิลิตร ใส่หลอดไมโครทิวบ์ ทิ้งไว้ 30 นาที ให้ตกตะกอนและเกิดการจับตัวเป็นลิ่มเลือด (clot) จากนั้นนำไปหมุนเหวี่ยงที่ 10,000 รอบต่อนาที เป็นเวลา 15 นาที จะเห็นการแยกชั้น

เกิดขึ้น และนำส่วนของของเหลว (ซีรัม) และส่วนที่ตกตะกอน ซึ่งประกอบไปด้วยเม็ดเลือดแดง เม็ดเลือดขาว เกล็ดเลือด และไฟบริโนเจน (fibrinogen) เกิดการจับตัวกันแน่น และเกิดการตกตะกอนตามน้ำหนักของมวลโมเลกุลร่วมกับแรงหมุนเหวี่ยงเข้าสู่ศูนย์กลาง และทำให้ตกตะกอนบริเวณก้นหลอด หลังจากนั้นนำซีรัมที่ได้ใส่หลอดไมโครทิวบ์ และนำไปวิเคราะห์ปริมาณฟอสฟอรัสด้วยวิธี molybdate UV ตามวิธีของ AOAC (1990)

2.3.3.8 การศึกษาประสิทธิภาพการย่อย

การศึกษาประสิทธิภาพการย่อยทำได้โดยการใช้โครมิคออกไซด์ (Cr_2O_3) เป็นสารบ่งชี้ (indicator) เติมลงในอาหาร 0.5 เปอร์เซ็นต์ และรวบรวมมูลปลาโดยวิธีกาลักน้ำ (siphoning) โดยใช้สายยางพลาสติกลักน้ำออก และใช้ผ้าตาถี่เพื่อรองรับมูลปลา ในการเก็บมูลปลาจะเก็บหลังจากให้อาหารที่มีสารบ่งชี้ก่อนเป็นระยะเวลาประมาณ 1 สัปดาห์ เพื่อให้แน่ใจว่าปลาได้รับอาหารที่มีสารบ่งชี้แน่นอนแล้ว และทำการเก็บในช่วงตอนเย็นหลังจากที่ให้อาหารแล้ว 1 ชั่วโมง และดูดตะกอนอาหารออกจากตู้จนหมด โดยรวบรวมมูลปลาให้ได้ปริมาณ 25-30 กรัม เพื่อให้เพียงพอกับการวิเคราะห์ และเก็บไว้ในช่องแช่แข็ง หลังจากนั้นนำไปอบให้แห้งสนิทที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส นำไปบดให้ละเอียดก่อนนำไปวิเคราะห์ นำตัวอย่างไปวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี ได้แก่ ปริมาณโปรตีน และฟอสฟอรัส ตามวิธีการของ AOAC (1990) วิเคราะห์ปริมาณโครมิคออกไซด์ในอาหาร และในมูลตามวิธีของ Furukawa และ Tsukahara (1966) และนำค่าที่ได้ไปคำนวณหาประสิทธิภาพการย่อยต่างๆ ดังสมการ

ประสิทธิภาพในการย่อยวัตถุแห้ง (% บนฐานของน้ำหนักแห้ง) (dry matter digestibility or total digestibility)

$$= 100 - 100 \frac{[\%\text{มาร์กเกอร์ในอาหาร}]}{[\%\text{มาร์กเกอร์ในมูล}]}$$

ประสิทธิภาพในการย่อยโปรตีน (apparent digestibility coefficient of protein)

$$= 100 - 100 \frac{[\%\text{มาร์กเกอร์ในอาหาร} \times \%\text{โปรตีนในมูล}]}{[\%\text{มาร์กเกอร์ในมูล} \times \%\text{โปรตีนในอาหาร}]}$$

ประสิทธิภาพในการย่อยฟอสฟอรัส (apparent digestibility coefficient of phosphorus)

$$= 100 - 100 \frac{[\%\text{มาร์กเกอร์ในอาหาร} \times \%\text{ฟอสฟอรัสในมูล}]}{[\%\text{มาร์กเกอร์ในมูล} \times \%\text{ฟอสฟอรัสในอาหาร}]}$$

2.3.4 การวิเคราะห์ข้อมูล

นำข้อมูลที่ได้จากการทดลองทั้งหมดไปหาค่าเฉลี่ย และวิเคราะห์ข้อมูลของการทดลองสูตรอาหารทดลองที่ 3–11 โดยใช้การวิเคราะห์แบบ Factorial (3 x 3) เพื่อหาปฏิสัมพันธ์ระหว่างชนิด และระดับของการเจริญเติบโต โดยปัจจัยที่ 1 คือ รูปแบบของอนินทรีย์ฟอสเฟต 3 รูปแบบ คือ โมโนโซเดียมฟอสเฟต ไดแคลเซียมฟอสเฟต และไตรแคลเซียมฟอสเฟต ปัจจัยที่ 2 คือ ระดับที่เหมาะสมในการเสริมอนินทรีย์ฟอสเฟตให้มีปริมาณฟอสฟอรัสที่ใช้ประโยชน์ได้ 3 ระดับ คือ 0.4, 0.7 และ1.5 เปอร์เซ็นต์ ถ้ามีปฏิสัมพันธ์กันนำข้อมูลการทดลองทั้งหมด มาวิเคราะห์โดยใช้การวิเคราะห์ความแปรปรวน ANOVA (Analysis of Variance) เพื่อเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยทางสถิติ โดยวิธี Duncan’s New Multiple Range Test (Duncan, 1995) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์

บทที่ 3

ผลการทดลอง

3.1 การตรวจสอบพฤติกรรม และลักษณะภายนอก

การตรวจสอบพฤติกรรม และลักษณะภายนอกของการทดลองความต้องการฟอสฟอรัส และการใช้ประโยชน์จากอนินทรีย์ฟอสเฟตในปลาไนโดยการให้อาหารทดลองแตกต่างกัน 11 สูตร เป็นระยะเวลา 8 สัปดาห์ พบว่าทุกชุดการทดลองไม่พบความผิดปกติของรูปร่างลักษณะภายนอก แต่ชุดการทดลองที่มีการเสริมไดแคลเซียมฟอสเฟต ที่ระดับของฟอสฟอรัสที่สามารถใช้ประโยชน์ได้ 1.5 เปอร์เซ็นต์ พบว่ารูปร่างลักษณะภายนอกของปลาที่ได้รับอาหารสูตรดังกล่าว มีรูปร่างที่ผิดปกติ กล่าวคือ การเจริญเติบโตลดลง และเมื่อสิ้นสุดการทดลองเป็นระยะเวลา 8 สัปดาห์ อัตราการตายของปลาในชุดการทดลองดังกล่าว มีอัตราการตายเพิ่มสูงขึ้น

3.2 การเจริญเติบโต และอัตราการรอดตาย

3.2.1. น้ำหนักเฉลี่ยต่อตัวที่เพิ่มขึ้น

การเจริญเติบโตของปลาไนโดยน้ำหนักเฉลี่ยต่อตัวของปลาไนที่ได้รับอาหารแตกต่างกันเป็นระยะเวลา 8 สัปดาห์ พบว่าน้ำหนักเฉลี่ยต่อตัวของปลาจะเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาที่เลี้ยง และเริ่มมีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ ($P<0.05$) ตั้งแต่สัปดาห์ที่ 2 จนถึงสัปดาห์ที่ 8 และมีปฏิสัมพันธ์กันระหว่างรูปแบบ และระดับของอนินทรีย์ฟอสเฟตที่เสริมลงไปในอาหาร ซึ่งสัปดาห์ที่ 2 รูปแบบของอนินทรีย์ฟอสเฟต (MSP, DCP และ TCP) ส่งผลต่อค่าน้ำหนักเฉลี่ยต่อตัวของปลา โดยปลาได้รับอาหารสูตรที่ 5, 4 และ 3 (MSP: AvP 1.5%, MSP: AvP 0.7% และ MSP: AvP 0.4% ตามลำดับ) มีค่าน้ำหนักเฉลี่ยต่อตัวสูงกว่าปลาที่ได้รับอาหารสูตรอื่นๆ อย่างมีนัยสำคัญ ($P<0.05$) ส่วนระดับของอนินทรีย์ฟอสเฟตที่เสริมลงในอาหารนั้น พบว่าไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ ($P>0.05$) และน้ำหนักเฉลี่ยต่อตัวของปลาเริ่มมีความแตกต่างกันทั้งรูปแบบ และระดับของอนินทรีย์ฟอสเฟตตั้งแต่สัปดาห์ที่ 4 จนถึงสัปดาห์ที่ 8 ซึ่งเมื่อสิ้นสุดการทดลองพบว่าปลาที่ได้รับอาหารสูตรที่ 5 (MSP: AvP 1.5%) มีค่าน้ำหนักเฉลี่ยต่อตัวสูงสุด โดยมีค่าเท่ากับ 21.01 ± 1.30 กรัม รองลงมาคือ ปลาที่ได้รับอาหารสูตรที่ 4 และ 3 (MSP: AvP 0.7% และ MSP: AvP 0.4%) โดยมีค่าเท่ากับ 18.53 ± 1.85 และ 10.82 ± 0.77 กรัม ตามลำดับ และจะเห็นได้ว่า น้ำหนักเฉลี่ยต่อตัวของปลาที่ได้รับอาหารที่มีการเสริมอนินทรีย์ฟอสเฟตในทุกๆ รูปแบบ จะมีค่าสูงกว่า สูตรอาหารที่ไม่มีการเสริมอนินทรีย์ฟอสเฟต คือสูตรที่ 1 (อาหารที่มีปลาป่นระดับสูง) และสูตรที่ 2 (อาหารที่มีปลาป่นระดับต่ำ) ส่วนปลาที่ได้รับอาหารสูตรที่ 8 (DCP: AvP 1.5%) มีค่าน้ำหนักเฉลี่ยต่อตัวต่ำสุด โดยมีค่าเท่ากับ 5.90 ± 0.31 ดังแสดงในตารางที่ 5

ตารางที่ 5: น้ำหนักเฉลี่ยต่อตัวของปลาไนที่ได้รับอาหารทดลอง 11 สูตร ระยะเวลา 8 สัปดาห์[1]

สูตรอาหาร	รูปแบบ	ระดับ (%)	สัปดาห์ที่ 0	สัปดาห์ที่ 2	สัปดาห์ที่ 4	สัปดาห์ที่ 6	สัปดาห์ที่ 8
1	อาหารที่มีปลาป่นระดับสูง		3.512 ± 0.008	4.84 ± 0.03	6.22 ± 0.11	7.11 ± 0.49	8.22 ± 0.67
2	อาหารที่มีปลาป่นระดับต่ำ		3.514 ± 0.015	5.21 ± 0.40	6.38 ± 0.16	7.56 ± 0.30	9.34 ± 0.48
3	MSP	AvP 0.4	3.514 ± 0.007	4.93 ± 0.07^{bx}	6.71 ± 0.42^{b}	8.37 ± 0.54^{c}	10.82 ± 0.77^{c}
4	MSP	AvP 0.7	3.514 ± 0.011	5.40 ± 0.28^{bx}	8.53 ± 0.66^{c}	12.15 ± 1.13^{d}	18.53 ±1.85^{d}
5	MSP	AvP 1.5	3.514 ± 0.013	5.96 ± 0.28^{bx}	9.88 ± 0.49^{d}	14.24 ± 0.63^{e}	21.01 ± 1.30^{e}
6	DCP	AvP 0.4	3.513 ± 0.008	5.03 ± 0.38^{ax}	6.48 ± 0.37^{b}	7.62 ± 0.38^{bc}	9.29 ± 0.61^{bc}
7	DCP	AvP 0.7	3.515 ± 0.013	4.84 ± 0.27^{ax}	6.27 ± 0.39^{b}	7.50 ± 0.51^{bc}	9.09 ± 0.63^{bc}
8	DCP	AvP 1.5	3.513 ± 0.006	4.59 ± 0.06^{ax}	5.14 ± 0.07^{a}	5.54 ± 0.13^{a}	5.90 ± 0.31^{a}
9	TCP	AvP 0.4	3.512 ± 0.014	4.85 ± 0.38^{ax}	6.10 ± 0.49^{b}	7.06 ± 0.72^{b}	8.46 ± 1.25^{b}
10	TCP	AvP 0.7	3.512 ± 0.019	5.01 ± 0.35^{ax}	6.33 ± 0.50^{b}	7.64 ± 0.60^{bc}	9.26 ± 1.02^{bc}
11	TCP	AvP 1.5	3.514 ± 0.016	4.68 ± 0.17^{ax}	6.26 ± 0.18^{b}	7.60 ± 0.41^{bc}	9.35 ± 0.41^{bc}
รูปแบบของอนินทรีย์ฟอสเฟต			NS	P < 0.05	P < 0.05	P < 0.05	P < 0.05
ระดับของอนินทรีย์ฟอสเฟต			NS	NS	P < 0.05	P < 0.05	P < 0.05
รูปแบบ x ระดับ			NS	P < 0.05	P < 0.05	P < 0.05	P < 0.05

[1] ตัวเลขที่นำเสนอเป็นค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน จากข้อมูล 3 ซ้ำ

ค่าเฉลี่ยในสดมภ์ที่มีตัวอักษรเหมือนกันกำกับ ไม่มีความแตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ (P>0.05)

3.2.2 น้ำหนักที่เพิ่มขึ้น อัตราการเจริญเติบโตจำเพาะ อัตราการกินอาหาร และอัตราการรอดตาย

น้ำหนักที่เพิ่มขึ้น อัตราการเจริญเติบโตจำเพาะ และอัตราการกินอาหารของปลาไน เมื่อสิ้นสุดการทดลองเป็นระยะเวลา 8 สัปดาห์ พบว่า มีปฏิสัมพันธ์กันระหว่างรูปแบบ และระดับของอนินทรีย์ฟอสเฟตที่เสริมลงไปในอาหาร โดยทั้งรูปแบบ และระดับของอนินทรีย์ฟอสเฟตส่งผลทำให้ค่าน้ำหนักที่เพิ่มขึ้น อัตราการเจริญเติบโตจำเพาะ และอัตราการกินอาหารมีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ ($P<0.05$)

เปอร์เซ็นต์น้ำหนักที่เพิ่มขึ้นของปลาเมื่อสิ้นสุดการทดลองพบว่า ปลาที่ได้รับอาหารที่มีการเสริม MSP มีค่าน้ำหนักที่เพิ่มขึ้นสูง และแตกต่างกับปลาที่ได้รับอาหารที่มีการเสริม DCP และ TCP อย่างมีนัยสำคัญ ($P<0.05$) โดยปลาที่ได้รับอาหารสูตรที่ 5 (MSP: AvP 1.5%) มีค่าน้ำหนักที่เพิ่มขึ้นสูงสุด โดยมีค่าเท่ากับ 497.83 $\pm$ 35.87 เปอร์เซ็นต์ และปลาที่ได้รับอาหารสูตรที่ 8 (DCP: AvP 1.5%) มีค่าน้ำหนักที่เพิ่มขึ้นต่ำสุด และต่ำกว่าปลาที่ได้รับอาหารสูตรที่ 1 (อาหารที่มีปลาป่นระดับสูง) และสูตรที่ 2 (อาหารที่มีปลาป่นระดับต่ำ) โดยมีค่าเท่ากับ 68.07 $\pm$ 9.05 เปอร์เซ็นต์

อัตราการเจริญเติบโตจำเพาะของปลาเมื่อสิ้นสุดการทดลองพบว่า ปลาที่ได้รับอาหารสูตรที่ 5 และ 4 (MSP: AvP 1.5 และ MSP: AvP 0.7%) มีค่าอัตราการเจริญเติบโตจำเพาะสูงสุด และแตกต่างกับชุดการทดลองอื่นๆ อย่างมีนัยสำคัญ ($P<0.05$) โดยมีค่าเท่ากับ 3.19 $\pm$ 0.11 และ 2.96 $\pm$ 0.18 เปอร์เซ็นต์ต่อวัน ส่วนปลาที่ได้รับอาหารสูตรที่ 8 (DCP: AvP 1.5%) มีค่าอัตราการเจริญเติบโตจำเพาะต่ำสุด และต่ำกว่าปลาที่ได้รับอาหารสูตรที่ 1 (อาหารที่มีปลาป่นระดับสูง) และ สูตรที่ 2 (อาหารที่มีปลาป่นระดับต่ำ) โดยมีค่าเท่ากับ 0.93 $\pm$ 0.10 เปอร์เซ็นต์ต่อวัน

อัตราการกินอาหารของปลาเมื่อสิ้นสุดการทดลองพบว่า ปลาที่ได้รับอาหารสูตรที่ 5 และ 4 (MSP: AvP 1.5% และ MSP: AvP 0.7%) มีค่าอัตราการกินอาหารต่ำที่สุด และมีความแตกต่างกับปลาที่ได้รับอาหารสูตรอื่นๆ อย่างมีนัยสำคัญ ($P<0.05$) โดยมีค่าเท่ากับ 3.45 $\pm$ 0.08 และ 3.68 $\pm$ 0.12 เปอร์เซ็นต์ต่อตัวต่อวัน ตามลำดับ ส่วนอัตราการกินอาหารของปลาที่ได้รับอาหารในชุดการทดลองอื่นๆ พบว่าไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ ($P>0.05$) โดยมีค่าอัตราการกินอาหารอยู่ในช่วง 3.45 $\pm$ 0.08 ถึง 4.79 $\pm$ 0.20 เปอร์เซ็นต์ต่อตัวต่อวัน

อัตราการรอดตายของปลา เมื่อสิ้นสุดการทดลองพบว่า ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($P>0.05$) โดยมีค่าอยู่ในช่วง 96.67 $\pm$ 3.33 ถึง 100.00 $\pm$ 3.33 เปอร์เซ็นต์ ดังแสดงในตารางที่ 6

ตารางที่ 6: น้ำหนักที่เพิ่มขึ้น อัตราการเจริญเติบโตจำเพาะ อัตราการกินอาหาร และอัตราการรอดตาย ของปลาไนที่ได้รับอาหารทดลอง 11 สูตร ระยะเวลา 8 สัปดาห์[1]

สูตรอาหาร	รูปแบบ	ระดับ (%)	น้ำหนักที่เพิ่มขึ้น (%)	อัตราการเจริญเติบโตจำเพาะ (% ต่อวัน)	อัตราการกินอาหาร (% ต่อตัวต่อวัน)	อัตราการรอด (%)
1	อาหารที่มีปลาป่นระดับสูง		134.17 ± 19.16	1.52 ± 0.15	4.56 ± 0.27	97.78 ± 1.92
2	อาหารที่มีปลาป่นระดับต่ำ		165.84 ± 13.82	1.74 ± 0.09	4.71 ± 0.32	96.67 ± 3.33
3	MSP	AvP 0.4	207.95 ± 21.40^{c}	2.01 ± 0.13^{c}	4.65 ± 0.09^{b}	100.00 ± 3.33
4	MSP	AvP 0.7	427.61 ± 54.38^{d}	2.96 ± 0.18^{d}	3.68 ± 0.12^{a}	100.00 ± 0.00
5	MSP	AvP 1.5	497.83 ± 35.87^{e}	3.19 ± 0.11^{d}	3.45 ± 0.08^{a}	98.89 ± 1.92
6	DCP	AvP 0.4	164.54 ± 17.19^{bc}	1.73 ± 0.12^{bc}	4.60 ± 0.05^{b}	98.89 ± 5.09
7	DCP	AvP 0.7	158.46 ± 17.03^{bc}	1.69 ± 0.12^{b}	4.56 ± 0.06^{b}	98.89 ± 1.92
8	DCP	AvP 1.5	68.07 ± 9.05^{a}	0.93 ± 0.10^{a}	4.79 ± 0.20^{b}	98.89 ± 1.92
9	TCP	AvP 0.4	140.89 ± 35.02^{b}	1.56 ± 0.26^{b}	4.73 ± 0.32^{b}	100.00 ± 3.33
10	TCP	AvP 0.7	163.65 ± 30.20^{bc}	1.72 ± 0.21^{bc}	4.65 ± 0.04^{b}	98.89 ± 1.92
11	TCP	AvP 1.5	166.08 ± 10.50^{bc}	1.75 ± 0.07^{bc}	4.67 ± 0.09^{b}	100.00 ± 3.33
รูปแบบของอนินทรีย์ฟอสเฟต			P < 0.05	P < 0.05	P < 0.05	NS
ระดับของอนินทรีย์ฟอสเฟต			P < 0.05	P < 0.05	P < 0.05	NS
รูปแบบ x ระดับ			P < 0.05	P < 0.05	P < 0.05	NS

[1] ตัวเลขที่นำเสนอเป็นค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน จากการคำนวณข้อมูล 3 ซ้ำ

ค่าเฉลี่ยในสดมภ์ที่มีตัวอักษรเหมือนกันกำกับ ไม่มีความแตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ (P>0.05)

ประสิทธิภาพการใช้โปรตีน

3.2.3 อัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อ ประสิทธิภาพการใช้โปรตีน และการใช้ประโยชน์จากโปรตีนสุทธิ

อัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อ ประสิทธิภาพการใช้โปรตีน และการใช้ประโยชน์จากโปรตีนสุทธิ ของปลาไนที่ได้รับอาหารแตกต่างกันเป็นระยะเวลา 8 สัปดาห์ พบว่า มีปฏิสัมพันธ์กันระหว่างรูปแบบ และระดับของอนินทรีย์ฟอสเฟตที่เสริมลงไปในอาหาร โดยทั้งรูปแบบ และระดับของอนินทรีย์ฟอสเฟตส่งผลทำให้ค่าต่างๆ ดังกล่าวมีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ ($P<0.05$)

อัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อของปลาเมื่อสิ้นสุดการทดลองพบว่า ปลาที่ได้รับอาหารสูตรที่ 5 และสูตรที่ 4 (MSP: AvP 1.5% และ MSP: AvP 0.7%) มีค่าอัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อต่ำที่สุด และแตกต่างกับปลาที่ได้รับอาหารสูตรอื่นๆอย่างมีนัยสำคัญ ($P<0.05$) โดยมีค่าเท่ากับ 1.36 ± 0.07 และ 1.52 ± 0.10 ตามลำดับ ส่วนปลาที่ได้รับอาหารสูตรที่ 8 (DCP: AvP 1.5%) มีค่าอัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อสูงสุด โดยมีค่าเท่ากับ 5.37 ± 0.70

ประสิทธิภาพการใช้โปรตีนของปลาที่ได้รับอาหารแตกต่างกันเมื่อสิ้นสุดการทดลอง พบว่าปลาที่ได้รับอาหารสูตรที่ 5 (MSP: AvP 1.5%) มีค่าประสิทธิภาพการใช้โปรตีนสูงที่สุดโดยมีค่าเท่ากับ 2.06 ± 0.10 เปอร์เซ็นต์ รองลงมาได้แก่ ปลาที่ได้รับอาหารสูตรที่ 4 และสูตรที่ 3 (MSP: AvP 0.7% และ MSP: AvP 0.4%) โดยมีค่าเท่ากับ 1.74 ± 0.09 และ 1.10 ± 0.08เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ ส่วนปลาที่ได้รับอาหารสูตรอื่นๆ ที่มีการเสริมอนินทรีย์ฟอสเฟตในรูปของ DCP และ TCP พบว่าประสิทธิภาพการใช้โปรตีนไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ ($P>0.05$) และมีค่าใกล้เคียงกันกับปลาที่ได้รับอาหารที่ไม่มีการเสริมอนินทรีย์ฟอสเฟต คือ สูตรที่ 1 (อาหารที่มีปลาป่นระดับสูง) และ สูตรที่ 2 (อาหารที่มีปลาป่นระดับต่ำ) ยกเว้นปลาที่ได้รับอาหารสูตรที่ 8 (DCP, AvP 1.5%) มีค่าประสิทธิภาพใช้โปรตีนต่ำที่สุด โดยมีค่าเท่ากับ 0.53 ± 0.06 เปอร์เซ็นต์

การใช้ประโยชน์จากโปรตีนสุทธิของปลาเมื่อสิ้นสุดการทดลองพบว่า ปลาที่ได้รับอาหารสูตรที่ 5 (MSP: AvP 1.5%) มีค่าการใช้ประโยชน์จากโปรตีนสุทธิสูงที่สุดโดยมีค่าเท่ากับ 33.67 ± 1.61 เปอร์เซ็นต์ รองลงมาได้แก่ ปลาที่ได้รับอาหารสูตรที่ 4 (MSP: AvP 0.7%) โดยมีค่าเท่ากับ 23.53 ± 2.27 เปอร์เซ็นต์ ส่วนปลาที่ได้รับอาหารสูตรอื่นๆ ที่มีการเสริมอนินทรีย์ฟอสเฟตมีค่าการใช้ประโยชน์จากโปรตีนสุทธิไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ ($P>0.05$) ยกเว้นปลาที่ได้รับอาหารสูตรที่ 8 (DCP: AvP 1.5%) มีค่าการใช้ประโยชน์จากโปรตีนสุทธิต่ำที่สุด โดยมีค่าเท่ากับ 6.34 ± 0.85 เปอร์เซ็นต์ ดังแสดงในตารางที่ 7

ตารางที่ 7: อัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อ ประสิทธิภาพการใช้โปรตีน และการใช้ประโยชน์จากโปรตีนสุทธิ ของปลาไนที่ได้รับอาหารทดลอง 11 สูตร ระยะเวลา 8 สัปดาห์[1]

สูตรอาหาร	รูปแบบ	ระดับ (%)	อัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อ	ประสิทธิภาพการใช้โปรตีน	การใช้ประโยชน์จากโปรตีนสุทธิ
1	อาหารที่มีปลาป่นระดับสูง		3.25 ± 0.43	0.86 ± 0.12	13.98 ± 1.95
2	อาหารที่มีปลาป่นระดับต่ำ		2.98 ± 0.37	0.97 ± 0.13	19.34 ± 2.83
3	MSP	AvP 0.4	2.57 ± 0.18^{b}	1.10 ± 0.08^{c}	16.04 ± 1.22^{b}
4	MSP	AvP 0.7	1.52 ± 0.10^{a}	1.74 ± 0.09^{d}	23.53 ± 2.27^{c}
5	MSP	AvP 1.5	1.36 ± 0.07d^{a}	2.06 ± 0.10^{e}	33.67 ± 1.61^{d}
6	DCP	AvP 0.4	2.88 ± 0.12^{bc}	0.99 ± 0.04^{bc}	15.39 ± 0.56^{b}
7	DCP	AvP 0.7	2.94 ± 0.18^{bc}	0.96 ± 0.06^{bc}	14.89 ± 0.85^{b}
8	DCP	AvP 1.5	5.37 ± 0.70^{d}	0.53 ± 0.06^{a}	6.34 ± 0.85^{a}
9	TCP	AvP 0.4	3.29 ± 0.72^{c}	0.87 ± 0.19^{b}	13.82 ± 2.80^{b}
10	TCP	AvP 0.7	3.01 ± 0.31^{bc}	0.92 ± 0.09^{b}	13.81 ± 1.34^{b}
11	TCP	AvP 1.5	2.89 ± 0.13^{bc}	0.96 ± 0.05^{bc}	15.18 ± 0.69^{b}
รูปแบบของอนินทรีย์ฟอสเฟต			P < 0.05	P < 0.05	P < 0.05
ระดับของอนินทรีย์ฟอสเฟต			P < 0.05	P < 0.05	P < 0.05
รูปแบบ x ระดับ			P < 0.05	P < 0.05	P < 0.05

[1] ตัวเลขที่นำเสนอเป็นค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน จากการคำนวณข้อมูล 3 ซ้ำ

ค่าเฉลี่ยในสดมภ์ที่มีตัวอักษรเหมือนกันกำกับ ไม่มีความแตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ (P>0.05)

3.3 ดัชนีตับต่อตัว

ตารางที่ 8: ดัชนีตับต่อตัว ของปลาไนที่ได้รับอาหารทดลอง 11 สูตร[1]

สูตรอาหาร	รูปแบบ	ระดับ (%)	ดัชนีตับต่อตัว (%)
1	อาหารที่มีปลาป่นระดับสูง		1.94 $\pm$ 0.46
2	อาหารที่มีปลาป่นระดับต่ำ		1.20 $\pm$ 0.34
3	MSP	AvP 0.4	1.53 $\pm$ 0.44^{ax}
4	MSP	AvP 0.7	1.00 $\pm$ 0.34^{ax}
5	MSP	AvP 1.5	0.85 $\pm$ 0.21^{ax}
6	DCP	AvP 0.4	1.79 $\pm$ 0.50^{bx}
7	DCP	AvP 0.7	1.81 $\pm$ 0.58^{bx}
8	DCP	AvP 1.5	1.78 $\pm$ 0.64^{bx}
9	TCP	AvP 0.4	1.66 $\pm$ 0.84^{bx}
10	TCP	AvP 0.7	2.06 $\pm$ 0.66^{bx}
11	TCP	AvP 1.5	1.09 $\pm$ 0.31^{bx}
รูปแบบของอนินทรีย์ฟอสเฟต			P < 0.05
ระดับของอนินทรีย์ฟอสเฟต			NS
รูปแบบ x ระดับ			NS

[1] ตัวเลขที่นำเสนอเป็นค่าเฉลี่ย $\pm$ ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน จากการคำนวณข้อมูล 4 ซ้ำ ค่าเฉลี่ยในสดมภ์ที่มีตัวอักษรเหมือนกันกำกับ ไม่มีความแตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ (P>0.05)

ดัชนีตับต่อตัวของปลาเมื่อสิ้นสุดการทดลอง พบว่าค่าดัชนีตับต่อตัวไม่มีปฏิสัมพันธ์กันระหว่างรูปแบบ และระดับของอนินทรีย์ฟอสเฟตที่เสริมลงไปในอาหาร โดยรูปแบบของอนินทรีย์ฟอสเฟตส่งผลทำให้ค่าดัชนีตับต่อตัวของปลามีค่าแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ (P<0.05) แต่ระดับของอนินทรีย์ฟอสเฟตไม่ทำให้ค่าดัชนีตับต่อตัวของปลามีความแตกต่างกันทางสถิติ (P>0.05) โดยปลาที่ได้รับอาหารที่มีการเสริมอนินทรีย์ฟอสเฟตในรูปของ MSP จะมีค่าดัชนีตับต่อตัว ต่ำกว่าปลาที่ได้รับอาหารที่มีการเสริมอนินทรีย์ฟอสเฟตในรูปของ DCP และ TCP และปลาที่ได้รับอาหารสูตรที่ 10 (TCP: AvP 0.7%) มีค่าดัชนีตับต่อตัวสูงสุด โดยมีค่าเท่ากับ 2.06 $\pm$ 0.66 เปอร์เซ็นต์ ส่วนปลาที่ได้รับอาหารสูตรที่ 5 (MSP: AvP 1.5%) มีค่าดัชนีตับต่อตัวต่ำสุด โดยมีค่าเท่ากับ 0.85 $\pm$ 0.21 เปอร์เซ็นต์ ดังแสดงในตารางที่ 8

3.4 ส่วนประกอบต่างๆ ของปลาหลังทดลอง

3.4.1 ส่วนประกอบทางโภชนาการของตัวปลา

องค์ประกอบของปลาทั้งตัวแสดงดังตารางที่ 9 ซึ่งจากตาราง จะเห็นได้ว่า องค์ประกอบของตัวปลาที่ได้รับอาหารแตกต่างกัน 11 สูตร มีปฏิสัมพันธ์กันระหว่างรูปแบบ และระดับของอนินทรีย์ฟอสเฟตที่เสริมลงไปในอาหาร โดยทั้งรูปแบบ และระดับของอนินทรีย์ฟอสเฟตส่งผลทำให้ค่าต่างๆ คือ ความชื้น โปรตีน ไขมัน เถ้า ฟอสฟอรัส และแคลเซียม มีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ ($P<0.05$)

ความชื้นของปลาเมื่อสิ้นสุดการทดลอง พบว่า ความชื้นของปลามีค่า อยู่ในช่วง 69.34 $\pm$ 0.34 ถึง 76.89 $\pm$ 0.65 เปอร์เซ็นต์ โดยปลาที่ได้รับอาหารสูตรที่ 5 (MSP: AvP 1.5%) มีค่าความชื้นสูงสุด และใกล้เคียงกับค่าความชื้นของปลาเริ่มต้นการทดลอง โดยมีค่าเท่ากับ 76.89 $\pm$ 0.65 เปอร์เซ็นต์ และปลาที่ได้รับอาหารสูตรที่ 6 (DCP: AvP 0.4%) มีค่าความชื้นต่ำสุด โดยมีค่าเท่ากับ 69.34 $\pm$ 0.34 เปอร์เซ็นต์

โปรตีนในตัวปลาเมื่อสิ้นสุดการทดลอง พบว่า เปอร์เซ็นต์โปรตีนในตัวปลาอยู่ในช่วง 45.65 $\pm$ 0.47 ถึง 64.92 $\pm$ 0.72 เปอร์เซ็นต์ และปลาที่ได้รับอาหารที่มีการเสริมอนินทรีย์ฟอสเฟตในรูปแบบของ MSP มีค่าสูงกว่าปลาที่ได้รับอาหารที่มีการเสริมอนินทรีย์ฟอสเฟตในรูปของ DCP และ TCP อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) โดยปลาที่ได้รับอาหารสูตรที่ 5 (MSP: AvP 1.5%) มีค่าโปรตีนในตัวปลาสูงที่สุด โดยมีค่าเท่ากับ 64.92 $\pm$ 0.72 เปอร์เซ็นต์ รองลงมาคือปลาที่ได้รับอาหารสูตรที่ 4 และ 3 (MSP: AvP 0.7% และ MSP: AvP 0.4%) โดยมีค่าเท่ากับ 58.65 $\pm$ 0.38 และ 52.49 $\pm$ 0.52 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ และปลาที่ได้รับอาหารสูตรที่ 6 (DCP: AvP 0.4%) มีค่าโปรตีนในตัวปลาต่ำที่สุด โดยมีค่าเท่ากับ 45.65 $\pm$ 0.47 เปอร์เซ็นต์ และจะเห็นได้ว่าเมื่อสิ้นสุดการทดลอง โปรตีนในตัวปลาที่ได้รับอาหารที่มีการเสริมอนินทรีย์ฟอสเฟตจะมีค่าโปรตีนในตัวปลาสูงกว่าปลาที่ได้รับอาหารที่ไม่มีการเสริมอนินทรีย์ฟอสเฟต คือ สูตรที่ 1 (อาหารที่มีปลาป่นระดับสูง) และ สูตรที่ 2 (อาหารที่มีปลาป่นระดับต่ำ) และปลาที่ได้รับอาหารในสูตรที่มีการเสริมอนินทรีย์ฟอสเฟตในรูปแบบของ DCP และ TCP จะมีค่าโปรตีนในตัวปลาลดลงเมื่อเปรียบเทียบกับโปรตีนในตัวปลาเริ่มต้นการทดลอง

ไขมันในตัวปลาเมื่อสิ้นสุดการทดลอง พบว่าไขมันในตัวปลามีค่าอยู่ในช่วง 18.51 $\pm$ 0.73 ถึง 39.84 $\pm$ 0.47 เปอร์เซ็นต์ โดยปลาที่ได้รับอาหารสูตรที่ 6 (DCP: AvP 0.4 %) มีค่าไขมันในตัวปลาสูงสุด โดยมีค่าไขมันในตัวปลาเท่ากับ 39.38 $\pm$ 0.86 เปอร์เซ็นต์ และปลาที่ได้รับอาหารสูตรที่ 5 (MSP: AvP 1.5%) มีค่าไขมันในตัวปลาต่ำที่สุด โดยมีค่าเท่ากับ 18.51 $\pm$ 0.73 เปอร์เซ็นต์

และจะเห็นได้ว่าปลาที่ได้รับอาหารที่มีการเสริมอนินทรีย์ฟอสเฟตในรูปแบบของ DCP และ TCP จะมีค่าไขมันในตัวปลาใกล้เคียงกับปลาที่ได้รับอาหารที่ไม่มีการเสริมอนินทรีย์ฟอสเฟต คือ สูตรที่ 1 (อาหารที่มีปลาป่นระดับสูง) และ สูตรที่ 2 (อาหารที่มีปลาป่นระดับต่ำ) และปลาที่ได้รับอาหารที่มีการเสริมอนินทรีย์ฟอสเฟตในรูปแบบของ MSP จะมีค่าไขมันในตัวปลาใกล้เคียงกับปลาเริ่มต้นการทดลอง และมีค่าต่ำกว่าปลาที่ได้รับอาหารที่ไม่มีการเสริมอนินทรีย์ฟอสเฟตทั้ง 2 สูตร

เถ้าในตัวปลาเมื่อสิ้นสุดการทดลอง พบว่าเปอร์เซ็นต์เถ้าในตัวปลาจะมีเพิ่มสูงขึ้นตามระดับอนินทรีย์ฟอสเฟตที่เสริมลงในอาหารในทุกๆ รูปแบบ โดยเถ้าในตัวปลามีค่าอยู่ในช่วง 5.90 ± 0.16 ถึง 13.91 ± 0.14 เปอร์เซ็นต์ และปลาที่ได้รับอาหารสูตรที่ 5 (MSP: AvP 1.5%) มีค่าเถ้าในตัวปลาสูงสุด และแตกต่างกับปลาที่ได้รับอาหารสูตรอื่นๆ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) โดยมีค่าเท่ากับ 13.91 ± 0.14 เปอร์เซ็นต์ รองลงมาได้แก่ ปลาที่ได้รับอาหารสูตรที่ 4 (MSP: AvP 0.7 %) โดยมีค่าเท่ากับ 10.38 ± 0.07 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งจะเห็นได้ว่าปลาที่ได้รับอาหารที่มีการเสริมอนินทรีย์ฟอสเฟตในรูปแบบของ DCP และ TCP จะมีค่าเถ้าในตัวปลาใกล้เคียงกับปลาที่ได้รับอาหารที่ไม่มีการเสริมอนินทรีย์ฟอสเฟต คือ สูตรที่ 1 (อาหารที่มีปลาป่นระดับสูง) และสูตรที่ 2 (อาหารที่มีปลาป่นระดับต่ำ) และค่าดังกล่าวต่ำกว่าเปอร์เซ็นต์เถ้าในปลาเริ่มต้นการทดลอง

ฟอสฟอรัสในตัวปลาที่ได้รับอาหารแตกต่างกัน เมื่อสิ้นสุดการทดลองพบว่าเปอร์เซ็นต์ฟอสฟอรัสจะมีค่าเพิ่มตามระดับอนินทรีย์ฟอสเฟตที่เสริมลงไปในอาหาร โดยมีค่าอยู่ในช่วง 0.97 ± 0.05 ถึง 2.45 ± 0.02 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งปลาที่ได้รับอาหารสูตรที่ 5 (MSP: AvP 1.5%) มีค่าเปอร์เซ็นต์ฟอสฟอรัสในตัวปลาสูงสุด โดยมีค่าเท่ากับ 2.45 ± 0.02 รองลงมาได้แก่ ปลาที่ได้รับอาหารสูตรที่ 4 (MSP: AvP 0.7%) มีค่าเท่ากับ 1.89 ± 0.11 เปอร์เซ็นต์ จะเห็นได้ว่า ปลาที่ได้รับอาหารที่มีการเสริมอนินทรีย์ฟอสเฟตจะมีค่าเปอร์เซ็นต์ฟอสฟอรัสในตัวปลาสูงกว่าปลาที่ได้รับอาหารที่ไม่มีการเสริมอนินทรีย์ฟอสเฟต คือ สูตรที่ 1 (อาหารที่มีปลาป่นระดับสูง) และสูตรที่ 2 (อาหารที่มีปลาป่นระดับต่ำ) และ ปลาที่ได้รับอาหารที่มีการเสริมอนินทรีย์ฟอสเฟตในรูปแบบของ DCP และ TCP จะมีค่าเปอร์เซ็นต์ฟอสฟอรัสในตัวปลาใกล้เคียงกัน และไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ ($P>0.05$)

แคลเซียมในตัวปลาเมื่อสิ้นสุดการทดลองพบว่า ค่าแคลเซียมในตัวปลาจะมีค่าเพิ่มขึ้นตามระดับของอนินทรีย์ฟอสเฟตที่เสริมลงไปในอาหาร โดยมีค่าอยู่ในช่วง 1.10 ± 0.05 ถึง 3.83 ± 0.07 เปอร์เซ็นต์ โดยปลาที่ได้รับอาหารสูตรที่ 5 (MSP: AvP 1.5%) มีค่าแคลเซียมในตัวปลาสูงที่สุด และแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ ($P<0.05$) กับปลาที่ได้รับอาหารสูตรอื่นๆ

โดยมีค่าเท่ากับ 3.83 $\pm$ 0.07 เปอร์เซ็นต์ รองลงมาได้แก่ ปลาที่ได้รับอาหารสูตรที่ 4 (MSP: AvP 0.7%) โดยมีค่าเท่ากับ 2.20 $\pm$ 0.07 เปอร์เซ็นต์ และปลาที่ได้รับอาหารสูตรที่ 3 (MSP: AvP 0.7%) มีค่าแคลเซียมในตัวปลาต่ำที่สุด โดยมีค่าเท่ากับ 1.38 $\pm$ 0.02 เปอร์เซ็นต์ และจะเห็นได้ว่า ปลาที่ได้รับอาหารที่มีการเสริมอนินทรีย์ฟอสเฟตในรูปแบบของ MSP มีค่าแคลเซียมในตัวปลาสูงกว่าปลาที่ได้รับอาหารที่มีการเสริมอนินทรีย์ฟอสเฟตในรูปแบบของ DCP และ TCP และปลาที่ได้รับอาหารสูตรที่มีการเสริมอนินทรีย์ฟอสเฟตจะมีค่าแคลเซียมในตัวปลาสูงกว่าปลาที่ได้รับอาหารสูตรที่ 1 และ สูตรที่ 2 (อาหารที่มีปลาป่นระดับสูง และอาหารที่มีปลาป่นระดับต่ำ) ที่ไม่มีการเสริมอนินทรีย์ฟอสเฟตลงในอาหาร ดังแสดงในตารางที่ 9

ตารางที่ 9: ส่วนประกอบทางโภชนาการของตัวปลาที่ได้รับอาหารทดลอง 11 สูตร[1]

สูตรอาหาร	รูปแบบ	ระดับ (%)	ความชื้น[2] (%)	โปรตีน (%)	ไขมัน (%)	เถ้า (%)	ฟอสฟอรัส (%)	แคลเซียม (%)
ปลาเริ่มต้นการทดลอง			**76.98 ± 0.65**	**56.97 ± 0.26**	**22.81 ± 0.78**	**11.45 ± 0.04**	**1.99 ± 0.05**	**1.64 ± 0.01**
1	อาหารที่มีปลาป่นระดับสูง		70.45 ± 1.75	46.87 ± 0.70	38.74 ± 0.73	6.12 ± 0.32	1.09 ± 0.19	1.24 ± 0.08
2	อาหารที่มีปลาป่นระดับต่ำ		70.13 ± 0.23	46.66 ± 0.28	37.91 ± 0.61	5.90 ± 0.16	0.97 ± 0.05	1.10 ± 0.05
3	MSP	AvP 0.4	72.33 ± 1.23^{abc}	52.49 ± 0.52^{e}	29.12 ± 0.58^{c}	7.44 ± 0.23^{c}	1.27 ± 0.09^{a}	1.38 ± 0.02^{a}
4	MSP	AvP 0.7	75.22 ± 0.99^{cd}	58.65 ± 0.38^{f}	25.05 ± 0.28^{b}	10.38 ± 0.07^{e}	1.89 ± 0.11^{c}	2.20 ± 0.07^{e}
5	MSP	AvP 1.5	76.89 ± 0.65^{d}	64.92 ± 0.72^{g}	18.51 ± 0.73^{a}	13.91 ± 0.14^{f}	2.45 ± 0.02^{d}	3.83 ± 0.07^{f}
6	DCP	AvP 0.4	69.34 ± 0.34^{a}	45.65 ± 0.47^{a}	39.38 ± 0.86^{g}	6.97 ± 0.08^{b}	1.27 ± 0.03^{a}	1.59 ± 0.01^{c}
7	DCP	AvP 0.7	71.12 ± 0.33^{ab}	48.50 ± 0.18^{c}	32.78 ± 0.61^{d}	7.12 ± 0.07^{b}	1.30 ± 0.13^{a}	1.60 ± 0.03^{c}
8	DCP	AvP 1.5	74.54 ± 3.97^{bcd}	48.60 ± 0.18^{c}	32.90 ± 0.77^{d}	9.24 ± 0.24^{d}	1.48 ± 0.16^{b}	1.99 ± 0.06^{d}
9	TCP	AvP 0.4	71.38 ± 1.32^{ab}	49.49 ± 0.47^{d}	37.51 ± 0.37^{f}	6.55 ± 0.14^{a}	1.20 ± 0.08^{a}	1.49 ± 0.01^{b}
10	TCP	AvP 0.7	70.93 ± 0.19^{ab}	47.24 ± 0.40^{b}	35.33 ± 0.48^{e}	6.58 ± 0.07^{a}	1.22 ± 0.08^{a}	1.53 ± 0.02^{bc}
11	TCP	AvP 1.5	71.22 ± 0.50^{ab}	49.45 ± 0.51^{d}	32.48 ± 0.81^{d}	7.19 ± 0.14^{b}	1.26 ± 0.08^{a}	1.56 ± 0.01^{bc}
รูปแบบของอนินทรีย์ฟอสเฟต			P < 0.05	P < 0.05	P < 0.05	P < 0.05	P < 0.05	P < 0.05
ระดับของอนินทรีย์ฟอสเฟต			P < 0.05	P < 0.05	P < 0.05	P < 0.05	P < 0.05	P < 0.05
รูปแบบ x ระดับ			NS	P < 0.05	P < 0.05	P < 0.05	P < 0.05	P < 0.05

[1] ตัวเลขที่นำเสนอเป็นค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน จากการวิเคราะห์ตัวอย่าง 3 ซ้ำ [2]ตัวเลขที่นำเสนอเป็นค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน จากการวิเคราะห์ตัวอย่าง 2 ซ้ำ

ค่าเฉลี่ยในสดมภ์ที่มีตัวอักษรเหมือนกันกำกับ ไม่มีความแตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ (P>0.05)

3.4.2 ส่วนประกอบทางโภชนาการของเนื้อปลา

องค์ประกอบของเนื้อปลาที่ได้รับอาหารแตกต่างกัน 11 สูตร พบว่า มีปฏิสัมพันธ์กันระหว่างรูปแบบ และระดับของอนินทรีย์ฟอสเฟตที่เสริมลงไปในอาหาร โดยเปอร์เซ็นต์โปรตีน ไขมัน เถ้า ฟอสฟอรัส และแคลเซียม ในเนื้อปลาหลังทดลองมีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ ($P<0.05$) และมีค่าเป็นไปในทางเดียวกันกับค่าที่วิเคราะห์ได้ในตัวปลาซึ่งแสดงดังในตารางที่ 10

โปรตีนในเนื้อปลาที่ได้รับอาหารแตกต่างกัน เมื่อสิ้นสุดการทดลองพบว่า มีค่าสูงกว่าโปรตีนในตัวปลาเมื่อสิ้นสุดการทดลอง โดยมีค่าอยู่ในช่วง 74.38 $\pm$ 0.72 ถึง 64.04 $\pm$ 0.41 เปอร์เซ็นต์ และปลาที่ได้รับอาหารสูตรที่ 5 (MSP: AvP 1.5%) มีค่าโปรตีนในเนื้อปลาสูงที่สุด และมีความแตกต่างกันทางสถิติกับปลาที่ได้รับอาหารสูตรอื่นๆ อย่างมีนัยสำคัญ ($P>0.05$) โดยมีค่าเท่ากับ 74.38 $\pm$ 0.72 เปอร์เซ็นต์ รองลงมาได้แก่ ปลาที่ได้รับอาหารสูตรที่ 4 (MSP: AvP 0.7 %) โดยมีค่าเท่ากับ 68.39 $\pm$ 0.34 เปอร์เซ็นต์ และปลาที่ได้รับอาหารสูตรที่ 3 และ 9 (MSP: AvP 0.4 % และ TCP: AvP 0.4 %) มีค่าโปรตีนในเนื้อปลาน้อยที่สุด และไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ ($P>0.05$) โดยมีค่าเท่ากับ 64.20 $\pm$ 0.17 และ 64.04 $\pm$ 0.4 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ

ไขมันในเนื้อปลาเมื่อสิ้นสุดการทดลอง พบว่า มีค่าอยู่ในช่วง 4.81 $\pm$ 0.21 ถึง 25.64 $\pm$ 0.61 เปอร์เซ็นต์ โดยปลาที่ได้รับอาหารสูตรที่ 3 (MSP: AvP 0.4 %) มีค่าไขมันในเนื้อสูงที่สุด และมีความแตกต่างกับปลาที่ได้รับอาหารสูตรอื่นๆ อย่างมีนัยสำคัญ ($P<0.05$) ซึ่งมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับเปอร์เซ็นต์ไขมันในเนื้อปลาเริ่มต้นการทดลอง โดยมีค่าเท่ากับ 20.27 $\pm$ 0.87 เปอร์เซ็นต์ และปลาที่ได้รับอาหารสูตรที่ 5 (MSP: AvP 1.5%) มีค่าไขมันในเนื้อปลาน้อยที่สุด โดยมีค่าเท่ากับ 4.81 $\pm$ 0.21 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งลดลงจากเปอร์เซ็นต์ไขมันในเนื้อปลาเริ่มต้น และน้อยกว่าไขมันในเนื้อของปลาที่ได้รับอาหารที่ไม่มีการเสริมอนินทรีย์ฟอสเฟต คือ สูตรที่ 1 (อาหารที่มีปลาป่นระดับสูง) และ สูตรที่ 2 (อาหารที่มีปลาป่นระดับต่ำ)

เถ้าในเนื้อปลาที่ได้รับอาหารแตกต่างกัน พบว่าเปอร์เซ็นต์เถ้าในเนื้อปลามีค่าอยู่ในช่วง 4.03 $\pm$ 0.09 ถึง 6.26 $\pm$ 0.41 เปอร์เซ็นต์ และเพิ่มขึ้นตามระดับของอนินทรีย์ฟอสเฟตที่เสริมลงในอาหาร โดยปลาที่ได้รับอาหารสูตรที่ 5 (MSP: AvP 1.5%) มีเปอร์เซ็นต์เถ้าในเนื้อปลาสูงสุด โดยมีค่าเท่ากับ 6.26 $\pm$ 0.41 รองลงมาได้แก่ ปลาที่ได้รับอาหารสูตรที่ 4 (MSP: AvP 0.7%) มีค่าเท่ากับ 5.49 $\pm$ 0.07 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งมีค่าสูงกว่าเปอร์เซ็นต์เถ้าในเนื้อปลาเริ่มต้นการทดลอง และแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ ($P<0.05$) กับปลาที่ได้รับอาหารสูตรอื่นๆ ส่วนปลาที่ได้รับอาหารสูตรที่ 9 (TCP: AvP 0.4 %) มีค่าเปอร์เซ็นต์เถ้าในเนื้อต่ำที่สุดโดยมีค่าเท่ากับ 4.28 $\pm$ 0.05 เปอร์เซ็นต์

ฟอสฟอรัสในเนื้อปลาที่ได้รับอาหารแตกต่างกัน เมื่อสิ้นสุดการทดลองพบว่า เปอร์เซ็นต์ฟอสฟอรัสในเนื้อจะมีค่า เพิ่มขึ้นตามระดับของอนินทรีย์ฟอสเฟตที่เสริมลงไปในอาหาร โดยมีค่าอยู่ในช่วง 0.60 $\pm$ 0.11 ถึง 0.89 $\pm$ 0.05 เปอร์เซ็นต์ และปลาที่ได้รับอาหารสูตรที่ 5 (MSP: AvP 1.5%) มีเปอร์เซ็นต์ฟอสฟอรัสในเนื้อสูงสุด โดยมีค่าเท่ากับ 0.89 $\pm$ 0.05 เปอร์เซ็นต์ รองลงมาได้แก่ ปลาที่ได้รับอาหารสูตรที่ 4 (MSP: AvP 0.7%) โดยมีค่าเท่ากับ 0.84 + 0.02 เปอร์เซ็นต์ และปลาที่ได้รับอาหารสูตรที่ 3 (MSP: AvP 0.4%) มีค่าเปอร์เซ็นต์ฟอสฟอรัสในเนื้อปลาต่ำที่สุด โดยมีค่าเท่ากับ 0.66 $\pm$ 0.06 เปอร์เซ็นต์ และจากค่าดังกล่าวจะเห็นได้ว่า ปลาที่ได้รับอาหารที่มีการเสริมอนินทรีย์ฟอสเฟตในรูปแบบของ MSP จะมีค่าใกล้เคียงกับเปอร์เซ็นต์ฟอสฟอรัสในเนื้อปลาเริ่มต้นการทดลอง และมีค่าสูงกว่าปลาที่ได้รับอาหารที่ไม่มีการเสริมอนินทรีย์ฟอสเฟต คือ สูตรที่ 1 (อาหารที่มีปลาป่นระดับสูง) และ สูตรที่ 2 (อาหารที่มีปลาป่นระดับต่ำ)

แคลเซียมในเนื้อปลา เมื่อสิ้นสุดการทดลองพบว่า แคลเซียมในเนื้อของปลาจะมีค่าเพิ่มตามระดับอนินทรีย์ฟอสเฟตที่เสริมลงไปในอาหาร และมีค่าลดลงจากแคลเซียมในเนื้อของปลาเริ่มต้นการทดลอง โดยมีค่าอยู่ในช่วง 0.14 $\pm$ 0.02 ถึง 0.29 $\pm$ 0.01 เปอร์เซ็นต์ และปลาที่ได้รับอาหารสูตรที่ 8 (DCP: AvP 1.5%) มีค่าแคลเซียมในเนื้อปลาสูงสุด โดยมีค่าเท่ากับ 0.29 $\pm$ 0.01 เปอร์เซ็นต์ รองลงมา ได้แก่ปลาที่ได้รับอาหารสูตรที่ 5 สูตรที่ 4 และ สูตรที่ 11 (MSP: AvP 1.5%, MSP: AvP 0.7% และ TCP: AvP 1.5%) โดยมีค่าเท่ากับ 0.23 $\pm$ 0.01, 0.22 $\pm$ 0.01 และ 0.22 $\pm$ 0.02 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับส่วนปลาที่ได้รับอาหารสูตรที่ 9 (TCP: AvP 0.4%) มีค่าแคลเซียมในเนื้อต่ำที่สุด โดยมีค่าเท่ากับ 0.14 $\pm$ 0.02 เปอร์เซ็นต์ และจะเห็นได้ว่า ปลาที่ได้รับอาหารที่มีการเสริมอนินทรีย์ฟอสเฟตในรูปของ MSP จะมีค่าแคลเซียมในเนื้อปลามากกว่าปลาที่ได้รับอาหารที่มีการเสริมอนินทรีย์ฟอสเฟตในรูปของ DCP และ TCP ดังแสดงในตารางที่ 10

ตารางที่ 10: ส่วนประกอบทางโภชนาการของเนื้อปลาไนที่ได้รับอาหารทดลอง 11 สูตร[1]

สูตรอาหาร	รูปแบบ	ระดับ (%)	โปรตีน (%)	ไขมัน (%)	เถ้า (%)	ฟอสฟอรัส (%)	แคลเซียม (%)
ปลาเริ่มต้นการทดลอง			**80.29 ± 0.59**	**16.12 ± 0.28**	**4.78 ± 0.21**	**0.85 ± 0.02**	**0.25 ± 0.01**
1	อาหารที่มีปลาป่นระดับสูง		68.40 ± 0.56	25.64 ± 0.61	4.08 ± 0.16	0.73 ± 0.03	0.19 ± 0.01
2	อาหารที่มีปลาป่นระดับต่ำ		65.07 ± 0.50	15.99 ± 0.33	4.03 ± 0.09	0.60 ± 0.11	0.15 ± 0.02
3	MSP	AvP 0.4	64.20 ± 0.17^{a}	20.27 ± 0.87^{g}	4.31 ± 0.06^{ab}	0.66 ± 0.06^{a}	0.17 ± 0.02^{ab}
4	MSP	AvP 0.7	68.39 ± 0.34^{e}	9.46 ± 0.54^{b}	5.49 ± 0.07^{d}	0.84 ± 0.02^{cd}	0.22 ± 0.01^{c}
5	MSP	AvP 1.5	74.38 ± 0.72^{f}	4.81 ± 0.21^{a}	6.26 ± 0.41^{e}	0.89 ± 0.05^{d}	0.23 ± 0.01^{c}
6	DCP	AvP 0.4	65.28 ± 0.07^{b}	17.43 ± 0.52^{f}	4.37 ± 0.07^{abc}	0.67 ± 0.07^{a}	0.18 ± 0.03^{a}
7	DCP	AvP 0.7	65.84 ± 0.40^{bc}	13.35 ± 0.46^{d}	4.43 ± 0.04^{abc}	0.70 ± 0.03^{a}	0.18 ± 0.04^{b}
8	DCP	AvP 1.5	66.74 ± 0.77^{d}	11.56 ± 0.83^{c}	4.63 ± 0.14^{c}	0.73 ± 0.05^{ab}	0.29 ± 0.01^{d}
9	TCP	AvP 0.4	64.04 ± 0.41^{a}	14.80 ± 0.28^{e}	4.28 ± 0.05^{a}	0.69 ± 0.02^{a}	0.14 ± 0.02^{a}
10	TCP	AvP 0.7	66.29 ± 0.26^{cd}	13.47 ± 0.24^{d}	4.53 ± 0.10^{abc}	0.78 ± 0.05^{bc}	0.19 ± 0.01^{b}
11	TCP	AvP 1.5	66.74 ± 0.30^{d}	13.15 ± 0.13^{d}	4.58 ± 0.02^{bc}	0.79 ± 0.02^{bc}	0.22 ± 0.02^{c}
รูปแบบของอนินทรีย์ฟอสเฟต			P < 0.05	P < 0.05	P < 0.05	P < 0.05	P < 0.05
ระดับของอนินทรีย์ฟอสเฟต			P < 0.05	P < 0.05	P < 0.05	P < 0.05	P < 0.05
รูปแบบ x ระดับ			P < 0.05	P < 0.05	P < 0.05	P < 0.05	P < 0.05

[1] ตัวเลขที่นำเสนอเป็นค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน จากการวิเคราะห์ตัวอย่าง 3 ซ้ำ

ค่าเฉลี่ยในสดมภ์ที่มีตัวอักษรเหมือนกันกำกับ ไม่มีความแตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ (P>0.05)

3.5 การสะสมไขมันในตับ

ไขมันในตับของปลาเมื่อสิ้นสุดการทดลอง พบว่า มีปฏิสัมพันธ์กันระหว่างรูปแบบ และระดับของอนินทรีย์ฟอสเฟตที่เสริมลงไปในอาหาร โดยไขมันในตับของปลาเมื่อสิ้นสุดการทดลองมีค่าอยู่ในช่วง 24.15 $\pm$ 0.12 ถึง 39.99 $\pm$ 0.33 เปอร์เซ็นต์ และปลาที่ได้รับอาหารที่มีการเสริมอนินทรีย์ฟอสเฟตในรูปของ TCP% ในทุกๆ ระดับที่ทำการศึกษามีค่าเปอร์เซ็นต์ไขมันในตับสูงที่สุด และแตกต่างกันทางสถิติกับปลาที่ได้รับอาหารสูตรอื่นๆอย่างมีนัยสำคัญ ($P<0.05$) ส่วนปลาที่ได้รับอาหารสูตรที่ 5 (MSP: AvP 1.5%) มีค่าเปอร์เซ็นต์ไขมันในตับต่ำที่สุด โดยมีค่าเท่ากับ 24.15 $\pm$ 0.12 เปอร์เซ็นต์ ดังแสดงในตารางที่ 11

ตารางที่ 11: การสะสมไขมันในตับปลาไนที่ได้รับอาหารทดลอง 11 สูตร[1]

สูตรอาหาร	รูปแบบ	ระดับ (%)	ไขมันในตับ (%)
ปลาเริ่มต้นการทดลอง			**20.41 $\pm$ 0.46**
1	อาหารที่มีปลาป่นระดับสูง		38.09 $\pm$ 0.73
2	อาหารที่มีปลาป่นระดับต่ำ		37.01 $\pm$ 0.70
3	MSP	AvP 0.4	36.11 $\pm$ 0.94^{d}
4	MSP	AvP 0.7	25.37 $\pm$ 0.74^{b}
5	MSP	AvP 1.5	24.15 $\pm$ 0.12^{a}
6	DCP	AvP 0.4	37.39 $\pm$ 0.81^{e}
7	DCP	AvP 0.7	35.24 $\pm$ 0.42^{d}
8	DCP	AvP 1.5	28.48 $\pm$ 0.63^{c}
9	TCP	AvP 0.4	38.93 $\pm$ 0.61^{f}
10	TCP	AvP 0.7	39.99 $\pm$ 0.33^{f}
11	TCP	AvP 1.5	39.26 $\pm$ 0.25^{f}
รูปแบบของอนินทรีย์ฟอสเฟต			$P < 0.05$
ระดับของอนินทรีย์ฟอสเฟต			$P < 0.05$
รูปแบบ x ระดับ			$P < 0.05$

[1] ตัวเลขที่นำเสนอเป็นค่าเฉลี่ย $\pm$ ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน จากการวิเคราะห์ตัวอย่าง 3 ซ้ำ ค่าเฉลี่ยในสดมภ์ที่มีตัวอักษรเหมือนกันกำกับ ไม่มีความแตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ ($P>0.05$)

3.6 เถ้าในเกล็ด และกระดูก

เปอร์เซ็นต์เถ้าในเกล็ด และกระดูกของปลาเมื่อสิ้นสุดการทดลอง พบว่ามีปฏิสัมพันธ์กันระหว่างรูปแบบ และระดับของอนินทรีย์ฟอสเฟตที่เสริมลงไปในอาหาร โดยทั้งรูปแบบ และระดับของอนินทรีย์ฟอสเฟตในอาหารทำให้เปอร์เซ็นต์เถ้าในเกล็ด และกระดูกมีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($P<0.05$) ดังแสดงในตารางที่ 12

เถ้าในเกล็ดของปลาเมื่อสิ้นสุดการทดลอง พบว่า มีค่าอยู่ในช่วง 6.73 $\pm$ 0.10 ถึง 19.78 $\pm$ 0.13 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งปลาที่ได้รับอาหารสูตรที่ 5 (MSP: AvP 1.5%) มีค่าเปอร์เซ็นต์เถ้าในเกล็ดสูงที่สุด และแตกต่างจากปลาที่ได้รับอาหารในสูตรอื่นๆ อย่างมีนัยสำคัญ ($P<0.05$) ซึ่งค่าดังกล่าวสูงกว่าเปอร์เซ็นต์เถ้าในเกล็ดของปลาเริ่มต้นการทดลอง และปลาที่ได้รับอาหารที่ไม่มีการเสริมอนินทรีย์ฟอสเฟต คือ สูตรที่ 1 (อาหารที่มีปลาป่นระดับสูง) และ สูตรที่ 2 (อาหารที่มีปลาป่นระดับต่ำ) โดยมีค่าเท่ากับ 19.78 $\pm$ 0.13 เปอร์เซ็นต์ รองลงมาได้แก่ ปลาที่ได้รับอาหารสูตรที่ 4 (MSP: AvP 0.7%) โดยมีค่าเท่ากับ 14.05 $\pm$ 0.20 เปอร์เซ็นต์ ส่วนปลาที่ได้รับอาหารที่มีการเสริมอนินทรีย์ฟอสเฟตในรูปของ TCP คือ สูตรที่ 10 และ 9 (TCP: AvP 0.7% และ TCP: AvP 0.4%) มีค่าเปอร์เซ็นต์เถ้าในเกล็ดต่ำที่สุด โดยมีค่าเท่ากับ 7.23 $\pm$ 0.27 และ 7.24 $\pm$ 0.03 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ และ จะเห็นได้ว่า เปอร์เซ็นต์เถ้าในเกล็ดปลาเมื่อเปรียบเทียบระดับอนินทรีย์ฟอสเฟตในรูปแบบเดียวกัน จะมีค่าเพิ่มขึ้นตามระดับอนินทรีย์ฟอสเฟตที่เสริมลงในอาหาร

เถ้าในกระดูกของปลาเมื่อสิ้นสุดการทดลองมีค่าอยู่ในช่วง 32.15 $\pm$ 0.60 ถึง 49.35 $\pm$ 0.35 เปอร์เซ็นต์ โดยทุกชุดการทดลองมีค่าเปอร์เซ็นต์เถ้าในกระดูกลดลงจากเปอร์เซ็นต์เถ้าในกระดูกของปลาเริ่มต้นการทดลอง และปลาที่ได้รับอาหารสูตรที่ 5 (MSP: AvP 1.5%) มีค่าเปอร์เซ็นต์เถ้าในกระดูกสูงสุด และแตกต่างกันทางสถิติกับปลาที่ได้รับอาหารสูตรอื่นๆ อย่างมีนัยสำคัญ ($P<0.05$) โดยมีค่าเท่ากับ 49.35 $\pm$ 0.35 เปอร์เซ็นต์ รองลงมาได้แก่ ปลาที่ได้รับอาหารสูตรที่ 4 (MSP: AvP 0.7%) มีค่าเท่ากับ 45.67 $\pm$ 0.35 เปอร์เซ็นต์ และปลาที่ได้รับอาหารสูตรที่ 9 และ 10 (TCP: AvP 0.4% และ TCP: AvP 0.7%) มีค่าเปอร์เซ็นต์เถ้าในกระดูกต่ำที่สุด และมีค่าต่ำกว่าปลาที่ได้รับอาหารที่ไม่มีการเสริมอนินทรีย์ฟอสเฟต คือ สูตรที่ 1 (อาหารที่มีปลาป่นระดับสูง) และสูตรที่ 2 (อาหารที่มีปลาป่นระดับต่ำ) โดยมีค่าเท่ากับ 32.15 $\pm$ 0.60 และ 32.36 $\pm$ 0.73 เปอร์เซ็นต์ และจะเห็นได้ว่า เปอร์เซ็นต์เถ้าในเกล็ด และกระดูกจะเป็นไปในทิศทางเดียวกัน กล่าวคือ จะมีค่าเพิ่มขึ้นตามระดับของอนินทรีย์ฟอสเฟตที่เสริมลงไปในอาหาร ดังแสดงในตารางที่ 12

ตารางที่ 12: เถ้าในเกล็ด และกระดูกของปลาไนที่ได้รับอาหารทดลอง 11 สูตร[1]

สูตรอาหาร	รูปแบบ	ระดับ (%)	เถ้าในเกล็ด (%)	เถ้าในกระดูก (%)
ปลาเริ่มต้นการทดลอง			**14.35 ± 0.20**	**52.53 ± 0.32**
1	อาหารที่มีปลาป่นระดับสูง		7.01 ± 0.06	38.07 ± 0.70
2	อาหารที่มีปลาป่นระดับต่ำ		6.73 ± 0.10	39.30 ± 0.87
3	MSP	AvP 0.4	8.25 ± 0.11^{c}	43.51 ± 0.58^{d}
4	MSP	AvP 0.7	14.05 ± 0.20^{f}	45.67 ± 0.35^{e}
5	MSP	AvP 1.5	19.78 ± 0.13^{g}	49.35 ± 0.35^{f}
6	DCP	AvP 0.4	8.13 ± 0.04^{c}	41.87 ± 0.41^{c}
7	DCP	AvP 0.7	8.91 ± 0.03^{d}	42.25 ± 0.52^{c}
8	DCP	AvP 1.5	10.26 ± 0.02^{e}	43.84 ± 0.33^{d}
9	TCP	AvP 0.4	7.24 ± 0.03^{a}	32.15 ± 0.60^{a}
10	TCP	AvP 0.7	7.23 ± 0.27^{a}	32.36 ± 0.73^{a}
11	TCP	AvP 1.5	7.79 ± 0.18^{b}	40.06 ± 0.28^{b}
รูปแบบของอนินทรีย์ฟอสเฟต			P < 0.05	P < 0.05
ระดับของอนินทรีย์ฟอสเฟต			P < 0.05	P < 0.05
รูปแบบ x ระดับ			P < 0.05	P < 0.05

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

3.7 ประสิทธิภาพการใช้ฟอสฟอรัส และแคลเซียม และปริมาณฟอสฟอรัสในซีรัม

3.7.1 ฟอสฟอรัส และแคลเซียม ในเกล็ด และกระดูก

เมื่อสิ้นสุดการทดลอง พบว่า เปอร์เซ็นต์ฟอสฟอรัส และแคลเซียมในเกล็ด และกระดูก มีปฏิสัมพันธ์กันระหว่างรูปแบบ และระดับของอนินทรีย์ฟอสเฟตที่เสริมลงในอาหาร โดยทั้งรูปแบบ และระดับของอนินทรีย์ฟอสเฟตทำให้ค่าเปอร์เซ็นต์ฟอสฟอรัส และแคลเซียมในเกล็ด และกระดูกมีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ (P<0.05)

ฟอสฟอรัสในเกล็ดของปลาที่ได้รับอาหารแตกต่างกัน เมื่อสิ้นสุดการทดลอง พบว่า ฟอสฟอรัสในเกล็ดของปลามีค่าอยู่ในช่วง 2.04 ± 0.11 ถึง 4.01 ± 0.64 เปอร์เซ็นต์ โดยปลาที่ได้รับอาหารที่มีการเสริมอนินทรีย์ฟอสเฟตในรูปของ MSP มีค่าฟอสฟอรัสในเกล็ดสูง

กว่าปลาที่ได้รับอาหารที่มีการเสริมอนินทรีย์ฟอสเฟตในรูปของ DCP และ TCP อย่างมีนัยสำคัญ ($P<0.05$) และค่าดังกล่าวพบว่าสูงกว่าปลาที่ได้รับอาหารที่ไม่มีการเสริมอนินทรีย์ฟอสเฟต คือ สูตรที่ 1 (อาหารที่มีปลาป่นระดับสูง) และ สูตรที่ 2 (อาหารที่มีปลาป่นระดับต่ำ) โดยปลาที่ได้รับอาหารสูตรที่ 5 (MSP: AvP 1.5%) มีค่าเปอร์เซ็นต์ฟอสฟอรัสในเกล็ดสูงสุด โดยมีค่าเท่ากับ 4.01 ± 0.64 เปอร์เซ็นต์ รองลงมา ได้แก่ปลาที่ได้รับอาหารสูตรที่ 4 (MSP: AvP 0.7%) มีค่าเท่ากับ 3.02 ± 0.14 เปอร์เซ็นต์ ส่วนปลาที่ได้รับอาหารสูตรอื่นๆ พบว่าเปอร์เซ็นต์ฟอสฟอรัสในเกล็ดไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($P>0.05$) และจะมีค่าเพิ่มขึ้นตามระดับอนินทรีย์ฟอสเฟตที่เสริมลงในอาหาร

ฟอสฟอรัสในกระดูกของปลาเมื่อสิ้นสุดการทดลอง พบว่า มีค่าอยู่ในช่วง 6.02 ± 0.58 ถึง 9.05 ± 0.71 เปอร์เซ็นต์ โดยค่าดังกล่าวมีค่าลดลงจากฟอสฟอรัสในกระดูกปลาเริ่มต้นการทดลอง ซึ่งปลาที่ได้รับอาหารสูตรที่ 5 (MSP: AvP 1.5%) มีค่าเปอร์เซ็นต์ฟอสฟอรัสในกระดูกสูงสุด โดยมีค่าเท่ากับ 9.05 ± 0.71 เปอร์เซ็นต์ และปลาที่ได้รับอาหารสูตรที่ 10 และ 9 (TCP: AvP 0.7% และ TCP: AvP 0.4%) มีค่าฟอสฟอรัสในกระดูกต่ำที่สุด และมีความแตกต่างกันทางสถิติกับปลาที่ได้รับอาหารสูตรอื่นๆ อย่างมีนัยสำคัญ ($P<0.05$) โดยมีค่าเท่ากับ 6.18 ± 0.71 และ 6.02 ± 0.58 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ

แคลเซียมในเกล็ดปลาเมื่อสิ้นสุดการทดลองพบว่า มีค่าอยู่ในช่วง 1.71 ± 0.01 ถึง 5.94 ± 0.07 เปอร์เซ็นต์ และมีค่าลดลงจากค่าแคลเซียมในปลาเริ่มต้นการทดลอง ยกเว้นปลาที่ได้รับอาหารสูตรที่ 5 (MSP: AvP 1.5%) มีค่าแคลเซียมในเกล็ดสูงที่สุด และแตกต่างกับปลาที่ได้รับอาหารสูตรอื่นๆ อย่างมีนัยสำคัญ ($P<0.05$) โดยมีค่าเท่ากับ 5.94 ± 0.07 เปอร์เซ็นต์ รองลงมา คือ ปลาที่ได้รับอาหารสูตรที่ 4 (MSP: AvP 0.7%) มีค่าเท่ากับ 4.64 ± 0.06 เปอร์เซ็นต์ ส่วนปลาที่ได้รับอาหารสูตรที่ 6 (DCP: AvP 0.4%) มีค่าแคลเซียมในเกล็ดต่ำที่สุด โดยมีค่าเท่ากับ 2.20 ± 0.01 เปอร์เซ็นต์ และยังพบอีกว่า ปลาที่ได้รับอาหารทดลองที่มีการเสริมอนินทรีย์ฟอสเฟตในทุกๆ รูปแบบ และระดับ มีค่าแคลเซียมในเกล็ดสูงกว่าปลาที่ได้รับอาหารที่ไม่มีการเสริมอนินทรีย์ฟอสเฟต คือ สูตรที่ 1 (อาหารที่มีปลาป่นระดับสูง) และ สูตรที่ 2 (อาหารที่มีปลาป่นระดับต่ำ)

แคลเซียมในกระดูกของปลาที่ได้รับอาหารแตกต่างกัน เมื่อสิ้นสุดการทดลองพบว่าค่าแคลเซียมในกระดูกมีค่าอยู่ในช่วง 11.39 ± 0.34 ถึง 16.87 ± 0.41 เปอร์เซ็นต์ โดยมีค่าลดลงจากค่าแคลเซียมในกระดูกของปลาเริ่มต้น และปลาที่ได้รับอาหารที่มีการเสริมอนินทรีย์ฟอสเฟตในรูปของ MSP มีค่าแคลเซียมในกระดูกสูงกว่าปลาที่ได้รับอาหารที่มีการเสริมอนินทรีย์ฟอสเฟตในรูปของ DCP และ TCP โดยปลาที่ได้รับอาหารสูตรที่ 5 (MSP: AvP 1.5%) มีค่าแคลเซียมในกระดูก

สูงสุด โดยมีค่าเท่ากับ 16.87 $\pm$ 0.41 เปอร์เซ็นต์ แต่ค่าดังกล่าวไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($P>0.05$) กับปลาที่ได้รับอาหารสูตรที่ 4 (MSP: AvP 0.7%) โดยมีค่าเท่ากับ 16.46 $\pm$ 0.65 เปอร์เซ็นต์ รองลงมาได้แก่ ปลาที่ได้รับอาหารสูตรที่ 3 (MSP, AvP 0.4%) มีค่าเท่ากับ 15.64 $\pm$ 0.49 เปอร์เซ็นต์ และปลาที่ได้รับอาหารสูตรที่ 10 และ 9 (TCP: AvP 0.7% และ TCP: AvP 0.4%) มีค่าแคลเซียมในกระดูกต่ำที่สุด โดยมีค่าเท่ากับ 11.39 $\pm$ 0.34 และ 11.98 $\pm$ 0.34 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ

จะเห็นได้ว่า ค่าฟอสฟอรัส และแคลเซียมในเกล็ด และในกระดูกของปลาเมื่อสิ้นสุดการทดลอง มีค่าแปรผันตามกัน โดยค่าฟอสฟอรัสในเกล็ด และกระดูกของปลา จะมีค่าเพิ่มขึ้นตามระดับอนินทรีย์ฟอสเฟตที่เสริมลงไปในอาหาร เช่นเดียวกันกับค่าแคลเซียมในเกล็ด และกระดูกปลา และปลาที่ได้รับอาหารที่มีการเสริมอนินทรีย์ฟอสเฟตในรูปแบบของ TCP จะมีค่าฟอสฟอรัส และแคลเซียม ในเกล็ด และกระดูกของปลาต่ำที่สุด เมื่อเปรียบเทียบกับปลาที่ได้รับอาหารที่มีการเสริมอนินทรีย์ฟอสเฟตในรูปแบบของ MSP และ DCP และยังพบอีกว่า เมื่อเปรียบเทียบระดับอนินทรีย์ฟอสเฟตในรูปแบบเดียวกัน จะมีค่าเพิ่มขึ้นตามระดับอนินทรีย์ฟอสเฟตที่เสริมลงในอาหารดังแสดงในตารางที่ 13

ตารางที่ 13: ฟอสฟอรัส และแคลเซียมในเกล็ด และกระดูกของปลาไนที่ได้รับอาหารทดลอง 11 สูตร[1]

สูตรอาหาร	รูปแบบ	ระดับ (%)	ฟอสฟอรัสในเกล็ด (%)	ฟอสฟอรัสในกระดูก (%)	แคลเซียมในเกล็ด (%)	แคลเซียมในกระดูก (%)
ปลาเริ่มต้นการทดลอง			**3.60 ± 0.13**	**10.54 ± 0.37**	**4.75 ± 0.24**	**19.12 ± 0.94**
1	อาหารที่มีปลาป่นระดับสูง		2.04 ± 0.11	8.39 ± 0.29	1.71 ± 0.01	13.53 ± 0.28
2	อาหารที่มีปลาป่นระดับต่ำ		1.92 ± 0.13	6.70 ± 0.50	1.96 ± 0.01	13.72 ± 0.12
3	MSP	AvP 0.4	2.06 ± 0.07^{a}	7.87 ± 0.25^{b}	2.25 ± 0.02^{a}	15.64 ± 0.49^{c}
4	MSP	AvP 0.7	3.02 ± 0.14^{b}	8.93 ± 0.63^{cd}	4.64 ± 0.06^{d}	16.46 ± 0.65^{d}
5	MSP	AvP 1.5	4.01 ± 0.64^{c}	9.05 ± 0.71^{d}	5.94 ± 0.07^{e}	16.87 ± 0.41^{d}
6	DCP	AvP 0.4	2.22 ± 0.17^{a}	8.45 ± 0.08^{bcd}	2.20 ± 0.01^{a}	13.85 ± 0.37^{b}
7	DCP	AvP 0.7	2.26 ± 0.20^{a}	8.58 ± 0.67^{bcd}	2.38 ± 0.17^{ab}	13.81 ± 0.65^{b}
8	DCP	AvP 1.5	2.27 ± 0.11^{a}	8.00 ± 0.27^{bc}	3.33 ± 0.01^{c}	14.16 ± 0.34^{b}
9	TCP	AvP 0.4	2.08 ± 0.09^{a}	6.02 ± 0.58^{a}	2.28 ± 0.15^{a}	11.98 ± 0.34^{a}
10	TCP	AvP 0.7	2.11 ± 0.08^{a}	6.18 ± 0.71^{a}	2.28 ± 0.09^{a}	11.39 ± 0.34^{a}
11	TCP	AvP 1.5	2.13 ± 0.17^{a}	8.49 ± 0.36^{bcd}	2.54 ± 0.12^{b}	14.33 ± 0.26^{b}
รูปแบบของอนินทรีย์ฟอสเฟต			P < 0.05	P < 0.05	P < 0.05	P < 0.05
ระดับของอนินทรีย์ฟอสเฟต			P < 0.05	P < 0.05	P < 0.05	P < 0.05
รูปแบบ x ระดับ			P < 0.05	P < 0.05	P < 0.05	P < 0.05

[1] ตัวเลขที่นำเสนอเป็นค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน จากการวิเคราะห์ตัวอย่าง 3 ซ้ำ

ค่าเฉลี่ยในสดมภ์ที่มีตัวอักษรเหมือนกันกำกับ ไม่มีความแตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ (P>0.05)

3.7.2 ฟอสฟอรัสในซีรัม

เมื่อสิ้นสุดการทดลอง พบว่า ค่าฟอสฟอรัสในซีรัมมีปฏิสัมพันธ์กันระหว่างรูปแบบ และระดับของอนินทรีย์ฟอสเฟตที่เสริมลงไปในอาหาร โดยทั้งรูปแบบ และระดับของอนินทรีย์ฟอสเฟตในอาหารส่งผลทำให้ค่าฟอสฟอรัสในซีรัมมีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ ($P<0.05$) และปลาที่ได้รับอาหารที่มีการเสริมอนินทรีย์ฟอสเฟตในรูปของ MSP มีค่าฟอสฟอรัสในซีรัมสูงสุด และแตกต่างกับชุดการทดลองอื่นๆอย่างมีนัยสำคัญ ($P<0.05$) โดยปลาที่ได้รับอาหารสูตรที่ 5 และ 4 (MSP: AvP 1.5% และ MSP, AvP 0.7%) มีค่าฟอสฟอรัสในซีรัมสูงสุด และไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ ($P>0.05$) โดยมีค่าเท่ากับ 25.10 ± 0.42, 24.80 ± 1.84 ตามลำดับ รองลงมา ได้แก่ ปลาที่ได้รับอาหารที่มีการเสริมอนินทรีย์ฟอสเฟตในรูปของ DCP และปลาที่ได้รับอาหารที่มีการเสริมอนินทรีย์ฟอสเฟตในรูปของ TCP มีค่าฟอสฟอรัสในซีรัมต่ำสุด ดังแสดงในตารางที่ 14

ตารางที่ 14: ฟอสฟอรัสในซีรัมของปลาไนที่ได้รับอาหารทดลอง 11 สูตร[1]

สูตรอาหาร	รูปแบบ	ระดับ (%)	ฟอสฟอรัสในซีรัม[1] (mg %)
1	อาหารที่มีปลาป่นระดับสูง		22.15 ± 0.21
2	อาหารที่มีปลาป่นระดับต่ำ		21.9 ± 1.13
3	MSP	AvP 0.4	21.00 ± 0.57^{c}
4	MSP	AvP 0.7	24.80 ± 1.84^{d}
5	MSP	AvP 1.5	25.10 ± 0.42^{d}
6	DCP	AvP 0.4	15.80 ± 0.14^{b}
7	DCP	AvP 0.7	14.55 ± 1.06^{b}
8	DCP	AvP 1.5	16.00 ± 0.49^{b}
9	TCP	AvP 0.4	10.65 ± 1.34^{a}
10	TCP	AvP 0.7	10.95 ± 1.20^{a}
11	TCP	AvP 1.5	11.95 ± 0.07^{a}
รูปแบบของอนินทรีย์ฟอสเฟต			$P < 0.05$
ระดับของอนินทรีย์ฟอสเฟต			$P < 0.05$
รูปแบบ x ระดับ			$P < 0.05$

[1] ตัวเลขที่นำเสนอเป็นค่าเฉลี่ย $\pm$ ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน จากการวิเคราะห์ตัวอย่าง 2 ซ้ำ ค่าเฉลี่ยในสดมภ์ที่มีตัวอักษรเหมือนกันกำกับ ไม่มีความแตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ ($P>0.05$)

3.7.3 การเก็บสะสมฟอสฟอรัสในร่างกาย และฟอสฟอรัสที่ถูกขับทิ้ง

ปริมาณการเก็บสะสมฟอสฟอรัสในร่างกายปลา และปริมาณฟอสฟอรัสที่ถูกขับทิ้งของปลาไน พบว่ามีปฏิสัมพันธ์กันระหว่างรูปแบบ และระดับของอนินทรีย์ฟอสเฟตที่เสริมลงไปในอาหาร โดยทั้งรูปแบบ และระดับของอนินทรีย์ฟอสเฟตทำให้ค่าปริมาณการเก็บสะสมฟอสฟอรัสในร่างกายปลา และปริมาณฟอสฟอรัสที่ถูกขับทิ้งของปลาไนมีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ ($P<0.05$)

การสะสมฟอสฟอรัสในร่างกายของปลาไนเมื่อสิ้นสุดการทดลอง พบว่า ปริมาณการสะสมฟอสฟอรัสในร่างกายของปลาอยู่ในช่วง 1.92 $\pm$ 0.13 ถึง 23.94 $\pm$ 0.40 เปอร์เซ็นต์ และปลาที่ได้รับอาหารที่มีการเสริมอนินทรีย์ฟอสเฟตในรูปของ MSP มีค่าการสะสมฟอสฟอรัสในร่างกายสูงกว่าปลาที่ได้รับอาหารที่มีการเสริมอนินทรีย์ฟอสเฟตในรูปของ DCP และ TCP และค่าดังกล่าวมีค่าสูงกว่าปลาที่ได้รับอาหารที่ไม่มีการเสริมอนินทรีย์ฟอสเฟต คือ สูตรที่ 1 (อาหารที่มีปลาป่นระดับสูง) และ สูตรที่ 2 (อาหารที่มีปลาป่นระดับต่ำ) โดยปลาที่ได้รับสูตรที่ 5 (MSP: AvP 1.5%) มีค่าเปอร์เซ็นต์การสะสมฟอสฟอรัสสูงสุด โดยมีค่าเท่ากับ 23.94 $\pm$ 0.40 เปอร์เซ็นต์ รองลงมาเป็นปลาที่ได้รับอาหารสูตรที่ 4 (MSP: AvP 0.7%) โดยมีค่าเท่ากับ 22.83 $\pm$ 1.10 เปอร์เซ็นต์ ส่วนปลาที่ได้รับอาหารสูตรที่ 8 (DCP: AvP 1.5%) มีเปอร์เซ็นต์การสะสมฟอสฟอรัสในร่างกายต่ำที่สุด แต่ค่าดังกล่าวไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($P>0.05$) กับปลาที่ได้รับอาหารสูตรที่ 7 (DCP: AvP 0.7%) โดยมีค่าเท่ากับ 2.17 $\pm$ 0.02 และ 2.95 $\pm$ 0.68 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ

ปริมาณฟอสฟอรัสที่ถูกขับทิ้งของปลาเมื่อสิ้นสุดการทดลอง พบว่า ปริมาณฟอสฟอรัสที่ถูกขับทิ้งของปลามีค่าอยู่ในช่วง 1.81 $\pm$ 0.10 ถึง 9.85 $\pm$ 0.06 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมน้ำหนักที่เพิ่มขึ้น โดยปลาที่ได้รับอาหารสูตรที่ 8 (DCP: AvP 1.5%) และสูตรที่ 11 (TCP: AvP 1.5%) มีค่าฟอสฟอรัสที่ถูกขับทิ้งสูงสุด และแตกต่างกันทางสถิติกับปลาที่ได้รับอาหารสูตรอื่นๆ อย่างมีนัยสำคัญ ($P<0.05$) โดยมีค่าเท่ากับ 9.85$\pm$ 0.06 และ 8.80 $\pm$ 0.17 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมน้ำหนักที่เพิ่มขึ้นตามลำดับ ส่วนปลาที่ได้รับอาหารสูตรที่ 4 (MSP: AvP 0.7%) มีค่าปริมาณฟอสฟอรัสที่ถูกขับทิ้งน้อยที่สุด โดยมีค่าเท่ากับ 1.81 $\pm$ 0.10 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมน้ำหนักที่เพิ่มขึ้น ซึ่งค่าดังกล่าวไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติกับปลาที่ได้รับอาหารสูตรที่ 5 และ สูตรที่ 3 (MSP: AvP 1.5% และ MSP: AvP 0.4%)โดยมีค่าเท่ากับ 2.00 $\pm$ 0.18 และ 2.97 $\pm$ 0.15 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมน้ำหนักที่เพิ่มขึ้นตามลำดับ และเมื่อเปรียบเทียบปลาที่ได้รับอาหารที่มีการเสริมอนินทรีย์ฟอสเฟตในแต่ละรูปแบบ จะเห็นได้ว่า ปลาที่ได้รับอาหารที่มีการเสริมอนินทรีย์ฟอสเฟตในรูปของ MSP จะมีค่าปริมาณฟอสฟอรัสที่ถูกขับทิ้งน้อยกว่าปลาที่ได้รับอาหารที่มีการเสริมอนินทรีย์ฟอสเฟตในรูปของ

DCP, TCP และปลาที่ได้รับอาหารที่ไม่มีการเสริมอนินทรีย์ฟอสเฟต คือ สูตรที่ 1 (อาหารที่มีปลาป่นระดับสูง) และ สูตรที่ 2 (อาหารที่มีปลาป่นระดับต่ำ)

จากค่าการสะสมฟอสฟอรัสในร่างกายของปลา และปริมาณฟอสฟอรัสที่ถูกขับทิ้ง จะเห็นได้ว่า ค่าดังกล่าวจะแปรผกผันกันระหว่างการสะสมฟอสฟอรัสในร่างกายของปลา และปริมาณฟอสฟอรัสที่ถูกขับทิ้ง โดยปลาที่มีการสะสมฟอสฟอรัสในร่างกายสูง จะมีปริมาณฟอสฟอรัสที่ถูกขับทิ้งน้อย และปลาที่มีการสะสมฟอสฟอรัสในร่างกายต่ำ จะมีปริมาณฟอสฟอรัสที่ถูกขับทิ้งสูง และยังพบอีกว่า ค่าการสะสมฟอสฟอรัสในร่างกายของปลาจะมีค่าลดลงเมื่อเพิ่มระดับอนินทรีย์ฟอสเฟตในอาหาร ส่วนปริมาณฟอสฟอรัสที่ถูกขับทิ้งจะมีค่าสูงขึ้นเมื่อเพิ่มระดับอนินทรีย์ฟอสเฟตในอาหาร ดังแสดงในตารางที่ 15

ตารางที่ 15: การสะสมฟอสฟอรัสในร่างกาย และฟอสฟอรัสที่ถูกขับทิ้งของปลาไนที่ได้รับอาหารทดลอง 11 [1]

สูตรอาหาร	รูปแบบ	ระดับ (%)	การเก็บสะสมฟอสฟอรัสในร่างกาย (%)	ฟอสฟอรัสที่ถูกขับทิ้ง (กรัม/กิโลกรัมน้ำหนักที่เพิ่มขึ้น)
1	อาหารที่มีปลาป่นระดับสูง		7.15 ± 0.61	4.76 ± 0.24
2	อาหารที่มีปลาป่นระดับต่ำ		6.69 ± 0.47	3.97 ± 0.34
3	MSP	AvP 0.4	13.09 ± 0.46^{f}	2.97 ± 0.15^{ab}
4	MSP	AvP 0.7	22.83 ± 1.10^{g}	1.81 ± 0.10^{a}
5	MSP	AvP 1.5	23.94 ± 0.40^{h}	2.00 ± 0.18^{a}
6	DCP	AvP 0.4	12.05 ± 0.32^{e}	3.52 ± 0.32^{b}
7	DCP	AvP 0.7	3.95 ± 0.68^{b}	6.93 ± 1.34^{c}
8	DCP	AvP 1.5	2.17 ± 0.02^{a}	9.85± 0.06^{d}
9	TCP	AvP 0.4	7.89 ± 0.38^{d}	6.11 ± 0.52^{c}
10	TCP	AvP 0.7	5.45 ± 0.85^{c}	7.30 ± 1.88^{c}
11	TCP	AvP 1.5	3.32 ± 0.28^{b}	8.80 ± 0.17^{d}
รูปแบบของอนินทรีย์ฟอสเฟต			P < 0.05	P < 0.05
ระดับของอนินทรีย์ฟอสเฟต			P < 0.05	P < 0.05
รูปแบบ x ระดับ			P < 0.05	P < 0.05

[1] ตัวเลขที่นำเสนอเป็นค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน จากการคำนวณข้อมูล 3 ซ้ำ

ค่าเฉลี่ยในสดมภ์ที่มีตัวอักษรเหมือนกันกำกับ ไม่มีความแตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ (P> 0.05)

3.8 ประสิทธิภาพการย่อย

ประสิทธิภาพการย่อยวัตถุแห้ง ประสิทธิภาพการย่อยโปรตีน และประสิทธิภาพการย่อยฟอสฟอรัส พบว่ามีปฏิสัมพันธ์กันระหว่างรูปแบบของอนินทรีย์ฟอสเฟต และระดับของอนินทรีย์ฟอสเฟตที่เสริมลงในอาหาร โดยทั้งรูปแบบ และระดับของอนินทรีย์ฟอสเฟตทำให้ประสิทธิภาพการย่อยวัตถุแห้ง ประสิทธิภาพการย่อยโปรตีน และประสิทธิภาพการย่อยฟอสฟอรัส มีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ ($P<0.05$)

ประสิทธิภาพการย่อยวัตถุแห้งของปลาที่ได้รับอาหารแตกต่างกัน เมื่อสิ้นสุดการทดลอง พบว่า ประสิทธิภาพการย่อยวัตถุแห้งมีค่าอยู่ในช่วง 45.07 $\pm$ 0.60 ถึง 71.33 $\pm$ 0.97 เปอร์เซ็นต์ โดยปลาที่ได้รับอาหารที่มีการเสริมอนินทรีย์ฟอสเฟตในรูปของ MSP ในทุกๆ ระดับที่ทำการศึกษา มีค่าประสิทธิภาพการย่อยวัตถุแห้งสูงที่สุด แต่ค่าดังกล่าวไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($P>0.05$) กับปลาที่ได้รับอาหารสูตรที่ 7 และสูตรที่ 9 (DCP, AvP 0.7% และ TCP, AvP 0.4%) และค่าประสิทธิภาพการย่อยวัตถุแห้งดังกล่าวมีค่ามากกว่าปลาที่ได้รับอาหารสูตรที่ไม่มีการเสริมอนินทรีย์ฟอสเฟต คือ สูตรที่ 1 (อาหารที่มีปลาป่นระดับสูง) และสูตรที่ 2 (อาหารที่มีปลาป่นระดับต่ำ) โดยพบว่าปลาที่ได้รับอาหารสูตรที่ 3 (MSP: AvP 0.4%) มีค่าประสิทธิภาพการย่อยวัตถุแห้งสูงสุด โดยมีค่าเท่ากับ 67.69 $\pm$ 0.26 เปอร์เซ็นต์ และปลาที่ได้รับอาหารสูตรที่ 8 (DCP: AvP 1.5%) มีค่าประสิทธิภาพการย่อยวัตถุแห้งต่ำที่สุด โดยมีค่าเท่ากับ 45.07 $\pm$ 0.60 เปอร์เซ็นต์

ประสิทธิภาพการย่อยโปรตีนของปลาที่ได้รับอาหารแตกต่างกัน เมื่อสิ้นสุดการทดลองพบว่า ประสิทธิภาพการย่อยโปรตีนของปลามีค่าอยู่ในช่วง 76.04 $\pm$ 0.73 ถึง 89.58 $\pm$ 0.46 เปอร์เซ็นต์ และปลาที่ได้รับอาหารที่มีการเสริมอนินทรีย์ฟอสเฟตในรูปแบบ และระดับต่างๆ มีค่าประสิทธิภาพการย่อยโปรตีนของปลาไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ ($P>0.05$) ยกเว้นแต่ปลาที่ได้รับอาหารสูตรที่ 8 (DCP: AvP 0.7%) มีค่าประสิทธิภาพการย่อยโปรตีนของปลาต่ำที่สุด โดยมีค่าเท่ากับ 82.24 $\pm$ 1.38 เปอร์เซ็นต์ และปลาที่ได้รับอาหารสูตรที่ 5 (MSP: AvP 1.5%) มีค่าประสิทธิภาพการย่อยโปรตีนสูงสุด โดยมีค่าเท่ากับ 89.58 $\pm$ 0.46 เปอร์เซ็นต์ และค่าดังกล่าวก็มีความใกล้เคียงกับปลาที่ได้รับอาหารสูตร 2 (อาหารที่มีปลาป่นระดับต่ำ) และจากค่าประสิทธิภาพการย่อยโปรตีนของปลา จะเห็นได้ว่า ปลาที่ได้รับอาหารสูตรที่ 1 (อาหารที่มีปลาป่นระดับสูง) มีค่าประสิทธิภาพการย่อยโปรตีนของปลาต่ำกว่าปลาที่ได้รับอาหารสูตรทดลองสูตรอื่นๆ

ประสิทธิภาพการย่อยฟอสฟอรัสในอาหารของปลาที่ได้รับอาหารแตกต่างกัน เมื่อสิ้นสุดการทดลอง พบว่ามีประสิทธิภาพการย่อยฟอสฟอรัสอยู่ในช่วง 21.31 $\pm$ 1.39 ถึง

64.96 $\pm$ 0.99 เปอร์เซ็นต์ และปลาที่ได้รับอาหารที่มีการเสริมอนินทรีย์ฟอสเฟตในรูปของ MSP มีค่าประสิทธิภาพการย่อยฟอสฟอรัสดีที่สุด โดยมีค่าสูงกว่าปลาที่ได้รับอาหารสูตรที่ไม่มีการเสริมอนินทรีย์ฟอสเฟต คือ สูตรที่ 1 (อาหารที่มีปลาป่นระดับสูง) และ สูตรที่ 2 (อาหารที่มีปลาป่นระดับต่ำ) และมีความแตกต่างกับปลาที่ได้รับอาหารสูตรอื่นๆ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) โดยปลาที่ได้รับอาหารสูตรที่ 5 (MSP: AvP 1.5%) มีค่าประสิทธิภาพการย่อยฟอสฟอรัสสูงที่สุด โดยมีค่าเท่ากับ 64.96 $\pm$ 0.99 เปอร์เซ็นต์ รองลงมาได้แก่ปลาที่ได้รับอาหารสูตรที่ 4 และ สูตรที่ 3 (MSP: AvP 0.7% และ MSP: AvP 0.4%) โดยมีค่าเท่ากับ 49.57 $\pm$ 0.82 และ 36.42 $\pm$ 0.51 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ส่วนปลาที่ได้รับอาหารสูตรที่มีการเสริมอนินทรีย์ฟอสเฟตในรูปของ DCP และ TCP พบว่า ประสิทธิภาพการย่อยฟอสฟอรัสไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($P>0.05$) ยกเว้นแต่ปลาที่ได้รับอาหารสูตรที่ 8 (DCP: AvP 1.5%) มีค่าประสิทธิภาพการย่อยฟอสฟอรัสต่ำที่สุด โดยมีค่าเท่ากับ 17.07 $\pm$ 1.36 เปอร์เซ็นต์ และพบว่าค่าดังกล่าวมีค่าต่ำกว่าปลาที่ได้รับอาหารที่ไม่มีการเสริมอนินทรีย์ฟอสเฟตในอาหาร

ซึ่งจากค่าดังกล่าวเป็นไปในทางเดียวกัน กล่าวคือ ปลาที่ได้รับอาหารสูตรที่ 5 (MSP: AvP 1.5%) มีค่าประสิทธิภาพการย่อยวัตถุแห้ง ประสิทธิภาพการย่อยโปรตีน และประสิทธิภาพการย่อยฟอสฟอรัสสูงสุด ส่วนปลาที่ได้รับอาหารสูตรที่ 8 (DCP: AvP 1.5%) มีค่าประสิทธิภาพการย่อยค่าต่างๆ ต่ำที่สุด และเมื่อเปรียบเทียบระหว่างปลาที่ได้รับอาหารที่ไม่มีการเสริมอนินทรีย์ฟอสเฟต จะเห็นได้ว่า ปลาที่ได้รับอาหารสูตรที่ 1 (อาหารที่มีปลาป่นระดับสูง) มีค่าประสิทธิภาพการย่อยวัตถุแห้ง ประสิทธิภาพการย่อยโปรตีน และประสิทธิภาพการย่อยฟอสฟอรัสต่ำกว่า ปลาที่ได้รับอาหารสูตรที่ 2 (อาหารที่มีปลาป่นระดับต่ำ) และประสิทธิภาพการย่อยวัตถุแห้ง ประสิทธิภาพการย่อยโปรตีน และประสิทธิภาพการย่อยฟอสฟอรัส ของปลาที่ได้รับอาหารที่มีการเสริมอนินทรีย์ฟอสเฟตในรูปแบบของ MSP ทุกๆ ระดับที่ทำการศึกษา จะมีค่าสูงกว่าปลาที่ได้รับอาหารที่มีการเสริมอนินทรีย์ฟอสเฟตในรูปแบบของ DCP และ TCP ส่วนปลาที่ได้รับอาหารที่มีการเสริมอนินทรีย์ฟอสเฟตในรูปแบบของ DCP และ TCP จะมีค่าประสิทธิภาพการย่อยค่าต่างๆ ใกล้เคียงกัน และไม่แตกต่างกันมากนัก

ตารางที่ 16: ประสิทธิภาพการย่อยวัตถุแห้ง ประสิทธิภาพการย่อยโปรตีน และประสิทธิภาพการย่อยฟอสฟอรัส ของปลาไนที่ได้รับอาหารทดลอง 11 สูตร [1]

สูตรอาหาร	รูปแบบ	ระดับ (%)	ประสิทธิภาพการย่อย (%)		
			วัตถุแห้ง	โปรตีน	ฟอสฟอรัส
1	อาหารที่มีปลาป่นระดับสูง		58.06 ± 0.94	76.04 ± 0.73	32.31 ± 1.39
2	อาหารที่มีปลาป่นระดับต่ำ		71.33 ± 0.97	89.61 ± 0.78	35.55 ± 1.95
3	MSP	AvP 0.4	67.69 ± 0.26^{e}	89.50 ± 1.24^{b}	36.42 ± 0.51^{c}
4	MSP	AvP 0.7	67.17 ± 0.67^{e}	89.28 ± 0.69^{b}	49.57 ± 0.82^{d}
5	MSP	AvP 1.5	67.55 ± 0.92^{e}	89.58 ± 0.46^{b}	64.96 ± 0.99^{e}
6	DCP	AvP 0.4	63.08 ± 0.84^{d}	88.58 ± 0.88^{b}	23.93 ± 1.73^{b}
7	DCP	AvP 0.7	67.38 ± 0.85^{e}	89.18 ± 0.97^{b}	22.11 ± 1.77^{b}
8	DCP	AvP 1.5	45.07 ± 0.60^{a}	82.24 ± 1.38^{a}	17.07 ± 1.36^{a}
9	TCP	AvP 0.4	66.64 ± 0.58^{e}	88.74 ± 0.52^{b}	22.21 ± 1.99^{b}
10	TCP	AvP 0.7	59.85 ± 0.67^{c}	89.19 ± 2.76^{b}	22.14 ± 0.73^{b}
11	TCP	AvP 1.5	51.50 ± 1.07^{b}	88.05 ± 0.18^{b}	21.61 ± 0.86^{b}
รูปแบบของอนินทรีย์ฟอสเฟต			P < 0.05	P < 0.05	P < 0.05
ระดับของอนินทรีย์ฟอสเฟต			P < 0.05	P < 0.05	P < 0.05
รูปแบบของอนินทรีย์ฟอสเฟต x ระดับของอนินทรีย์ฟอสเฟต			P < 0.05	P < 0.05	P < 0.05

[1] ตัวเลขที่นำเสนอเป็นค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน จากการคำนวณข้อมูล 3 ซ้ำ

ค่าเฉลี่ยในสดมภ์ที่มีตัวอักษรเหมือนกันกำกับ ไม่มีความแตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ (P>0.05)

บทที่ 4
วิจารณ์ผลการทดลอง

จากการศึกษาความต้องการฟอสฟอรัส และการใช้ประโยชน์จากอนินทรีย์ฟอสเฟตในรูปแบบ และระดับที่แตกต่างกัน พบว่า ปลาไนที่ได้รับอาหารที่มีรูปแบบ และระดับของอนินทรีย์ฟอสเฟตที่เสริมลงในอาหารแตกต่างกัน มีผลทำให้การเจริญเติบโต องค์ประกอบทางเคมีต่างๆ ในตัวปลา ปริมาณการสะสมฟอสฟอรัส และประสิทธิภาพการย่อยแตกต่างกัน ซึ่งจากผลการทดลองในครั้งนี้ แสดงให้เห็นว่าปลาไนที่ได้รับอาหารที่มีการเสริมอนินทรีย์ฟอสเฟตในรูปแบบของโมโนโซเดียมฟอสเฟตทั้ง 3 ระดับ สูตรที่ 3, 4 และ 5 (MSP: AvP 0.4%, MSP: AvP 0.7% และ MSP: AvP 1.5%) ส่งผลทำให้การเจริญเติบโต และการแสดงออกด้านต่างๆ ของปลา เช่นน้ำหนักเฉลี่ยต่อตัวที่เพิ่มขึ้น น้ำหนักที่เพิ่มขึ้น อัตราการเจริญเติบโตจำเพาะ และอัตราการกินอาหาร องค์ประกอบทางเคมีตัวปลา การสะสมฟอสฟอรัสในร่างกายดีที่สุด และมีปริมาณฟอสฟอรัสที่ถูกขับทิ้งน้อยที่สุด ซึ่งสอดคล้องกับการรายงานของ Watanabe และคณะ (1988) พบว่า ฟอสฟอรัสที่อยู่ในรูปของโมโน สามารถแตกตัวได้ง่าย และละลายน้ำได้ดีกว่าฟอสฟอรัสในรูปของได และไตร และนอกจากนี้ การใช้ประโยชน์จากอนินทรีย์ฟอสเฟตยังขึ้นอยู่กับความสามารถในการละลายของกรดเกลือที่หลั่งออกจากกระเพาะ โดยเฉพาะอย่างยิ่ง ปลาไนเป็นปลาที่ไม่มีกระเพาะการใช้ประโยชน์จากโมโนแคลเซียมฟอสเฟต จะมากกว่าไดแคลเซียมฟอสเฟต และไตรแคลเซียมฟอสเฟต ซึ่งผลดังกล่าวสอดคล้องกับหลายๆ การทดลอง เช่น Eya และ Lovell (1997) พบว่า ปลากดหลวงสามารถสามารถดูดซึมฟอสฟอรัสในรูปแบบของโมโนโซเดียมฟอสเฟตได้ดีที่สุด รองลงมาได้แก่ โมโนแอมโมเนียฟอสเฟต โมโนแคลเซียมฟอสเฟต ไดแคลเซียมฟอสเฟต และไตรแคลเซียมฟอสเฟต ตามลำดับ และการทดลองของ Nordrum และคณะ (1997) พบว่า ปลาแซลมอน สามารถสะสมฟอสฟอรัสในรูปของโมโนโซเดียมฟอสเฟตได้ 131 เปอร์เซ็นต์ โมโนแคลเซียมฟอสเฟต 86 เปอร์เซ็นต์ และไดแคลเซียมฟอสเฟต 91 เปอร์เซ็นต์

ในด้านการเจริญเติบโตของปลา จากการทดลองพบว่า ปลาที่ได้รับอาหารสูตรที่ 3, 4 และ 5 (MSP: AvP 0.4%, MSP: AvP 0.7% และ MSP: AvP 1.5%) มีการแสดงออกด้านน้ำหนักที่เพิ่มขึ้น อัตราการเจริญเติบโตจำเพาะ อัตราการกินอาหาร ดีกว่าปลาที่ได้รับอาหารสูตรที่ 6, 7 และ 8 (DCP: AvP 0.4%, DCP: AvP 0.7% และ DCP: AvP 1.5%) และสูตรที่ 9, 10 และ 11 (TCP: AvP 0.4%, TCP: AvP 0.7% และ TCP: AvP 1.5%) ซึ่งโดยทั่วไปแล้ว การเจริญเติบโตของปลาสามารถประเมินได้จากชีวภาพพร้อมใช้ของสารอาหารชนิดต่างๆ (ชุติมา, 2549) โดยเฉพาะในการทดลองเรื่องความต้องการแร่ธาตุในอาหารสัตว์น้ำ ความสามารถในการย่อย และดูดซึมนำไปใช้ประโยชน์

จากอาหารของปลา จะมีความแตกต่างกันทั้งนี้ขึ้นอยู่กับชนิดของปลา รูปแบบที่ได้รับ ประสิทธิภาพการย่อยวัตถุดิบอาหารที่เป็นแหล่งที่มาของแร่ธาตุชนิดนั้นๆ การทำปฏิกิริยากับสารอาหารอื่นๆ และกระบวนการในการผลิตอาหาร (Lall, 2002) จากการศึกษาครั้งนี้ สอดคล้องกับการรายงานของ Eya และ Lovell (1997) ที่ได้ทำการทดลองความสามารถในการดูดซึมสารอนินทรีย์ฟอสเฟตรูปแบบต่างๆ ในปลากดหลวง พบว่าสามารถดูดซึมโมโนโซเดียมฟอสเฟตได้ดีที่สุด คือ 88.6 เปอร์เซ็นต์ รองลงมาได้แก่ โมโนแอมโมเนียฟอสเฟต 85.4 เปอร์เซ็นต์ โมโนแคลเซียมฟอสเฟต 81.2 เปอร์เซ็นต์ ไดแคลเซียมฟอสเฟต 74.8 เปอร์เซ็นต์ และไตรแคลเซียมฟอสเฟต 54.8 เปอร์เซ็นต์ แต่แตกต่างจากการรายงานในปลากะพงยุโรประยะวัยอ่อน โดยพบว่าสามารถย่อยฟอสฟอรัสในรูปของไดแคลเซียมฟอสเฟตได้ดีกว่า โมโนแคลเซียมฟอสเฟต และไตรแคลเซียมฟอสเฟต ทั้งนี้มีการให้เหตุผลว่า ความสามารถในการดูดซึมฟอสฟอรัสในปลาแต่ละชนิดมีความแตกต่างกัน และวิธีการรวบรวมมูลปลาเพื่อใช้ในการวิเคราะห์หาปริมาณฟอสฟอรัส รวมถึงในการสร้างสูตรอาหารอาจจะมีค่าฟอสฟอรัสที่สามารถใช้ประโยชน์ได้ตรงกันข้าม หรือต่ำกว่าการย่อยได้จริงของปลา (Pimentel-Rodrigues and Oliva-Teles, 2007) และเมื่อเปรียบเทียบกับระดับของอนินทรีย์ฟอสเฟตแต่ละชนิดที่เสริมลงในอาหารนั้น จะเห็นได้ว่า จากผลการทดลองครั้งนี้ ปลาที่ได้รับฟอสฟอรัสในรูปของโมโนโซเดียมฟอสเฟตในทุกๆ ระดับที่ทำการศึกษาสูตรที่ 3, 4 และ 5 (MSP: AvP 0.4%, MSP: AvP 0.7% และ MSP: AvP 1.5%) การแสดงออกด้านการเจริญเติบโตจะเพิ่มขึ้นตามระดับของอนินทรีย์ฟอสเฟตที่เสริมลงในอาหาร ซึ่งแสดงให้เห็นว่าปลาไนสามารถใช้ฟอสฟอรัสในรูปของโมโน ได้ดีกว่าในรูปของได และไตร สอดคล้องกับการรายงานที่พบในปลาไน (Watanabe *et al*., 1988; Nordrum *et al*., 1997) ปลากดหลวง (Eya and Lovell, 1997) ส่วนปลาที่ได้รับอาหารที่มีการเสริมไดแคลเซียมฟอสเฟตสูตรที่ 6 และ 7 (DCP: AvP 0.4% และ DCP: AvP 0.7%) และไตรแคลเซียมฟอสเฟต สูตรที่ 9, 10 และ 11 (TCP: AvP 0.4%, TCP: AvP 0.7% และ TCP: AvP 1.5%) การแสดงออกด้านการเจริญเติบโต มีค่าที่ใกล้เคียงกัน และไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ แต่ในขณะเดียวกันปลาที่ได้รับอาหารสูตรที่ 8 (DCP: AvP 1.5%) มีการแสดงออกด้านการเจริญเติบโตต่ำที่สุด ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากในระดับดังกล่าวเป็นระดับที่มากเกินความต้องการของปลา ซึ่งสอดคล้องกับการรายงานของ Lall (2002) กล่าวว่า ระดับความต้องการแร่ธาตุในปลามีความสัมพันธ์กับปริมาณแร่ธาตุที่ปลาได้รับ ถ้าปลาได้รับในปริมาณที่น้อยเกินไปก็จะทำให้ร่างกายอยู่ในภาวะที่ขาดแคลนแร่ธาตุ (deficiency) แต่ถ้าได้รับในปริมาณมากเกินไป ทำให้เกิดภาวะเป็นพิษต่อปลา (toxicity) และส่งผลต่อร่างกายของปลาตามบทบาทหน้าที่ของแร่ธาตุแต่ละชนิด ซึ่งสอดคล้องกับการรายงานของ Ogino และ Takeda (1978); Watanabe และคณะ (1988); NRC (1993) และ Kim และคณะ (1998) โดยพบว่าความต้องการฟอสฟอรัสที่สามารถใช้ประโยชน์ได้

ของปลาไนมีค่าอยู่ในช่วง 0.6-0.8 เปอร์เซ็นต์ เช่นเดียวกับการรายงานในปลากดหลวง Robinson และคณะ (1986), ปลานิล (O'Connell และ Gatlin (1994) พบว่า เมื่อปลาได้รับฟอสฟอรัสในปริมาณที่เพียงพอจะส่งผลต่อการเจริญเติบโตของปลา และนอกจากนี้จะเห็นได้ว่าการแสดงออกในด้านการเจริญเติบโตของปลามีความสัมพันธ์กับ อัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อ ประสิทธิภาพการใช้โปรตีน และการใช้ประโยชน์จากโปรตีนสุทธิ โดยปลาที่มีการเจริญเติบโตสูงสุด ก็จะมีอัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อ ประสิทธิภาพการใช้โปรตีน และการใช้ประโยชน์จากโปรตีนสุทธิดีที่สุดด้วย ซึ่งสอดคล้องกับการทดลองของ Kim และคณะ (1998) ซึ่งพบว่าในระดับฟอสฟอรัสที่เพียงพอแก่ความต้องการของร่างกาย ส่งผลทำให้ค่าน้ำหนักที่เพิ่มขึ้น อัตราการเจริญเติบโตจำเพาะ อัตราการกินอาหาร อัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อ ประสิทธิภาพการใช้โปรตีนในปลาไนมีค่าดีที่สุด และปลาที่มีการเจริญเติบโตดี จะมีค่าอัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อต่ำ ประสิทธิภาพการใช้โปรตีน และการใช้ประโยชน์จากโปรตีนสุทธิสูง แสดงให้เห็นว่าปลามีความสามารถในการเปลี่ยนโปรตีนในอาหารให้เป็นเนื้อ และสะสมเป็นโปรตีนในตัวปลาได้ดีเช่นเดียวกัน (วีรพงศ์, 2536) แต่ในทางกลับกันค่าประสิทธิภาพการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อของปลาที่ได้รับอาหารที่มีการเสริมฟอสฟอรัสในรูปของไดแคลเซียมฟอสเฟต และไตรแคลเซียมฟอสเฟตมีค่าสูง ซึ่งแตกต่างจากการศึกษาในปลาแฮดดอก (Roy and Lall, 2003) ปลาแซลมอน (Sajjadi and Carter, 2004) พบว่าอัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อมีค่าต่ำกว่า 1 แต่เมื่อเปรียบเทียบค่าประสิทธิภาพการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อในปลาไนซึ่งเป็นปลาชนิดเดียวกันกับที่ใช้ในการทดลองครั้งนี้อัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อจะมีค่าใกล้เคียงกัน (Nandeesha *et at*., 2000; Nwanna and Schwarz, 2007; Nwanna *et al*., 2007) ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากปลาที่ได้รับอาหารดังกล่าวมีความสามารถในการนำโปรตีนจากอาหารมาใช้ประโยชน์ได้น้อย และยังมีรายงานอีกว่า ค่าอัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อของปลาไม่ได้เป็นผลของโปรตีน หรือกรดอะมิโนอย่างเดียวเท่านั้น แต่อาจเกิดจากธาตุอาหารอื่นๆ เช่น ไขมัน คาร์โบไฮเดรต วิตามิน และแร่ธาตุ (วีรพงศ์, 2536) ในด้านความสัมพันธ์ระหว่างส่วนองค์ประกอบทางเคมีกับการเจริญเติบโตของปลา จากการสังเกต จะเห็นได้ว่า ปลาที่มีอัตราการเจริญเติบโตดี จะมีค่าโปรตีนในตัวปลาสูง และไขมันในตัวปลาต่ำ แสดงให้เห็นถึงความสามารถในการนำสารอาหารไปใช้ในกระบวนการเมทาบอลิซึมทั้งที่ใช้เป็นแหล่งพลังงาน และที่ใช้เพื่อการเจริญเติบโต ซึ่งปลามีความสามารถในการใช้คาร์โบไฮเดรตต่ำ แหล่งพลังงานที่สำคัญจึงมาจากโปรตีน และไขมันเป็นส่วนมาก (ชุติมา, 2549) จากผลการทดลองปลาที่ได้รับอาหารที่มีการเสริมฟอสฟอรัสในรูปของโมโนโซเดียมฟอสเฟตสูตรที่ 3, 4 และ 5 (MSP: AvP 0.4%, MSP: AvP 0.7% และ MSP: AvP 1.5%) จะมีค่าโปรตีนสะสมในตัวปลาสูง และไขมันที่สะสมในตัวปลาต่ำ ซึ่งค่าดังกล่าวตรงกันข้ามกับปลาที่ได้รับอาหารที่มีการเสริมฟอสฟอรัสในรูปของไดแคลเซียมฟอสเฟต

สูตรที่ 6, 7 และ 8 (DCP: AvP 0.4%, DCP: AvP 0.7% และ DCP: AvP 1.5%) และไตรแคลเซียมฟอสเฟต สูตรที่ 7, 8 และ 9 (TCP: AvP 0.4%, TCP: AvP 0.7% และ TCP: AvP 1.5%) และค่าต่างๆ จะมีค่าเพิ่มขึ้น และลดลงตามระดับของอนินทรีย์ฟอสเฟตที่เสริมลงในอาหาร แสดงให้เห็นถึงชนิดและระดับของอนินทรีย์ฟอสเฟตที่ปลาได้รับมีความสัมพันธ์ต่อการนำโปรตีนในอาหารไปใช้ประโยชน์ ซึ่งโดยทั่วไปปลาจะนำโปรตีนมาใช้ในการเจริญเติบโต และซ่อมแซมส่วนต่างๆ ของร่างกาย (เวียง, 2542) ในขณะที่ปลาได้รับอาหารที่มีฟอสฟอรัสในระดับต่ำนั้น จะพบว่าปลาจะนำโปรตีนที่ได้รับไปใช้ในการสลายเพื่อก่อให้เกิดพลังงานแทนการใช้พลังงานที่ได้รับจากไขมัน ส่งผลทำให้ปลาที่ได้รับอาหารที่มีปริมาณฟอสฟอรัสที่ไม่เพียงพอต่อความต้องการของร่างกาย มีระดับโปรตีนในตัวปลาต่ำกว่าปลาที่ได้รับอาหารที่มีฟอสฟอรัสเพียงพอแก่ความต้องการของร่างกาย (Zhang *et al*., 2006) และสาเหตุที่ปลามีไขมันสะสมในตัวสูงเมื่อขาดฟอสฟอรัส Vielma และคณะ (2002); Chunxiao และคณะ (2006) อธิบายว่าเมื่อปลาได้รับอาหารที่มีฟอสฟอรัสในระดับที่ไม่เพียงพอต่อความต้องการ ทำให้ขาดฟอสฟอรัสเพื่อไปใช้ในกระบวนการเอสเทอร์ริฟิเคชัน (esterification) ในการเปลี่ยนไขมันให้เป็นพลังงาน และเกิดการเปลี่ยนแปลงของกระบวนการเผาผลาญสารอาหาร (intermediate mechanism) ภายในร่างกายมากกว่าการเปลี่ยนแปลงที่เกิดจากการเพิ่มปริมาณการกินอาหาร นอกจากนี้ยังพบอีกว่า ฟอสฟอรัสมีส่วนเกี่ยวข้องกับกระบวนการเบต้าออกซิเดชัน (beta-oxidation) ซึ่งเป็นกระบวนการในการเปลี่ยนไขมันให้เป็นพลังงานเช่นเดียวกัน โดยกรดไขมันที่ปลาได้รับจะไปรวมตัวกับ ATP และโคเอนไซม์เอ ได้เป็น fatty acyl-CoA หลังจากนั้นก็รวมตัวกับ carnitine และถูกผลักเข้าสู่ผนังเซลล์ไมโทคอนเดรีย ได้ fatty acyl carnitine ส่วน carnitine จะถูกปลดปล่อยออกมาเพื่อไปจับกับกรดไขมันตัวต่อไป เหลือ fatty acyl-CoA หลังจากนั้น fatty acyl-CoA จะเข้าสู่กระบวนการเบต้าออกซิเดชัน ผลผลิตที่ได้คือ acetyl-CoA เข้าสู่วัฏจักรเครบ (TCA cycle) ได้พลังงานออกมา ดังนั้นปลาที่ขาดฟอสฟอรัสจะมีฟอสฟอรัสไม่เพียงพอเพื่อใช้ในกระบวนการดังกล่าว ส่งผลทำให้องค์ประกอบของไขมันในตัวปลาเพิ่มสูงขึ้น (ชุติมา, 2549) ซึ่งจะเห็นได้จากการทดลองในครั้งนี้ ที่พบในระดับฟอสฟอรัสที่สามารถใช้ประโยชน์ได้ 0.4 เปอร์เซ็นต์ ในทุกรูปแบบของอนินทรีย์ฟอสเฟตที่เสริมลงไปในอาหาร ทั้งนี้ยังขึ้นอยู่กับปัจจัยอีกหลายประการ ในกรณีที่ปลาได้รับฟอสฟอรัสในปริมาณที่ไม่เพียงพอกับความต้องการของร่างกาย ทำให้ปริมาณไขมันในร่างกายเพิ่มสูงขึ้น เช่น ฟอสฟอรัสที่ปลาได้รับจะถูกนำไปเปลี่ยนเป็นส่วนประกอบของกระดูก และเกล็ดปลา 85-90 เปอร์เซ็นต์ (Li and Mathias, 1994) ส่วนที่เหลือก็จะอยู่ในรูปของอินทรีย์ฟอสเฟตที่อยู่ในโมเลกุลของโปรตีน และสารประกอบอื่นๆ ของเซลล์ เช่น กรดนิวคลีอิกใน DNA, RNA และส่วนของเยื่อหุ้มเซลล์ซึ่งมีฟอสเฟตเป็นองค์ประกอบในโมเลกุลของฟอสโฟลิพิด และฟอสเฟตจะทำหน้าที่โดยตรงในปฏิกิริยาที่ทำให้เกิด

พลังงานสำหรับกระบวนการเมทาบอลิซึมของร่างกาย (Lall, 2002) และอีกเหตุผลหนึ่งก็คือ อัตราส่วนระหว่างแคลเซียมกับฟอสฟอรัสก็เป็นสิ่งที่สำคัญเช่นเดียวกันที่จะต้องพิจารณาควบคู่กับปัจจัยอื่นๆ เนื่องจาก แคลเซียม และฟอสฟอรัสมีความสัมพันธ์แบบเป็นปฏิปักษ์กัน (antagonist) โดยปริมาณแคลเซียมที่มากเกินไป จะยับยั้งของปลา ทำให้ปลาแสดงอาการขาดฟอสฟอรัสได้ (Govers and Van der Meer, 1993) และระดับที่เหมาะสมระหว่างแคลเซียมต่อฟอสฟอสฟอรัสในปลาแต่ละชนิดก็มีความแตกต่างกัน จากรายงานในปลานิลแดงแปลงเพศมีอัตราส่วนที่เหมาะสมเท่ากับ 2.33:1 (ณัฐธิดา, 2552) ปลา American cichlid มีค่าเท่ากับ 1.33:1 (Chavez-Sanchez *et al*, 2000) และปลา mrigal มีค่าเท่ากับ 1:4 (Paul *et al*, 2004) ซึ่งในการทดลองครั้งนี้ไม่ได้เน้นในเรื่องของอัตราส่วนระหว่างแคลเซียมกับฟอสฟอรัส แต่จะเห็นได้ว่าปลาที่มีการเจริญเติบโตดีที่สุด จะมีอัตราส่วนระหว่างแคลเซียมกับฟอสฟอรัสเท่ากับ 1:1.2(1.62:1.92) ส่วนความชื้นในตัวปลา ในการทดลองครั้งนี้ เปอร์เซ็นต์ความชื้นในตัวปลาจะมีค่าลดลงเมื่อเปรียบเทียบกับความชื้นในปลาเริ่มต้น ค่าความชื้นในตัวปลาของการทดลองครั้งนี้มีค่าอยู่ในช่วง 69.34 - 76.89 เปอร์เซ็นต์ ค่าที่ได้มีความใกล้เคียงกับการรายงานในปลาไน (Jahan *et al*., 2001) ปลากะพง (Tantikitti *et al*., 2005) ปลากะพงญี่ปุ่น (Zhang *et al*., 2006) ซึ่งโดยทั่วไปในร่างกายของปลาซึ่งประกอบไปด้วย น้ำ สารอินทรีย์ และเกลือแร่ โดยปริมาณน้ำในร่างกายจะลดลงเมื่อปลามีอายุมากขึ้น แต่บางครั้งปลาในรุ่นเดียวกันหรือมีอายุใกล้เคียงกันอาจมีปริมาณน้ำแตกต่างกันมากได้ ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับปริมาณ และคุณภาพของอาหารที่ปลาได้รับ (เวียง, 2542)

ดัชนีตับต่อตัว ในการทดลองครั้งนี้ พบว่า ปลาที่มีการเจริญเติบโตสูง จะมีเปอร์เซ็นต์ดัชนีตับต่อตัวต่ำ ส่วนปลาที่มีการเจริญเติบโตต่ำ ก็จะมีเปอร์เซ็นต์ดัชนีตับต่อตัวสูง ซึ่งเป็นไปในทิศทางเดียวกันกับที่พบในปลาแฮดดอก (Roy and Lall, 2003) และในปลาดุกพันธุ์ผสม [*Clarias macrocephalus* (Gunther) X *Clarias gariepinus* (Burchell)] (อัจฉริยา, 2547) กล่าวคือเมื่อเพิ่มระดับของฟอสฟอรัสในอาหาร จะส่งผลทำให้ค่าดัชนีตับต่อตัวลดลง ส่วนเปอร์เซ็นต์ดัชนีตับต่อตัวของปลา ค่าที่ได้มีความใกล้เคียงกับการรายงานของ มนต์สรวง (2545) ซึ่งทำการศึกษาผลของเอนไซม์ไฟเตส และอนินทรีย์ฟอสเฟตในปลานิล โดยมีค่าอยู่ในช่วง 1.62–2.39 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งค่าดัชนีตับต่อตัวในปลามีความเกี่ยวข้องกับระดับพลังงานในอาหาร โดยปลาที่ได้รับอาหารที่มีระดับพลังงานสูง ส่งผลทำให้ค่าดัชนีตับต่อตัวเพิ่มขึ้น (อัจฉริยา, 2547)

เปอร์เซ็นต์เถ้า และฟอสฟอรัส ในตัวปลา จากการทดลองครั้งนี้ พบว่า ปลาที่ได้รับอาหารที่มีการเสริมฟอสฟอรัสในทุกๆรูปแบบ (MSP, DCP และ TCP) และทุกๆ ระดับที่ทำการศึกษา (AvP 0.4%, AvP 0.7% และ AvP 1.5%) จะมีค่าเปอร์เซ็นต์ เถ้า และฟอสฟอรัส ในตัวปลาเพิ่มขึ้น เมื่อเพิ่มระดับของฟอสฟอรัสในอาหาร ซึ่งมีความสอดคล้องกับการศึกษาในปลาไน (Jahan *et al*., 2001)

ปลาแฮดดอก (Roy *et al*., 2002; Roy and Lall, 2003) ปลากะพง (Zhang *et al*., 2006) ปลาซีกเดียว (*Paralichthys olivaceus*) (Uyan *et al*., 2007) ซึ่งการที่เปอร์เซ็นต์เถ้าเป็นไปในทิศทางเดียวกันกับเปอร์เซ็นต์ฟอสฟอรัส และแคลเซียม เนื่องมาจากเถ้า คือ ตัวแทนของสารอนินทรีย์ที่มีอยู่ในร่างกาย แต่ในเถ้าดังกล่าวยังมีแร่ธาตุบางอย่างรวมอยู่ด้วย เช่น โซเดียม โพแตสเซียม ฟอสฟอรัส และกำมะถัน แต่แร่ธาตุเหล่านี้อาจจะสูญเสียไปในระหว่างการเผากลายเป็นแก๊ส โดยส่วนที่เหลือหลังจากการเผาก็คือเถ้านั้นเอง (วุฒิพร, 2541) และยังพบอีกว่า ค่าองค์ประกอบทางโภชนาการในตัวปลา กับค่าองค์ประกอบทางโภชนาการในเนื้อของปลาเมื่อสิ้นสุดการทดลอง พบว่าเป็นไปในทิศทางเดียวกัน แต่ในขณะเดียวกัน ค่าที่ได้จากการวิเคราะห์ส่วนประกอบในเนื้อปลา จะมีค่าสูงกว่าในตัวปลา เช่นค่าโปรตีนในเนื้อปลา จะมีค่าที่สูงกว่าโปรตีนในตัวปลา ส่วนค่าไขมัน เถ้า ฟอสฟอรัส ในเนื้อปลา จะมีค่าที่ต่ำกว่าที่พบในตัวปลา ทั้งนี้เนื่องมาจาก ส่วนประกอบที่ใช้ในการวิเคราะห์ตัวปลามีทั้ง กระดูก เกล็ด อวัยวะภายใน และส่วนที่เป็นกล้ามเนื้อของปลา แต่ในการวิเคราะห์องค์ประกอบของเนื้อปลาจะวิเคราะห์เฉพาะในส่วนที่เป็นกล้ามเนื้อเท่านั้น ดังนั้นค่าที่แสดงดังกล่าวจึงมีค่าสูง และต่ำกว่าค่าที่วิเคราะห์ในตัวปลา ซึ่งสอดคล้องกับการรายงาน Ye และคณะ (2006) ที่ทำการศึกษาผลของแคลเซียม และฟอสฟอรัส ต่อการเจริญเติบโต ประสิทธิภาพการใช้อาหาร การสะสมแร่ธาตุ และองค์ประกอบทางเคมีในร่างกายของปลากะรังระยะวัยอ่อน ส่วนการสะสมไขมันในตับ การทดลองครั้งนี้ จะเห็นได้ว่า ปลาที่ได้รับอาหารที่มีการเสริมอนินทรีย์ฟอสเฟตในรูปของ MSP และ DCP ในระดับที่เพิ่มขึ้น จะทำให้การสะสมไขมันในตับลดลง สอดคล้องกับการรายงานของ Yang และคณะ (2006) ที่ได้ทำการศึกษาผลของระดับฟอสฟอรัสในอาหาร ต่อการเจริญเติบโต การตอบสนองต่อเมทาบอลิซึม และการสะสมในร่างกายของ ปลา silver perch ระยะวัยอ่อน (*Bidyanus bidyanus*) โดยพบว่า เมื่อเพิ่มระดับโมโนโซเดียมฟอสเฟตลงในอาหาร ทำให้การสะสมไขมันในตับของปลามีค่าลดลง และการศึกษาของ Uyan และคณะ (2007) พบว่า ระดับที่ปลามีความสามารถในการใช้ประโยชน์จากฟอสฟอรัสสูง ส่งผลทำให้ปริมาณไขมันรวม และ ฟอสฟอลิพิดในตับลดลง

เปอร์เซ็นต์เถ้าในเกล็ด และกระดูกในการทดลองครั้งนี้ พบว่า เป็นไปในทิศทางเดียวกันกับปริมาณเถ้า และฟอสฟอรัสในร่างกายของปลา โดยปลาที่ได้รับอาหารสูตรที่ 5 (MSP: AvP 1.5%) มีค่าเถ้าในเกล็ด และกระดูกสูงที่สุด เปอร์เซ็นต์เถ้าในเกล็ดมีค่าอยู่ในช่วง 6.73 ถึง 19.78 เปอร์เซ็นต์ และเปอร์เซ็นต์เถ้าในกระดูกมีค่าอยู่ในช่วง 32.15 ถึง 49.35 เปอร์เซ็นต์ โดยค่าเถ้าที่พบในกระดูกมีความใกล้เคียงกับการรายงานในปลาแฮดดอก (Roy and Lall, 2003) ปลากดหลวง (Li *et al*., 1996) แต่ค่าที่ได้มีค่าต่ำกว่าการรายงานของ Yang และคณะ (2006) ที่พบในปลา silver perch ซึ่งมีปริมาณเถ้าในกระดูกสูงถึง 53.97 ถึง 62.94 เปอร์เซ็นต์ และมีค่าเพิ่มขึ้นตามระดับของ

ฟอสฟอรัสในอาหารเช่นเดียวกัน จากการทดลองจะเห็นได้ว่า ปริมาณเถ้าในเกล็ด มีค่าน้อยกว่าที่พบในกระดูก โดยทั่วไปอาหารที่ปลาได้รับเมื่อเข้าสู่กระบวนการเมทาบอลิซึมภายในร่างกาย แร่ธาตุส่วนใหญ่จะถูกนำไปสะสมที่ บริเวณกระดูก และเกล็ดของปลา (mineralization) (Chavez-Sanchez *et al*., 2000; Borlongan and Satoh, 2001; Mai *et al*., 2006) ส่วนเปอร์เซ็นต์ฟอสฟอรัสและแคลเซียมในเกล็ดและกระดูก พบว่ามีค่าเพิ่มขึ้นตามระดับของอนินทรีย์ฟอสเฟตที่เสริมลงไปในอาหาร สอดคล้องกับการรายงานในปลา silver perch เมื่อเพิ่มระดับของ MSP อาหาร ส่งผลทำให้ปริมาณฟอสฟอรัส และแคลเซียมในกระดูกเพิ่มสูงขึ้นด้วย ซึ่งในการทดลองดังกล่าวมีฟอสฟอรัสอยู่ในระดับ 0.71 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งเป็นระดับที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของปลา ส่งผลทำให้ปริมาณฟอสฟอรัส และแคลเซียมที่สะสมในกระดูกสูงที่สุด (Yang *et al*., 2006) ส่วนการรายงานในปลากะพงญี่ปุ่น Zhang และคณะ (2006) พบว่า เมื่อระดับฟอสฟอรัสในอาหารเพิ่มขึ้น ทำให้การสะสมฟอสฟอรัสในเกล็ดและกระดูกเพิ่มขึ้นด้วย เช่นเดียวกับการรายงานในปลาเรนโบว์เทร้าท์ (Bureau and Cho, 1999) และจากการรายงานของ Toppe และคณะ (2007) ได้ทำการศึกษาแร่ธาตุ ในกระดูกจากปลาหลายชนิด พบว่า ปริมาณแร่ธาตุในกระดูกของปลาแต่ละชนิดมีความแตกต่างกัน แต่ระดับของแคลเซียม และฟอสฟอรัสในกระดูกมีค่าที่ใกล้เคียงกัน และพบในปริมาณที่มากกว่าแร่ธาตุตัวอื่นๆ โดยองค์ประกอบของแร่ธาตุต่างๆ ที่พบในกระดูกของปลา เกิดจากการเปลี่ยนเป็นแร่ธาตุในกระดูก ซึ่งมีความสำคัญในการนำไปสร้างเป็นกระดูกที่เป็นส่วนแข็ง กระดูกดังกล่าวจะมีระดับของแคลเซียม และฟอสฟอรัสในปริมาณที่สูง แต่ในปลาแซลมอน ปลาเรนโบว์เทร้าท์ และปลาแมคคาเรล (*Scomber scombrus*) จะมีปริมาณแคลเซียม และฟอสฟอรัสต่ำกว่าปลาชนิดอื่นๆ ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับลักษณะทางกายภาพของปลาแต่ละชนิด ซึ่งปลากลุ่มดังกล่าวจะเป็นปลาที่มีการเคลื่อนที่เร็ว และใช้กิจกรรมไปกับการว่ายน้ำสูง จึงทำให้ปริมาณเถ้าในกระดูกต่ำ ส่งผลทำให้ระดับแร่ธาตุหลัก เช่น แคลเซียม ฟอสฟอรัส และแมกนีเซียม ซึ่งมีความสัมพันธ์กับปริมาณเถ้าในกระดูกต่ำลงด้วย และจะเห็นได้ว่าชนิดของปลาเป็นอีกปัจจัยหนึ่งที่เกี่ยวข้องกับความต้องการฟอสฟอรัสในปลา ซึ่งสอดคล้องกับการรายงานของ Watanabe และคณะ (1988) ได้กล่าวไว้ว่า ปลาที่มีเกล็ด จะมีความต้องการฟอสฟอรัสสูงกว่าปลาที่ไม่มีเกล็ด ทั้งนี้เนื่องจาก ฟอสฟอรัสที่ปลาได้รับจะถูกนำไปเป็นส่วนประกอบของเกล็ดปลา ดังนั้นความต้องการฟอสฟอรัสของปลาจึงขึ้นอยู่กับชนิดของปลาด้วยดังที่กล่าวมาแล้วข้างต้น ส่วนปริมาณฟอสฟอรัสในซีรัมในการทดลองครั้งนี้ พบว่า ปริมาณฟอสฟอรัสในซีรัมจะเพิ่มขึ้นตามระดับของอนินทรีย์ฟอสเฟตในอาหาร โดยปลาที่ได้รับอาหารสูตรที่ 3, 6 และ 9 (MSP: AvP 0.4%, DCP: AvP 0.4% และ TCP: 0.4%) ซึ่งเป็นระดับที่กำหนดให้ไม่เพียงพอกับความต้องการของร่างกาย มีค่าฟอสฟอรัสในซีรัมต่ำที่สุด เมื่อเปรียบเทียบกับปลาที่ได้รับฟอสฟอรัสในรูปแบบเดียวกัน สอดคล้องกับการศึกษาของ Eya และ Lovell (1997)

ที่ทำการศึกษาความต้องการฟอสฟอรัสที่สามารถใช้ประโยชน์ได้ในปลากดหลวง พบว่า เมื่อระดับฟอสฟอรัสที่ใช้ประโยชน์ได้ในอาหารเพิ่มขึ้น ทำให้ค่าฟอสฟอรัสในซีรัมเพิ่มขึ้นด้วย เช่นเดียวกับการรายงานในนิลแดงแปลงเพศ (*Oreochromis niloticus x O. mossambicus*) ที่พบว่า เมื่อเสริมโมโนโซเดียมฟอสเฟตในอาหารจาก 0.1 เป็น 0.5 เปอร์เซ็นต์ในอาหาร ทำให้ปริมาณฟอสฟอรัสในซีรัมเพิ่มขึ้นจาก 9.77 เป็น 23.26 มิลลิกรัมต่อลิตร ซึ่งค่าดังกล่าวใกล้เคียงกับการศึกษาในครั้งนี้ (อนุรักษ์, 2550)

การเก็บสะสมฟอสฟอรัสในร่างกาย และฟอสฟอรัสที่ถูกขับทิ้งในการทดลองครั้งนี้ พบว่าการสะสมฟอสฟอรัสในร่างกายจะมีค่าลดลงเมื่อระดับของฟอสฟอรัสในอาหารเพิ่มขึ้น และฟอสฟอรัสที่ถูกขับทิ้งจะมีค่าเพิ่มขึ้นตามระดับของฟอสฟอรัสที่เสริมลงในอาหาร โดยปลาที่ได้รับอาหารสูตรที่ 3, 4 และ 5 (MSP: AvP 0.4%, MSP: AvP 0.7% และ MSP: AvP 1.5%) จะมีค่าการสะสมฟอสฟอรัสในร่างกายของปลาสูงสุด และมีค่าฟอสฟอรัสที่ถูกขับทิ้งน้อยที่สุด ส่วนปลาที่ได้รับอาหารสูตรที่ 8 (DCP: AvP 1.5%) มีค่าการสะสมฟอสฟอรัสในร่างกายต่ำที่สุด และปริมาณฟอสฟอรัสที่ถูกขับทิ้งมากที่สุดสอดคล้องกับการรายงานของ Burean และ Cho (1999) พบว่า ปริมาณของเสียที่ถูกขับถ่ายออกมา และส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม สามารถลดได้โดยการสร้างสูตรอาหารที่ไม่ให้มีปริมาณฟอสฟอรัสเกินความต้องการของสัตว์น้ำ หรือหลีกเลี่ยงการใช้วัตถุดิบที่มีปริมาณฟอสฟอรัสสูงในการสร้างสูตรอาหาร Cho และ Burean (2001) และ Lall (2002) กล่าวว่าแร่ธาตุในอาหารที่สมดุล และพอดีกับความต้องการของปลามีผลทำให้การขับทิ้งของเสียจากอาหารนั้นลดลง ดังนั้นระดับความต้องการแร่ธาตุของปลาจะต้องอยู่ในช่วงที่เหมาะสม เพื่อให้การทำงานของระบบต่างๆ ภายในร่างกายดำเนินไปอย่างปกติ จากการศึกษาในครั้งนี้ มีความสอดคล้องกับการรายงานของ Kim และคณะ (1998) เมื่อเพิ่มระดับของโมโนแคลเซียมฟอสเฟตในอาหารปลาไนที่มีปริมาณฟอสฟอรัสที่สามารถใช้ประโยชน์ได้จาก 0.42 - 1.27 เปอร์เซ็นต์ ทำให้ปริมาณการสะสมฟอสฟอรัสในร่างกายของลดลง และปริมาณฟอสฟอรัสที่ถูกขับทิ้งเพิ่มขึ้น เช่นเดียวกับการรายงาน Jahan และคณะ (2001) และ Jahan และคณะ (2003) รายงานว่า ปลาไนสามารถใช้ฟอสฟอรัสได้อย่างมีประสิทธิภาพเมื่อได้รับฟอสฟอรัสในปริมาณที่เพียงพอกับความต้องการ เมื่อระดับของฟอสฟอรัสในอาหารสูงเกินกว่าความต้องการ จะส่งผลให้ประสิทธิภาพการนำฟอสฟอรัสไปใช้เพื่อการสะสมลดลง นอกจากนี้ยังมีรายงานการศึกษาระหว่างการเสริมอนินทรีย์ฟอสเฟต กับเอนไซม์ไฟเตสโดย Sajjadi และ Carter (2004) ที่ได้ทำการศึกษาการเสริมไฟเตส และการใช้ประโยชน์จากฟอสฟอรัสในปลาแซลมอน พบว่า ปลาที่ได้รับอาหารที่มีการเสริมเอนไซม์ไฟเตสจะมีการสะสมฟอสฟอรัสในร่างกายสูงกว่า และปริมาณฟอสฟอรัสที่ถูกขับทิ้งน้อยกว่าปลาที่ได้รับอาหารที่มีการเสริมเอนไซม์ไฟเตสร่วมกับไดโซเดียม

ฟอสเฟต และปลาที่ได้รับอาหารที่มีการเสริมไดโซเดียมฟอสเฟตอย่างเดียว ส่วนการรายงานในปลาไน พบว่าปลาที่ได้รับอาหารที่มีการเสริมไดโซเดียมฟอสเฟต จะมีการขับถ่ายของเสียในปริมาณที่สูงกว่าปลาที่ได้รับอาหารที่มีการเสริมเอนไซม์ไฟเตส (Nwanna and Schwarz, 2007) นอกจากนี้การเสริมเอนไซม์ไฟในอาหารปลาที่ใช้วัตถุดิบพืชเป็นองค์ประกอบหลักสามารถเพิ่มประสิทธิภาพการใช้ประโยชน์จากฟอสฟอรัสในวัตถุดิบจากพืชได้สูงขึ้น (Furuya *et al*., 2001; Tudkaew *et al*., 2008)

ประสิทธิภาพการย่อยวัตถุแห้ง ประสิทธิภาพการย่อยโปรตีน และประสิทธิภาพการย่อยฟอสฟอรัส ในการทดลองครั้งนี้ พบว่า ปลาที่ได้รับอาหารที่มีการเสริมอนินทรีย์ฟอสเฟตในรูปแบบของโมโนโซเดียมฟอสเฟต มีค่าประสิทธิภาพการย่อยต่างๆ ดีที่สุด โดยประสิทธิภาพการย่อยวัตถุแห้งมีค่าอยู่ในช่วง 45.07 - 71.33 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกับการรายงานในปลานิลแดงแปลงเพศ (จิรวัฒน์, 2549) ปลากะพงยุโรป (Pimentel-Rodrigues and Oliva-Teles, 2007) ประสิทธิภาพการย่อยโปรตีน จากการสังเกตจะมีค่าเพิ่มขึ้นตามระดับฟอสฟอรัสในอาหารซึ่งสอดคล้องกับการรายงานของ มนต์สรวง (2545) เมื่อเพิ่มระดับเอนไซม์ไฟเตสในอาหารปลานิลแดงแปลงเพศ ทำให้ประสิทธิภาพการย่อยโปรตีนเพิ่มขึ้น ส่วนประสิทธิภาพการย่อยฟอสฟอรัสสอดคล้องกับการรายงานของ Watanabe และคณะ (1998) พบว่า ปลาไนสามารถใช้ประโยชน์จากฟอสฟอรัสในรูปของโมโนแคลเซียมฟอสเฟตได้ถึง 94 เปอร์เซ็นต์ แต่จากการทดลองค่าที่ได้มีค่าต่ำกว่าการรายงาน กล่าวคือ ปลาที่ได้รับอาหารสูตรที่ 5 (MSP: 1.5%) ซึ่งเป็นระดับที่ปลามีอัตราการเจริญเติบโตสูงสุด สามารถใช้โมโนโซเดียมฟอสเฟตได้ 64.96 เปอร์เซ็นต์ ทั้งนี้อาจเนื่องมาจาก ในการคำนวณประสิทธิภาพการย่อยของวัตถุดิบต่างๆ ในการสร้างสูตรอาหาร กับค่าที่ปลาสามารถย่อยได้จริงอาจไม่เท่ากัน เนื่องมาจากในการคำนวณประสิทธิภาพการย่อยวัตถุดิบของปลามาจากการอ้างอิงจากรายงาน โดยไม่ได้มีการทดลองประสิทธิภาพการย่อยวัตถุดิบต่างๆ ก่อน ดังนั้นค่าที่ได้อาจมีการคาดเคลื่อนจากการย่อยจริงของปลา อีกทั้งการเก็บรวบรวมมูลปลาก็เป็นอีกปัจจัยหนึ่ง ซึ่งสารอาหารอาจจะสูญเสียในขณะที่ทำการรวบรวมมูลปลา ดังรายงานของ Pimentel-Rodrigues และ Oliva-Teles (2007) พบว่า ประสิทธิภาพการย่อยโปรตีนในปลาป่น มีค่าอยู่ในช่วง 70-97 เปอร์เซ็นต์ จะเห็นได้ว่าค่าดังกล่าวอยู่ในช่วงที่กว้าง ดังนั้นในการคำนวณโอกาสที่จะไม่เป็นตามความจริงจึงมีสูง ซึ่งสอดคล้องกับการรายงานของ (Alexis, 1997; Gomes da Silva and Oliva-Tales, 1998; Tulli and Tibaldi, 2001) โดยค่าประสิทธิภาพการย่อยต่างๆ แสดงถึงส่วนของสารอาหารหรือพลังงานที่ไม่ถูกขับถ่ายออกมาในอุจจาระ จึงเป็นค่าที่แสดงถึงส่วนของสารอาหารหรือพลังงานในอาหารที่ปลาสามารถย่อย และดูดซึมไปใช้ได้ (ชุติมา, 2549)

จากการสังเกตจากค่าต่างๆ จะเห็นได้ว่าปลาที่ได้รับอาหารที่มีการเสริมอนินทรีย์ฟอสเฟต (สูตรที่ 3-11) จะมีการแสดงออกด้านการเจริญเติบโต ประสิทธิภาพการใช้อาหาร ประสิทธิภาพการย่อย การสะสมฟอสฟอรัส และแคลเซียมสะสมในเกล็ด และกระดูกสูงกว่าปลาที่ได้รับอาหารที่ไม่มีการเสริมอนินทรีย์ฟอสเฟต (สูตรที่ 1: มีปริมาณปลาป่นสูง และ สูตรที่ 2 มีปริมาณปลาป่นต่ำ) โดยอาหารสูตรที่ 1 มีการใช้ปลาป่นในระดับที่สูงถึง 45 เปอร์เซ็นต์ต่ออาหาร 100 กรัม ซึ่งปลาที่ได้รับอาหารสูตรดังกล่าว จะมีค่าที่แสดงออกในด้านต่างๆ เช่น การแสดงออกด้านการเจริญเติบโต เปอร์เซ็นต์เถ้าในเกล็ด และกระดูก ฟอสฟอรัส และแคลเซียมในเกล็ด และกระดูก การเก็บสะสมฟอสฟอรัสในร่างกาย และปริมาณฟอสฟอรัสที่ถูกขับทิ้ง ใกล้เคียงกับปลาที่ได้รับอาหารที่มีการเสริมฟอสฟอรัสในรูปของไตรแคลเซียมฟอสเฟต คือสูตรที่ 9-11 (TCP: AvP 0.4%, TCP: AvP 0.7% และ TCP: AvP 1.5%) ซึ่งการใช้ปลาป่นดังกล่าวเป็นที่ทราบกันดีอยู่แล้วว่าปลาป่นจะมีฟอสฟอรัสอยู่ในรูปของไฮดรอกซีอะพาไทต์ ปลาไนไม่สามารถนำมาใช้ประโยชน์ได้ (Jobling, 1994) ส่วนสูตรที่ 2 มีการใช้ปลาป่นในระดับต่ำ 16 เปอร์เซ็นต์ต่ออาหาร 100 กรัม และมีการแทนที่ด้วยกากถั่วเหลือง ก็มีข้อจำกัดเช่นเดียวกัน จากการรายงานของ Lall (2002) และ NRC (1993) ได้กล่าวว่า วัตถุดิบพืชมีการสะสมฟอสเฟตในรูปของไฟเตท (phytates) ซึ่งเป็นเกลือของกรดไฟติก (inositol hexaphosphoric acid) สัตว์น้ำไม่สามารถนำฟอสเฟตที่อยู่ในโมเลกุลของไฟเตทมาใช้ได้เพราะไม่มีเอนไซม์ไฟเตส (phytase) ในการสลายกรดไฟติกเพื่อปล่อยโมเลกุลของฟอสเฟต ซึ่งพบได้ในกากถั่วเหลือง รำละเอียด รำข้าวสาลี คาร์โนลา (Chung, 2002) ปลาไม่สามารถนำฟอสฟอรัสในรูปดังกล่าวมาใช้ประโยชน์ได้ จึงทำให้การแสดงออกของค่าต่างๆ มีค่าต่ำกว่าปลาที่ได้รับอาหารที่มีการเสริมอนินทรีย์ฟอสเฟตในรูปแบบต่างๆในอาหาร

บทที่ 5
สรุป และข้อเสนอแนะ

สรุป

จากการศึกษาการเสริมอนินทรีย์ฟอสเฟต 3 รูปแบบ ในอาหารปลาไน พบว่าปลาไนสามารถใช้อนินทรีย์ฟอสเฟตในรูปแบบของโมโนโซเดียมฟอสเฟตในทุกระดับที่ศึกษา ได้ดีกว่าการใช้ไดแคลเซียมฟอสเฟต และไตรแคลเซียมฟอสเฟตเมื่อพิจารณาจาก น้ำหนักเฉลี่ยที่เพิ่มขึ้น ประสิทธิภาพการใช้อาหาร และองค์ประกอบทางเคมีของปลา ส่วนระดับที่เหมาะสม ขึ้นอยู่กับรูปแบบของอนินทรีย์ฟอสเฟตที่เสริมลงไปในอาหาร และปลาที่ได้รับอาหารที่เสริม MSP และมี AvP 1.5% จะแสดงผลด้านการเจริญเติบโต ประสิทธิการใช้อาหาร องค์ประกอบทางเคมี และปริมาณการสะสมฟอสฟอรัสดีที่สุด ส่วนอนินทรีย์ฟอสเฟตในรูปแบบของไดแคลเซียมฟอสเฟต และไตรแคลเซียมฟอสเฟตที่มีปริมาณฟอสฟอรัสที่สามารถใช้ประโยชน์ได้ในระดับต่างๆ จะมีค่าการเจริญเติบโต ประสิทธิภาพการใช้อาหารไม่ดี และองค์ประกอบทางเคมีของปลาใกล้เคียงกัน

ข้อเสนอแนะ

1. ควรมีการศึกษาการเสริมเอนไซม์ไฟเตสไปพร้อมๆ กับการเสริมอนินทรีย์ฟอสเฟต เพื่อจะได้นำมาเปรียบเทียบในด้านประสิทธิภาพการนำฟอสฟอรัสไปใช้ประโยชน์ และเปรียบเทียบในเรื่องต้นทุนที่ใช้ในการผลิต เพื่อจะได้นำข้อมูลดังกล่าวมาประยุกต์ใช้กับการเพาะเลี้ยงเชิงพานิชย์ได้
2. ในการคำนวณสูตรอาหารควรคำนึงถึงอัตราส่วนระหว่างแคลเซียมกับฟอสฟอรัสด้วย เนื่องจากแร่ธาตุทั้งสองเป็นปฏิปักษ์ระหว่างกัน
3. ในการทดลองครั้งนี้ รูปแบบของอนินทรีย์ฟอสเฟตที่ทำการศึกษามีแหล่งที่มาแตกต่างกัน ทำให้ส่งผลต่อการทดลอง ซึ่งจะเห็นได้ชัดในปลาที่ได้รับอาหารที่เสริม DCP (AvP 1.5%)
4. ในการทดลองเป็นการเลี้ยงในตู้ทดลอง ซึ่งสามารถควบคุมปัจจัยต่างๆ ได้ ดังนั้นควรมีการทดลองเปรียบเทียบกับการเลี้ยงในสภาพแวดล้อมจริง เพื่อนำไปเป็นประโยชน์แก่ผู้ที่สนใจได้ในภายภาคหน้า

เอกสารอ้างอิง

กำธร โพธิ์ทองคำ. 2513. การทดลองความทนทานของลูกปลาชนิดต่างๆ ที่บรรจุในถุงพลาสติกอัดออกซิเจนเพื่อการขนส่ง. รายงานประจำปี, แผนกทดลอง และเพาะเลี้ยง กองบำรุงพันธุ์สัตว์น้ำ กรมประมง.

จิรวัฒน์ ทัดแก้ว. 2549. ผลของเอนไซม์ไฟเตสต่อประสิทธิภาพการย่อยสารอาหารในวัตถุดิบพืช 5 ชนิด ในปลานิลแดงแปลงเพศ (*Oreochromis niloticus* x *O. mossambicus*). วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.

จำนง บุญนำ. 2523. การเลี้ยงปลาผสมในประเทศจีน. ว.การประมง 33: 337-344.

ชุติมา ตันติกิตติ. 2549. โภชนศาสตร์และการวิจัยด้านอาหารสัตว์น้ำ. เอกสารคำสอน. สงขลา: ภาควิชาวาริชศาสตร์ คณะทรัพยากรธรรมชาติ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตหาดใหญ่.

ณัฐธิดา มุกดา. 2552. ความต้องการฟอสฟอรัส และแคลเซียมในอาหารของปลานิลแดงแปลงเพศ (*Oreochromis niloticus* x *O. mossambicus*). วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.

ประเทือง เชาว์วันกลาง. 2534. คุณภาพน้ำทางการประมง. กรุงเทพฯ: แผนกประมง คณะวิชาสัตวศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีราชมงคล วิทยาเขตลำปาง.

ปรีดา กรรณสูตร. 2522. การเลี้ยงปลาไน. เอกสารคำแนะนำฉบับแก้ไขเพิ่มเติม กรมประมง.

พินิจ สีห์พิทักษ์เกียรติ และสุอินทร์ ฤทธิ์จรุง. 2511. การทดลองเลี้ยงปลาในนาข้าว. รายงานประจำปี, งานทดลองประมงศูนย์เกษตรกลางขอนแก่น กองบำรุงพันธุ์สัตว์น้ำ กรมประมง.

มนต์สรวง ยางทอง. 2545. ผลของเอนไซม์ไฟเตส และอนินทรีย์ฟอสเฟตต่อการใช้ฟอสฟอรัสในปลานิลแปลงเพศ (*Oreochromis niloticus* Linn.). วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.

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

วิทย์ ธารชลานุกิจ. 2515. ชีววิทยาของปลาไน. กรุงเทพฯ: คณะประมง มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

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

วุฒิพร พรหมขุนทอง. 2541. โภชนาศาสตร์สัตว์น้ำ. เอกสารคำสอน วิชา 530-433. สงขลา: ภาควิชาวาริชศาสตร์ คณะทรัพยากรธรรมชาติ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.

เวียง เชื้อโพธิ์หัก. 2542. โภชนาศาสตร์สัตว์น้ำและการให้อาหารสัตว์น้ำ. กรุงเทพฯ: มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

สถาบันประมงน้ำจืดแห่งชาติ. 2524. ชีวประวัติของปลาไน. เอกสารวิชาการฉบับที่ 3/2524. กรุงเทพฯ: กองประมงน้ำจืด กรมประมง กระทรวงเกษตรและสหกรณ์.

สันต์ นาตะสุวรรณ. 2548. คู่มือปลาน้ำจืด. กรุงเทพฯ: เพ็ท- แพล้น พับลิชชิ่ง.

สำราญ ดำรงรัตน์. 2509. การคัดเลือกพันธุ์ปลาไน. ว.การประมง 19: 267-278.

อนุรักษ์ เขียวขจรเขต. 2550. ผลของอนินทรีย์ฟอสเฟตต่อการเจริญเติบโต และประสิทธิภาพการใช้ประโยชน์จากฟอสฟอรัสในปลานิลแดงแปลงเพศ (*Oreochromis niloticus* x *O. mossambicus*). วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.

อัจฉริยา มูสโกภาศ. 2547. ผลของเอนไซม์ไฟเตส และอนินทรีย์ฟอสเฟตในการเพิ่มประสิทธิภาพการใช้ฟอสฟอรัสจากวัตถุดิบพืชในปลาดุกพันธุ์ผสม [*Clarias macrocephalus* (Gunther) X *Clarias gariepinus* (Burchell)] และปลานิลแดงแปลงเพศ (*Oreochromis niloticus* Linn.). วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.

อำพล พงศ์สุวรรณ. พันธุ์ปลาไน-หลีฮื้อ. ว.การประมง 16: หน้า 19-31.

Alexis, M.N. 1997. Fish meal and fish oil replacers in Mediterranean marine fish diets. *In* Tacon, A. and Basurco, B. (Eds.), Feeding tomorrow's fish. Proceedings of the Workshop of the CIHEAM Network on Technology of Aquaculture in the Mediterranean TECAM, jointly organized by CIHEAM, FAO, Mazarron Spain, 24-26 June 1996., 183-204 pp.

Anderws, J.S., Murai, T. and Campbell, C. 1973. Effect of dietary calcium and phosphorus on growth, food conversion, bone ash and hematocrit level of catfish. J. Nutr. 103: 766-771.

Anwar, M.F. and Jafri, A.K. 1995. Effect of varying dietary lipid levels on growth, feed conversion, nutrient retention and carcass composition of fingerling catfish, *Heteropneustes fossilis*. Asian Fish. Sci. 8: 55-62.

AOAC. 1990. Official Methods of Analysis. 15th Edition. Washington: The Association of Official Analytical Chemists.

Apines, M.J., Satoh, S., Kirona, V., Watanabe, T. and Aokic, T. 2003. Availability of supplemental amino acid-chelated trace elements in diets containing tricalcium phosphate and phytate to rainbow trout, *Oncorhynchus mykiss*. Aquaculture 225: 431–444.

Arlinghaus, R. and Mehner, T. 2003. Socio-economic characterization of specialized common carp (*Cyprinus carpio* L.) anglers in Germany, and implications for inland fisheries management and eutrophication control. Fish. Res. 61: 19-33.

Asgard, T. and Shearer, K.D. 1997. Dietary phosphorus requirement of juvenile Atlantic salmon (*Salmo salar*). Aquacult. Nutr. 3: 17-23.

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.

Baeverfjord, G., Asgard, T. and Shearer, K.D. 1998. Development and detection of phosphorus deficiency in Atlantic salmon (*Salmo salar* L.) parr and post smolt. Aquacult. Nutr. 4: 1-11.

Berg, L.S. 1974. Classification of Fishes both Recent and Fossil. Michigan: J.W. Edward Co.

Borlongan, I.G. and Satoh, S. 2001. Dietary phosphorus requirement of juvenile milkfish, *Chanos chanos* (Forsskal). Aquacult. Res. 32: 26-32.

Boyd, C.E. 1971. Phosphorus dynamic in ponds. Proc. Ann. Conf. Southeast, Assoc. Game Fish Comm. 25: 418-426.

Brett, J.R. and Groves, T.D.D. 1979. Physiological energetics. *In*: Fish Physiology. Hoar, W.S., Randall, D.J. and Brett, J.R. (eds.). Vol. 7. New York: Academic Press, pp. 344-352.

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.

Chao-Xia Ye., Yong-Jian Liu., Li-xia Tian., Kang-Sen Mai., Zhen-Yu Du., Hui-jun Yang. and Jin Niu. 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.

Chavez-Sanchez, C., Martinez-Palacios, C.A., Martinez-Perez, G. and Ross, L.G. 2000. Phosphorus and calcium requirements in the diet of the American cichlid *Cichlasoma urophthalmus* (Günther). Aquaculture 6: 1 – 9.

Cho, C.Y., Cowey, C.B. and Watanabe, T. 1985. Fin fish nutrition in Asia: methodological approaches to research and development. Ottawa: Ont. IDRC.

Cho, C.Y., Hynes, J.D., Wood, K.D. and Yoshida, H.K. 1991. Quantization of fish culture wastes by biological (nutritional) and chemical (limnological) methods; the development of high nutrient dense (HND) diets. *In*: Nutritional strategies and Aquaculture Waste. Proceedings of the First International Symposium on Nutritional Strategies in Management of Aquaculture Waste (Cowey, C.B. and Cho, C.Y., eds) pp. 51-64. University of Guelph, Guelph, Ontario, Canada, 1990.

Cho, C.Y., Hynes, J.D., Wood, K.R. and Yoshida, H.K. 1994. Development of high-nutrient-dense, low-pollution diets and prediction of aquaculture waste using biological approaches. Aquaculture 124: 293-305.

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.

Chow, K.W. and Schell, R. 1980. The minerals. *In*: Fish Feed Technology. Washington: Book Monograph, pp. 104-108.

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

Chunxiao, Z., Kangsen, M., Qiunghui, A., Wenbing, Z., Qingyuan, D., Beiping, T., Hongming, M., Wei, X., Zhinguo, L. and Xiaojie, W. 2006. Dietary phosphorus requirement of juvenile Japanese seabass, *Lateolabrax japonicus*. Aquaculture 255: 201-209.

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. J. FASEB. 15: 841.

Cowey, C.B. and Sargent, J.R. 1979. Nutrition. *In*: Fish Physiology, Bioenergetics and Growth. Hoar, W.S., Randall, D.J. and Brett, J.R. (eds.). Vol.VII. New York: Academic Press, pp. 1-69.

Debnath, D., Sahu, N.P., Pal, A.K., Jain, K.K., Yengkokpam, S. and Mukherjee, S.C. 2005. Mineral status of *Pangasius pangasius* (Hamilton) fingerlings in relation to supplemental phytase: absorption, whole-body and bone mineral content. Aquac. Res. 36: 326-335.

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

Duncan, A.E. 1995. Multiple range and multiple F tests. Biometrics 11: 1-42.

Dupree, H.K. and Sneed, K.P. 1966. Response of channel catfish fingerling to different levels of major nutrients in purified diets. U.S. Bureau of Sports Fish and Wildlife Tech. Pap. 9:1-21.

Eya, J.C. and Lovell, R.T. 1997. Net absorption of dietary phosphorus from various inorganic sources and effect of fungal phytase on net absorption of plant phosphorus by channel catfish *Ictalurus punctatus*. J. World Aquacult. Soc. 28: 386–391.

Flik, G., Fenwick, J.C., Kolar, Z., Mayer-Gostan, N. and Wendelaar Bonga, S.E. 1986. Effects of low ambient calcium levels on whole body Ca^{2+} flux rates and internal calcium pools in the freshwater cichlid teleost, *Oreochromis mossambicus*. J. Exp. Biol. 120: 249–264.

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.

Frei, M. and Becker, K. 2005. A greenhouse experiment on growth and yield effects in integrated rice-fish culture. Aquaculture 244: 119-128.

Furukawa, A. and Tsukahara, H. 1966. On the acid digestion 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.

Furuya, W.M., Gonçalves, G.S., Furuya, V.R.B. and Hayashi, C. 2001. Phytase as feeding for Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*). Performance and digestibility. Revista Brasileira de Zootecnia 30: 924-929.

Geurden, I., Marion, D., Charlon, N., Coutteau, P. and Bergot, P. 1998. Comparison of different soybean phospholipidic fractions as dietary supplements for common carp, *Cyprinus carpio*, larvae. Aquaculture 161: 225–235.

Gomes da Silva, J. and Oliva-Tales, A. 1998. Apparent digestibility coefficients of feedstuff in seabass (*Dicentrarchus labrax*) juveniles. Aquat. Liv. Res. 11: 187-192.

Govers, M.J. and Van der Meet, R. 1993. Effects of dietary calcium and phosphate on the intestinal interactions between calcium, phosphate, fatty acids, and bile acids. Gut. 34: 365–370.

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*). J. Aquacult. Nutr. 8: 291-298.

Hastings, W.H. 1969. Channel catfish growth responses to test feed. Proceedings a Commercial Fish Farming Conference, Georgia Coop. Ext. Ser. and Inst. of Commun. Area Dev, pp. 22-35.

Haylor, G.S., Beveridge, M.C.M. and Jauncey, K. 1988. Phosphorus nutrition of juvenile *Oreochromis niloticus*. The Second International Symposium on Tilapia in Aquaculture. ICLARM Conference Proceedings Department of Fisheries, Bangkok and ICLARM, Manila, p. 623.

Helland, S., Refstie, S., Espmark, A., Hjeldea, K. and Baeverfjord, G. 2005. Mineral balance and bone formation in fast-growing Atlantic salmon parr (*Salmo salar*) in response to dissolved metabolic carbon dioxide and restricted dietary phosphorus supply. Aquaculture 250: 364– 376.

Hepher, B. 1988. Nutrition of Pond Fishes. Cambridge: Cambridge University Press.

Hepher, B. and Sandbank, S. 2003. The effect of phosphorus supplementation to common carp diet on fish growth. Aquaculture 36: 323-332.

Jahan, P., Watanabe, T. and Kiron, V. 2001. Formulation of low phosphorus loading diets for carp (*Cyprinus carpio* L.). Aquac. Res. 32: 361-368.

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* × *C. gariepinus*) diets containing raw broken rice. Aquaculture 127: 61-68.

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

Kaushik, S.J. 1995. Nutrient requirements supply and utilization in the context of culture. Aquaculture 129: 225-241.

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.

Kim, J.D. and Woo, Y.B. 1994. Estimation of nitrogen and phosphorus discharge by carp (*Cyprinus carpio*) fed commercial feeds. Korean J. Anim. Nutr. Feed. 18: 87–93.

Kim, J.D., Kim, K.S., Song, J.S., Lee, J.Y. and Jeong, K.S. 1998. Optimum level of dietary monocalcium phosphate based on growth and phosphorus excretion of mirror carp (*Cyprinus carpio*). Aquaculture 161: 337–344.

Lall, S.P. and Bishop, F.J. 1977. Studies on mineral and protein utilization by Atlantic salmon_*Salmo salar*. grown in sea water. Fish. Mar. Serv. Tech. Rep. 688: 1–16.

Lall, S.P., 1989. The minerals. *In*: Fish Nutrition Halver, J.E. (Ed.), 2nd ed. San Diego :Academic Press.

Lall, S.P. 1991. Digestibility, metabolism and excretion of dietary phosphorus in fish. *In* Nutritional Strategies and Aquaculture Waste. Proceedings of the First International Symposium on Nutritional Strategies in Management of Aquaculture Waste. University of Guelph, Guelph Ontario, Canada, pp. 21– 36. 1990.

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

Lee, G.F. 1973. Role of phosphorus in eutrophication and diffuse source control. Prog. Water Technol. 7: 111-128.

Li, S. and Mathias, J. 1994. Freshwater fish culture in China: Principles and Practice. Developments in aquaculture and fisheries science. Amsterdam: Elsevier Science B.V.

Li, M.H., Robinette, H.R. and Robinson, E.H. 1996. Efficacy of dicalcium and defluorinated rock phosphates as dietary phosphorus sources for channel catfish (*Ictalurus punctatus)*. Aquaculture 147: 107-114.

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

Lovell, R.T. 1998. Nutrition and Feeding of Fish, 2nd ed. Massachusetts: Kluwer Acadamic Publishers.

Magge, A. and Julshamn, K. 1993. Assessment of zinc status in juvenile Atlantic salmon (*Salmo solar*) by measurement of whole body and tissue level of zinc. Aquaculture 117: 179-191.

Mai, K., Zhang, C., Ai, Q., Duan, Q., Xu, W., Zhang, L., Luifu, Z. and Tan, B. 2006. Dietary phosphorus requirement of large yellow coraker, *Pseudosciaena crocea* R. Aquaculture 251: 346-353.

Nakamura, Y. 1982. Effects of dietary phosphorus and calcium contents on the absorption of phosphorus in the digestive tract of carp. Bull. Jpn. Soc. Sci. Fish. 48: 409-413.

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

Nandeesha, M.C., Gangadhara, B., Varghese, T.J. and Keshavanath P. 2000. Growth Response and Flesh Quality of Common Carp, *Cyprinus carpio* Fed with High Levels of Nondefatted Silkworm Pupae. J. Asian Fish. Sci. 13: 235-242.

National Research Council (NRC). 1983. Nutrient Requirements of Coldwater Fishes. Washington, D.C.: National Academy of Sciences.

National Research Council (NRC). 1993. Nutrient Requirements of Fish. Washington, D.C.: National Academy Press.

Nordrum, S., Asgard, T., Shearer, D.K. and Arnessen, P. 1997. Availability of phosphorus in fish bone meal and inorganic salts to Atlantic salmon (*Salmo salar*) as determined by retention. Aquaculture 157: 51-61.

Nose, T. and Arai, S. 1979. Recent advances in studies on mineral nutrition in Japan. *In*: Advances in Aquaculture. Pillay, T.V.R. and Dill, A. (Eds)., Faraham: Fishing News Books. pp. 584-590.

Nwanna, L.C. and Schwarz, F.J. 2007. Effect of supplemental phytase on growth, phosphorus digestibility and bonemineralization of common carp (*Cyprinus carpio* L.). Aquac. Res. 38: 1037-1044.

Nwanna, L.C., Eisenreich, R. and Schwarz, F.J. 2007. Effect of wet-incubation of dietary plant feed stuffs with phytases on growth and mineral digestibility by common carp (*Cyprinus carpio* L). Aquaculture 271: 461-468.

O'Connell, J.P. and Gatlin, D. 1994. Effects of dietary calcium and vitamin D_3 on weight gain and mineral composition of the blue tilapia (*Oreochromis aureus*) in low-calcium water. Aquaculture 125: 107-117.

Ogino, C. and Saito, K. 1970. Protein nutrition in fish. I. The utilization of dietary protein by young carp. Bull. Jpn. Soc. Sci. Fish. 36: 250-254.

Ogino, C. and Takeda, H. 1978. Requirement of rainbow trout for dietary calcium and phosphorus. Bull. Jpn. Soc. Sci. Fish. 44: 1019-1022.

Ogino, C., Takeuchi, L., Takeda, H. and Watanabe, T. 1979. Availability of dietary phosphorus in carp and rainbow trout. Bull. Jpn. Soc. Sci. Fish. 45: 1538-1553.

Oliva, T., Pereira, J.P., Gouveia, A. and Gomes, E. 1998. Utilisation of diet supplemented with microbial phytase by seabass (*Dicentrarchus labrax*) juvenile. Aquat. Living Resour. 11: 255-259.

Papatryphon, E., Howell, R.A. and Soares Jr., J.H. 1999. Growth and mineral absorption by striped bass *Morone saxatilis* fed a plant feedstuff based diet supplemented with phytase. J. World Aquac. Soc. 30: 161-173.

Paul, N., Sarker, S., Giri, S., Rangacharyulu, P.V. and Mohanty, S.N. 2004. Phosphorus requirements and optimum calcium/phosphorus ratio in the diet of mrigal *Cirrhinus mrigala* fingerlings. J. Aquacult. Res. 20: 306-309.

Phromkunthong, W. and Udom, U. 2006. Phosphorus requirement in sex-reversed red tilapia. XII International Symposium on Fish Nutrition and Feeding, Biarritz, France, May 28th-June 1st 2006, p. 241.

Pillay, T.V.R. 2002. Aquaculture Principles and Practices. Fishing News Books. Rome: United Nations.

Pimentel-Rodrigues A. and Oliva-Teles A. 2007. Phosphorus availability of inorganic phosphates and fishmeals in European sea bass (*Dicentrarchus labrax* L.) juveniles. Aquaculture 267: 300-307.

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

Robinson, E.H. and Wilson, R.P. 1985. Nutrition and feeding. *In*: Channel Catfish Culture. Tucker, C.S. (ed.). New York: Development in Aquaculture and Fisheries Science, pp. 323-404.

Robinson, E.H., Rawles, S.D., Brown, P.B., Yette, H.E. and Greene, L.W. 1986. Dietary calcium requirement of channel catfish, *Ictalurus punctatus*, reared in calcium-free water. Aquaculture 53: 263-270.

Robinson, E.H., Labamascus, D., Broen, P.B. and Lanton, T.L. 1987. Dietary calcium and phosphorus digestibility and utilization in rainbow tout (*Oncorhynchus mykiss*). Wat. Sci. Techn. 31: 143-147.

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

Roy, P.K., Witten, P.E., Hall, B.K. and Lall, S.P. 2002. Effects of dietary phosphorus on bone growth and mineralization of vertebrae in haddock (*Melanogrammus aeglefinus* L.). Fish Physiol. Biochem. 27: 35-48.

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

Roy, P.K. and Lall, S.P. 2007. Vitamin K deficiency inhibits mineralization and enhances deformity in vertebrae of haddock (*Melanogrammus aeglefinus* L.) Comparative Biochemistry and Physiology 148: 174–183.

Sajjadi, M. and Carter, C.G. 2004. Dietary phytase supplementation and the utilization of phosphorus by Atlantic salmon (*Salmo salar* L.) fed a canola-meal-based diet. Aquaculture 240: 417–431.

Schultz, K. 2004. Freshwater Fish. Hoboken: NJ John Wiley & Sons, Inc.

Shearer, K.D. 1995. The use of factorial modeling to determine the dietary requirement for essential element in fish. Aquaculture 133: 57-72.

Shimeno, S., Takeda, M., Takayama, S., Fukui, A., Sasaki, H. and Kajiyama, H. 1981. Adaptation of hepatopancreatic enzymes to dietary carbohydrate in carp. Bull. Jpn. Soc. Sci. Fish. 47: 71-77.

Sugiura, S.H., Dong, F.M. and Hardy, R.W. 1999. A New Approach to Estimating the Minimum Dietary Requirement of Phosphorus for Large Rainbow Trout Based on Non fecal Excretions of Phosphorus and Nitrogen. J. Nutr. 865-872.

Takeuchi, T., Satoh, S. and Kiron, V. 2002. Commom carp, *Cyprinus carpio. In*: Nutrient requirements and feeding of finfish for aquaculture. Webster, C.D. and Lim, C.E. (eds.). New York: CAB International, pp. 245-261.

Tantikitti, C., Sangpong, W. and Chiavareesajja, S. 2005. Effect of defatted soybean protein levels on growth performance and nitrogen and phosphorus excretion in Asian seabass (*Lates calcarifer*). Aquaculture 248: 41-50.

Toppe, J., Albrektsen, S., Hope, B. and Aksnes, A. 2007. Chemical composition, mineral content and amino acid and lipid profiles in bones from various fish species. J. Comp. Biochm. Physiol. 146: 395–401.

Tudkaew, J., Gabaudan, J. and Phromkunthong, W. 2008. The supplementation of phytase RONOZYME® P on the growth and the utilisation of phosphorus by sex-reversed red tilapia (*Oreochromis niloticus* Linn.). Songklanakarin J. Sci. Technol. 30: 17-24.

Tulli, F. and Tibaldi, E. 2001. Apparent nutrient digestibility of different protein sources for sea bass (*Dicentrarchus labrax*) Proc. Of the A.S.P.A. XIV Congres, Firenze.

Uhlig, H. 1998. Industrial Enzyme and Their Application. New York: John Willey and Sons, Inc.

Uyan, O., Koshio, S., Ishikawa, M., Uyan, O., Ren, T., Yokoyama, S., Komilus, C.F. and Michael, F.R. 2007. Effect of dietary phosphorus and phospholipids level on growth, and phosphorus deficiency signs in juvenile Japanese flounder, *Paralichthys olivaceus*. Aquaculture 267: 44-54.

Vielma, J. 1998. Utilization of dietary phosphorus in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*, Walbaum) and Atlantic salmon (*Salmo solar*). PhD Thesis, University of Kuopio, Finland.

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. Ruohone, K. and Peisker, M. 2002. Dephytinzation of two soy proteins increases phosphorus and protein utilization 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., 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. Jap. 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 Peo, W.E. 1982. Dietary requirement of channel catfish. J. Nutr. 112: 1197-1202.

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

Yang, S.D., Lin, T.S., Liu, F.G. and Liou, C.H. 2006. Influence of dietary phosphorus level 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.

Yone, Y. and Fujii, M. 1975. Studies on nutrition of red sea bream-XI : Effect of omega 3 fatty acid supplement in corn oil diet on growth rate and feed efficiency. Bull. Jpn. Soc. Fish. 41: 73-77.

Yone, Y. and Toshima, N. 1979. The utilization of phosphorus in fish meal by carp and black sea bream. Bull. Jpn. Soc. Sci. Fish. 45: 753–756.

You, W.Z. and Hoang, Z.Z. 1987. Requirement of fish for calcium and phosphorus. Freshwat. Fish. 5: 43-46.

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

Zhang, C., Mai, K., Ai, Q., Zhang, W., Duan, Q., Tan, B., Ma, H., Xu, W., Liufu, Z. and Wang, X. 2006. Dietary phosphorus requirement of juvenile Japanese seabass, *Lateolabrax japonicus.* Aquaculture 255: 201-209.

ภาคผนวก

ภาคผนวก (ก)

การวิเคราะห์คุณค่าทางโภชนาการของวัตถุดิบ อาหารทดลอง ปลาทดลอง และ มูลปลาทดลอง

(ตามวิธีมาตรฐานของ AOAC, 1990)

1 การวิเคราะห์ความชื้น

1. นำขวดชั่งเข้าตู้อบอุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 40 นาที และทำให้เย็นในโถดูดความชื้น

2. ชั่งและบันทึกน้ำหนักของขวดชั่งโดยละเอียด

3. ชั่งตัวอย่างใส่ขวดชั่งประมาณ 3 กรัม และบันทึกน้ำหนัก

4. นำตัวอย่างเข้าตู้อบ โดยใช้อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 8 ชั่วโมง

5. นำตัวอย่างที่อบแล้วใส่โถดูดความชื้นทิ้งไว้ให้เย็น แล้วบันทึกน้ำหนักของตัวอย่าง

6. ทำซ้ำตามข้อ 4 ถึง 5 จนกระทั่งน้ำหนักที่ได้คงที่ โดยน้ำหนักที่หายไป คือน้ำหนักของความชื้น

คำนวณหาความชื้นด้วยสมการ

$$\text{ความชื้น (\%)} = \frac{(a - b)}{w} \times 100$$

เมื่อ a = น้ำหนักของตัวอย่างก่อนอบแห้ง

b = น้ำหนักของตัวอย่างหลังอบแห้ง

w = น้ำหนักของตัวอย่างก่อนอบ

2 การวิเคราะห์ปริมาณเถ้า

1. ชั่งน้ำหนักตัวอย่าง 2 กรัม ใส่ในถ้วยกระเบื้องเคลือบ

2. นำไปเผาในเตาเผาที่อุณหภูมิ 600 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 ชั่วโมง จนเถ้าเป็นสีขาว

3. นำถ้วยกระเบื้องเคลือบเข้าโถดูดความชื้น และเมื่อตัวอย่างเย็นดีแล้ว นำออกชั่งทันทีด้วยเครื่องชั่ง 4 ตำแหน่ง

คำนวณหาเถ้าด้วยสมการ

$$\text{เถ้า (\%)} = \frac{(b - a) \times 100}{w}$$

เมื่อ a = น้ำหนักของถ้วยกระเบื้องเคลือบ

b = น้ำหนักของถ้วยกระเบื้องเคลือบกับน้ำหนักของตัวอย่างหลังการเผา

w = น้ำหนักของตัวอย่างก่อนเผา

3 การวิเคราะห์หาโปรตีน

สารเคมี

1. กรดซัลฟูริก (sulfuric acid, H_2SO_4) เข้มข้น 93 – 98 %

2. สารเร่งรวม (catalyst mixture): เตรียมโดย ชั่งคอปเปอร์ซัลเฟต (copper sulfate, $CuSO_4$) 7 กรัม และโพแตสเซียมซัลเฟต (potassium sulfate, K_2SO_4) 100 กรัม ผสมให้เข้ากัน

3. โซเดียมไฮดรอกไซด์ 45 % (sodium hydroxide, NaOH): เตรียมโดยชั่งโซเดียมไฮดรอกไซด์ ชนิดเกล็ด 450 กรัม ละลายในน้ำกลั่น ปรับปริมาตรให้ได้ 1 ลิตร

4. สารละลายกรดเกลือ (hydrochloric acid, HCl) 0.1 นอร์มอล: เตรียมโดยละลาย กรดเกลือ 9 มิลลิลิตร ลงในน้ำกลั่น ปรับปริมาตรให้ได้ 1 ลิตร

5. กรดบอริค (boric acid, H_3BO_3) 4%: เตรียมโดย ต้มน้ำกลั่น 50 มิลลิลิตร ให้ร้อนแล้วใส่กรดบอริคลงไป 4 กรัม คนจนละลายหมด เมื่อสารละลายเย็นลงแล้วจึงเติมน้ำกลั่นปรับปริมาตรให้ได้ 100 มิลลิลิตร

6. อินดิเคเตอร์รวม (mixed indicator): เตรียมโดยละลายเมทธิลเรด (methyl red) 0.2 กรัม ในแอลกอฮอล์ 95% ปรับปริมาตรให้ได้ 100 มิลลิลิตร และละลายเมทธิลีนบลู (methylene blue) 0.2 กรัม ในแอลกอฮอล์ 95% ปรับปริมาตรให้ได้ 100 มิลลิลิตร จากนั้นนำสารละลายเมทธิลเรด 2 ส่วน ผสมกับสารละลายเมทธิลีนบลู 1 ส่วน เขย่าให้เข้ากัน

7. เมทิลออเรนจ์ อินดิเคเตอร์ (methyl orange indicator): เตรียมโดยละลายเมทิลออเรนจ์ 0.1 กรัม ในน้ำกลั่น ปรับปริมาตรให้ได้ 100 มิลลิลิตร

8. สารละลายโซเดียมคาร์บอเนต (sodium carbonate, Na_2CO_3) 0.1 นอร์มอล: เตรียมโดยอบโซเดียมคาร์บอเนตที่อุณหภูมิ 260 - 270 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที ชั่งสารที่อบแล้ว 1.325 กรัม เติมน้ำกลั่น ปรับปริมาตรให้ได้ 250 มิลลิลิตร

การหาความเข้มข้นของสารละลายกรดเกลือมาตรฐาน

ดูดสารละลายโซเดียมคาร์บอเนต 40 มิลลิลิตร ใส่ในขวดรูปชมพู่ ขนาด 250 มิลลิลิตร เติมน้ำกลั่น 20 มิลลิลิตร เติมเมทิลออเรนจ์ อินดิเคเตอร์ 2 – 3 หยด ทำการไตเตรตด้วยสารละลายกรดเกลือ 0.1 นอร์มอล คำนวณความเข้มข้นของสารละลายกรดเกลือโดยใช้สูตร

$$N_1V_1 = N_2V_2$$

เมื่อ N_1 = ความเข้มข้นของสารละลายที่จะปรับค่า

N_2 = ความเข้มข้นของสารละลายที่ต้องการ

V_1 = ปริมาตรของสารละลายที่จะปรับค่า

V_2 = ปริมาตรของสารละลายที่ต้องการ

วิธีการ

ก. ขั้นตอนการย่อย (Digestion)

1. ชั่งตัวอย่างอาหารให้ได้น้ำหนักประมาณ 0.5 กรัม โดยชั่งด้วยกระดาษกรองที่ปราศจากสารไนโตรเจนแล้วใส่ในหลอดแก้ววิเคราะห์โปรตีน

2. เติมสารเร่งรวม 3 กรัม เพื่อเป็นตัวช่วยเร่งปฏิกิริยาการย่อย

3. เติมกรดซัลฟูริกเข้มข้น 15 มิลลิลิตร

4. นำไปย่อยด้วยชุดเครื่องย่อยโปรตีน ที่อุณหภูมิ 375 องศาเซลเซียส กระทั่งสารละลายในหลอดแก้ววิเคราะห์โปรตีนเป็นสีเขียวใส ทิ้งไว้ให้เย็น

ข. ขั้นตอนการกลั่น (Distillation)

1. เมื่อสารละลายเย็นลง เติมน้ำกลั่นปริมาตร 20 มิลลิลิตร

2. ใส่ลูกแก้ว 2 ลูก เพื่อป้องกันการกระแทกของสารละลายต่อหลอดแก้ววิเคราะห์โปรตีนเข้ากับเครื่องกลั่นที่มีขวดปากแคบวัดปริมาตร ซึ่งมีกรดบอริค 40 มิลลิลิตรอยู่ โดยให้ปลายของหลอดแก้วที่ต่อจากกระบอกแก้วควบแน่นจุ่มอยู่ในกรดบอริค เติมโซเดียมไฮดรอกไซด์ลงในหลอดแก้ววิเคราะห์ช้าๆ จนกระทั่งสารละลายมีสีดำ

3. หยดอินดิเคเตอร์รวมในกรดบอริค 2 – 3 หยด

4. ทำการกลั่นจนกระทั่งไม่มีแก๊สแอมโมเนียออกมา ทำการกลั่นต่อไปอีก 10 นาที แล้วล้างปลายเครื่องกลั่นด้วยน้ำกลั่น นำขวดปากแคบวัดปริมาตรออกจากเครื่องกลั่น

ค. ขั้นตอนการไตเตรท (Titration)

1. ไตเตรทด้วยกรดเกลือมาตรฐานที่ทราบความเข้มข้น (0.1 นอร์มอล) จนถึงจุดยุติ (end point) สารละลายจะเปลี่ยนเป็นสีน้ำเงินอ่อน

2. บันทึกปริมาตรของกรดเกลือ เพื่อใช้คำนวณต่อไป

การคำนวณหาโปรตีนด้วยสมการ

$$\text{โปรตีน (\%)} = \frac{1.4 \times (V_1 - V_2) \times N \times 6.25}{W}$$

เมื่อ V_1 = ปริมาตรของกรดมาตรฐานที่ใช้ไตเตรทตัวอย่าง

V_2 = ปริมาตรของกรดมาตรฐานที่ใช้ไตเตรทตัวอย่างที่ใช้ตรวจสอบ

N = เป็นความเข้มข้นของกรดเกลือเป็นนอร์มอล

W = น้ำหนักตัวอย่าง

4 การวิเคราะห์ไขมัน (เครื่อง Soxtec System HT6)

สารเคมี

1. สารละลายไตรคลอโรเอททีลีน (Trichroloethylene)

2. เมทธานอล (methanol)

วิธีการ

1. อบถ้วยพร้อมลูกแก้ว ที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส 8 ชั่วโมง ทิ้งไว้ให้เย็นในโถดูดความชื้น

2. อบตัวอย่างที่จะวิเคราะห์ที่อุณหภูมิ 65 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 คืน ทิ้งให้เย็นในโถดูดความชื้น

3. ชั่งน้ำหนักถ้วยพร้อมลูกแก้ว (w_1)

4. ชั่งตัวอย่างที่ต้องการวิเคราะห์ ใส่กระดาษกรองเบอร์ 1 ประมาณ 1 – 2 กรัม (w_2) ห่อให้มิดชิด ใส่ลงในไส้กรอง (thimble) ที่เตรียมไว้ นำไปใส่เข้าเครื่อง

5. นำถ้วยพร้อมลูกแก้วที่ชั่งน้ำหนักไว้แล้วมาเติม คลอโรฟอร์ม:เมทานอล ในอัตราส่วน 2 :1 ปริมาตร 25 มิลลิลิตร แล้วใส่เข้าเครื่อง

6. เปิดเครื่อง ปรับอุณหภูมิไปที่ 160 องศาเซลเซียส เปิดเครื่องทำความเย็น เปิดวาล์ว เลื่อนปุ่มไปที่ boiling ต้มให้เดือด 30 นาที

7. จากนั้นเลื่อนปุ่มไปที่ rinsing เพื่อล้างตัวอย่าง 20 นาที

8. ปิดวาล์ว เปิดสวิทซ์อากาศ เลื่อนปุ่มไปที่ evaporation เพื่อให้สารระเหย 5 นาที

9. ปิดสวิทซ์อากาศ และเครื่องทำความเย็น เลื่อนปุ่ม evaporation กลับตำแหน่งเดิม นำถ้วยออกจากเครื่อง อบที่ 135 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง

10. นำถ้วยออกมาใส่โถอบแห้ง ทิ้งไว้ให้เย็น แล้วนำมาชั่งน้ำหนัก (w_3)

คำนวณหาไขมันด้วยสมการ

$$\text{ไขมัน (\%)} = \frac{w_3 - w_1}{w_2} \times 100$$

เมื่อ w_1 = น้ำหนักถ้วยพร้อมลูกแก้ว

w_2 = น้ำหนักตัวอย่าง

w_3 = น้ำหนักถ้วยพร้อมลูกแก้วและไขมันหลังอบ

5 การวิเคราะห์โครมิคออกไซด์ (ตามวิธีการของ Furukawa and Tsukahara, 1966)

สารเคมี

1. กรดไนตริกเข้มข้น 70 %
2. กรดเปอร์คลอริคเข้มข้น 70 %

วิธีการ

1. ชั่งตัวอย่าง 0.5-1.0 กรัม ใส่ในหลอดย่อยโปรตีน
2. เติมกรดไนตริกเข้มข้น 5 มิลลิลิตร นำไปย่อยประมาณ 20 นาที
3. ตั้งทิ้งไว้ให้เย็น เติมกรดเปอร์คลอริคเข้มข้น 3 มิลลิลิตร นำไปย่อยอีกครั้ง จนสารละลายสีเขียวเปลี่ยนเป็นสีส้ม หรือแดง ย่อยต่ออีก 10 นาที
4. ตั้งทิ้งไว้ให้เย็น เติมน้ำกลั่น 50 มิลลิลิตร และปรับปริมาตรสารละลายให้ครบ 100 มิลลิลิตร
5. นำสารละลายไปวัดค่าการดูดกลืนแสง ที่ความยาวคลื่น 350 นาโนเมตร เปรียบเทียบกับน้ำกลั่น คำนวณปริมาณโครมิคออกไซด์ด้วยสมการ

$$y = 0.18x - 0.0265$$

เมื่อ y = ค่าการดูดกลืนแสง

x = ปริมาณโครมิคออกไซด์ (มิลลิกรัมต่อ100 มิลลิลิตร)

6 การวิเคราะห์หาฟอสฟอรัส

สารเคมี

1. กรดสำหรับย่อยตัวอย่าง: เตรียมโดยการชั่งแอมโมเนียมเมตาวานาเดท (ammonium metavanadate, NH_4VO_3) 0.06 กรัมละลายในน้ำที่ปราศจากไอออน (Deionized water) ซึ่งเดือดประมาณ 10 มิลลิลิตร วางไว้ในตู้เย็นแล้วจึงเทลงในส่วนผสมของกรดสองชนิดคือ กรดเปอร์คลอริค (perchloric, $HClO_4$) เข้มข้น (70-72%) ปริมาตร 250 มิลลิลิตร และกรดไนตริก (nitric acid, HNO3) เข้มข้น (65%) ปริมาตร 1,250 มิลลิลิตร ผสมให้เข้ากัน

2. สารละลายวานาโดโมลิบเดท (vanadomolybdate): เตรียมโดย

2.1 นำแอมโมเนียมโมลิบเดท (ammonium molybdate): 40 กรัม ละลายในน้ำเดือดที่ปราศจากไอออนมีปริมาตร 400 มิลลิลิตร วางทิ้งไว้ให้เย็น

2.2 แอมโมเนียมเมตาวานาเดท: 2 กรัม ละลายในน้ำเดือดที่ปราศจากไอออนซึ่งมีปริมาตร 300 มิลลิลิตร วางทิ้งไว้ให้เย็น เติมกรดไนตริกเข้มข้น 160 มิลลิลิตร

2.3 ผสมสารละลายในข้อ 2.2 ลงในสารละลายในข้อ 2.1 ปรับปริมาตรด้วยน้ำที่ปราศจากไอออนให้ได้ 1,000 มิลลิลิตร เก็บสารละลายไว้ในขวดสีชาที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส เมื่อนำไปใช้เจือจางสารละลายข้างต้นด้วยน้ำปราศจากไอออนในอัตราส่วน (วานาโดโมลิบเดท: น้ำ) 1:3

3. สารละลายมาตรฐานฟอสฟอรัส (standard phosphorus) 1,000 มิลลิกรัมต่อลิตร: เตรียมโดยละลายโพแตสเซียมไฮโดรเจนฟอสเฟต (potassium dihydrogen phosphate, KH_2PO_4) ที่ผ่านการอบที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 4 ชั่วโมงปริมาณ 4.380 กรัม ในน้ำที่ปราศจากไอออน ปรับปริมาตรเป็น 1,000 มิลลิลิตร เขย่าให้เข้ากัน

4. เวิร์คกิ้ง สแตนดาร์ด ฟอสฟอรัส(working standard phosphorus)ความเข้มข้น 0, 5, 10, 15, 20, 25 และ 30 มิลลิกรัมต่อลิตรเตรียมโดยนำสารละลายมาตรฐานฟอสฟอรัส 1000 มิลลิกรัมต่อลิตร(จากข้อที่ 3) ปริมาตร 0, 0.5, 1.0, 1.5, 2.0, 2.5 และ 3.0 มิลลิลิตรใส่ลงในขวดปรับปริมาตรขนาด 100 มิลลิลิตร เติมกรดเปอร์คลอริคเข้มข้น20 % ปริมาตร 20 มิลลิลิตร(กรดเปอร์คลอริคเข้มข้น 20 % โดยการเตรียมสารละลายกรดเปอร์คลอริคเข้มข้น(70-72%) ปริมาตร 282 มิลลิลิตร

ในน้ำกลั่นที่ปราศจากไอออน ปรับปริมาตรเป็น 1,000 มิลลิลิตร) ปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นที่ปราศจากไอออนให้ครบ 100 มิลลิลิตร จะได้สารลายมาตรฐานฟอสฟอรัสที่มีความเข้มข้น 0, 5, 10, 15 , 20, 25 และ 30 มิลลิกรัมต่อลิตร

วิธีการ

1. ชั่งตัวอย่างที่ผ่านการอบที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 12 ชั่วโมงปริมาณ 200-300 มิลลิกรัมใส่ในขวดรูปชมพู่ขนาด 50 มิลลิลิตร

2. เติมกรดย่อย (จากข้อที่ 1 ในหัวข้อสารเคมี) ปริมาตร 15 มิลลิลิตร วางทิ้งไว้อย่างน้อย 2 ชั่วโมง

3. นำไปย่อยบนแผ่นให้ความร้อน (hot plate) ค่อยๆ ปรับความร้อนให้ได้ 80 องศาเซลเซียส ระยะแรกเป็นสีควันน้ำตาล ซึ่งเกิดจากการทำปฏิกิริยาของกรดไนตริกกับอินทรีย์คาร์บอน เมื่อควันสีน้ำตาลหมดปรับอุณหภูมิเป็น 190 องศาเซลเซียสจะสังเกตเห็นควันสีขาวของกรดเปอร์คลอริค การย่อยจะสิ้นสุดเมื่อสารละลายในขวดชมพู่ใส และเมื่อวางไว้ให้เย็นแล้วหยดน้ำที่ปราศจากไอออนลงในสารละลายในขวดชมพู่จะได้สารละลายสีใส

4. ปรับปริมาตรของสารละลายในขวดชมพู่ด้วยน้ำที่ปราศจากไอออนให้ได้ปริมาตร 25 มิลลิลิตร เขย่าให้เข้ากัน

5. เก็บสารละลายที่ผ่านการย่อยแล้วไว้ในขวดพลาสติกขนาด 100 มิลลิลิตรเพื่อรอการนำไปวิเคราะห์ฟอสฟอรัส และแคลเซียม

ขั้นตอนการวิเคราะห์ปริมาณฟอสฟอรัส

1. นำสารละลายตัวอย่างที่ผ่านการย่อยแล้ว และเวิร์คกิ้ง แสตนดาร์ดฟอสฟอรัสความเข้มข้น 0, 5, 10, 20, 25, และ 30 มิลลิลิตรต่อลิตร ปริมาตร 1 มิลลิลิตร ใส่ในหลอดขนาด 10 มิลลิลิตร

2. เติมสารละลายสานาโดโมลิบเดท (1:3) ปริมาตร 5 มิลลิลิตร เขย่าให้เข้ากัน วางทิ้งไว้ 20 นาที

3. นำสารละลายในหลอดมาวัดค่าความดูดกลืนแสงที่มีความยาวช่วงคลื่น 420 นาโนเมตร โดยปรับค่าความเข้มข้น 0 มิลลิกรัมต่อลิตร ให้เท่ากับค่าความดูดกลืนแสงที่ 0 เปรียบเทียบความเข้มข้นของสารละลายตัวอย่างกับกราฟมาตรฐานโดยใช้สมการ

$$y = 0.0092x - 0.021$$

เมื่อ y = ค่าการดูดกลืนแสง

x = ปริมาณฟอสฟอรัสในตัวอย่าง (มิลลิกรัมต่อลิตร)

7 การวิเคราะห์หาแคลเซียม

สารเคมี

1. สารละลายสตรอนเตียม (strontium reagent) 5,000 มิลลิกรัมต่อลิตร เตรียมโดยละลายสตรอนเตียมคลอไรด์ ($SrCl_2.6H_2O$) ปริมาณ 15.2146 กรัมในเปอร์คลอริค 0.5 เปอร์เซ็นต์ และปรับปริมาตรเป็น 1 ลิตร

2. สารละลายมาตรฐานแคลเซียม (standard calcium) ความเข้มข้น 1000 มิลลิกรัมต่อลิตร เตรียมโดย ละลายแคลเซียมคาร์บอเนตที่ผ่านการอบที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 4 ชั่วโมง ปริมาณ 2.4973 กรัม ด้วยน้ำที่ปราศจากไอออน แล้วค่อยๆ เติมกรดไนตริกเข้มข้นปริมาตร 12 มิลลิลิตร ปรับปริมาตรด้วยน้ำที่ปราศจากไอออนจนครบ 1 ลิตร

3. เวิร์คกิ้ง สแตนดาร์ด แคลเซียม (working standard calcium) ความเข้มข้น 0, 2, 4, 6, 8 และ 10 มิลลิกรัมต่อลิตร เตรียมโดยนำสารละลายมาตรฐานแคลเซียม 1,000 มิลลิกรัมต่อลิตร จากข้อ (2) ปริมาตร 0, 0.2, 0.4, 0.6, 0.8 และ 1.0 มิลลิลิตร ปรับปริมาตรด้วยสารละลายสตรอนเตียม 5,000 มิลลิกรัมต่อลิตร จนได้ปริมาตร 100 มิลลิลิตร

วิธีการ

1. เจือจางสารละลายที่ผ่านการย่อยแล้ว (โดยใช้ตัวอย่างที่ผ่านการย่อยแบบเดียวกับการวิเคราะห์หาฟอสฟอรัส) ด้วยสารละลายสตรอนเตียม 5,000 มิลลิกรัมต่อลิตร ซึ่งจะต้องเจือจางสารละลายตัวอย่างให้อยู่ในช่วงความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานแคลเซียม

2. นำสารละลายที่เจือจางแล้วมาทำการวัดค่าการดูดกลืนแสงด้วยเครื่อง atomic absorption spectrophotometer และ flame photometer

คำนวณหาเปอร์เซ็นต์แคลเซียมตามสูตร

$$\% \text{ แคลเซียม} = X \times V \times 100 / 1000 \times W$$

เมื่อ X = ปริมาณแคลเซียมที่อ่านได้ในตัวอย่าง เมื่อเปรียบเทียบกับกราฟมาตรฐาน (มิลลิกรัมต่อลิตร)

V = ปริมาตรของตัวอย่างที่ปรับปริมาตรหลังจากการย่อย

W = น้ำหนักตัวอย่าง (มิลลิกรัม)

กรณีที่มีการเจือจางตัวอย่างเนื่องจากความเข้มข้นของแคลเซียม ในสารละลายตัวอย่างสูงกว่าช่วงความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐาน ต้องคูณจำนวนเท่าของการเจือจางในสูตรการคำนวณข้างต้น

ภาคผนวก (ข)

การวิเคราะห์สถิติของผลการทดลอง

Tests of Between-Subjects Effects

Dependent Variable: น้ำหนักเฉลี่ยของปลาสัปดาห์ที่ 2

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	4.183	8	.523	6.983	.000
Intercept	683.879	1	683.879	9133.352	.000
SOURCE	2.136	2	1.068	14.265	.000
LEVEL	.126	2	.063	0.842	.447
SOURCE * LEVEL	1.921	4	.48	6.413	.002
Error	1.348	18	.075		
Total	689.41	27			
Corrected Total	5.531	26			

R Squared = .756 (Adjusted R Squared = .648)

ANOVA: น้ำหนักเฉลี่ยของปลาสัปดาห์ที่ 2

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	4.183	8	.523	6.983	.000
Within Groups	1.348	18	.075		
Total	5.531	26			

Tests of Between-Subjects Effects

Dependent Variable: น้ำหนักปลาเฉลี่ยของสัปดาห์ที่ 4

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	49.843	8	6.23	33.789	.000
Intercept	1269.718	1	1269.718	6885.947	.000
SOURCE	31.44	2	15.72	85.253	.000
LEVEL	2.458	2	1.229	6.665	.007
SOURCE * LEVEL	15.945	4	3.986	21.619	.000
Error	3.319	18	.184		
Total	1322.88	27			
Corrected Total	53.162	26			

R Squared = .938 (Adjusted R Squared = .910)

ANOVA: น้ำหนักเฉลี่ยของปลาสัปดาห์ที่ 4

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	49.843	8	6.23	33.789	.000
Within Groups	3.319	18	.184		
Total	53.162	26			

Tests of Between-Subjects Effects

Dependent Variable: น้ำหนักปลาเฉลี่ยของสัปดาห์ที่ 6

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	180.759	8	22.595	59.363	.000
Intercept	2013.863	1	2013.863	5290.965	.000
SOURCE	118.858	2	59.429	156.136	.000
LEVEL	12.246	2	6.123	16.087	.000
SOURCE * LEVEL	49.655	4	12.414	32.615	.000
Error	6.851	18	.381		
Total	2201.474	27			
Corrected Total	187.611	26			

R Squared = .963 (Adjusted R Squared = .947)

ANOVA: น้ำหนักเฉลี่ยของปลาสัปดาห์ที่ 6

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	180.759	8	22.595	59.363	.000
Within Groups	6.851	18	.381		
Total	187.611	26			

Tests of Between-Subjects Effects

Dependent Variable: น้ำหนักเฉลี่ยของปลาสัปดาห์ที่ 8

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	602.756	8	75.345	72.573	.000
Intercept	3448.941	1	3448.941	3322.052	.000
SOURCE	410.33	2	205.165	197.617	.000
LEVEL	42.771	2	21.385	20.599	.000
SOURCE * LEVEL	149.655	4	37.414	36.037	.000
Error	18.688	18	1.038		
Total	4070.385	27			
Corrected Total	621.444	26			

R Squared = .970 (Adjusted R Squared = .957)

ANOVA: น้ำหนักเฉลี่ยของปลาสัปดาห์ที่ 8

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	602.756	8	75.345	72.573	.000
Within Groups	18.688	18	1.038		
Total	621.444	26			

Tests of Between-Subjects Effects

Dependent Variable: น้ำหนักที่เพิ่มขึ้น

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	488099.198	8	61012.4	72.035	.000
Intercept	1326795.589	1	1326795.589	1566.486	.000
SOURCE	332217.584	2	166108.792	196.117	.000
LEVEL	34652.629	2	17326.314	20.456	.000
SOURCE * LEVEL	121228.986	4	30307.246	35.782	.000
Error	15245.794	18	846.989		
Total	1830140.581	27			
Corrected Total	503344.992	26			

R Squared = .970 (Adjusted R Squared = .956)

ANOVA: น้ำหนักที่เพิ่มขึ้น

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	488099.198	8	61012.4	72.035	.000
Within Groups	15245.794	18	846.989		
Total	503344.992	26			

Tests of Between-Subjects Effects

Dependent Variable: อัตราการเจริญเติบโตจำเพาะ

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	11.940	8	1.493	63.079	.000
Intercept	102.57	1	102.57	4334.82	.000
SOURCE	8.255	2	4.128	174.445	.000
LEVEL	.588	2	.294	12.415	.000
SOURCE * LEVEL	3.098	4	.774	32.727	.000
Error	.426	18	.024		
Total	114.936	27			
Corrected Total	12.366	26			

R Squared = .966 (Adjusted R Squared = .950)

ANOVA: อัตราการเจริญเติบโตจำเพาะ

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	11.94	8	1.493	63.079	.000
Within Groups	.426	18	.024		
Total	12.366	26			

Tests of Between-Subjects Effects

Dependent Variable: อัตราการกินอาหาร

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	6.044	8	.755	36.145	.000
Intercept	531.019	1	531.019	25406.467	.000
SOURCE	3.504	2	1.752	83.827	.000
LEVEL	.688	2	.344	16.47	.000
SOURCE * LEVEL	1.851	4	.463	22.141	.000
Error	.376	18	.021		
Total	537.439	27			
Corrected Total	6.42	26			

R Squared = .941 (Adjusted R Squared = .915)

ANOVA: อัตราการกินอาหาร

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	6.044	8	.755	36.145	.000
Within Groups	.376	18	.021		
Total	6.42	26			

Tests of Between-Subjects Effects

Dependent Variable: อัตราการรอด

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	15.636	8	1.954	.264	.97
Intercept	267339.984	1	267339.984	36095.11	.000
SOURCE	5.761	2	2.881	.389	.683
LEVEL	3.291	2	1.645	.222	.803
SOURCE * LEVEL	6.584	4	1.646	.222	.922
Error	133.318	18	7.407		
Total	267488.938	27			
Corrected Total	148.954	26			

R Squared = .105 (Adjusted R Squared = -.293)

ANOVA: อัตราการรอด

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	15.636	8	1.954	.264	.97
Within Groups	133.318	18	7.407		
Total	148.954	26			

Tests of Between-Subjects Effects

Dependent Variable: อัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อ

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	31.898	8	3.987	29.407	.000
Intercept	222.345	1	222.345	1639.885	.000
SOURCE	16.97	2	8.485	62.58	.000
LEVEL	2.34	2	1.17	8.628	.002
SOURCE * LEVEL	12.588	4	3.147	23.211	.000
Error	2.441	18	.136		
Total	256.683	27			
Corrected Total	34.338	26			

R Squared = .929 (Adjusted R Squared = .897)

ANOVA: อัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อ

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	31.898	8	3.987	29.407	.000
Within Groups	2.441	18	.136		
Total	34.338	26			

Tests of Between-Subjects Effects

Dependent Variable: ประสิทธิภาพการใช้โปรตีน

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	5.366	8	.671	76.174	.000
Intercept	34.152	1	34.152	3878.663	.000
SOURCE	3.515	2	1.757	199.589	.000
LEVEL	.262	2	.131	14.885	.000
SOURCE * LEVEL	1.589	4	.397	45.111	.000
Error	.158	18	.009		
Total	39.676	27			
Corrected Total	5.524	26			

R Squared = .971 (Adjusted R Squared = .959)

ANOVA: ประสิทธิภาพการใช้โปรตีน

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	5.366	8	.671	76.174	.000
Within Groups	.158	18	.009		
Total	5.524	26			

Tests of Between-Subjects Effects

Dependent Variable: การใช้ประโยชน์จากโปรตีนสุทธิ

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	1397.380	8	174.672	74.548	.000
Intercept	7769.105	1	7769.105	3315.745	.000
SOURCE	768.46	2	384.23	163.984	.000
LEVEL	52.178	2	26.089	11.134	.001
SOURCE * LEVEL	576.741	4	144.185	61.536	.000
Error	42.176	18	2.343		
Total	9208.661	27			
Corrected Total	1439.556	26			

R Squared = .971 (Adjusted R Squared = .958)

ANOVA: การใช้ประโยชน์จากโปรตีนสุทธิ

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	1397.38	8	174.672	74.548	.000
Within Groups	42.176	18	2.343		
Total	1439.556	26			

Tests of Between-Subjects Effects

Dependent Variable: ดัชนีตับต่อตัว

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	5.755	8	.719	2.517	.035
Intercept	81.746	1	81.746	286.007	.000
SOURCE	2.827	2	1.413	4.945	.015
LEVEL	1.306	2	.653	2.285	.121
SOURCE * LEVEL	1.622	4	.406	1.419	.255
Error	7.717	27	.286		
Total	95.218	36			
Corrected Total	13.472	35			

R Squared = .427 (Adjusted R Squared = .257)

ANOVA: ดัชนีตับต่อตัว

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	5.755	8	.719	2.517	.035
Within Groups	7.717	27	.286		
Total	13.472	35			

Tests of Between-Subjects Effects

Dependent Variable: ความชื้นในตัวปลา

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	96.185	8	12.023	5.18	.012
Intercept	94751.606	1	94751.606	40822.46	.000
SOURCE	46.771	2	23.385	10.075	.005
LEVEL	30.917	2	15.459	6.66	.017
SOURCE * LEVEL	18.497	4	4.624	1.992	.179
Error	20.89	9	2.321		
Total	94868.681	18			
Corrected Total	117.075	17			

R Squared = .822 (Adjusted R Squared = .663)

ANOVA: ความชื้นในตัวปลา

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	96.185	8	12.023	5.18	.012
Within Groups	20.89	9	2.321		
Total	117.075	17			

Tests of Between-Subjects Effects

Dependent Variable: โปรตีนในตัวปลา

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	931.62	8	116.453	576.284	.000
Intercept	72042.66	1	72042.66	356514.46	.000
SOURCE	673.786	2	336.893	1667.169	.000
LEVEL	118.183	2	59.092	292.424	.000
SOURCE * LEVEL	139.651	4	34.913	172.771	.000
Error	3.637	18	.202		
Total	72977.918	27			
Corrected Total	935.258	26			

R Squared = .996 (Adjusted R Squared = .994)

ANOVA: โปรตีนในตัวปลา

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	931.621	8	116.453	576.284	.000
Within Groups	3.637	18	.202		
Total	935.258	26			

Tests of Between-Subjects Effects

Dependent Variable: ไขมันในตัวปลา

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	999.836(a)	8	124.98	307.296	.000
Intercept	26709.139	1	26709.139	65671.57	.000
SOURCE	704.118	2	352.059	865.632	.000
LEVEL	246.925	2	123.462	303.565	.000
SOURCE * LEVEL	48.793	4	12.198	29.993	.000
Error	7.321	18	.407		
Total	27716.296	27			
Corrected Total	1007.157	26			

R Squared = .993 (Adjusted R Squared = .990)

ANOVA: ไขมันในตัวปลา

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	999.836	8	124.98	307.296	.000
Within Groups	7.321	18	.407		
Total	1007.157	26			

Tests of Between-Subjects Effects

Dependent Variable: เถ้าในตัวปลา

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	143.201	8	17.9	857.437	.000
Intercept	1893.402	1	1893.402	90696.34	.000
SOURCE	69.89	2	34.945	1673.91	.000
LEVEL	45.571	2	22.786	1091.459	.000
SOURCE * LEVEL	27.739	4	6.935	332.189	.000
Error	.376	18	.021		
Total	2036.978	27			
Corrected Total	143.576	26			

R Squared = .997 (Adjusted R Squared = .996)

ANOVA: เถ้าในตัวปลา

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	143.201	8	17.9	857.437	.000
Within Groups	.376	18	.021		
Total	143.576	26			

Tests of Between-Subjects Effects

Dependent Variable: ฟอสฟอรัสในตัวปลา

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	4.256	8	.532	55.336	.000
Intercept	59.265	1	59.265	6163.774	.000
SOURCE	2.098	2	1.049	109.079	.000
LEVEL	1.037	2	.518	53.92	.000
SOURCE * LEVEL	1.122	4	.28	29.172	.000
Error	.173	18	.01		
Total	63.695	27			
Corrected Total	4.43	26			

R Squared = .961 (Adjusted R Squared = .944)

ANOVA: ฟอสฟอรัสในตัวปลา

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	4.256	8	.532	55.336	.000
Within Groups	.173	18	.01		
Total	4.43	26			

Tests of Between-Subjects Effects

Dependent Variable: แคลเซียมในตัวปลา

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	14.122	8	1.765	906.149	.000
Intercept	98.193	1	98.193	50403.424	.000
SOURCE	4.463	2	2.231	1145.329	.000
LEVEL	4.481	2	2.241	1150.091	.000
SOURCE * LEVEL	5.179	4	1.295	664.587	.000
Error	.035	18	.002		
Total	112.351	27			
Corrected Total	14.158	26			

R Squared = .998 (Adjusted R Squared = .996)

ANOVA: แคลเซียมในตัวปลา

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	14.122	8	1.765	906.149	.000
Within Groups	.035	18	.002		
Total	14.158	26			

Tests of Between-Subjects Effects

Dependent Variable: โปรตีนในเนื้อปลา

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	233.304	8	29.163	149.907	.000
Intercept	120762.942	1	120762.942	620760.32	.000
SOURCE	60.506	2	30.253	155.51	.000
LEVEL	102.87	2	51.435	264.393	.000
SOURCE * LEVEL	69.928	4	17.482	89.863	.000
Error	3.502	18	.195		
Total	120999.748	27			
Corrected Total	236.806	26			

R Squared = .985 (Adjusted R Squared = .979)

ANOVA: โปรตีนในเนื้อปลา

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	233.304	8	29.163	149.907	.000
Within Groups	3.502	18	.195		
Total	236.806	26			

Tests of Between-Subjects Effects

Dependent Variable: ไขมันในเนื้อปลา

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	472.366	8	59.046	220.135	.000
Intercept	4664.7	1	4664.7	17391.017	.000
SOURCE	36.375	2	18.187	67.806	.000
LEVEL	278.786	2	139.393	519.688	.000
SOURCE * LEVEL	157.205	4	39.301	146.523	.000
Error	4.828	18	.268		
Total	5141.894	27			
Corrected Total	477.194	26			

R Squared = .990 (Adjusted R Squared = .985)

ANOVA: ไขมันในเนื้อปลา

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	472.366	8	59.046	220.135	.000
Within Groups	4.828	18	.268		
Total	477.194	26			

Tests of Between-Subjects Effects

Dependent Variable: เถ้าในเนื้อปลา

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	10.728	8	1.341	55.936	.000
Intercept	612.923	1	612.923	25566.17	.000
SOURCE	4.705	2	2.353	98.127	.000
LEVEL	3.181	2	1.591	66.353	.000
SOURCE * LEVEL	2.842	4	.71	29.632	.000
Error	.432	18	.024		
Total	624.083	27			
Corrected Total	11.16	26			

R Squared = .961 (Adjusted R Squared = .944)

ANOVA: เถ้าในเนื้อปลา

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	10.728	8	1.341	55.936	.000
Within Groups	.432	18	.024		
Total	11.16	26			

Tests of Between-Subjects Effects

Dependent Variable: ฟอสฟอรัสในเนื้อปลา

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	.147	8	.018	9.232	.000
Intercept	15.074	1	15.074	7588.006	.000
SOURCE	.043	2	.022	10.89	.001
LEVEL	.075	2	.037	18.798	.000
SOURCE * LEVEL	.029	4	.007	3.619	.025
Error	.036	18	.002		
Total	15.256	27			
Corrected Total	.182	26			

R Squared = .804 (Adjusted R Squared = .717)

ANOVA: ฟอสฟอรัสในเนื้อปลา

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	.147	8	.018	9.232	.000
Within Groups	.036	18	.002		
Total	.182	26			

Tests of Between-Subjects Effects

Dependent Variable: แคลเซียมในเนื้อปลา

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	.047	8	.006	16.739	.000
Intercept	1.124	1	1.124	3195.800	.000
SOURCE	.006	2	.003	8.537	.002
LEVEL	.032	2	.016	46.116	.000
SOURCE * LEVEL	.009	4	.002	6.153	.003
Error	.006	18	.000		
Total	1.178	27			
Corrected Total	.053	26			

R Squared = .882 (Adjusted R Squared = .829)

ANOVA: แคลเซียมในเนื้อปลา

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	.047	8	.006	16.739	.000
Within Groups	.006	18	.000		
Total	.053	26			

Tests of Between-Subjects Effects

Dependent Variable: ไขมันในตับ

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	921.665	8	115.208	319.678	.000
Intercept	30992.061	1	30992.061	85996.36	.000
SOURCE	530.297	2	265.149	735.731	.000
LEVEL	212.521	2	106.261	294.85	.000
SOURCE * LEVEL	178.847	4	44.712	124.065	.000
Error	6.487	18	.36		
Total	31920.214	27			
Corrected Total	928.152	26			

R Squared = .993 (Adjusted R Squared = .990)

ANOVA: ไขมันในตับ

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	921.665	8	115.208	319.678	.000
Within Groups	6.487	18	.36		
Total	928.152	26			

Tests of Between-Subjects Effects

Dependent Variable: เถ้าในเกล็ด

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	419.037	8	52.38	2577.483	.000
Intercept	2799.773	1	2799.773	137770.6	.000
SOURCE	212.152	2	106.076	5219.758	.000
LEVEL	101.088	2	50.544	2487.169	.000
SOURCE * LEVEL	105.797	4	26.449	1301.503	.000
Error	.366	18	.02		
Total	3219.175	27			
Corrected Total	419.403	26			

R Squared = .999 (Adjusted R Squared = .999)

ANOVA: เถ้าในเกล็ด

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	419.037	8	52.38	2577.483	.000
Within Groups	.366	18	.02		
Total	419.403	26			

Tests of Between-Subjects Effects

Dependent Variable: เถ้าในกระดูก

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	784.745	8	98.093	419.591	.000
Intercept	45896.89	1	45896.89	196323.2	.000
SOURCE	603.848	2	301.924	1291.474	.000
LEVEL	141.058	2	70.529	301.686	.000
SOURCE * LEVEL	39.839	4	9.96	42.603	.000
Error	4.208	18	.234		
Total	46685.842	27			
Corrected Total	788.953	26			

R Squared = .995 (Adjusted R Squared = .992)

ANOVA: เถ้าในกระดูก

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	784.745	8	98.093	419.591	.000
Within Groups	4.208	18	.234		
Total	788.953	26			

Tests of Between-Subjects Effects

Dependent Variable: ฟอสฟอรัสในเกล็ด

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	10.202	8	1.275	20.703	.000
Intercept	163.51	1	163.51	2654.491	.000
SOURCE	4.456	2	2.228	36.174	.000
LEVEL	2.116	2	1.058	17.173	.000
SOURCE * LEVEL	3.63	4	.907	14.732	.000
Error	1.109	18	.062		
Total	174.821	27			
Corrected Total	11.311	26			

R Squared = .902 (Adjusted R Squared = .858)

ANOVA: ฟอสฟอรัสในเกล็ด

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	10.202	8	1.275	20.703	.000
Within Groups	1.109	18	.062		
Total	11.311	26			

Tests of Between-Subjects Effects

Dependent Variable: ฟอสฟอรัสในกระดูก

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	29.966	8	3.746	13.717	.000
Intercept	1706.962	1	1706.962	6250.813	.000
SOURCE	15.353	2	7.676	28.111	.000
LEVEL	5.195	2	2.597	9.511	.002
SOURCE * LEVEL	9.419	4	2.355	8.623	.000
Error	4.915	18	.273		
Total	1741.844	27			
Corrected Total	34.881	26			

R Squared = .859 (Adjusted R Squared = .796)

ANOVA: ฟอสฟอรัสในกระดูก

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	29.966	8	3.746	13.717	.000
Within Groups	4.915	18	.273		
Total	34.881	26			

Tests of Between-Subjects Effects

Dependent Variable: แคลเซียมในเกล็ด

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	42.459	8	5.307	578.046	.000
Intercept	258.417	1	258.417	28145.466	.000
SOURCE	19.157	2	9.579	1043.253	.000
LEVEL	12.920	2	6.460	703.610	.000
SOURCE * LEVEL	10.381	4	2.595	282.661	.000
Error	.165	18	.009		
Total	301.041	27			
Corrected Total	42.624	26			

R Squared = .996 (Adjusted R Squared = .994)

ANOVA: แคลเซียมในเกล็ด

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	42.459	8	5.307	578.046	.000
Within Groups	.165	18	.009		
Total	42.624	26			

Tests of Between-Subjects Effects

Dependent Variable: แคลเซียมในกระดูก

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	82.148	8	10.269	51.201	.000
Intercept	5504.654	1	5504.654	27447.537	.000
SOURCE	65.043	2	32.522	162.161	.000
LEVEL	9.627	2	4.814	24.002	.000
SOURCE * LEVEL	7.478	4	1.869	9.321	.000
Error	3.610	18	.201		
Total	5590.413	27			
Corrected Total	85.758	26			

R Squared = .958 (Adjusted R Squared = .939)

ANOVA: แคลเซียมในกระดูก

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	82.148	8	10.269	51.201	.000
Within Groups	3.61	18	.201		
Total	85.758	26			

Tests of Between-Subjects Effects

Dependent Variable: ฟอสฟอรัสในซีรัม

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	505.580	8	63.197	66.773	.000
Intercept	5053.140	1	5053.140	5339.046	.000
SOUR	480.374	2	240.187	253.777	.000
LEV	10.436	2	5.218	5.513	.027
SOUR * LEV	14.770	4	3.692	3.901	.042
Error	8.518	9	.946		
Total	5567.238	18			
Corrected Total	514.098	17			

R Squared = .983 (Adjusted R Squared = .969)

ANOVA: ฟอสฟอรัสในซีรัม

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	505.580	8	63.197	66.773	.000
Within Groups	8.518	9	.946		
Total	514.098	17			

Tests of Between-Subjects Effects

Dependent Variable: การเก็บสะสมฟอสฟอรัสในร่างกาย

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	1655.353	8	206.919	606.066	.000
Intercept	2926.317	1	2926.317	8571.185	.000
SOURCE	1229.421	2	614.71	1800.487	.000
LEVEL	6.462	2	3.231	9.463	.002
SOURCE * LEVEL	419.471	4	104.868	307.157	.000
Error	6.145	18	.341		
Total	4587.815	27			
Corrected Total	1661.498	26			

R Squared = .996 (Adjusted R Squared = .995)

ANOVA: การเก็บสะสมฟอสฟอรัสในร่างกาย

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	1655.353	8	206.919	606.066	.000
Within Groups	6.145	18	.341		
Total	1661.498	26			

Tests of Between-Subjects Effects

Dependent Variable: ฟอสฟอรัสที่ถูกขับทิ้ง

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	214.921	8	26.865	41.665	.000
Intercept	810.022	1	810.022	1256.248	.000
SOURCE	141.621	2	70.810	109.818	.000
LEVEL	32.624	2	16.312	25.298	.000
SOURCE * LEVEL	40.676	4	10.169	15.771	.000
Error	11.606	18	.645		
Total	1036.549	27			
Corrected Total	226.527	26			

R Squared = .949 (Adjusted R Squared = .926)

ANOVA: ฟอสฟอรัสที่ถูกขับทิ้ง

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	214.921	8	26.865	41.665	.000
Within Groups	11.606	18	.645		
Total	226.527	26			

Tests of Between-Subjects Effects

Dependent Variable: ประสิทธิภาพการย่อยวัตถุแห้ง

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	1627.583	8	203.448	361.443	.000
Intercept	103016.451	1	103016.451	183017.57	.000
SOURCE	441.5	2	220.75	392.182	.000
LEVEL	678.112	2	339.056	602.362	.000
SOURCE * LEVEL	507.97	4	126.993	225.613	.000
Error	10.132	18	.563		
Total	104654.165	27			
Corrected Total	1637.714	26			

R Squared = .994 (Adjusted R Squared = .991)

ANOVA: ประสิทธิภาพการย่อยวัตถุแห้ง

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	1627.583	8	203.448	361.443	.000
Within Groups	10.132	18	.563		
Total	1637.714	26			

Tests of Between-Subjects Effects

Dependent Variable: ประสิทธิภาพการย่อยโปรตีน

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	129.922	8	16.24	9.993	.000
Intercept	210467.561	1	210467.561	129498.99	.000
SOURCE	39.084	2	19.542	12.024	.000
LEVEL	38.167	2	19.083	11.742	.001
SOURCE * LEVEL	52.671	4	13.168	8.102	.001
Error	29.254	18	1.625		
Total	210626.738	27			
Corrected Total	159.177	26			

R Squared = .816 (Adjusted R Squared = .735)

ANOVA: ประสิทธิภาพการย่อยโปรตีน

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	129.922	8	16.24	9.993	.000
Within Groups	29.254	18	1.625		
Total	159.177	26			

Tests of Between-Subjects Effects

Dependent Variable: ประสิทธิภาพการย่อยฟอสฟอรัส

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	6284.003	8	785.500	468.415	.000
Intercept	26137.689	1	26137.689	15586.600	.000
SOURCE	4983.928	2	2491.964	1486.024	.000
LEVEL	222.457	2	111.228	66.328	.000
SOURCE * LEVEL	1077.619	4	269.405	160.653	.000
Error	30.185	18	1.677		
Total	32451.877	27			
Corrected Total	6314.188	26			

R Squared = .995 (Adjusted R Squared = .993)

ANOVA: ประสิทธิภาพการย่อยฟอสฟอรัส

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	6284.003	8	785.500	468.415	.000
Within Groups	30.185	18	1.677		
Total	6314.188	26			

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ สกุล นางสาวนิวดี สาหีม

รหัสประจำตัวนักศึกษา 4910620087

วุฒิการศึกษา

วุฒิ	ชื่อสถาบัน	ปีที่สำเร็จการศึกษา
วิทยาศาสตรบัณฑิต (การเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ)	มหาวิทยาลัยราชภัฏภูเก็ต	2549

การตีพิมพ์เผยแพร่ผลงาน

การเผยแพร่ในการประชุมวิชาการ

นิวดี สาหีม และวุฒิพร พรหมขุนทอง. 2552. การใช้ประโยชน์จากอนินทรีย์ฟอสเฟตในปลาไน (*Cyprinus carpio*). การประชุมเสนอผลงานวิจัยระดับบัณฑิตศึกษาครั้งที่ 4 ณ มหาวิทยาลัยบูรพา จังหวัดชลบุรี 13 มีนาคม 2552 หน้า 31.